

Tarsoly Péter

**A HAZAI NEMKARSZTOS BARLANGOK
TOPOLÓGIAI ELEMZÉSE**



Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat

Vulkánszpeleológiai Kollektíva

2023

Cholnoky Karszt- és Barlangkutatói Társulat

A HAZAI NEMKARSZTOS BARLANGOK TOPOLOGIAI ELEMZÉSE

TARSOLY PÉTER

Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

8000, Székesfehérvár, Pirosalma u. 1-3., tarsoly.peter@amk.uni-obuda.hu

Magyar Karszt-és Barlangkutató Társulat, Vulkánszpeleológiai Kollektíva

A barlangok kvantitatív adatokkal történő jellemzése geometriai és topológiai modellezést jelent, amely lehetőséget ad a múltbeli, jelenkori és jövőbeni folyamatok megértésére és magyarázatára. A geometriai/topológiai modellezés alapja a barlangról készített térkép, amely lehetővé teszi síkbeli és térbeli tulajdonságok, hasonlóságok és eltérések keresését és megfogalmazását, és ezzel együtt a barlangok csoportosítását. A felismert tulajdonságok szoros összefüggésben vannak a barlangok kialakulásával és morfológiájával, és a morfometrikus tulajdonságok általánosíthatók. Általában egy barlang esetében nem beszélhetünk egyetlen barlangképző erőről, hanem több barlangképző erő együttes hatásáról. A topológiai elemzések lehetővé teszik, hogy barlangokra vagy barlangszakaszokra nézve meghatározzuk a barlangképző erők közül a legjelentősebbet, ami a barlangok genotípusainak megállapításánál kulcsfontosságú. Az elmúlt száz évben számos tanulmány jelent meg a karsztos barlangok geometriai és topológiai jellemzésével kapcsolatban. Dolgozatomban a karsztos barlangokra megfogalmazott modellezési, geometriai és topológiai paramétereket alkalmaztam a hazai nemkarsztos barlangokra azzal a céllal, hogy bemutassam egy elsősorban geometriai, morfológiai tulajdonságokra épülő, matematikailag leírható új jellemzési rendszerüket.

BEVEZETÉS

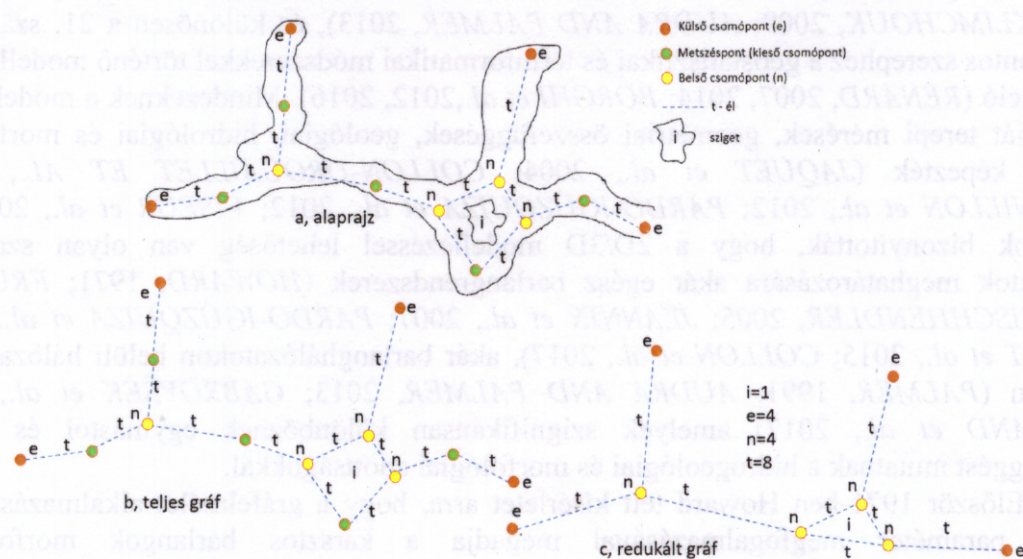
A barlangok térszerkezetének kutatása, a morfológiai és geológiai adottságok összefüggése a felszíni területek morfológiájával számos kutatás vezérfonala volt az elmúlt száz évben (MARTEL, 1921; RENAULT, 1970; FORD AND WILLIAMS, 1989; PALMER, 1991; KLIMCHOUK, 2009; AUDRA AND PALMER, 2013), és különösen a 21. században jutott fontos szerephez a geostatistikai és térinformatikai módszerekkel történő modellezés és szimuláció (RENARD, 2007, 2014; BORGHI *et al.*, 2012, 2016). Mindezeknek a modelleknek az alapját terepi mérések, geometriai összefüggések, geológiai, hidrológiai és morfológiai adatok képezték (JAQUET *et al.*, 2004; COLLON-DROUILLET *ET AL.*, 2012; FOURNILLON *et al.*, 2012; PARDO-IGÚZQUIZA *et al.*, 2012; VISEUR *et al.*, 2014). A kutatások bizonyították, hogy a 2D/3D modellezéssel lehetőség van olyan szabályos mintázatok meghatározására akár egész barlangrendszerek (HOWARD, 1971; FRUMKIN AND FISCHHENDLER, 2005; JEANNIN *et al.*, 2007; PARDO-IGÚZQUIZA *et al.*, 2011; ALBERT *et al.*, 2015; COLLON *et al.*, 2017), akár barlanghálózatokon belüli hálózatrészek esetében (PALMER, 1991; AUDRA AND PALMER, 2013; GABROVŠEK *et al.*, 2014; HARMAND *et al.*, 2017) amelyek szignifikánsan különböznek egymástól és szoros összefüggést mutatnak a hidrogeológiai és morfológiai adottságokkal.

Először 1971-ben Howard tett kísérletet arra, hogy a gráfelmélet alkalmazásával és három paraméter megfogalmazásával megadja a karsztos barlangok morfometriai csoportosítását. A későbbi években számos kutató (FRUMKIN AND FISCHHENDLER,

2005; JEANNIN *et al.*, 2007; PARDO-IGÚZQUIZA *et al.*, 2011; FOURNILLON *et al.*, 2012; ALBERT *et al.*, 2015; COLLON *et al.*, 2017) foglalkozott azzal, hogy újabb és újabb paraméterek megfogalmazásával a 3D-s karsztrendszerek minél tökéletesebb leírását adja. Az általuk használt paraméterek egy része általában bármely barlangra alkalmazható, tehát nem csak a karsztos, hanem a nemkarsztos barlangokra is. Felhasználva a korábbi szerzők tapasztalatait és módszereit kísérletet tettem arra, hogy topológiai és geometriai adatok alapján elvégezzem a hazai nemkarsztos barlangok jellemzését és rendszerezését. Mivel a hazai nemkarsztos barlangok szinte mindegyike csak alaprajzi térképpel, keresztshelvényekkel és hossz-shelvénnel rendelkezik, ezért a barlangok geometriájának és topológiájának leírására bevezetett 2D paraméterek (HOWARD, 1971; JOUVES J. *et al.*, 2017) alapján végeztem el a vizsgálatokat.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A barlangtérképek szerkesztéséhez használt felmérési adatok az álláspontok koordinátái, a szomszédos álláspontok között mért mágneses azimut, magassági szög és távolság, valamint az álláspontoknál mért, keresztshelvényeket meghatározó méretek. Topológiai modellezés szempontjából a barlang különböző típusú csomópontokból és az azokat összekötő élekből áll (HOWARD, 1971; JOUVES J. *et al.*, 2017). A csomópontok lehetnek metszéspontok, külső és belső csomópontok. A metszéspontokban két él találkozik, a belső csomópontokban három vagy annál több, külső csomópont pedig a barlang bejáratánál, illetve az egyes folyosók végpontjain található (1. ábra). Egy barlangjárat irányváltoztatása során nem keletkezik új csomópont, csak abban az esetben, ha az irányváltoztatás helyén egy új járat csatlakozik be. Azokat a szálkőoszlopokat, amelyeket zárt hurok formájában élek vesznek körül, szigeteknek nevezzük a modellezés során. A felmérési adatokból első lépésben a barlang teljes gráfja szerkeszthető meg, amely tartalmazza a metszéspontokat és a külső és belső csomópontokat, valamint az ezeket összekötő éleket is. Második lépésben redukált gráf állítható elő, amely már csak az éleket és a külső és belső csomópontokat tartalmazza. Topológiai szempontból az élek hosszának és irányultságának nincs jelentősége (JOUVES J. *et al.*, 2017), ezért a két gráf azonosnak tekinthető.



1. ábra Egy barlang topológiai modellezése az alaprajzból kiindulva a teljes gráfon át a redukált gráfig

A topológiai elemzés alapját jelentő képletekben n a barlangtérkép alapján definiálható belső csomópontok darabszámát jelöli, e a külső csomópontok darabszámát, i a szigeteket, t pedig az éleket. Ezekkel a paraméterekkel lehetőség van kvantitatív tulajdonságok meghatározására, amennyiben a barlang síkba vetíthető, az egyes szinteken elhelyezkedő járatok között nem, vagy csak nagyon kevés hurkot lehet definiálni és a belső csomópontoknál a kiinduló élek száma csak ritka és kivételes esetben több, mint három (HOWARD, 1971). Mindezek a feltételek teljesülnek a hazai nemkarsztos barlangok vonatkozásában, így a 2D-s topológiai jellemzésük lehetséges a fenti mérőszámokkal.

A gráfelmélet alapján a topológiai paraméterek között az alábbi összefüggések állnak fent (BERGE, 1962; HOWARD *et al.*, 1970):

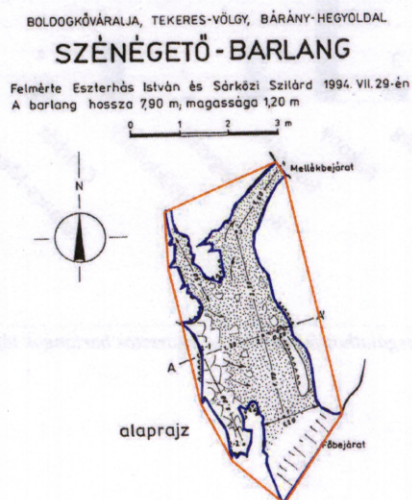
$$i = t - (n + e) + 1 \quad (1)$$

$$t = 1 - i + 2n \quad (2)$$

A két egyenletben négy ismeretlen van, ezért bármelyik kettő ismerete maga után vonja a másik két paraméternek számítás útján történő meghatározását. A külső csomópontok és szigetek darabszámának meghatározása nagy pontossággal és kevés hibával lehetséges a barlangtérképek alapján, így az (1), (2) képletek segítségével a belső csomópontok és élek számát számíthatjuk.

A fenti négy paraméterek kívül még az alábbi mérőszámokat alkalmaztam a nemkarsztos barlangok jellemzéséhez (HOWARD, 1971):

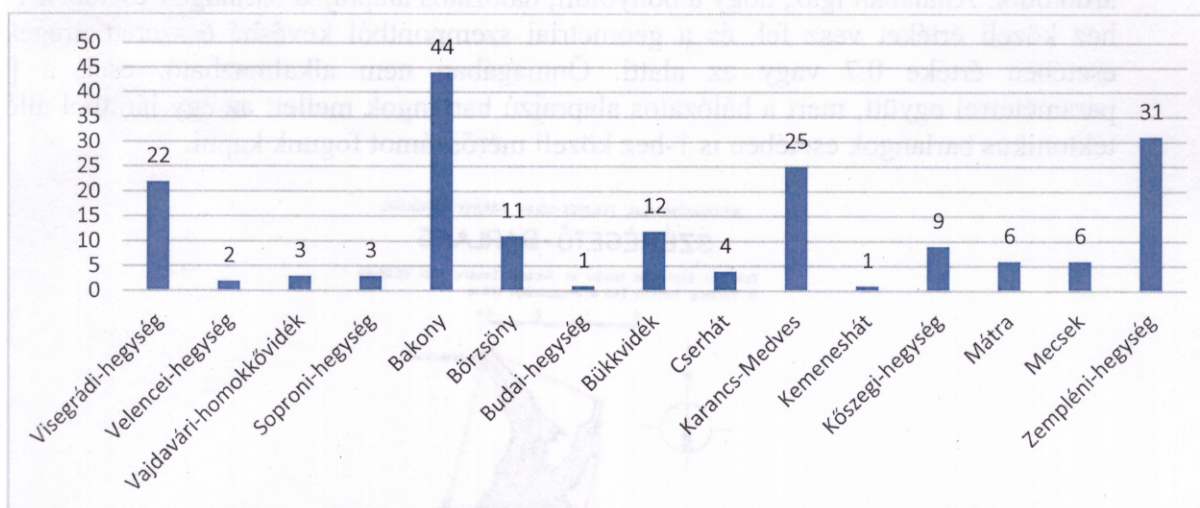
- $\beta = n + e$, az elágazóság mérőszáma. Értéke annál nagyobb, minél inkább hálózatos elrendezésű a barlang geometriája.
- A_c/A_p , ahol A_c a barlangjáratok területe, A_p a barlangot befoglaló legkisebb konvex sokszög területe (2. ábra). Ez a paraméter a barlang kiterjedéséről és összetettségéről árulkodik. Általában igaz, hogy a bonyolult, hálózatos alaprajzú barlangok esetében 1-hez közeli értéket vesz fel, és a geometriai szempontból kevésbé összetett üregek esetében értéke 0.7 vagy az alatti. Önmagában nem alkalmazható, csak a β paraméterrel együtt, mert a hálózatos alaprajzú barlangok mellett az egy járatból álló tektonikus barlangok esetében is 1-hez közeli mérőszámot fogunk kapni.



2. ábra Az A_p (piros) és az A_c (kék) paraméterek származtatása

- L/Ap , ahol L a barlang hossza. Ez a paraméter a járatsűrűséget jellemzi. Azonos járatsűrűségi mérőszámmal rendelkező barlangokról elmondhatjuk, hogy azonos nagyságú területen azonos hosszúságú járattal rendelkeznek. Önmagában nem alkalmazható, csak a β paraméterrel együtt, mert itt is előfordulhat, hogy a két szélső-bonyolultságú esetben, vagyis a hálózatos alaprajzú és az egy járatos tektonikus barlangoknál azonos értékeket kapunk.
- t/Ap , ahol t a barlangban definiálható élek darabszáma. Ez a paraméter az élsűrűséget jellemzi. Az azonos élsűrűségi mérőszámmal rendelkező barlangok azonos mértékben elágazók és összetettek, vagyis a β paraméter mellett ez a mérőszám adja a legtöbb információt a barlangról.

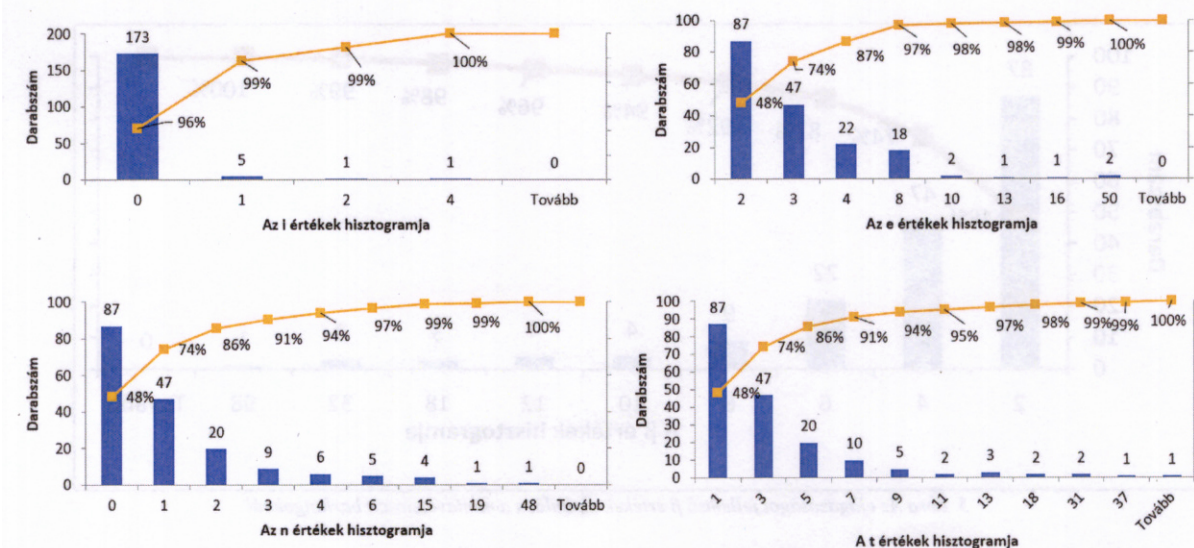
A vizsgálatokhoz a nemkarsztos barlangok adatait az Országos Barlangnyilvántartásból (www.termeszetvedelem.hu) és a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának a hazai nemkarsztos barlangokról vezetett, 2019-es állapotot tükröző nyilvántartásából vettem (nonkarstic.geo.info.hu). Ez utóbbi nyilvántartás összesen 1299 barlang, illetve barlangnak tartott mesterséges üreg adatát tartalmazza. Amennyiben ebből a számból kivonjuk a részben vagy teljesen mesterséges üregeket, a nem azonosítható, irodalmi vagy mondabeli említés alapján nyilvántartott üregeket, továbbá a beomlott, betömött, bánya által elpusztított üregeket, a barlangtorzókat és a nyilvántartásban szereplő, de államhatáron kívül eső barlangokat, akkor 871 barlang marad. A fennmaradó barlangok jelentős hányada 2-3 méter hosszúságú, egyetlen sokszögoldallal leírható, így topológiai elemzésre nem alkalmas. Magyarország tájegységeiről összesen 180 darab (a nyilvántartott barlangok 21%-a), méretét és geometriáját tekintve jelentősnek számító nemkarsztos barlangot választottam ki a vizsgálat céljára, összesen 3203 méter összhosszúságban. A 180 barlangból 52-öt (29%) csak a Vulkánszpeleológiai Kollektíva nyilvántartása tartalmazott, 128 darabot (71%) pedig mind a két nyilvántartás. A barlangok tájegységekenkénti megoszlását a 3. ábra mutatja.



3. ábra A vizsgálatához felhasznált nemkarsztos barlangok tájegységekenkénti eloszlása

ELEMZÉSEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatokhoz szükséges adatbázisban a barlangokról az alábbi adatok kerültek tárolása: név, kataszteri sorszám, tájegység, település, hossz, vertikális kiterjedés, i, e, n, t, β, Ac és Ap paraméterek, valamint az ezekből származtatható mennyiségek ($L/Ap, t/Ap, Ac/Ap$). A 4. ábra tartalmazza a négy topológiai alapparaméter (i, e, n, t) hisztogram elemzésének eredményét.



4. ábra Az i, e, n és t paraméterek hisztogram elemzése

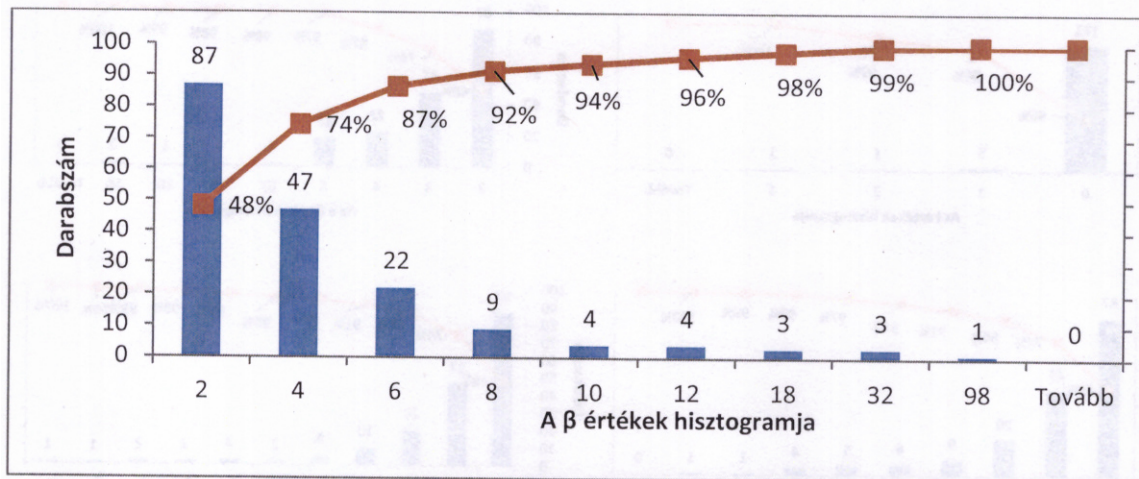
A 4. ábra alapján elmondhatjuk, hogy hazai nemkarsztos barlangjaink esetében a szigetek, vagyis a kőoszlopok megléte egyáltalán nem jellemző. A barlangok 96%-nál (173 darab) egyáltalán nem fordul elő sziget, 3%-nál (5db) egy sziget található, és mindösszesen 1-1 darab a kettő illetve négy szigettel rendelkező barlangok száma. Egy szigetes barlangra példa a Pók-lyuk (5240-17, Medves-Karancs), két szigetes barlangra a Budaligeti-barlang (4773-9, Budai-hegység), négy szigetes barlangra pedig a Pulai-bazaltbarlang (4430-11, Bakony).

A vizsgált barlangok 48%-ra (87 darab) volt jellemző, hogy mindösszesen két külső csomóponttal rendelkeztek, vagyis a barlang topológiai szempontból egyetlen éllel és két csomóponttal leírható volt. A barlangok 26%-ra volt jellemző a 3 külső csomópont megléte, amely egyben belső csomópontot is feltételez, vagyis a barlang topológiai szempontból leginkább Y-alakkal volt jellemezhető. A bonyolultabb, összetettebb járatokkal rendelkező barlangokra a külső csomópontok magasabb száma is utal, ez mindösszesen a vizsgált barlangok 26%-ra volt jellemző (46 darab). Sok külső csomóponttal jellemezhető, összetettebb nemkarsztos barlangra mintapéldák a Csörgő-lyuk (5230-1, Mátra) és a Szilváskői-barlang (5240-5, Karancs-Medves).

Összhangban az előző mérőszámmal a vizsgált barlangok 48%-a (87 darab) nem rendelkezik belső csomóponttal. Egyetlen belső csomóponttal a barlangok 26%-a bír (47 darab), 12% (20 darab) kettő csomóponttal, és az ennél is több belső csomóponttal rendelkező, vagyis összetett nemkarsztos üregek a mintavételnek mindösszesen 14%-át teszik ki (26 darab). Sok belső csomóponttal rendelkező jelentős hazai nemkarsztos barlangunk a Bölcső-hegyi-barlang (4900-35, Visegrádi-hegység).

Az élek száma szintén a barlang összetettségével van kapcsolatban, és a 4. ábra jobb alsó hisztogramja is az eddig elmondottakat támasztja alá. A barlangok 48%-a egyetlen éllel írható le (87 darab), 26% (47 darab) három éllel, és az ennél több éllel definiálható barlangok csak a mintavétel 26%-át adják (46 darab). Sok éllel leírható, bonyolult nemkarsztos barlangra példa a Betyár-barlang (5223-4, Cserhát) és a Rózsa Sándor-barlang (5500-87, Zempléni-hegység).

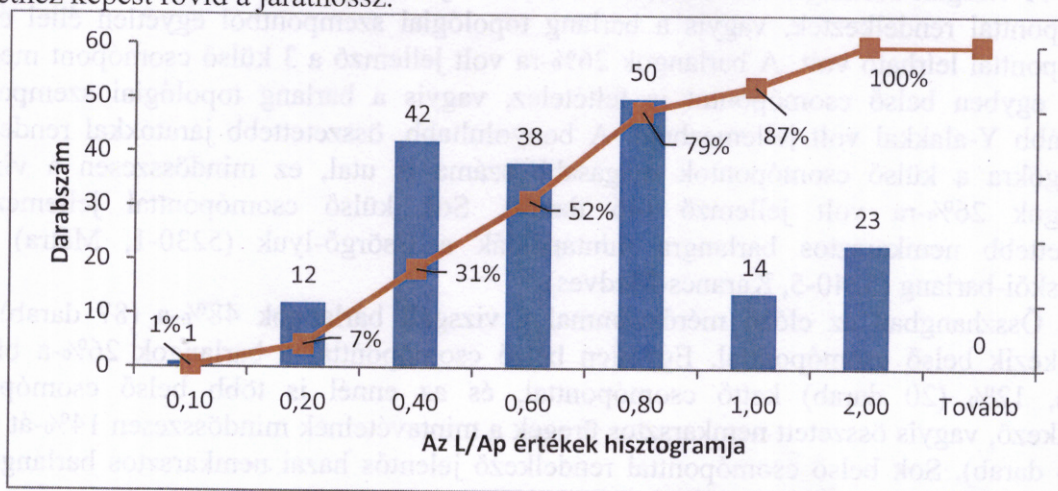
A β paraméter a belső és külső csomópontok darabszámának összegével egyezik meg, vagyis az elágazóság, a hálózatosság mérőszáma (5.ábra).



5. ábra Az elágazóságot jellemző β értékek alakulása a mintavételezett barlangoknál

Az 5. ábra és a 4. ábrán a külső és belső csomópontok, illetve az élek darabszámára vonatkozó hisztogramok ugyanolyan képet mutatnak és a jelentésük is egyező. A későbbiekben végzendő barlang-topológiai vizsgálatok során nem szükséges az i , e , n és t paraméterek hisztogram elemzése, hanem elegendő csak a β paramétert elemezni. A mintavételezett nemkarsztos barlangok közül mindösszesen 26 % (47 darab) jellemezhető hálózatosnak, sok elágazással rendelkezőnek. A sok elágazással rendelkező nemkarsztos barlang mintapéldája a Disznós-árki-barlang (4900-33, Visegrádi-hegység).

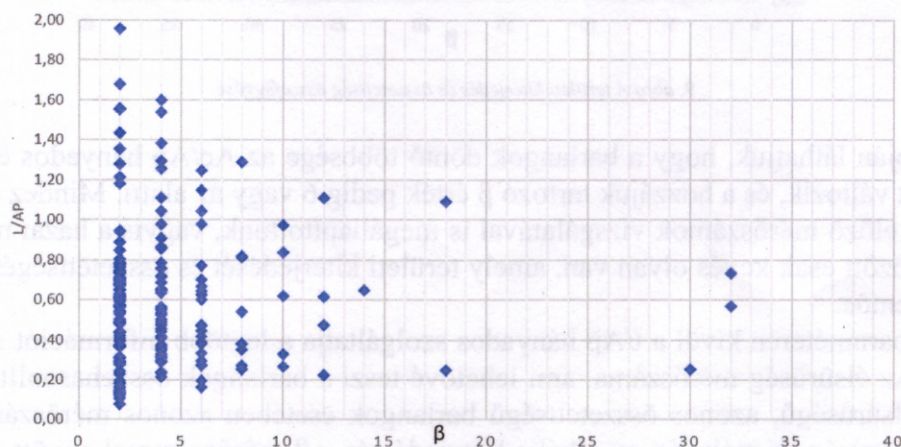
A járatsűrűséget az L/Ap értékkel jellemezhetjük (6. ábra). Összesen 93 barlang (52%) rendelkezik 0.10 és 0.60 közötti értékkel, ami arra utal, hogy a barlang által elfoglalt területhez képest rövid a járáthossz.



6. ábra A járatsűrűség alakulását bemutató hisztogram

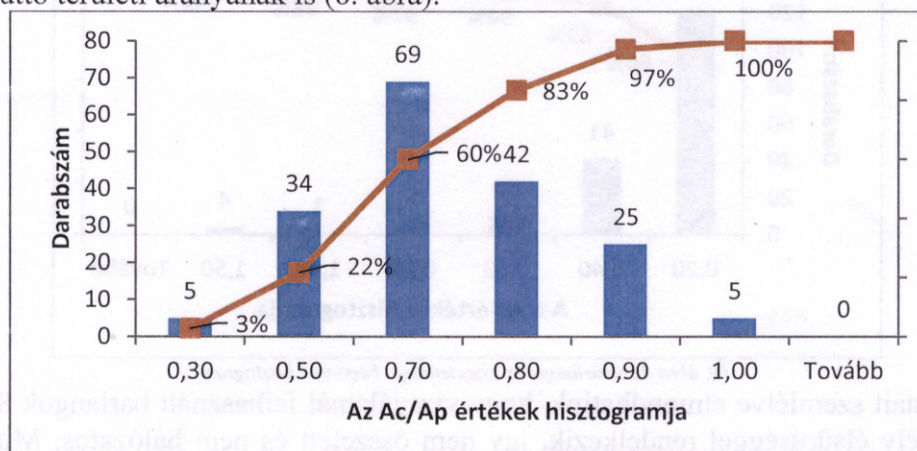
Ez általában a kimállásos orgonaközők, a gyapjúzsákbarlangok és a kevés elágazóval rendelkező tektonikus vagy atektonikus barlangok jellemzője. Mintapéldája lehet ennek a csoportnak a 0.35-ös L/Ap mérőszámmal rendelkező Pokol-lik (4430-13, Bakony), amely peremmel párhuzamos törés mentén tektonikusan képződött tömegmozgásos barlang.

A barlangok 48%-a, vagyis 87 darab rendelkezik ettől nagyobb mérőszámmal. Téves lenne azonban azt a következtetést levonni, hogy a barlangok 48%-a ezáltal összetett üreg. Nagy mérőszámot kapunk abban az esetben is, amennyiben hálózatos alaprajzú egy barlang, de abban az esetben is, amennyiben egy kőfülkéről vagy kőodúrról beszélünk. Az L/Ap mérőszámból való helyes következtetés levonásához szükséges egyben a β mérőszám vizsgálata is. Mintapélda lehet ennek az esetnek szemléltetésére a Jakab-hegyi Forrás-kőfülke (4420-175, Mecsek), amely konglomerátum homokkő és agyagos homokkő határán képződött a víz munkájának eredményeképpen; és a tektonikus eredetű Súlyom-kő-bérci Hasadékbarlang (5500-98, Zempléni-hegység). Az első és második barlang esetében az L/Ap mérőszámok 1.35 és 1.29, a β értékek pedig 2 és 8. A 7. ábra mutatja az összetartozó L/Ap és β értékpárokat (a kiugróan magas β értékek elhagyásával). Az ábra alapján látszódik, hogy a legtöbb barlang esetében a β érték 6 vagy az alatti és hozzá tartozóan az L/Ap érték 0.8 alatti. Mindez azt jelenti, hogy a legtöbb hazai nemkarsztos barlang járatsűrűsége és ehhez tartozóan az hálózatosága/elágazósága is csekély.



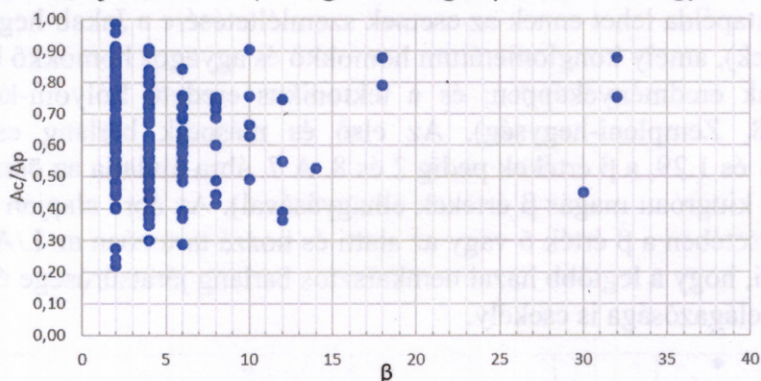
7. ábra A β és L/Ap értékek együttes változása

A kiterjedést és az összetettséget jellemzi az Ac/Ap paraméter, amelyet nevezhetünk a barlang nettó és bruttó területi arányának is (8. ábra).



8. ábra Az összetettséget és területi kiterjedést bemutató hisztogram

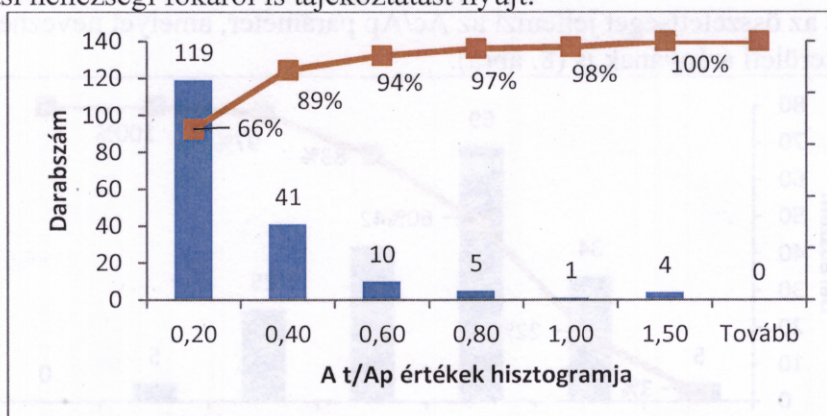
A vizsgált barlangok közül 108 darab esetében (60%) ez az érték 0.70 vagy az alatti, és csak a fennmaradó 72 barlang (40%) esetében nagyobb ennél az értéknél. Harminc barlang esetében lesz (17%) lesz csak nagyobb ez az érték, mint 0.90. Ennél a paraméternél is szükséges a β érték figyelembevétele, mert egyaránt nagy mérőszámot kapunk Ac/Ap értékre egy kőfülke és egy bonyolult tektonikus vagy atektonikus barlang esetében is. Mintapélda lehet erre az esetre a lúgos oldással keletkezett Kis-barlang (5500-3, Zempléni-hegység) és az atektonikus, egyben leghosszabb hazai nemkarsztos barlang, a Csörgő-lyuk (5230-1, Mátra). A két barlang esetében az Ac/Ap értékek 0.75 és 0.73, míg a β értékek 8 és 98. Az Ac/Ap és β értékek együttes változását mutatja a 9. ábra (a kiugróan magas β értékek elhagyásával).



9. ábra A területi kiterjedés és összetettség összefüggése

Az ábra alapján láthatjuk, hogy a barlangok döntő többsége az Ac/Ap hányados esetében 0.4 és 0.8 között változik, és a hozzájuk tartozó β érték pedig 6 vagy az alatti. Mindez azt mutatja, amit már az előző mérőszámok vizsgálatával is megállapítottunk, vagyis a hazai nemkarsztos barlangok között csak kevés olyan van, amely területi kiterjedését és összetettségét tekintve is egyaránt jelentős.

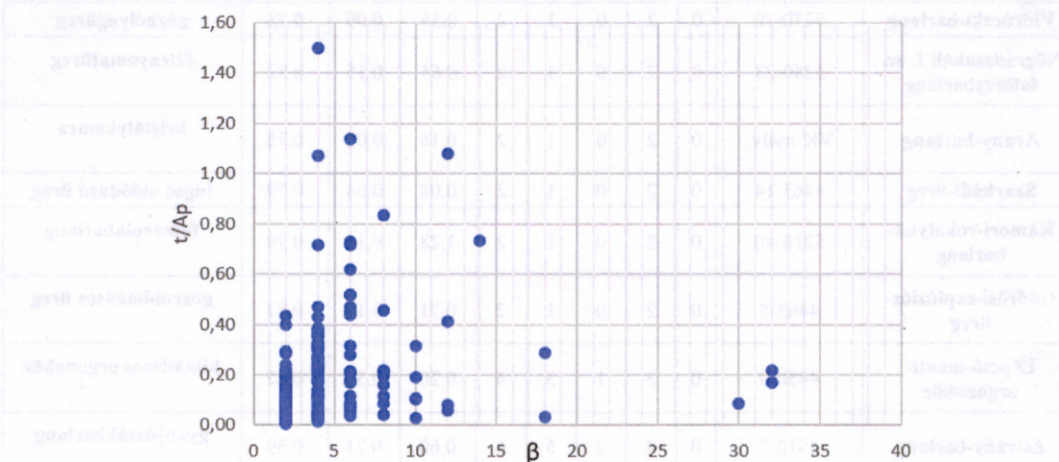
A β paraméteren kívül a t/Ap hányados szolgáltatja a legtöbb információt a barlangról (10. ábra). Az élsűrűség mérőszáma, ami lehetővé teszi a barlangok összehasonlítását, hiszen az azonos élsűrűségű, azonos összetettségű barlangok esetében azonos mérőszámot fogunk kapni. A hosszúság és mélység, vertikális kiterjedés és a β mérőszámmal együtt szemlélve a barlang bejárás nehézségi fokáról is tájékoztatást nyújt.



10. ábra Az élsűrűséget és összetettséget bemutató histogram

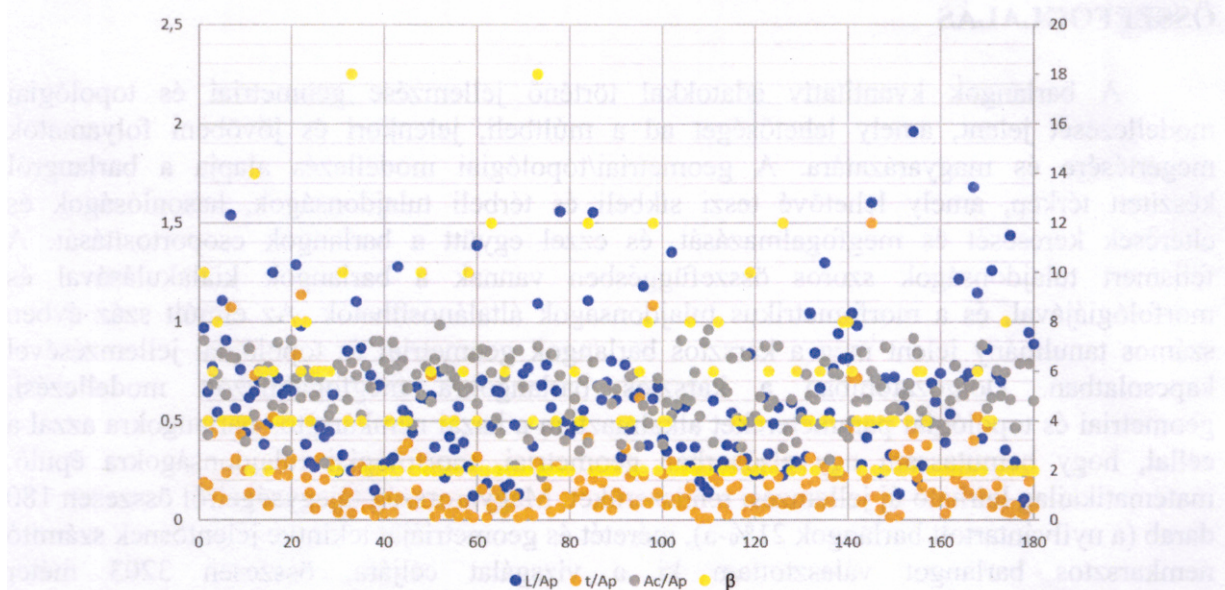
Az ábra adatait szemlélve elmondhatjuk, hogy vizsgálatnál felhasznált barlangok 89%-a (160 darab) csekély élsűrűséggel rendelkezik, így nem összetett és nem hálózatos. Mindösszesen 20 barlang (11%) az, ahol a t/Ap érték magas. A 11. ábra (a kiugróan magas β értékek elhagyásával) a β és t/Ap adatok együttes változását mutatja, és megerősíti a 10. ábra

tartalmát. A nemkarsztos barlangok döntő többségénél az élsűrűség mérőszáma 0.5 vagy az alatti, és a hozzá tartozó β értékek 6-nál kisebbek. A jelentéstartalma ennek az összefüggésnek, hogy a nemkarsztos barlangok többsége nem összetett és bejárása nem igényel különleges technikai tudást. A többi barlang esetében a β mérőszáma 6-nál nagyobb és akár egészen magas számértéket is elérhet és hozzá tartozóan az élsűrűség hányadosa is elérhető az 1-nél nagyobb értéket is. A 10. ábrával összhangban tehát kijelenthetjük, hogy a hazai nemkarsztos barlangok bő 10%-a az, amely kifejezetten hálózatos alaprajzú, összetett szerkezetű és bejárásuk komolyabb felkészültséget, technikai tudást igényel.



11. ábra Az élsűrűség és az összetettség összefüggése

A négy topológiai paramétert (t/Ap , L/Ap , Ac/Ap és β) együttesen mutatja be a 12. ábra (a kiugróan magas β értékek elhagyásával). Az elágazóságot jellemző β paraméter értéke túlnyomó többségben 2 vagy 4, tehát alacsony. Az élsűrűséget (t/Ap), ezzel együtt az összetettséget jellemző értékek a leggyakrabban 0.4-nél kisebbek. A járatsűrűség (L/Ap) és területi kiterjedés (Ac/Ap) mérőszámai nagyon hasonlóak, értékük 0.5 és 0.8 között szóródik a legtöbb esetben. Ezek a paraméterek azt mutatják, hogy a hazai nemkarsztos barlangok kevés kivételtől eltekintve topológiai és geometriai értelemben is egyszerűek.



12. ábra Az elágazóság, a területi kiterjedés, a járatsűrűség és élsűrűség összefüggései

A topológiai és geometriai paraméterek vizsgálata lehetővé teszi a geológiai, morfológiai és kartográfiai adatok ismeretében a barlangképző erőre való következtetést is. Az elemzések végeztével egy táblázatban összefoglaltam a leggyakoribb hazai nemkarsztos barlangi genotípusok topológiai paramétereit (1. táblázat).

1. táblázat A leggyakoribb hazai nemkarsztos barlangi genotípusok topológiai paramétereit

Név	Kataszteri sorszám	i	e	n	t	β	L/Ap	t/Ap	Ac/Ap	Genotípus
Vidróczki-barlang	5230-10	0	2	0	1	2	0.35	0.09	0.73	gázhólyagüreg
Nógrádszakáli 1. sz. fatörzsbarlang	5240-23	0	2	0	1	2	0.65	0.15	0.52	falenyomatüreg
Arany-barlang	VK-nyilv.	0	2	0	1	2	0.16	0.00	0.38	kristálykamra
Szarkádi-üreg	4463-14	0	2	0	1	2	0.08	0.04	0.79	lúgos oldódású üreg
Kámori-rókalyuk-barlang	5210-40	0	2	0	1	2	1.28	0.11	0.79	fumarolabarlang
Gödrösi-explóziós-üreg	4463-5	0	2	0	1	2	0.71	0.11	0.87	gőzrobbanásos üreg
Lépcső-menti-orgonaköz	4450-9	0	3	1	3	4	0.20	0.30	0.42	kimállásos orgonaköz
Zsivány-barlang	4510-2	0	4	2	5	6	0.60	0.21	0.39	gyapjúzsákbarlang
Ülés-pataki-kőkapu	VK-nyilv.	0	2	0	1	2	0.47	0.15	0.71	kőkapu, kőhíd
Tátikai-kőlik	4430-23	0	2	0	1	2	1.43	0.04	0.61	tektonikus hasadékbarmang
Csörgő-lyuk	5230-1	0	50	48	97	98	1.10	0.25	0.73	atektonikus barlang
Vízesési-üreg	VK-nyilv.	0	2	0	1	2	0.76	0.22	0.74	eróziós fülke
Szilvás-kői-barlang	5240-5	1	9	9	18	18	1.09	0.29	0.88	konzekvenciabarlang

ÖSSZEFOGLALÁS

A barlangok kvantitatív adatokkal történő jellemzése geometriai és topológiai modellezését jelent, amely lehetőséget ad a múltbeli, jelenkori és jövőbeni folyamatok megértésére és magyarázatára. A geometriai/topológiai modellezés alapja a barlangról készített térkép, amely lehetővé teszi síkbeli és térbeli tulajdonságok, hasonlóságok és eltérések keresését és megfogalmazását, és ezzel együtt a barlangok csoportosítását. A felismert tulajdonságok szoros összefüggésben vannak a barlangok kialakulásával és morfológiájával, és a morfometrikus tulajdonságok általánosíthatók. Az elmúlt száz évben számos tanulmány jelent meg a karsztos barlangok geometriai és topológiai jellemzésével kapcsolatban. Dolgozatomban a karsztos barlangokra megfogalmazott modellezési, geometriai és topológiai paramétereket alkalmaztam a hazai nemkarsztos barlangokra azzal a céllal, hogy bemutassam egy elsősorban geometriai, morfológiai tulajdonságokra épülő, matematikailag leírható új jellemzési rendszerüket. Magyarország tájegységeiről összesen 180 darab (a nyilvántartott barlangok 21%-a), méretét és geometriáját tekintve jelentősnek számító nemkarsztos barlangot választottam ki a vizsgálat céljára, összesen 3203 méter összhosszúságban. Összesen nyolc topológiai paramétert vontam be a vizsgálatba: belső és

külső csomópontok, szigetek és élek száma, elágazóság, területi kiterjedés, járat- és élsűrűség. A vizsgálatok igazolták, hogy a csomópontok, szigetek és élek darabszámára szükség van a további számításokhoz, de jelentéstartalmuk megegyezik az elágazóság paraméterének jelentéstartalmával, így elegendő ez utóbbit felhasználni a barlangok topológiai elemzéséhez. A járat- és élsűrűség mérőszámai csak az elágazóság mérőszámaival együtt használhatók hasonlóan a területi kiterjedés mérőszámához, mert az egyes nemkarsztos barlangi genotípusok geometriai és topológiai tulajdonságai között a különbségek ellenére sok hasonlóság is van.

Ez utóbbi négy topológiai paramétert együtt vizsgálva elmondhatjuk, hogy a hazai nemkarsztos barlangok többsége nem összetett és bejárása nem igényel különleges felkészültséget. A hazai nemkarsztos barlangok bő 10%-a az, amely kifejezetten hálózatos alaprajzú, összetett szerkezetű és bejárásuk komolyabb felkészültséget, technikai tudást igényel. A topológiai és geometriai paraméterek vizsgálata lehetővé teszi a geológiai, morfológiai és kartográfiai adatok ismeretében a barlangképző erőre való következtetést, és a leggyakoribb hazai nemkarsztos barlangi genotípusokra a tanulmány végén adott mérőszámok segíthetik ebben az eligazodást.

IRODALOMJEGYZÉK

- ALBERT G., VIRAG M., EROSS A., (2015): Karst porosity estimations from archive cave surveys - studies in the Buda Thermal Karst System (Hungary). *Int. J. Speleol.* 44 (2):151–165. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.44.2.5>.
- AUDRA P., PALMER A.N., (2013): The vertical dimension of karst: controls of vertical cave pattern. In: Shroder, J.E.I.C., Frumkin, A.E. (Eds.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, Karst Geomorphology, pp. 186–206
- BERGE C. (1962): *Theory of Graphs and its Applications*, John Wiley, New York, p. 247
- BORGHI A., RENARD P., JENNI S., (2012): A pseudo-genetic stochastic model to generate karstic networks. *J. Hydrol.* 414:516–529. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.032>
- BORGHI A., RENARD P., CORNATON F., (2016). Can one identify karst conduit networks geometry and properties from hydraulic and tracer test data? *Adv. Water Resour.* 90: 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.02.009>.
- COLLON P., BERNASCONI D., VUILLEUMIER C., RENARD P., (2017): Statistical metrics for the characterization of karst network geometry and topology. *Geomorphology* 283:122–142. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.034>
- COLLON-DROUAILLET P., HENRION V., PELLERIN J., (2012): An algorithm for 3D simulation of branchwork karst networks using Horton parameters and A* Application to a synthetic case. *Geol. Soc. Lond., Spec. Publ.* 370 (1):295–306. <https://doi.org/10.1144/SP370.3>
- FORD D.C., WILLIAMS P.W., (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*, London
- FOURNILLON A., ABELARD S., VISEUR S., ARFIB B., BORGOMANO J., (2012): Characterization of karstic networks by automatic extraction of geometrical and topological parameters: comparison between observations and stochastic simulations. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 370:247–264. <https://doi.org/10.1144/SP370.8>.
- FRUMKIN A., FISCHHENDLER I., (2005): Morphometry and distribution of isolated caves as a guide for phreatic and confined paleohydrological conditions. *Geomorphology* 67 (3–4):457–471. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.11.009>.
- GABROVŠEK F., HÄUSELMANN P., AUDRA P., (2014): ‘Looping caves’ versus ‘water table caves’: the role of base-level changes and recharge variations in cave development. *Geomorphology* 204:683–691. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.016>
- HARMAND D., ADAMSON K., RIXHON G., JAILLET S., LOSSON B., DEVOS A., HE, G., CALVET M., AUDRA P., (2017): Relationships between fluvial evolution and karstification related to climatic, tectonic and eustatic forcing in temperate regions. *Quat. Sci. Rev.* <https://doi.org/10.1016/i.quascirev.2017.02.016>.

- HOWARD A.D., KEETCH M.E., VINCENT C.L. (1970): Topological and geometrical properties of braided streams. *Water Resources Research* 6. 1674 – 1688.
- HOWARD A.D., (1971): Quantitative measures of cave patterns. *Caves and karst. Research in speleology* 13 (1), 1–7
- JAQUET O., SIEGEL P., KLUBERTANZ G., BENABDERRHAMANE H., (2004): Stochastic discrete model of karstic networks. *Adv. Water Resour.* 27 (7):751–760. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.03.007>.
- JEANNIN P.Y., GROVE, C., HÄUSELMANN P., (2007): Speleological investigations. In: Goldscheider, N., Drew, D. (Eds.), *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor & Francis, London, pp. 25–44
- JOUVES J. *et al.*, (2017): Speleogenesis, geometry and topology of caves: A quantitative study of 3D karst conduits, *Geomorphology* 298 (2017), DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.09.019, pp. 86–106
- KLIMCHOUK A., (2009): Morphogenesis of hypogenic caves. *Geomorphology* 106 (1–2): 100–117. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.013>
- MARTEL E.A., (1921). *Nouveau traité des eaux souterraines*. Doin, Paris.
- PALMER A.N., (1991): Origin and morphology of limestone caves. *Geol. Soc. Am. Bull.* 103 (1):1–21. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103b0001:OamolcN2.3.Co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103b0001:OamolcN2.3.Co;2).
- PARDO-IGÚZQUIZA E., DURAN-VALSERO J.J., RODRIGUEZ-GALIANO V., (2011): Morphometric analysis of three-dimensional networks of karst conduits. *Geomorphology* 132 (1–2): 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.030>
- PARDO-IGÚZQUIZA E., DOWD P.A., XU C., DURÁN-VALSERO J.J., (2012): Stochastic simulation of karst conduit networks. *Adv. Water Resour.* 35:141–150. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2011.09.014>.
- RENARD P., (2007). Stochastic hydrogeology: what professionals really need? *Ground Water* 45 (5):531–541. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2007.00340.x>
- RENARD P., (2014): How to Quantify the Quality of Karst Network Models? American Geophysical Union, Fall Meeting, p. 06
- RENAULT P., (1970). La formation des cavernes. coll. “Que sais-je ?”, 1400. Armand Colin, Paris
- VISEUR S., JOUVES J., FOURNILLON A., ARFIB B., (2014): 3D stochastic simulation of caves: application to St-Sebastien case study (SE, France). *Karstologia* 64, 17–24.