

Tarsoly Péter

A térinformatikai célú adatgyűjtés minősítése, fejlesztése és módszertani alkalmazása a gyapjúzsákbarlangok kutatásában

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Székesfehérvár

2013

Doktori Iskola megnevezése: Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola

Doktori program megnevezése: K4 Geoinformatika

Tudományos vezető: Dr. Busics György

Képzési forma: levelező

**A TÉRINFORMATIKAI CÉLÚ ADATGYŰJTÉS MINŐSÍTÉSE, FEJLESZTÉSE
ÉS MÓDSZERTANI ALKALMAZÁSA A GYAPJÚZSÁKBARLANGOK
KUTATÁSÁBAN**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

*a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolája
K4 Geoinformatika programja

Írta:
Tarsoly Péter

**Készült a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori
Iskola
K4 Geoinformatika programja keretében
Témavezető: Dr. Busics György

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 88.33 % -ot ért el,

Székesfehérvár,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Székesfehérvár,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDT elnöke

Tartalomjegyzék

KIVONAT.....	3
ABSTRACT.....	4
1. BEVEZETÉS	5
1.1. ELŐZMÉNYEK ÉS MOTIVÁCIÓ	5
1.2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	6
1.3. CÉLKITŰZÉSEK	7
2. GRÁNITBARLANGOK A VELENCEI-HEGYSÉGBEN.....	8
2.1. A VELENCEI-HEGYSÉG FÖLDRAJZI FEKVÉSE ÉS ÉGHAJLATA.....	11
2.2. A GRÁNIT FELSZÍN ALATTI ÉS FELSZÍNI LEPUSZTULÁSA.....	12
2.3. A GYAPJÚZSÁKBARTLANGOK KIALAKULÁSA	14
3. A DGPS-TECHNIKA PONTOSSÁGA ÉS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A BARLANGKATASZTERBEN.....	17
3.1. A MŰHOLDAS HELYMEGHATÁROZÁS PONTOSSÁGÁNAK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT MÉRŐSZÁMOK	18
3.2. A VIZSGÁLATI MÉRÉSEK FOLYAMATÁNAK BEMUTATÁSA.....	21
3.3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ELŐFELDOLGOZÁSA	23
3.4. A DGPS-TECHNIKA PONTOSSÁGÁNAK VIZSGÁLATA CMAS-MÓDSZERREL.....	24
3.5. A MÉRÉSEK ISMÉTLÉSSZÁMÁNAK ÉS A DGPS-TECHNIKA MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK KAPCSOLATA	29
3.6. A DGPS-TECHNIKA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A BARLANGKATASZTERBEN.....	37
3.7. DGPS-TECHNIKA A VELENCEI-HEGYSÉG BARLANGKATASZTERÉBEN	38
3.8. GRÁNITBARLANGOK BARLANGBEJÁRATI HELYSZÍNRAJZAINAK TARTALMI ÉS FORMAI KÖVETELMÉNYEI	40
4. GYAPJÚZSÁKBARTLANGOK MIKROKLIMATOLÓGIAI PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA	46
4.1. BARLANGOK MIKROKLIMATOLÓGIAI RENDSZERÉNEK JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLT MÉRŐSZÁMOK ÉS MODELLEK	46
4.1.1. A légáramlás, a hőmérséklet és a páratartalom szerepe a bartlangok mikroklimatológiai rendszerében.....	47
4.1.2. A klimatikus bartlangtípusok modelljei.....	51
4.2. MIKROKLIMATOLÓGIAI MÉRÉSEK A ZSIVÁNY-BARTLANGBAN	55
4.2.1. A hőmérséklet, szélsébség, légáramlás és légsűrűség méréséhez és számításához használt eszközök és képletek minősítése	56
4.2.2. A klimatológiai mérések gyakorlati végrehajtása.....	61
4.2.3. A mikroklimatológiai mérések eredményeinek kiértékelése.....	63
4.2.4. Szinkron-mérések a Zsivány-bartlangban.....	80
4.2.5. További gyapjúsákbartlangokban végzett szinkron-mérések eredményeinek kiértékelése.....	84
4.2.6. Gyapjúsákbartlangok mikroklimatológiai modellje	87
4.3. A TÉLI ÉS NYÁRI BARLANGKÉP FOGALMA.....	88
5. A BARLANGNEVEK SZABVÁNYOSÍTÁSI IRÁNYELVEINEK ALKALMAZÁSA A VELENCEI-HEGYSÉGBEN.....	93

6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	97
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÉS HASZNOSÍTÁSUK.....	99
8. TOVÁBBI TERVEK	101
9. IRODALOMJEGYZÉK.....	102
10. ÁBRÁK JEGYZÉKE.....	107
11. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	109
12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	111
13. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK	112
14. A CD-MELLÉKLET TARTALOMJEGYZÉKE	117
15. FÜGGELÉK	118
15.1. A BARLANGNÉV, MINT HELYNÉVFAJTA	118
15.2. A HELYNEVEK FELÉPÍTÉSÉNEK NYELVI JELLEGZETESSÉGEI.....	119
15.3. A HELYNEVEK KELETKEZÉSE ÉS HASZNÁLATA.....	120
15.4. IRÁNYELVEK A BARLANGNEVEK STANDARDIZÁLÁSÁHOZ	121
15.5. A BARLANGOK ÉS A GYAKORIBB FELSZÍNI KARSZTFORMÁK MEGJELÖLÉSÉRE SZOLGÁLÓ KÖZNEVEK	123

Kivonat

Kutatásomban megvizsgáltam az *EGNOS*-korrekciók segítségével megvalósítható *DGPS*-technika alkalmazásának lehetőségeit a barlangkataszterben. A *CMAS*-módszer segítségével minősítettem a helymeghatározás pontosságát, továbbá négy különböző függvény segítségével modelleztem a különböző mérési ismétlésszámok és a megbízhatóság közötti kapcsolatot. A *GPS*-mérések eredményeit a Velencei-hegységben teszteltem, bemérve és térképezve valamennyi gránit- és andezitbarlangot. Mindemellett elvégeztem a Velencei-hegységben található gyapjúzsákbarlangok és gránit-álbarlangok részletes leírását, barlanggenetikai és nemkarsztos genotípus szempontú elemzését. A gránitbarlangok mikrokörnyezetének térképezéséhez megalkottam egy olyan fekete-fehér jelkulcskészletet, amely elősegíti – a koordináták mellett – a terepi navigációt. Két éven keresztül végzett mikroklimatológiai kutatás segítségével vizsgáltam a Zsivány-barlang és további hat gyapjúzsákbarlang légköri állapotváltozásait; az elvégzett mérések segítségével felállítottam a gyapjúzsákbarlangok mikroklimatológiai modelljét. Kutatásomban foglalkoztam a barlangnevekkel, mint helynévfajtákkal, megvizsgáltam szabványosításuk lehetőségeit, továbbá megadtam a leggyakrabban használt barlangi köznevek definícióját, s a kutatási eredményeket a Velencei-hegységben újonnan felfedezett barlangok mintapéldáján keresztül minősítettem.

Abstract

In the frame of this research the applicability of the differential *GPS* (*DGPS*) technology supplemented by *EGNOS* corrections for cave cadastre has been investigated. The accuracy of the positioning has been determined by *CMAS*-standards. The effect of the number of observations on the accuracy has been simulated by four basic functions (a linear function, an exponential, the cubic *Spline* and a power series). Results of the *GPS* observations were judged by surveying and mapping all granite and andesite caves in the Velence mountains. Furthermore, in the region a detailed description, analysis of genetic type and non-karstic genotype properties of the granite woolsack and talus (boulder) caves have been performed. In order to map the micro-environment of granite caves a black and white symbol-list (which contains 56 symbols) has been created, which can serve as a support for navigation. Microclimatological and bioclimatological model of the woolsack caves have been developed based on two years of microclimatological observations providing a survey of the atmospheric conditions, performed in 7 caves (including the Zsivány cave). Also, the possibility of standardization of cave names was investigated, corollary of that, the most commonly used cave names were defined considering philological and geomorphological aspects. The results and basics of standardization were tested and qualified on the cave names of the Velence mountain.

1. Bevezetés

*„A kis barlangok a nagy dolgok hordozói.”
(Halász Árpád (1921 – 1985), geológus)*

Magyarországon is, mint a Földön általában, a járható méretű, természetes eredetű üregek nagyobb része karsztos jellegű. A nemkarsztosodó kőzetek üregei kisebb számúak és kisebb méretűek (többségük 1-5 méter közötti), kutatásuknak azonban jelentőséget ad genetikai és morfológiai sokféleségük. Az utóbbi években felerősödött általános természetvédelmi és környezetvédelmi irányelvek szemléletének megfelelően különösen fontossá válik a nemkarsztos barlangjaink védelme és kutatása, hiszen sok közülük Európában is egyedülálló értéket képvisel.

1.1. Előzmények és motiváció

Közel 65 évvel ezelőtt kezdte meg Jantsky Béla geológiai célú kutatásait a Velencei-hegységben, s kezdeményezte a Pákozd északi határában húzódó, Magyarországon egyedülálló földtani értékeket rejtő terület védelmét. Közel 20 éve, hogy Eszterhás István feltérképezte, leírta és részletesen dokumentálta a Velencei-hegység barlangjait. Az említett két szerző munkájának ismeretében még 1999-ben, főiskolás koromban ismerkedtem meg a Velencei-hegységgel, és köteleztem el magam a hegység földtani és barlangtani értékeinek védelme, térképezése, megismerése és megismertetése iránt. A főiskolai szakdolgozat (2002), a kari és országos TDK-dolgozat (2001/2003), a szakmérnöki dolgozat (2007) és az MSc dolgozat (2008) olyan lépcsőfokokat jelentettek, amelyek témaválasztásuknál fogva (GPS és barlangok) fokozatosan vezettek el a doktori kutatási téma kialakulásához. 2010-ben aktívan bekapcsolódtam a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának munkájába, és 2010 és 2012 között 16 addig nem ismert gyapjúsáksbarlangot, gránit-álbarlangot, andezit-barlangot és andezit-álbarlangot tártam fel a Velencei-hegységben. Kutatásaimmal kezdetét vette a Velencei-hegység barlangjainak összetett szemléletű vizsgálata. A legalapvetőbb dokumentációs anyagot jelentő bejáratok koordináták, térképek és fényképek mellett elsődlegesen a barlangok és környezetük mikroklimatológiai paramétereinek vizsgálata kapott hangsúlyos szerepet, mert ezzel a témával korábban még senki nem foglalkozott. Az általam 2012-ben az NymE-GEO-n alapított Jantsky Béla Barlangtérképészeti és Barlangvédelmi Szakkör segítségével – a hallgatók barlangtérképészetben való jártasság-szerzésén kívül – elkezdődött a hegység barlangtani értékeinek részletes dokumentálása a mai korra jellemző adatgyűjtési módszerek és eljárások segítségével, azzal a céllal, hogy idővel olyan barlangtani adatbázist állítsunk össze a Velencei-hegység barlangjairól, amely a későbbiek folyamán a hasonló témával foglalkozók számára mintaként és alapadatbázisként szolgálhat.

1.2. Anyag és módszer

A magyarországi barlangkataszteri felmérés utófeldolgozós GNSS-technológiát alkalmaz, amely pontosság és megbízhatóság tekintetében is megfelelő adatokat szolgáltat. Figyelembe véve azonban az utófeldolgozás műszer-, időráfordítás-, gazdaságosság- és szoftverigényét, felmerül a valós idejű GNSS-technológiák alkalmazásának lehetősége.

A 2010 és 2012 között a Velencei-hegységben általam feltárt barlangok és barlangszerű objektumok bejáratának helymeghatározásához a DGPS-EGNOS-technikát használtam. Az DGPS-EGNOS-technika csak abban az esetben alkalmazható, amennyiben alacsony magassági szög alatt szabad kilátással rendelkezünk az égboltra déli irányban. A barlang bejáratok méréséhez hasonló felmérési körülményeket (körpanorámás álláspont, esetleg magassági külponttal) az NymE-GEO tetőpillérén végzett mérésekkel modelleztem. A méréseket egy év időtávlatában végeztem 54 alkalommal (2009 és 2010 szeptembere között), különböző napszakokban és évszakokban (így téve véletlenszerűvé a troposzféra, ionoszféra és a műholdkonstelláció hatását), különböző kitakarási szögek alkalmazása mellett, különböző mérési/átlagolási számok alkalmazásával abszolút helymeghatározás és DGPS-EGNOS-mérések esetére is. A módszer barlangkataszterbeli alkalmazásának lehetőségét kutatva elvégeztem a pontosság vizsgálatát a CMAS (*Circular Map Accuracy Standard*) módszer alkalmazásával. A koordináta-meghatározáshoz felhasznált és közepelt mérések darabszáma, valamint a megbízhatóság közötti kapcsolatot több lehetséges függvény segítségével modelleztem, és kiválasztottam azt a közelítést, amely a gyakorlati szempontok alapján a legmegfelelebbnek tekinthető a megbízhatóság becslése során.

A barlangok – különösen a kisbarlangok – bejáratai fedett terepen nehezen lelhetők fel, a kutatók számára indokolt lehet, olyan barlangbejárat helyszínrajzok készítése, amelyek kellően részletesen mutatják a barlang bejáratának közvetlen környezetét, különös tekintettel a jellegzetes terepi objektumokra. Kutatásomban megvizsgáltam a DGPS-EGNOS-technika alkalmazásának lehetőségeit a gránitba mélyülő barlang bejáratok mikrokörnyezetének térképezéséhez. Az ábrázoláshoz kidolgoztam egy a gránitba mélyülő barlangokhoz tartozó barlangbejárat helyszínrajzot tartalmi és formai követelményeivel, továbbá a fekete-fehér ábrázoláshoz szükséges jelkulcsrendszert, amelyet a Velencei-hegység gyapjúzsákbarlangjai bejárat környezeten teszteltem.

Kutatásaim előtt senki nem végzett még mikroklimatológiai méréseket gyapjúzsákbarlangokban. A méréshez egyszerű eszközöket használtam (szabatos hőmérő, fatokos hőmérő, mini meteorológiai állomás), amelyeket a terepmunka előtt a hibaelmélet és a kiegyenlítő számítások segítségével minősítettem. 2010 és 2012 decembere között átlagosan kéthetente, összesen 54 alkalommal végeztem klimatológiai méréseket a

Zsivány-barlangban, továbbá 2011 és 2012 decembere között összesen 16 alkalommal szinkron-méréseket ugyanebben a barlangban. 2012 júniusa és szeptembere között összesen 11 alkalommal végeztem klímaméréseket további hat gyapjúsákban, hogy a Zsivány-barlang példájára felállított mikro- és bioklimatológiai modellt teszteljem és általánosítsam valamennyi gyapjúsákbarlang esetére. A barlangi klíma elemei – légáramlat, hőmérséklet és páratartalom – térképi megjelenítésére és elemzésére megfogalmaztam a téli és nyári barlangkép fogalmát, amely lehetővé teszi a gyapjúsákbarlangok klímaparamétereinek könnyen érthető vizuális áttekintését és elemzését.

A Velencei-hegységben feltárt barlangok és barlangszerű objektumok elnevezése során felmerült problémák vezettek a barlangnevek szabványosítási témakörének vizsgálatához. Összegyűjtöttem és elemeztem a barlangi névadásban leggyakrabban előforduló barlangi közneveket, és definiáltam őket, mint helynévfajtákat nyelvészeti és morfológiai szempontokat is figyelembe véve.

1.3. Célkritikák

Az elmúlt néhány évben megindult társadalmi átalakulási folyamatok, a sokszor indokolatlan természet-rombolás miatt egyre fontosabbá válik az élő és élettelen természeti környezet együttes védelme. A dolgozatom általános célja, hogy felhívja a figyelmet a Velencei-hegység földtani és barlangtani értékeire, azok védelmére, s hogy hozzájáruljon a ritka nemkarsztos barlangi genotípust képviselő gyapjúsákbarlangok minél teljesebb megismeréséhez.

A dolgozat céljait részletesen az alábbiakban lehet megfogalmazni:

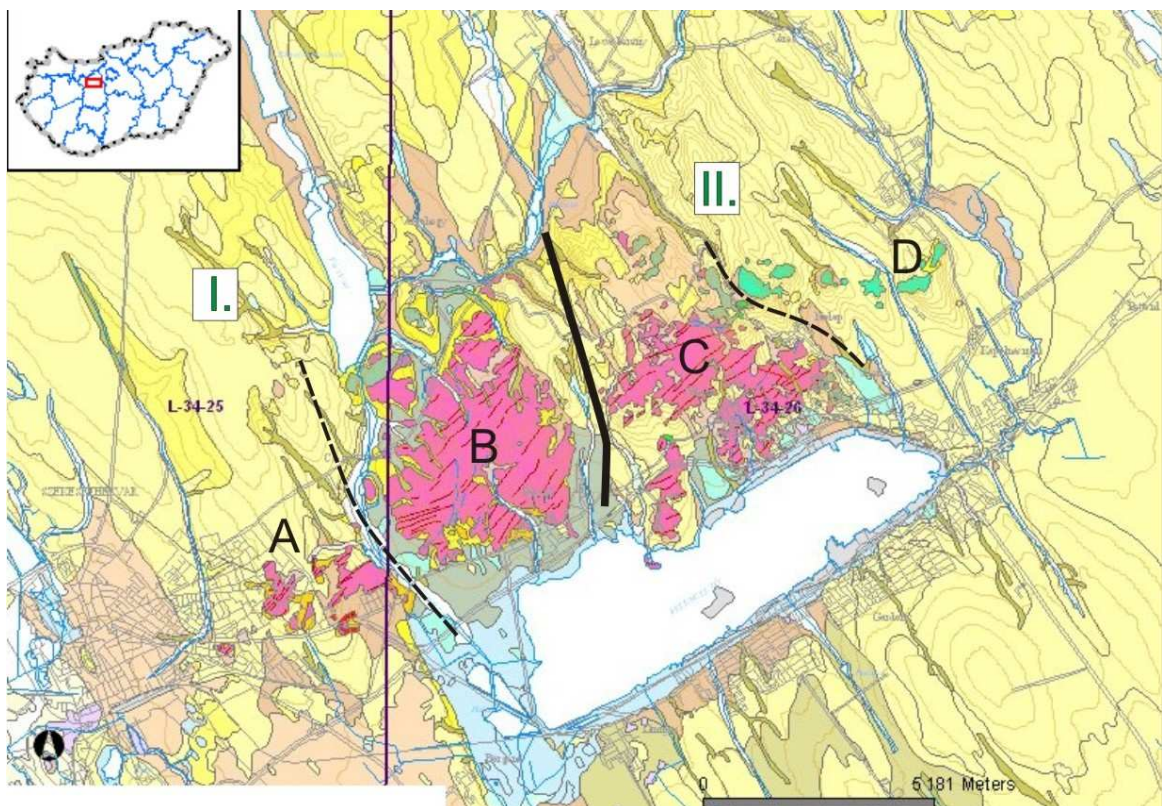
- a Velencei-hegység barlangtani értékeinek vizsgálata,
- az *EGNOS*-korrekciókkal megvalósítható *DGPS*-technika pontosságának és megbízhatóságának elemzése,
- az *EGNOS*-korrekciókkal megvalósítható *DGPS*-technika alkalmazási feltételeinek összefoglalása és minősítése a barlangkataszter, a térképezés és a helyszínrajzok készítése szempontjából,
- gyapjúsákbarlangok részletes mikroklimatológiai megfigyelésén keresztül a gyapjúsákbarlangokat jellemző általános mikroklimatológiai és bioklimatológiai modell felállítása,
- a barlangnevek szabványosítása és helynévi sajátosságjelölő funkcióik elemzése során szerzett tapasztalatok felhasználása a Velencei-hegység újonnan feltárt barlangjainak névadásában.

2. Gránitbarlangok a Velencei-hegységben¹

„...Amit általában ismerünk, csak azért, mert ismerjük, még nem megismert valami...”

(Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770 – 1831), *A szellem fenomenológiája*)

A Dunántúl középső részén, a Velencei-tó szomszédságában van Magyarország legkisebb, és egyik legidősebb középhegysége, a Velencei-hegység. Területe ~40 km², Székesfehérvár Öreghegyétől egészen Pázmándig nyúlik el ÉK-DNY-i csapásirányban. Domborzat szerinti felosztásban két fő része van: a nyugat-velencei és a kelet-velencei terület (ÁDÁM, 1993, HORVÁTH, 2004). A nyugat-velencei terület székesfehérvári és nyugat-velencei egységre tagolható; a kelet-velencei terület pedig a kelet-velencei egységre és a Nadap-pázmándi hegysorra (2.1. ábra).



2.1. ábra. A Velencei-hegység felosztása domborzat szerint

I: nyugat-velencei terület, A=székesfehérvári egység, B=nyugat-velencei egység

II: kelet-velencei terület, C= kelet-velencei egység, D= Nadap-pázmándi hegység

A térképen a rózsaszín szín a Velencei Gránit Formációt jelenti, azaz azt a területet, ahol a gyapjúsákbarlangok előfordulnak (Forrás: www.mafi.hu)

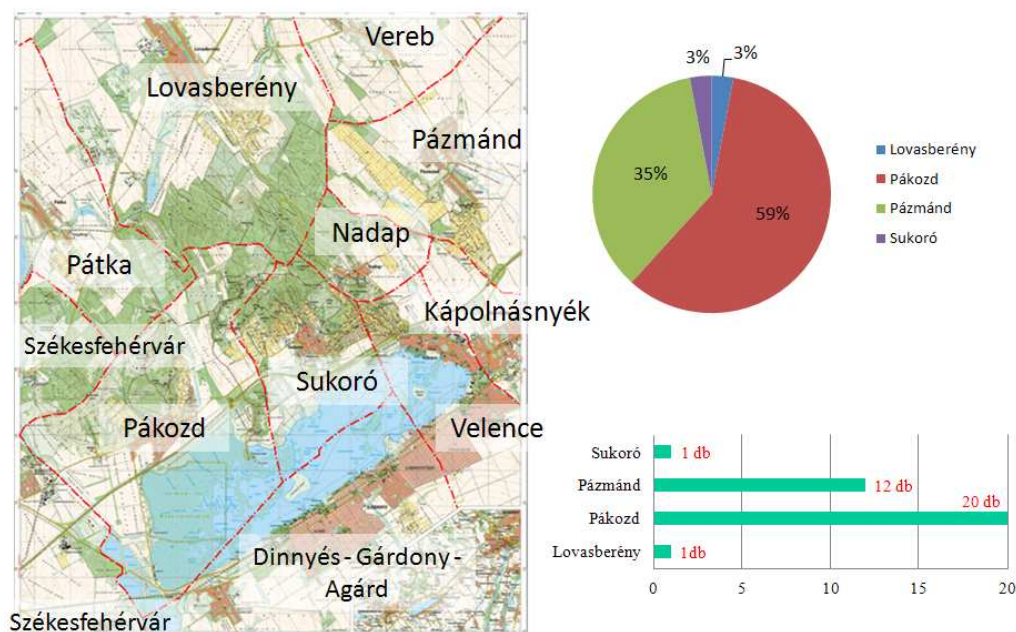
Felépítését tekintve a székesfehérvári egység, a nyugat- és kelet-velencei egység középső és déli részein meghatározóak a felső-karbon gránitváltozatok (biotitgránit, gránitporfir, mikrogránit stb.), a metamorfizálódott gránit és kvarcit (JANTSKY, 1953, 1957, 1960; JUHÁSZ, 1987; ÁDÁM, 1993, HORVÁTH, 2004). A Nadap-pázmándi hegység kvarcitból és metamorfizálódott andezitből építkezik (JANTSKY, 1953, 1957,

¹ szakirodalmi összefoglaló fejezet

1960; ÁDÁM, 1993; HORVÁTH, 2004). Ez a legkeletibb vonulat sokkal fiatalabb, a felső-eocénben kezdődő erőteljes andezit-vulkánosság egyik első és azóta erősen lepusztult képviselője. Kiemelt jelentőségűek még a gránitnál is idősebb, devon és szilur időszerű agyagpalák, melyek csak foltokban maradtak meg a hegység északi oldalán, így Pátka közelében a Varga-hegyen és a Kőrakásnál, a Lovasberény felé néző Vaskapu-hegyen, az Antónia-hegyet átszelő Lovasberény-Nadap közti út nyergén és a velencei Bence-hegy tetején (JANTSKY, 1953, 1957, 1960, JUHÁSZ, 1987).

A gyapjúsákbarlangok előfordulási területén meghatározó a földtörténeti ókorban, a karbon idősorokban keletkezett gránit. A gránit mintegy 300 millió éve tartó lepusztulása sajátos felszíni formákat hozott létre. A változó vastagságú málladéktakaróból kisebb-nagyobb csoportokat alkotó gránithátak, kőhalmok látszódnak ki. A kőhalmok lekerekített éllel és formákkal rendelkeznek, gyapjúsákot és ingóköveket alkotnak. Az egymással érintkező kőtömbök között járható üregeket is lehet találni, ezeket nevezik gyapjúsákbarlangoknak.

A hegységben összesen 32 barlang ismert (2.2., 2.3., 2.4. ábra), továbbá egy mesterségesen löszbe mélyített, barlangnak tartott üreg és egy andezitben lévő vaktáró. (2.1. táblázat). A 32 barlang közül 17 tekinthető gránitporfírban lévő gyapjúsákbarlangnak és három gránit álbarlangnak (2.5. és 2.6. ábra). Pázmánd határában 11 kovásodott andezit agglomerátum barlang ismert, a sukorói Meleg-hegyen pedig egy kvarcit barlang.



2.2. ábra. A Velencei-hegység barlangjainak megoszlása közigazgatási egységek szerint (2012. december)

Eszterhás István 1994-ben 8 gyapjúsákbarlangot írt le a pákozdi Pogány-kőn és környékén, 2010 áprilisában pedig egy gránit álbarlangot a pákozdi Polák-hegyen. 2010-2012-ben a Velencei-hegységben végzett barlangkutatásaim során 16 további barlangot

fedeztem fel (2.3. ábra); 9 gyapjúsákbarlangot (Pákozdon), 2 gránit álbarlangot (Pákozdon és Sukorón); 1 tektonikus eredetű andezit-barlangot és 4 andezit-agglomerátum álbarlangot (Pázmándon).



2.3. ábra. A Velencei-hegységben 2010 és 2012 között újonnan feltárt barlangok és barlangszerű objektumok (A térkép forrása: <http://lazarus.elte.hu/hun/maps/velenceh/velind.htm>)

2.1. táblázat. A Velencei-hegység barlangjai (Forrás: Országos Barlangnyilvántartás, Vulkánszpeleológiai Kollektíva)

Név	Kőzet	Fekvés	Felfedező és/vagy térképező személy	Év	Kataszteri sorszám	B/BO/M ¹
Hasadék-barlang	andezit	Pázmánd	Eszterhás István	1994	4510-1	B
Zsivány-barlang	gránitporfír	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-2	B
Pirofillit bánya barlangja	andezit	Pázmánd	Gazda Attila, Eszterhás István, Tarsoly Péter	2003/2011	4510-3	B
Báracházi-barlang	lössz	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-501	M
Endrina-barlang	andezit	Pázmánd	Eszterhás István	1994	4510-502	BO
Gömb-kő-barlangja	gránitporfír	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-503	BO
Háromszájú-barlang	gránitporfír	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-504	BO
Iker-kő-barlangja	gránitporfír	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-505	BO
Kis-barlang	gránitporfír	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-507 ²	BO
Lapos-barlang	andezit	Pázmánd	Eszterhás István	1994	4510-508	BO
Likas-kő	kvarc	Lovasberény	Eszterhás István	1994	4510-509	BO
Maleza-barlang	andezit	Pázmánd	Eszterhás István	1994	4510-510	BO
Oroszlán-kő-barlangja	gránitporfír	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-511	BO
Osztott-barlang	gránitporfír	Pákozsd	Eszterhás István	1994	4510-512	BO
Pilléres-barlang	andezit	Pázmánd	Eszterhás István	1994	4510-513	BO

¹ B= barlang, BO=barlangszerű objektum, M=mesterséges üreg

² 4510/506-os számon az egyik nagyméretű ingókö van nyilvántartásba véve barlangszerű objektumként.

Szedres-barlang	andezit	Pázmánd	Eszterhás István	1994	4510-514	BO
Teraszos-barlang	gránitporfír	Pákoz	Eszterhás István	1994	4510-515	BO
Gomba-kő-barlangja	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2010	4510-516	BO
Kökényes-barlang	andezit	Pázmánd	Tarsoly Péter	2010	4510-517	BO
Borjú-völgyi-álbarlang	gránitporfír	Sukoró	Tarsoly Péter	2010	4510-518	BO
Rejte	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2010	4510-519	BO
Róka-lyuk-barlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2010	4510-520	BO
Búdosó-barlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2010	4510-521	BO
Pókhálós-barlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2010	4510-522	BO
Szúnyogos-barlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2010	4510-523	BO
Mohás-barlang	gránitporfír	Pákoz	Eszterhás István	2010	4510-524	BO
Polák-hegyi-álbarlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2011	4510-525	BO
Kuszoda-álbarlang	andezit	Pázmánd	Tarsoly Péter	2011	4510-526	BO
Pázmándi-szikkakapu	andezit	Pázmánd	Tarsoly Péter	2011	4510-527	BO
Páfrányos-barlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2012	4510-528	BO
Kőróza-álbarlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2012	4510-529	BO
Csúzi-álbarlang	andezit	Pázmánd	Tarsoly Péter	2012	4510-530	BO
Gyümölcsöző-álbarlang	andezit	Pázmánd	Tarsoly Péter	2012	4510-531	BO
Cserkupacsos-barlang	gránitporfír	Pákoz	Tarsoly Péter	2012	4510-532 v. 4510-4	B

2.1. A Velencei-hegység földrajzi fekvése és éghajlata

A Velencei-hegység földrajzi fekvésének és éghajlatának vázlatos bemutatása azért szükséges, mert akár a barlangbejáratok felmérési körülményei és a barlangbejárat helyszínrajzok tartalma, akár a barlangok és bejárat környezetük mikroklimatológiai paraméterei, összefüggésben vannak a fent említett tényezőkkel illetve azok hatásával.

A Velencei-hegység a Dunántúl északkeleti részén, a Velencei-tótól északra helyezkedik el. A velencei táj (Velencei-tó és Velencei-hegység környéke) 500 km², az ország területének alig 0.5%-a. Földrajzilag nyugatról a Móri-árok és a Sárrét, északról a Zámolyi-medence, keletről a Váli-völgy, délkeletről a Velencei-tó és a Mezőföld határolja.

Államigazgatásilag Fejér-megyének a közepén fekszik. A Velencei-tó északi partján Pákoz, Sukoró, Nadap, Velence; déli partján Gárdony, Agárd, Dinnyés,

Zichyújfalu, Kápolnásnyék települések területén el. A hegység területéhez tartoznak még Pázmánd, Vereb, Lovasberény és Pátka községek. A tótól 10 kilométerre, a hegység nyugati lábánál fekszik Székesfehérvár.

A Velencei-hegység éghajlata – a Dunántúl többi hegységéhez hasonlóan – csapadékosabb, hűvösebb és kiegyensúlyozottabb hőmérsékletű, mint a környező alacsonyabb tengerszint feletti magasságú térszíneké. A hegység déli lejtőire merőlegesen érkeznek a napsugarak, a Velencei-tó vízfelülete is ezekre veri vissza a napsugarakat, így ezeken a lejtőkön nyáron 2.0-2.5, télen, ősszel és tavasszal pedig 0.5-1.5 °C-kal lehet melegebb, mint az északi lejtőkön. A nappal erősebben besugárzott talaj és kőzet a felvett meleget este adja le, amely a déli lejtőkön helyi klímát, mikroklímát alakított ki. A havi és évi középhőmérséklet (2.2. táblázat) alakulása a következő:

2. 2. táblázat. A Velencei-hegység havi és évi középhőmérsékleti viszonyai (Forrás: HOLÉNYI, 1969)

Hegység (150-200 m) évi 10.5°C											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-1.5	0.2	5.2	10.0	15.7	19.0	21.1	20.3	15.8	10.5	4.5	0.4
Hegység (250-300 m) évi 9.9°C											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-1.7	-0.4	4.6	8.9	14.6	17.8	19.9	19.5	15.0	9.9	3.6	0.1

Legmagasabb a hőmérséklet júliusban 30-38 fokos maximumokkal, a lehűlés pedig januárban a legerősebb -20-25 fokos minimumokkal. A hőmérsékleti viszonyok alakulásában nagy szerepe van a szélnek. A 2.3. táblázat a szélirányok gyakoriságát foglalja össze %-os megoszlásban éves mutatóban, a legmelegebb (július) és leghidegebb (január) hónapban.

2.3. táblázat. A szélirányok gyakoriságának %-os megoszlása, (Forrás: HOLÉNYI, 1969)

	É	ÉK	K	DK	D	DNY	NY	ÉNY	Szélcs.
Egész év	10	8	10	7	5	7	9	21	23
Január	10	9	14	7	4	6	6	20	24
Július	11	5	4	4	5	7	14	27	23

A hegység déli lejtőin Pákozdtól Velencéig az évi csapadékmennyiség megközelítőleg 600 mm, míg az északi lejtőkön Pátka, Nadap és Lovasberény vonalában meghaladja a 600 mm-t. Ennek oka, hogy a hegység útjában áll az északnyugat felől érkező párás légtömegeknek, azok felemelkednek, lehűlnek, vízgőzzel telítette válnak és még a hegységen való áthaladás előtt kiadják magukból a csapadékot.

2.2. A gránit felszín alatti és felszíni lepusztulása

A Velencei-hegység gránitja a paleozoikum karbon időszakában keletkezett mintegy 300 millió évvel ezelőtt, kihűlése akár 10 millió évig is eltarthatott (JANTSKY, 1953; ÁDÁM, 1993; HORVÁTH, 2004). Az izzón folyó gránitmagma a föld mélyéből felnyomult a földkéreg rétegei közé, a felette lévő üledékes kőzeteket boltozatszerűen felemelte, majd hatalmas gránitbatolit (plutón) formájában lassan kihűlve megmerevedett a nagy mélységben.

Az izzó gránitmagmából a nagy mélységben történő lassú kihűlés miatt biotitgránit képződött, amelynek fő alkotórészei a rózsaszínű ortoklász földpát, a fehér oligoklász földpát, a barnásfekete biotitcsillám és a színtelen kvarc (VENDL, 1911, 1912, 1914; JANTSKY, 1953, 1957, 1960; ÁDÁM, 1993; HORVÁTH, 2004). Az üledékes kőzetekkel érintkező felületen a magma gyorsabban hűlt ki, emiatt a kőzet egyenetlen, porfíros szerkezetűvé és a nagyobb biotittartalom miatt sötétebbé vált (JANTSKY, 1953, 1957, 1960). Jellemzően a gránitporfírban is találhatunk nagyobbra nőtt (3-5mm) ortoklász földpátokat és kvarczárványokat, azonban ezek kialakulása még a repedésekbe való felnyomulás előtt megkezdődött (VENDL, 1911, 1912, 1914; JANTSKY, 1953, 1957, 1960). Az izzó gránitmagmával érintkező üledékes kőzetek a hő hatására átkristályosodtak, az agyagos kőzetekből réteges, szürkésbarna színű, vasas foltokkal telehintett pala lett (VENDL, 1911, 1912, 1914; JANTSKY, 1953, 1957, 1960; JUHÁSZ, 1987; ÁDÁM, 1993; HORVÁTH, 2004). A gránit tömegét oldalt és felül körülvevő üledékes kőzetet az idők folyamán a külső erők lepusztították, csak egyes foszlányok maradtak meg belőlük.

A jelenlegi gránitfelszín alakulása még fedett állapotában megkezdődött. A gránittömb a lehűlés és a tektonikai mozgások hatására, ásványszerkezetéből adódóan a tér mindhárom irányába sűrűn töredezetté, repedezetté vált. A repedésekbe alulról, a magmakamra felől, és felülről, a felszín felől is mélyen behatolt a víz, illetve a vizes oldatok. Az alulról behatoló víz hidrotermális hatása berezitesedést okozott, azonban a felszín alakulásában sokkal fontosabb szerep jutott a repedésekbe felülről behatoló csapadékvíznek (ÁDÁM, 1993). A talajon és a fedőkőzeten át beszivárgó csapadékvíz a repedések felületén hidrolízisesen mállasztotta a gránit földpátjait és csillámjait. A víz hidrogénionjai többlépcsős reakcióban helyettesítették az ásványok káliumionjait. A keletkezett finom mállási maradékok (agyagásványok, hidroxidok és kolloidsavak) a szivárgó vízzel távoztak. A kvarcsemcsék és a gránit kevésbé oldható összetevői felhalmozódtak. A málladéktakaró felhalmozódása a miocén korban volt a legnagyobb, helyenként eléri a 10-30 méteres vastagságot (ÁDÁM, 1993). A szerkezeti törések mentén a mállás következtében egyre nagyobb repedések alakultak ki. A gránittömbök lapjait a mállasztó hatás egy irányból érte, míg a csúcsokat három irányból érte támadás, ezáltal lassan kikerekedtek a tömbök. A biotitgránit elbomlása mélyebb volt, mint az ettől eltérő összetételű telérek kőzeteké (JANTSKY, 1953, 1957, 1960; ÁDÁM, 1993; ESZTERHÁS, 1994, 2006). A szelektív mállás eredményeként szabálytalan mélységű és formájú málladéktakaró, szapolit alakult ki. A jégkorszakban kezdődött jelentős kiemelkedés következtében (ÁDÁM, 1993) a lepusztuló málladéktakaró alól kibukkantak a kiterjedt repedéshálózattal rendelkező kötömbök.

A Velencei-hegység jellegzetes felszínformái a kisebb-nagyobb csoportokat alkotó kötömbök: a gypajúzsákok és ingókövek. Ezek a málladéktakaró részbeni lepusztulása után a gránitporfír és kvarctelérek felszínre került részéből alakultak ki. A telérek

kőzetanyaga a felszín alatti mállásnak jobban ellenállt (ÁDÁM, 1993), így a törmeléktakaró alsó határa is egyenetlenné vált. A jégkorszaktól napjainkig tartó kőzetkitakarózás során először ezek a kipreparálódott telérek kerültek felszínre (JANTSKY, 1953, 1957, 1960; ÁDÁM, 1993; ESZTERHÁS, 1994, 2006; HORVÁTH, 2004). Az egymás melletti tömbök közül és a kőzetfelszín repedéseiből a mállási törmelék az idők folyamán kitakarítódott. A tömbök felszíne a hőmérsékletingadozás miatt továbbbokoza aprózódott. Az aprózódás a kőtömbök felszínéről vékony rétegeket, lemezeket pattintott le, a résekben pedig fagyrepedést okozott. Az ilyen módon keletkezett kőzetsebekben a földpátok és csillámok ismét a felszínre kerültek, és így a hidrolízises mállás ismét megindulhatott. A felszíni aprózódás és mállás ilyen módon tovább gömbölyítette a kőtömböket. A tömbök és a törmelékfelszín érintkezésénél az erőteljesebb mállás alávájtásokat, lábazati mélyedéseket okozott.

A felszín alatt (kriptogenetikusan) preparálódott, majd felszínre került kőtömbök jelentős része gyapjúsákká vagy ingókövé alakult. A gyapjúsákok egyedül, vagy csoportosan álló, nagyméretű, többnyire mállással kialakult kerekded kőtömbök. Az ingókövek olyan kerekded vagy szögletes kőtömbök, amelyek környezetük lepusztulása után maradtak vissza és csak kis területen vannak alátámasztva. A Velencei-hegység gyapjúsákjain és ingókövein néhány esetben lefelé futó barázdákat (rilleket), és sekély tálszerű mélyedéseket (madáritatókat, gnammákat) lehet megfigyelni. Ezek kialakulása a lúgos oldódáshoz, felszín alatti és felszíni málláshoz köthető (ESZTERHÁS, 2006). A hegységben megközelítőleg 400 darab (ÁDÁM, 1993) gyapjúsák és ingókő található a teléreken sűrűn átjárt helyeken (Tompos-hegy, Sár-hegy, Sor-hegy, Pogány-kő stb.). A legszebb kőzetformációknak saját nevük is van: Oroszlán-kő, Kocka-kő, Iker-kő, Pandúr-kő, Likas-kő.

2.3. A gyapjúsákbarlangok kialakulása

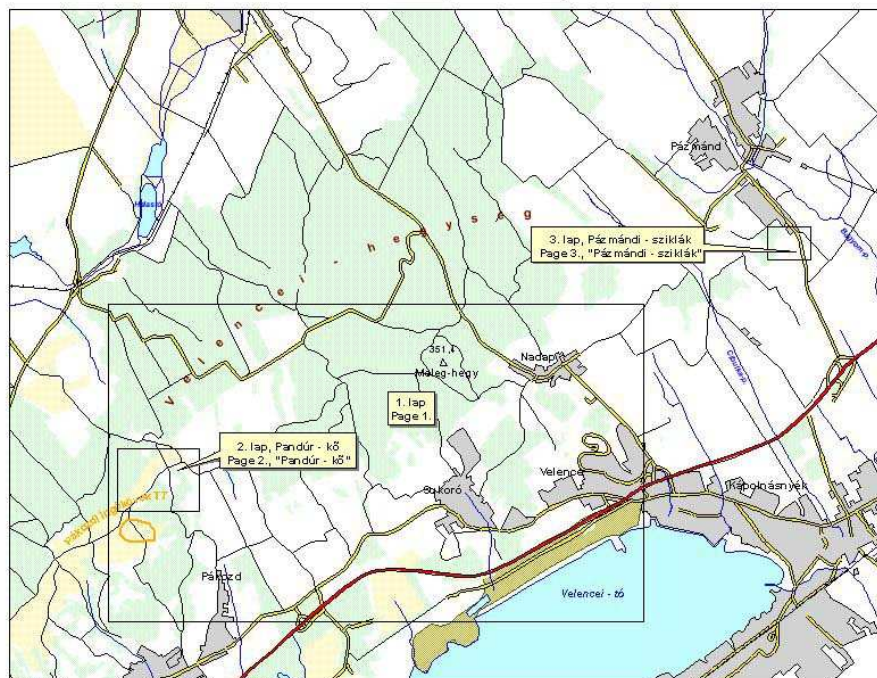
A hegység gránitmódosulatai közül barlangokat csak a gránitporfírban ismerünk, ezek mindegyike gyapjúsákbarlang vagy álbarlang. A gyapjúsákbarlangok a gránitbarlangok genotípusai közül a mállással keletkezett barlangok közé tartoznak, bár kialakulásukban kis mértékben az aprózódás is részt vett.

A gyapjúsákbarlangok keletkezése két egymást követő fázisban történik (ESZTERHÁS, 1994, 2006): a kriptogenetikus és a fanerogenetikus fázisban.

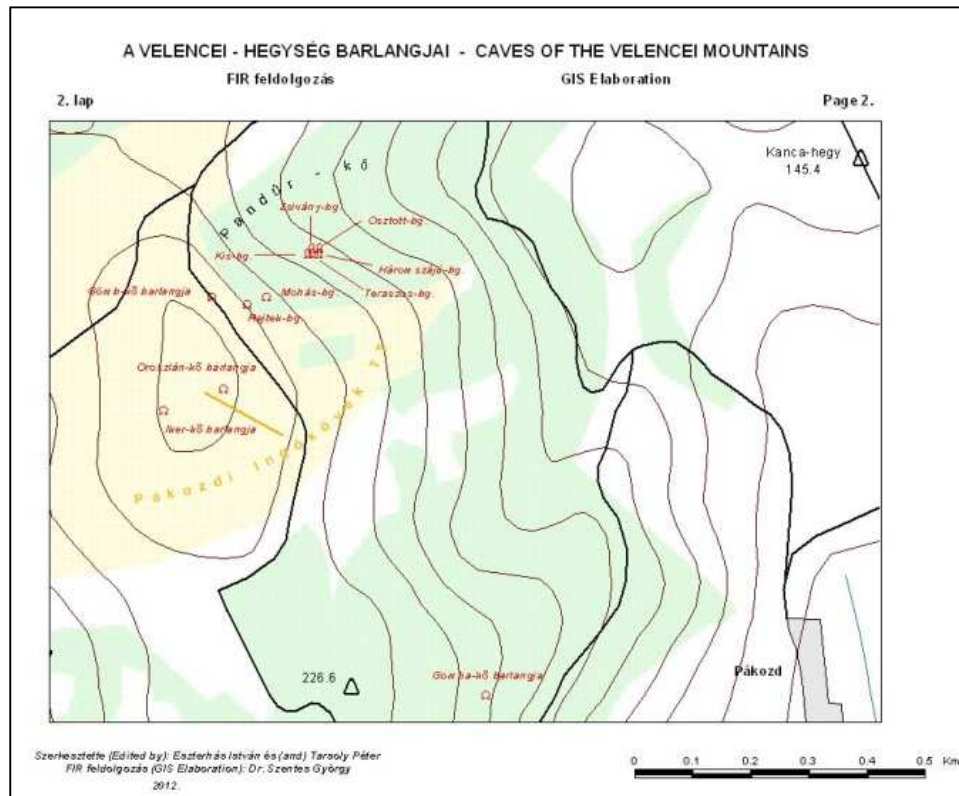
A kriptogenetikus vagy rejtett fázisban lényegében a gránit felszín alatti hidrolízises mállása megy végbe (ÁDÁM, 1993). A mállás első fázisában annak mértéke felülmúlja a keletkező málladékok elszállításának mértékét, így a szapolit felszaporodik. A repedések egyre szélesebbé válnak, a gránit közeit a mállásnak ellenálló kvarcsemcsék és a mállási maradék (agyagásványok, hidroxidok, kolloidális kovasav) laza tömege tölti ki; a kőtömbök felett akár 30 méter vastag málladékréteg is felhalmozódhat.

A fanerogenetikus vagy látható fázisban felgyorsul a szapolitréteg lepusztulása, és ennek mértéke nagyobb lesz, mint a gránit mállásáé, így a lassan fogyó törmelékréteg alól a felszínre bukkannak a kőtömbök (ÁDÁM, 1993, ESZTERHÁS, 1994, 2006). A gypajúzsákok közül kiürül a kőzetdara, és ezáltal a gypajúzsákbarlangok bejárhatóvá válnak. A felszínre kerülést követően megindul a kőzetek aprózódása, majd a friss kőzetfelszínen ismét előtérbe kerül a hidrolízises mállás.

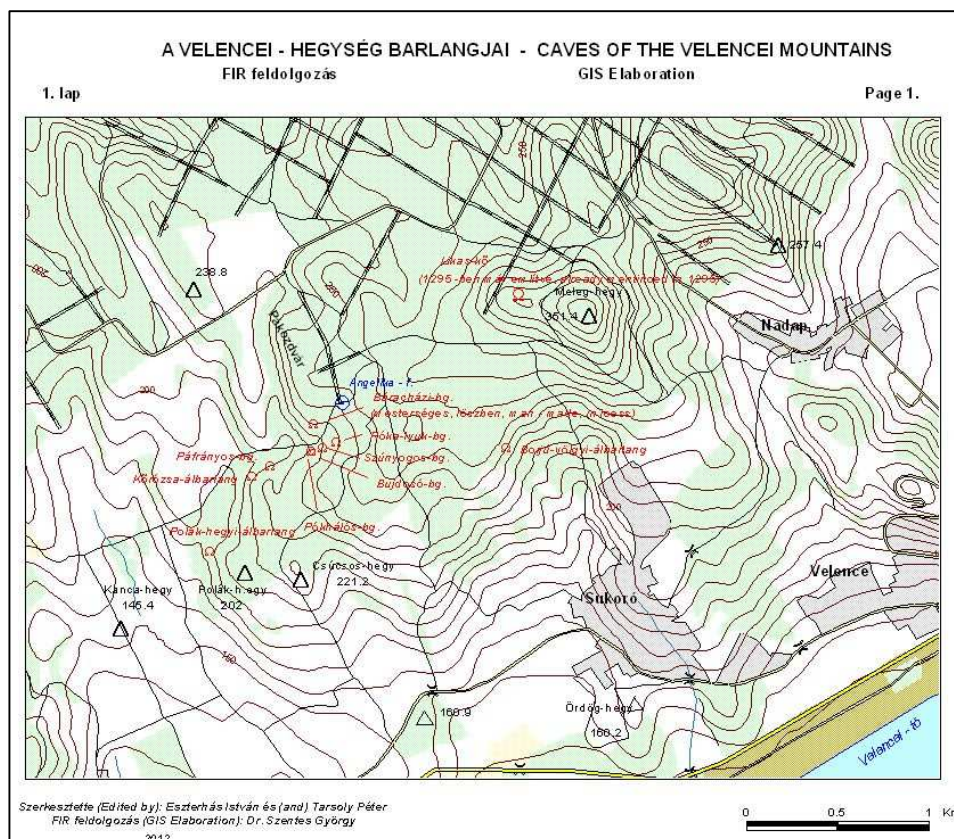
A gypajúzsákbarlangok hasonlítanak a törmelékarlangokhoz, de amíg utóbbiakat álbarlangoknak nevezik, mert elmozdult, támaszkodó kövek közötti barlangok, addig a gypajúzsákbarlangok valódi barlangok, hiszen a falukat alkotó kőtömbök a helyükön maradtak, csak a környezetük pusztult le (OZORAY, 1960, ESZTERHÁS, 2010b; STRIEBEL, 2008; GAÁL, BELLA, 2008). Nevezik még őket barlangszerű objektumoknak is, mert az ember számára is járható méretű üregek nem a szálkőzetben – tehát nem a kőzettömeg egészével összefüggő, eredeti helyzetben lévő kőzetfelszínen – hanem a lepusztult üledéktakaróból kitakarózott kőtömbök között találhatók. Az is előfordul, hogy valamely szempontból nem felelnek meg a jelenleg érvényben lévő barlang-definíciónak pl. sziklaereszek, amelyek nem rendelkeznek minden oldalról zárt szelvénnel. Falaik többé-kevésbé domborúak a gömbformájú bezáró kőtömbök miatt. Mivel több kőtömb veszi őket körül, ezért több nyílásuk is lehet, de ezek nem mindegyike járható ember számára is. Méretük és elrendezésük változó, vannak közöttük egyszerű átjáró-barlangok és több tíz méter hosszú, több bejáratú emeletes térlabirintusok is. Az egyes barlangok részletes, fényképes bemutatása megtalálható a digitális CD-mellékletben a „Grántibarlangok a Velencei-hegységben” című alkönyvtárban.



2.4. ábra. Barlangok területi megoszlása a Velencei-hegységben a Vulkánszpeleológiai Kollektíva Magyarország nemkarsztos barlangjairól vezetett digitális nyilvántartási rendszerében
(1. és 2. lap – gránitbarlangok; 3. lap – andezitbarlangok)
(Forrás: <http://geogr.elte.hu/nonkarstic/>)



2.5. ábra. Gránitbarlangok a Pákozd Ingókövek Természetvédelmi Területen
(Forrás: <http://geogr.elte.hu/nonkarstic/>)



2.6. ábra. Gránitbarlangok Pákozd és Sukoró területén (Hurka-, Bodza-, Borjú-völgy)
(Forrás: <http://geogr.elte.hu/nonkarstic/>)

3. A DGPS-technika pontossága és alkalmazásának lehetőségei a barlangkataszterben

„...Következtetéseink során... nem tudunk másképpen különbséget
tenni az áligazság és a tényleges bizonyítékok között, csak ha a végeredményt
a tapasztalat segítségével, a gyakorlat által igazoljuk...”
(Roger Bacon (1214 – 1294), Összes Művek)

A jelenlegi barlangkataszter utófeldolgozós technológiát használ, melynek lényege, hogy a terepen csak nyers mérési adatokat rögzítenek, majd azokat a mérés befejezése után irodában, valamely referenciaállomás vagy permanens állomás mért adatainak a felhasználásával kiértékelik. Ügyelve arra, hogy a referenciaállomás és a vektor végpontja közötti távolság a megfelelő korláton (50-60 km) belül maradjon, még kódolás felhasználásával is elérhető a deciméteres pontosság (ÁDÁM *et al.*, 2004). A megoldás azonban három kérdést is felvet. Szükség van-e arra, hogy a barlangok bejáratait deciméter pontossággal ismerjük? Milyen romlást eredményez a számított koordináták pontosságában a vektorhossz kritikus távolság fölé növelése? Figyelembe véve az időráfordítást, pontosságot és megbízhatóságot, gazdaságosságot és műszerigényt, az utófeldolgozós vagy a valós idejű technológia felel-e meg jobban a barlangkataszter céljainak?

A bejáratok koordinátáit nem szükséges ismerni deciméteres pontossággal, sok esetben nem is lehetséges a bejárat azonosítása, csak méter élesen. A koordinátát tehát elegendő ismernünk méteres pontossággal; ez a meghatározási pontosság elegendő a bejárat újbóli terepi megtalálásához. Ezt a pontosságot biztosítja az utófeldolgozás még 50-60 kilométert meghaladó vektorhossz esetén is, azonban műszer- és számítás igénye, a ráfordított idő és a gazdaságosság tekintetében kedvezőtlenebb, mint a valós idejű meghatározás. Az utófeldolgozáshoz mért nyers adatok tartalmazzák az adott pillanatban fogott összes műhold által sugárzott jelsorozatot (ami lehetővé teszi az adatok szűrését és különböző paraméterek melletti feldolgozását), míg a valós idejű meghatározás csak a számított koordináta-párokat tárolja. Az optimális megoldás az utófeldolgozós és valós idejű technológiák együttes alkalmazásában rejlik, de jelenleg nem minden pont koordinátáját lehet valós idejű technológia felhasználásával meghatározni. Egyrésről például az EGNOS-jelek (EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service) sem foghatók minden felmérési helyzetben (szükséges a szabad kilátás dél felé); másrésről a GPRS/3G/WIFI-n keresztüli NTRIP használat sem megoldható minden esetben a térrő hiánya miatt.

A DGPS-technika egyik alkalmazási lehetősége Magyarországon az EGNOS-jelek vétele. A GPS és EGNOS rendszerek együttes használatának előnye, hogy mind a két rendszer ingyenesen áll a felhasználók rendelkezésére. A földi állomások GPS-rendszerű műholdjaira tett mérései alapján WAD-korrekciókat (egy földi állomáshálózat nagy

területre kiterjedően valós időben modellez műhold pályaadatokat, órahibákat és légköri hatásokat) sugároznak, amelyeket geostacionárius holdak (*EGNOS*-holdak) közvetítenek a felhasználók felé a *GPS* frekvenciatartományában (*BUSICS*, 2007). A korrekciók használatával a pontosság javulása érhető el. A *DGPS* (*DGNSS*)-technika gyakorlati megvalósítására léteznek más megoldások is, amelyek közül a hazai aktív hálózat *DGPS* internetes szolgáltatását lehetne megemlíteni. Kutatásomban csak az *EGNOS*-jelek vételével megvalósuló *DGPS*-technikát vizsgáltam.

3.1. A műholdas helymeghatározás pontosságának jellemzésére használt mérőszámok¹

A *GPS*-rendszer teljes kiépítettségben működik, azonban az adott helyről megfigyelhető műholdak száma a nap folyamán többször, a műholdak iránya pedig állandóan változik. Változik tehát ezzel összefüggésben az abszolút pontmeghatározás pontossága is, amely nagymértékben függ a megoldás geometriai erősségétől. Egy adott időpontra vonatkozó műholdgeometria erősségét a *PDOP* (*Position Dilution of Precision*) dimenzió nélküli számmal adják meg.

A mérés szempontjából kedvező és kedvezőtlen *PDOP*-értékekről beszélhetünk. A kedvezőtlen *PDOP*-értéket a műholdak kis száma vagy kedvezőtlen elhelyezkedése okozhatja. Általános szabályként elmondható, hogy a 6-nál nagyobb *PDOP*-számot kedvezőtlennek, mérésre alkalmatlannak szoktuk tekinteni, míg a 2-3 közötti *PDOP*-számot kedvezőnek tartjuk.

A *DOP*-értékek származtatásához és jobb megértéséhez írjuk fel a vevő és a műhold közötti vektort a következő formában (*MASSAT*, 2002; *ÁDÁM et al.*, 2004):

$$\frac{(x_i - x)}{\rho_i}, \frac{(y_i - y)}{\rho_i}, \frac{(z_i - z)}{\rho_i} \quad (3.1)$$

ahol ρ_i a vevő és a műhold közötti távolság a következő formában adott:

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad (3.2)$$

mely képletben x, y, z a vevő fáziscentrumának helyzetét, x_i, y_i, z_i a műhold helyzetét jelöli egy tetszőleges elhelyezkedésű topocentrikus koordináta-rendszerben.

Írjuk fel az A mátrixot, amely a helymeghatározás geometriai viszonyait tükrözi:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{(x_1 - x)}{\rho_1} & \frac{(y_1 - y)}{\rho_1} & \frac{(z_1 - z)}{\rho_1} & c \\ \frac{(x_2 - x)}{\rho_2} & \frac{(y_2 - y)}{\rho_2} & \frac{(z_2 - z)}{\rho_2} & c \\ \frac{(x_3 - x)}{\rho_3} & \frac{(y_3 - y)}{\rho_3} & \frac{(z_3 - z)}{\rho_3} & c \\ \frac{(x_i - x)}{\rho_i} & \frac{(y_i - y)}{\rho_i} & \frac{(z_i - z)}{\rho_i} & c \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

¹ szakirodalmi összefoglaló fejezetrész

ahol a mátrix első három oszlopa a vevő-vonatkozó műhold közötti vektor elemeit tartalmazza, a negyedik oszlop pedig a fénysebesség értékét ($c=299\,792\,458\text{ m/s}$).

Írjuk fel az ismeretlenek Q súlykoefficiens mátrixát:

$$Q = (A^T \cdot A)^{-1} \quad (3.4)$$

ahol a Q mátrix elemeit kifejtve:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{xx} & q_{xy} & q_{xz} & q_{xt} \\ q_{yx} & q_{yy} & q_{yz} & q_{yt} \\ q_{zx} & q_{zy} & q_{zz} & q_{zt} \\ q_{tx} & q_{ty} & q_{tz} & q_{tt} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

A Q mátrixból már levezethetők a DOP -értékek különböző típusai:

$$\begin{aligned} PDOP &= \sqrt{q_{xx} + q_{yy} + q_{zz}} \\ TDOP &= \sqrt{q_{tt}} \\ GDOP &= \sqrt{q_{xx} + q_{yy} + q_{zz} + q_{tt}} \\ HDOP &= \sqrt{q_{xx} + q_{yy}} \\ VDOP &= \sqrt{q_{zz}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Megjegyezzük, hogy a $HDOP$ és $VDOP$ értékei a használt koordináta-rendszertől függenek, míg a $GDOP$, $PDOP$ és $TDOP$ értékek függetlenek a koordináta-rendszertől (*HUSTI et al.*, 2000).

A DOP -értékek csak a geometria erősségét tükrözik, de a mérések pontosságával nincsenek közvetlen kapcsolatban (*MASSAT*, 2002; *ÁDÁM et al.*, 2004). Mégis, a $PDOP$ felhasználható a pontosság becslésére, a kód- vagy fázismérés teljes hibahatásának σ értékével megszorozva becsülhetjük a helymeghatározás várható pontosságát. *HUSTI et al.* (2000) könyve alapján tehát a kódérés pontosságát jellemző apriori mérőszám:

$$\sigma_{pos} = \sigma_0 \cdot PDOP \quad (3.7)$$

ahol a σ_0 a kódérés teljes hibahatását kifejező mennyiség. A σ_0 meghatározása összetett feladat, hiszen a $GPS/GNSS$ -vevő által meghatározott helyzet pontossága számos tényezőtől függ. A jelentősebb hibaforrások kódérésnél a következők:

- a műholdak pályahibája
- a műholdak és vevők órahibája
- az atmoszféra (ionoszféra, troposzféra) állapotának nem kellő részletességű ismerete
- a vevőantenna fáziscentrumának változása és a többutas terjedés hatása
- a műholdak konstellációja.

A „*NAVSTAR GPS User Equipment*” (*PUBLIC RELEASE*, 1991) című kiadvány összefoglalja néhány hibaforrás hatását C/A -kódra, pseudotávolság mérésekre

vonatkozóan (3.1. táblázat). A σ_0 teljes hatás az egyes összetevők négyzetösszegéből határozható meg, figyelmen hagyva a lehetséges korrelációt.

3.1. táblázat. A GPS-kódmérés hibaforrásai méterben a „NAVSTAR GPS User Equipment, 1991” szerint

Hibaforrás	Fajta	C/A-kód	P-kód
műhold	órastabilitás	3.0	3.0
	pálya	1.0	1.0
	egyéb	0.5	0.5
követő állomások	pályaadatok	4.2	4.2
	egyéb	0.9	0.9
jelterjedés	ionoszféra	5.0....10.0	2.3
	troposzféra	2.0	2.0
	többutas terjedés	1.2	1.2
GPS-vevő	mérési zaj	7.5	1.5
	egyéb	0.5	0.5
Teljes hatás (σ_0)		10.8...13.8	6.5

Visszahelyettesítve *HUSTI* (2000) képletébe σ_0 helyére a teljes hibahatás középértékét (12.3 és 6.5), *PDOP* értéknek az átlagosnak tekinthető 2.5-ös értéket, a következő apriori értéket lehet levezetni a kódmérés pontosságára vonatkozóan:

$$C / A - \text{kódmérés} : \sigma_{pos} = \sigma_0 \cdot PDOP = 12.3 \cdot 2.5 = 31m \quad (3.8)$$

$$P - \text{kódmérés} : \sigma_{pos} = \sigma_0 \cdot PDOP = 6.5 \cdot 2.5 = 16m$$

Az ebből az összefüggéssorozatból levezetett apriori értékek a mai *DGPS/DGNSS* helymeghatározási technológiák esetében már nem állják meg a helyüket, hiszen a vevők nagyon sokat fejlődtek, és a hibaforrások hatásai (különösen a mérési zaj és az atmoszféra hatása) kevésbé terhelik a meghatározott koordináta pontosságát. Továbbá megjelentek olyan kiegészítő műholdas alrendszerek is (mint például az *EGNOS*-rendszer), melyek kódkorrekciókat sugároznak a felhasználók felé, ezzel javítva a kódmérés pontosságát.

A 2008-ban a *Pentagon* szerkesztésében megjelent „*Global Positioning System Standard, Positioning Service Performance Standard*” a pontosság becslésére, vagyis az apriori értékek meghatározására hasonló, de mégis sok tekintetben más megközelítést alkalmaz. A GPS-kódmérés hibaforrásait a 3.2. táblázat foglalja össze.

3.2. táblázat. A GPS-kódmérés hibaforrásai méterben a *GPS Standard* 2008-as kiadványa szerint

Forrás	Hatás [m]
Felbontás C/A	±3.0
Felbontás P	±0.3
Ionoszféra hatása	±5.0
Pályaadatok hibája	±2.5
Műholdak órahibája	±2.0
Többutas terjedés	±1.0
Troposzféra hatása	±0.5
σ_R C/A	±6.7
σ_R P	±6.0

A kódmérés hibaforrásai mellett figyelembe veszi még az ún. numerikus hibát (σ_{num}) is, amelynek becsült értéke 1.0 méter (*GPS Standard*, 2008), és két összetevőből áll. Az első összetevő a számításnál a kerekítésekből származik, hiszen számításainkat csak meghatározott élességgel kell elvégeznünk, a második összetevőt pedig az egzakt

matematikai megoldásnál használt egyenletek gyakorlati megfontolásokból végzett egyszerűsítéséből származó hibák alkotják.

A σ_R apriori értéket a kód mérés hibaforrásai négyzetösszegének a négyzetgyökéből lehet számítani. Ahhoz, hogy ez az érték valóban kifejezze a helymeghatározás pontosságát, meg kell még szorozni a *PDOP*-érték négyzetgyökével, valamint hozzá kell adni a numerikus hiba négyzetgyökét. A *C/A* kód mérés apriori mérőszáma tehát jó közelítéssel a pontosság becslésére az alábbi összefüggésből számítható:

$$\sigma_{RC} = \sqrt{PDOP^2 \cdot \sigma_R^2 + \sigma_{num}^2} = \sqrt{PDOP^2 \cdot (3^2 + 5^2 + 2.5^2 + 2^2 + 1^2 + 0.5^2) + 1^2} = \sqrt{PDOP^2 \cdot 6.7^2 + 1^2} \quad (3.9)$$

A fenti képletbe az átlagosnak tekintett 2.5-ös *PDOP* értéket behelyettesítve, kerekítve 17 méter kapunk pontossági mérőszámnak, ami azt mutatja, hogy az abszolút helymeghatározás nem tekinthető elég pontosnak a barlangkataszter céljaihoz. *DGPS*-technikát használva (pl. *EGNOS*, *WAAS*, hazai aktív hálózat *DGPS* internetes szolgáltatása stb.), a pontosság értéke akár 1 méter alá is csökkenthető. A következő fejezetekben azzal fogok foglalkozni, hogy hogyan tudjuk jellemezni az *EGNOS*-korrekciókkal megvalósítható helymeghatározás pontosságát a barlangkataszter szempontjából, továbbá milyen összefüggéseket találunk a pozíció-számításhoz felhasznált mérési eredmények darabszáma (mérési ismétlésszám) és a megbízhatóság között.

3.2. A vizsgálati mérések folyamatának bemutatása

A vizsgálati mérések végrehajtására a Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Karának tetején elhelyezett középső betonpilléren került sor ideális, kitakarás-mentes mérési környezetben. A barlangbejáratok az ideálisnak tekintett helyzettel ellentétben sokkal mostohább körülmények között találhatók, nagyon gyakran sziklafalak vagy kiugró sziklaperemek (részleges vagy teljes oldalkitakarás) alján. Az általam végzett vizsgálatok csak abban az esetben tekinthetők mértékadónak, ha a barlangbejárat közelében kijelölhető hasonlóan körpanorámás hely, de legalább is legyen déli irányban szabad rálátás az égboltra, hogy a 30 °-nál kisebb magassági szög alatt látszódó *EGNOS*-holdak jelei észlelhetők legyenek. Mindez azt jelenti, hogy a tárgyalt megoldás létjogosultsága csak a fent nevezett esetekben lehetséges.

A méréseket bő egy év időtávlatában végeztem (2009.08.11. és 2010.09.03. között) egy *TDS Recon* kézi számítógépre szerelt *Hemisphere Crescent* vevő (csak *GPS*- és *EGNOS*- holdak jelének vétele) segítségével különböző évszakokban, napszakokban és időjárási körülmények között, hogy a troposféra, ionosféra és műholdkonstelláció hatását változó körülmények között tudjam vizsgálni. A kísérletek során vizsgáltam a különböző beállítási lehetőségeket, úgymint a hagyományos navigációs üzemmódot

(abszolút *GPS*-mérés=*EGNOS0* a jelölésben), *EGNOS* korrekciók vételét, a mérések ismétlésszámát (1-10-100-500-1000-szeres mérési ismétlésszám, az átlagolást a műszer végezte, jelölésben pl. *EGNOS10x* stb.) és a különböző ésszerűségi keretek között mozgó műszeres beállítási kitakarási szögeket (5-10-15-20 fok). Egy mérésnek egyetlen epochányi, azaz körülbelül 1 másodpercnyi mérést neveztem. A vizsgált időszakban 747 darab koordináta-hármaszt határoztam meg a *WGS84* (X, Y, Z) rendszerben. Az *EGNOS*-korrekciók vétele mellett lényegében az *ITRF2000* rendszerben kapunk koordinátákat, azonban a *WGS84* és *ITRF2000* között meglévő mintegy 5 centiméteres eltéréstől (*Borza et al.*, 2007) a barlangkataszter gyakorlati felhasználási szempontjai miatt eltekintettem. A barlangbejáratok 3D objektumok, azonban a földfelszínen lévő bejárat ábrázolásához elegendők a vízszintes koordináták is. A vízszintes és magassági koordináták között meglévő pontosság különbség (*MARTENSSON*, 2002; *ÁDÁM et al.*, 2004; *MEYER et al.* 2006; *PETOVELLO*, 2008) indokoltá tette, hogy a vizsgálatokat ne *WGS84* térbeli derékszögű koordinátákkal (3D), hanem síkvetületi és magassági adatokkal (2D+1D) végezzem az Egységes Országos Vetületben (*EOV*). Az *EOV*-ban történő vizsgálatot indokolja még az is, hogy az Országos Barlangnyilvántartás is az ebben a vetületben megadott koordinátákat tárolja.

A *WGS84* rendszerében mért koordinátákat első lépésben az *EUREF Permanent Network* honlapján található transzformációs programmal átszámítottam az *ETRS89* rendszerbe, majd az így kapott koordinátákat az *EHT²* program segítségével transzformáltam át *EOV*-ba. Az összehasonlítás alapját képező referencia-koordinátát egy Leica 500-as típusú geodéziai célú vevővel, statikus méréssel határoztam meg az *ETRS89*-es rendszerben. A kapott koordinátát az (*EHT²*) transzformációs szoftver alkalmazásával számítottam át *EOV*-ba. A statikus mérés természetesen szigorú értelemben nem tekinthető hibátlannak – hiszen a fázismérésnek ugyanúgy megvannak a hibaforrásai, mint a kód mérésnek – azonban a vizsgálatom szempontjából a centiméteres pontossággal jellemezhető geodéziai célú helymeghatározás hibátlannak tekinthető a méteres pontossággal jellemezhető valós idejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározáshoz képest. A mérési jegyzőkönyvben (saját *Excel* táblában, a kutatás céljára kialakított jegyzőkönyvben, lásd a CD-mellékleten digitális formában a „GNSS-mérések” könyvtárban) a koordináták mellett más, a mérési körülményeket jellemző paramétert is tároltam (lásd a CD-melléklet „GNSS-mérések” könyvtárában), amelyek segítségével lehetőség nyílt a mérések pontosságát befolyásoló tényezők jobb megértésére. A mérési jegyzőkönyv elemei vázlatosan a következők voltak:

1. A mérés sorszáma, helyszíne és időpontja, a pillér *ETRS89* és *EOV* koordinátái a referenciamérésből
2. Az aktuális beállítások értékei (kitakarási szög, átlagszámítás értéke), valamint a vevő által meghatározott *WGS84* koordináták

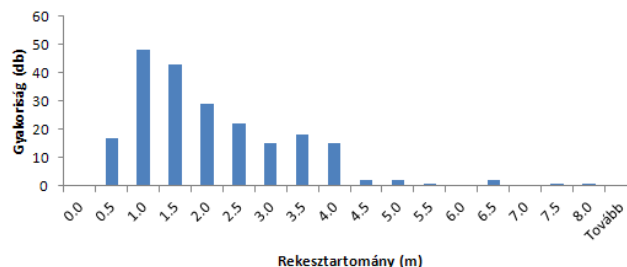
3. A vevő által kijelzett *PDOP*-érték, középhibák (*HRMS*, *VRMS*), jel/zajviszony-
átlag, észlelt műholdak száma.

3.3. A mérési eredmények előfeldolgozása

A mérési eredmények előfeldolgozása segítséget nyújtott a pontossági mérőszámok becslésében, valamint azoknak az intervallum-határoknak a meghatározásában, amelyek közé szélső esetekben ezen értékek eshetnek. Az y_{EOV} , x_{EOV} , M_{Balti} , Δy , Δx , ΔM (Δ mindig referenciamérés mínusz aktuális mérés értelemben), és 2D/1D lineáris eltérések leíró statisztikájának és hisztogramjának elemzése képet adhat arról a folyamatról, amely meghatározza a *DGPS*-technika által szolgáltatott adatok felhasználhatóságának tartományát (elemzések részletes adatai digitálisan a CD-mellékleten a „GNSS-mérések” könyvtárban).

A leíró statisztika célja egy adatsor lehető legteljesebb elemzése a matematikai statisztika módszereivel. Az egyszerűség, könnyebb áttekinthetőség és érthetőség kedvéért a leíró statisztikai elemzésekhez a *Microsoft Excel* beépített elemző funkcióját használtam. Az alább felsorolt statisztikai mérőszámokat számítottam: számtani közép, standard hiba, medián, középhiba, variancia, terjedelem (az y_{EOV} , x_{EOV} , M_{Balti} , Δy , Δx , ΔM , 2D és 1D lineáris eltérés esetében). Ezeket az adatokat egyenként meghatároztam az egyes átlagszámítás beállítási módokhoz (jelölésben a későbbiekben pl. *EGNOS* 100x – a 100 epochányi mérés átlagának tárolását jelenti *EGNOS*-korrekciók vétele mellett stb.) és kitakarási szögekhez kapcsolódóan, azonban a mérési folyamat egységes jellemzéséhez a különböző kitakarási szögekhez kapott eredményeket végül összevontam, és így olyan statisztikákat számítottam, amelyek egységes képet nyújtanak az egyes beállítási módokról.

A mérési eredmények további előzetes elemzéséhez tartozott még az adatsorok hisztogramokon történő megjelenítése és elemzése is. A hisztogram egy rendezett minta előre kitűzött változó-tartományaiba eső elemek számát vagy gyakoriságát ábrázolja (3.1. ábra).



3.1. ábra. A 2D lineáris eltérések hisztogramja ($EOV_{y,x}$) *EGNOS*10x beállítás esetén

A hisztogramok alkalmasak arra, hogy megvizsgáljuk, hogy a mért koordináták, koordináta-különbségek és lineáris eltérések a legkisebb és legnagyobb értékek által kijelölt intervallum-határokon belül milyen eloszlást mutatnak. Mindebből következtetéseket lehet levonni arra vonatkozóan, hogy a mérések pontossága és

megbízhatósága milyen értéktartományokon belül fog mozogni, mennyi lesz az említett mennyiségek becslt, legvalószínűbb értéke, azaz jellemezni tudjuk az egyes mérésekhez kapott eredményeket. Az egységes jellemzéshez a különböző kitakarási szögekhez és beállítási módokhoz kapott eredményeket itt is összevontam. A leíró statisztikákból és a hisztogram-elemzésekből levonható következtetéseket és a legfontosabb jelzőszámokat az 3.3. táblázat tartalmazza.

3.3. táblázat. Az előfeldolgozás legfontosabb eredményei

	Abszolút GPS-mérés	EGNOS1x	EGNOS10x	EGNOS100x	EGNOS500x	EGNOS1000x
	Becsült középhibák [m]					
y	±1.3	±0.9	±0.9	±0.6	±0.3	±0.3
x	±2.6	±1.8	±1.7	±1.5	±0.5	±0.5
M	±4.2	±3.0	±3.0	±2.2	±0.7	±0.6
2D	±2.0	±1.4	±1.3	±1.0	±0.4	±0.4
	Becsült pontosság síkrajzi értelemben [m]					
2D	5.0	3.6	3.6	2.7	0.9	0.8
	Becsült pontosság magassági értelemben [m]					
1D	7.5	5.4	5.4	4.0	2.0	2.0

3.4. A DGPS-technika pontosságának vizsgálata CMAS-módszerrel

A pontosság jellemzésére használt egyetlen mérőszám azt az érzetet keltheti, mintha a pontosság egy egyszerűen, könnyen és egzaktul meghatározható mérőszám lenne. A valóságban azonban túl sok tényező befolyásolja ezt az értéket; ezen tényezőknek nem ismerjük minden esetben a hatásmechanizmusát. Sokkal megfoghatóbb, egyben árnyaltabb megoldást ad, ha a pontosságot egy intervallumon belül becsüljük, és minden intervallumhoz valamilyen valószínűségi szintet rendelünk hozzá. A valószínűség fogalmának bevezetése magában hordozza a bizonytalanságot is, amelyet ugyan ki lehet fejezni matematikai módon, azonban mégis közvetíti a felhasználó számára azt az értékes információt, hogy a kapott mérőszámoknak vannak korlátai.

A CMAS (*Circular Map Accuracy Standard*) módszert eredetileg a topográfiai és földrajzi térképek adatai helyzeti pontosságának az ellenőrzésére alakították ki (MALING, 1989; GIELSDORF et al., 2004; Map Accuracy Standards, 2007; Map Scale and Accuracy Standards, 2007), azonban megfelelő újragondolás után alapelemei használhatók a műholdas helymeghatározás pontosságának a becslésére is (TARSOLY, 2009). A módszer által használt paramétereknek nem ismert magyar nyelvű fordítása, ezért a továbbiakban az angol megfelelő betűszavaival fogok hivatkozni rájuk.

Tekintsük a helymeghatározás azon esetét, amikor a célunk az y, x síkkoordináta meghatározása. A CMAS-módszer alkalmazásának előfeltétele, hogy ismerjük az egyes koordináta-összetevők középhibáit (μ_y , μ_x). Ha feltételezzük, hogy méréseinket csak véletlen jellegű hibák terhelik, akkor lényegében a két középhiba egy ellipszis alakú

függvényt fog meghatározni. Képzeljük el a terepen a hibátlanak tekintett ponthelyet, a helyi vízszintes síkjában pedig olyan koncentrikus ellipsziseket, melyek kis- és nagytengelyeinek méretei eltérő valószínűségi szinteken jellemzik a pontosságot. A valószínűség, hogy a mért ponthely valamely ellipszisen belülre fog esni, arányos az ellipszis kis- és nagytengelyeinek méretével. Ha a két koordináta középpontja egyenlő, vagy egyenlőnek tekinthető, akkor az ellipszisek körre válnak, amelyet sokkal egyszerűbb kezelni matematikailag. Ebben az esetben a hibátlanak tekintett ponthely körül a helyi vízszintes síkjában különböző valószínűségi szinthez tartozó, különböző sugarú koncentrikus körökkel fogjuk tudni jellemezni a pontosságot.

Az *EOV*-koordináták lényegében 2D+1D értékeként értelmezhetők, tehát a síkkoordináták (y , x) és a magasság különböző vonatkoztatási rendszerben adottak. Ennek megfelelően a *CMAS*-paraméterek vizsgálatát is szét kell bontani 2D-re és 1D-re. Két dimenzióban a hibátlanak tekintett ponthely körül a pontosságot hibakörök fogják szemléltetni, amennyiben az y és x irányú koordináta-összetevők középpontját azonosnak tekintjük. A valóságban a koordináták középpontja nem azonos (*TARSOLY*, 2002/2003) és a *GPS*-mérésekre jelentősen hatnak szabályos hibák is. Ezekről azonban jelen vizsgálat keretei között eltekintünk. Egy dimenzióban a pontosságot az álláspont függőlegesére illesztett hibaszakasz fogja jelképezni. A magassági érték különálló vizsgálatát az is indokolja, hogy a *GPS*-méréseken alapuló magasságmeghatározás egy nagyságrenddel megbízhatatlanabb, mint a síkban értelmezett koordinátáké. A későbbi következtetések szempontjából tehát szükséges ismerni, hogy az egyes összetevő tényezők hogyan befolyásolják a kapott végeredményt. A fenti megfontolásból látszik, hogy a *CMAS*-módszer alkalmazása a barlangkataszterben nem tekinthető precíz megoldásnak, más célú meghatározásokban való alkalmazása csak alapos megfontolás után lehetséges.

Egy vektor meghatározása esetén legyenek az *EOV* y , x koordináták középpontjai μ_y , μ_x , továbbá tételezzük fel, hogy a két mennyiség legyen egyenlő egymással ($\mu_y = \mu_x$). A vektor középpontja, és a *CMAS*-módszer alapparamétere (σ_c), azaz a közepes ponthiba ekkor:

$$\mu_v = \sqrt{\left(\frac{\mu}{2}\right)^2 + \mu_x^2}$$

$$\sigma_c = \frac{\mu_v}{\sqrt{2}} \quad (3.10)$$

A σ_c paraméter ismeretében számíthatók a *CMAS*-módszer paraméterei (3.4. táblázat), azaz lényegében a koncentrikus körök sugarai:

3.4. táblázat. A *CMAS*-módszer paraméterei

Név	Rövidítés	Valószínűség [%]	Származtatás
Circular standard error	σ_c	0.39	$1.0 \sigma_c$
Circular probable error	CPE or CEP	0.50	$1.1774 \sigma_c$
Circular mean square positional error	MSPE	0.63	$1.4142 \sigma_c$

Circular map accuracy standard	CMAS	0.90	$2.1460 \sigma_c$
Three-five sigma error	3.5σ	0.99	$3.5 \sigma_c$

A 3.4 táblázatban látható paramétereket figyelembe véve, az előfeldolgozás során számított középhibák bevonásával az egyes mérési módszerekhez és kitakarási szögekhez az alábbi paraméterek számíthatók (3.5. táblázat):

3.5. táblázat. A CMAS-módszer alkalmazása EGNOS0 (abszolút GPS-mérés), EGNOS1x és EGNOS 10x mérések esetén (P[%]=valószínűség) az EOVS rendszerben

		Értékek [m]								
		5		10		15		20		
	P[%]	2D	1D	2D	1D	2D	1D	2D	1D	
CSE	39	2.1	2.7	1.9	2.8	1.8	3.2	2.4	4.3	EGNOS (0)
CPE	50	2.5	3.2	2.2	3.2	2.1	3.8	2.9	5.0	
MSPE	63	3.0	3.8	2.7	3.9	2.5	4.6	3.4	6.0	
CMAS	90	4.1	5.8	4.0	5.9	3.8	7.0	5.2	9.1	
3.5σ	99	7.4	9.4	6.6	9.6	6.2	11.3	8.5	14.9	
		Értékek [m]								
		5		10		15		20		
	P[%]	2D	1D	2D	1D	2D	1D	2D	1D	
CSE	39	1.2	2.2	1.3	2.4	1.4	3.5	1.7	4.2	EGNOS 1x
CPE	50	1.4	2.6	1.5	2.8	1.6	4.1	2.0	4.9	
MSPE	63	1.7	3.1	1.8	3.4	1.9	4.9	2.4	5.9	
CMAS	90	2.6	4.7	2.8	5.1	2.9	7.5	3.7	9.0	
3.5σ	99	4.3	7.7	4.5	8.3	4.8	12.2	6.0	14.6	
		Értékek [m]								
		5		10		15		20		
	P[%]	2D	1D	2D	1D	2D	1D	2D	1D	
CSE	39	1.2	2.0	1.2	2.2	1.3	3.4	1.9	4.4	EGNOS 10x
CPE	50	1.4	2.4	1.5	2.6	1.6	4.0	2.2	5.2	
MSPE	63	1.7	2.9	1.8	3.1	1.9	4.8	2.7	6.2	
CMAS	90	2.5	4.4	2.7	4.7	2.8	7.2	4.0	9.4	
3.5σ	99	4.1	7.1	4.3	7.7	4.6	11.8	6.6	15.4	
Mérési időtartam (1s=kb.1 epocha)										
1s		10s								

A gyakorlati életben a 90%-os valószínűségi szint vizsgálatának van jelentősége, hiszen ez mutatja azt a reális valószínűséget, amely mellett még érdemes dolgozni terepen (TARSOLY, 2002/2003), így a táblázat ezen értékeinek az összehasonlítását végeztem el részletesebben.

Abszolút GPS-mérés (a táblázatban EGNOS0) esetén a vízszintes pontosság (a táblázatban 2D) 5-10-15 fokos kitakarási szögek esetén kismértékű, de határozott javulást mutat, míg a 20 fokos kitakarási szög esetén a korábbiakhoz képest egyértelműen romlik. A magasság (a táblázatban 1D) meghatározások pontossága az 5 fokos kitakarás mellett a legjobb, és folyamatosan romlik a kitakarási szög növekedésével. Az egyes beállítási

módok pontosságának általános jellemzéséhez kiszámítottam a különböző kitakarási értékekhez kapott pontossági mérőszámok számtani átlagát. Az átlagolt értéket tekintve abszolút GPS mérés esetén a vízszintes meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan ± 4.5 méter, a magassági meghatározásé pedig ± 7.0 méter.

EGNOS1x beállítás esetén a vízszintes meghatározás pontossága a kitakarási szög növelésével egyértelmű romlást mutat. A magassági meghatározások esetén ugyanez a tendencia figyelhető meg. EGNOS1x mérés esetén a vízszintes meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan ± 3.0 méter, a magassági meghatározásé pedig ± 6.5 méter.

EGNOS10x beállítás esetén a vízszintes és magassági meghatározások pontossága azonos tendenciát mutat az EGNOS1x beállításhoz, tehát romlik a kitakarási szögek növekedésével. EGNOS10x mérés esetén a vízszintes meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan ± 3.0 méter, a magassági meghatározásé pedig ± 6.5 méter, tehát nem mutat javulást az EGNOS1x beállításhoz képest.

A 3.5. táblázatban látható mérőszámok jól jellemzik a DGPS-technika pontosságát, azonban nem szabad elfelejtenünk, hogy ezek a számok csak becslést adnak, szélsőségesnek tekinthető mérési környezetben (kevés számú műhold, zavaró objektumok stb.) lényegesen gyengébb pontossággal kell számolnunk. A kitakarási szögek figyelembe vétele azt sugallja, hogy az 5-10 fokos magassági kitakarás nyújtja a legjobb megoldást. Fedett terepen a többutas terjedés hatása fokozottan érvényesül különösen az 5 fokos kitakarási szög alkalmazása mellett, így a barlangkataszterbeli gyakorlati felhasználás szempontjából a 10 fokos kitakarási szöget lehet az optimális választásnak tekinteni. Mindezt 2001-ben a Balaton-felvidéki Nemzeti Park területén végzett barlangkataszteri felmérések és vizsgálatok is igazolták (TARSOLY, 2002/2003). A 15 és 20 fokos magassági kitakarási szög alkalmazása esetén a pontosság értékek már jelentős romlást mutatnak az 5 és 10 fokos kitakarási szöghöz képest, azonban meg kell jegyeznünk, hogy mérlegelve a vevő körüli kitakarás jellegét és elhelyezkedését a 15-20 fokos magassági kitakarás alkalmazása is indokolt lehet (TARSOLY, 2007).

A táblázatból megállapítható, hogy a mérési ismétlésszám növelése kedvezően befolyásolja a pontosság alakulását és ezzel feltételezhetően a megbízhatóságot is. A további vizsgálatokat már csak az optimálisnak tekintett 10 fokos kitakarási szög mellett végeztem, 100-500-1000-szeres ismétlésszám mellett, és a CMAS-módszer paramétereinek a levezetéséhez közel 100 mérési alkalom eredményeit használtam fel. Az eredményeket a 3.6. táblázat tartalmazza.

EGNOS100x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan ± 2.4 méter, az 1D meghatározásé pedig ± 4.9 méter, tehát lényeges javulást az EGNOS10x beállításhoz képest csak a magasságok meghatározása mutat. EGNOS500x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten

várhatóan ± 0.9 méter, az 1D meghatározásé pedig ± 1.5 méter, tehát a pontosság javulása számottevő mind a két érték esetében.

3.6. táblázat. A CMAS-módszer alkalmazása EGNOS100x, EGNOS500x és EGNOS 1000x mérések esetén az EOVS rendszerben

	Értékek [m]				
		10			
	Valószínűség [%]	2D	1D		
CSE	39	1.1	2.3	EGNOS 100x	
CPE	50	1.3	2.7		
MSPE	63	1.6	3.2		
CMAS	90	2.4	4.9		
3.5σ	99	4.0	7.9		
	Értékek [m]				
		10			
	Valószínűség [%]	2D	1D	EGNOS 500x	
CSE	39	0.4	0.7		
CPE	50	0.5	0.8		
MSPE	63	0.6	1.0		
CMAS	90	0.9	1.5		
3.5σ	99	1.4	2.5		
	Értékek [m]				
		10		EGNOS 1000x	
	Valószínűség [%]	2D	1D		
CSE	39	0.4	0.6		
CPE	50	0.4	0.7		
MSPE	63	0.5	0.9		
CMAS	90	0.8	1.4		
3.5σ	99	1.3	2.2		
	Mérési időtartam (1s=kb.1 epocha)				
3.5 perc	10-15 perc			30 perc	

EGNOS1000x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan ± 0.8 méter, az 1D meghatározásé pedig ± 1.4 méter. A pontosság javulása az EGNOS500x beállításhoz képest mindösszesen 10%-os a 2D értékek esetében és 12%-os a magasságok esetében. A mérési időtartam 15-20 perccel megnő az 500-as és 1000-es ismétlésszám között, ugyanakkor a több ráfordított idő nem térül meg a pontosság tekintetében. Mindezen értékek megerősítik azt, hogy EGNOS-korrekciók alkalmazása esetén a meghatározott koordináták pontossága egyértelműen javulást mutat az ismétlésszám függvényében, és az ismétlésszám ésszerűségi határa valahol 100-500 között húzódik. Az adatok elemzéséből az is kitűnik, hogy a magasság-meghatározás pontossága lényegesen rosszabb a síkkoordinátákénál. Az összesített értékek vizsgálatából megállapítható, hogy a magassági értékek pontosságánál a síkkoordinátákhoz képest mintegy 1.5-2.0 szorzótényezővel lehet számolni.

A gyakorlati életben az *EGNOS*-vevőknél gyakran a *WGS84*-es rendszerben meghatározott koordináták közvetlenül kerülnek átszámításra valamilyen transzformációs eljárással (*VITEL*, lokális transzformáció, országos paraméterkészlet stb.) az *EOV* rendszerbe. Az általam használt vevővel (*Hemisphere*) lehetőség volt a terepen meghatározott *WGS84* koordinátákat a *VITEL2009*-es transzformációs program segítségével közvetlenül *EOV*-ba átszámítani. A valós időben kapott *EOV* koordináták azonban csak kvázi-*EOV* koordinátáknak tekinthetők, hiszen a *VITEL2009* nem a *WGS84*-ből, hanem az *ETRS89*-ből képes átszámítani az *EOV* rendszerbe. (*BUSICS*, 2006). A *WGS84* és *ETRS89* rendszerek közötti eltérést (ami jelenleg mintegy 0.6 méter), ez a megoldás nem veszi figyelembe. A barlangkataszter céljára legalkalmasabbnak tekintett beállítási mód (*EGNOS500x*, 10 fokos magassági kitakarás) használatával terepen nyert kvázi *EOV* és az irodában számított helyes *EOV* koordináták összehasonlításának eredményét az 3.7. táblázat tartalmazza.

3.7. táblázat. Eltérés a kvázi *EOV* és az *EOV* rendszer között

Beállítási mód: <i>EGNOS500x</i> , 10 fokos magassági kitakarás		
	Átlagos lineáris eltérés a teljes mérési sorozatra [m]	
	2D	1D
kvázi <i>EOV</i> – helyes <i>EOV</i>	~0.6	~0.0
kvázi <i>EOV</i> - referenciapont	~0.9	~0.8
helyes <i>EOV</i> - referenciapont	~0.8	~0.7

A táblázatból látható, hogy a *WGS84* rendszerből a *VITEL2009* felhasználásával közvetlenül nyert kvázi *EOV* koordináták nem rontják számottevően a meghatározás pontosságát, tehát a barlangkataszter gyakorlati alkalmazásának szemszögéből nézve a kvázi *EOV* koordináták használata megengedett lehet.

3.5. A mérések ismétlésszámának és a DGPS-technika megbízhatóságának kapcsolata

A 3.5.-3.6. táblázatokból látható, hogy a mérési ismétlésszám növelése a *DGPS*-technika esetében kedvezően befolyásolja a pontosság alakulását és maga után vonja a megbízhatóság növekedését is. Az ismétlésszám növelésével nő a mérési időtartam is, ami a mérés közbeni műholdkonfiguráció megváltozását is maga után vonja. A műholdkonfiguráció, és vele együtt a *PDOP*-értékek változása háromféle lehet: a mérés időtartama alatt azonos műholdszám és *PDOP*-érték, növekvő műholdszám és csökkenő *PDOP*-érték, csökkenő műholdszám és növekvő *PDOP*-érték (lásd digitális CD-melléklet „GNSS-mérések” könyvtár). A műholdkonfiguráció kedvező irányú változása vagy mérés közbeni állandósága egyértelműen pozitív hatással van a pontosság alakulására, azonban

a csökkenő műholdszám mellett végzett méréseket sem lehet egyértelműen rossznak minősíteni.

A megbízhatóság és ismétlésszám kapcsolatának a matematikai leírására előfeldolgozásként *Pearson*-féle korrelációs koefficiens számítást végeztem, a két változó kapcsolatának leírására pedig négy módszert alkalmaztam: lineáris regressziót, exponenciális függvény illesztését, *Lagrange*-polinom és *Spline*-polinom illesztést. A két mennyiség kapcsolatának matematikai jellemzésén kívül célom volt még a legoptimálisabb függvénytípus megtalálása is, amelyből számított megbízhatóság-értékek a legkisebb eltéréseket mutatják a tapasztalati úton meghatározott megbízhatósági értékekhez képest.

A vizsgálathoz tartozó bemenő adatok az egyes beállítási módokhoz és kitakarási szögekhez számított megbízhatósági értékek átlagai voltak (lásd a digitális CD-mellékleten a "GNSS-mérések" könyvtárban) az *EOV* y és x síkkoordináták esetében (3.8. táblázat).

3.8. táblázat. A különböző beállításokhoz tartozó a posteriori középhiba értékek

<i>Mérési módszer</i>	<i>a posteriori középhiba [m]</i>	<i>Mérési időtartam (1s=kb.1 epocha)</i>
<i>EGNOS (0)</i>	±2.9	1s
<i>EGNOS1x</i>	±2.0	1s
<i>EGNOS10x</i>	±2.0	10s
<i>EGNOS100x</i>	±1.6	3.5 perc
<i>EGNOS500x</i>	±0.6	10-15 perc
<i>EGNOS1000x</i>	±0.5	30 perc

Két változó kapcsolatának jellemzésére a matematika és geodézia általános esetben a kovarianciát és a korrelációs együtthatót használja. A két változó (x, y) valódi hibájának ($\varepsilon_x, \varepsilon_y$) ismeretében a kovariancia a következőképpen számítható:

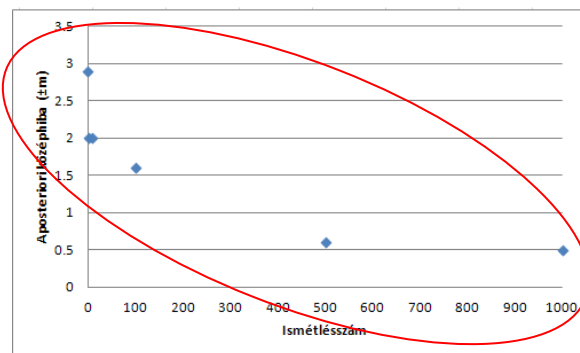
$$c_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_x \cdot \varepsilon_y}{n} \quad (3.11)$$

A kovariancia nem használható közvetlenül a kapcsolat becslésére, mert függ a hibák nagyságától. A korrelációs együttható számításához a változó mennyiségek középpontját (s_x, s_y) kell felhasználni (*Galton* (1822-1911) képlete):

$$r = \frac{c_{xy}}{s_x \cdot s_y} \quad (3.12)$$

Az r értékére két lehetséges alapeset adódik: ha $r=\pm 1$, akkor a két mennyiség között erős a kapcsolat (egyenes vagy fordított arányú), ha azonban $r=0$, akkor a két mennyiség között nincs kapcsolat, vagy az egyik változó növekedésével a másik változó középpontja nő. Ha a kapcsolat erősségének pontosabb meghatározására törekedünk, akkor

lehetőségünk van a *Pearson*-féle korreláció más értelmezésének alkalmazására is. A számítás megkezdése előtt célszerű a két változó mennyiséget egy derékszögű koordináta-rendszerben ábrázolni. Ha a kapott pontfelhő kör alakú, akkor a két mennyiség között nincs kapcsolat, nem érdemes a számításokat rájuk elvégezni. Ha a kapott pontfelhő fekvő ellipszist formál, akkor a kapcsolat egyenes arányú, ha álló ellipszist formál, akkor fordított arányú. Ferde ellipszis esetén, ha az ellipszis nagytengelyének a matematikai x tengellyel bezárt szöge balról-jobbra csökkenő, a kapcsolat fordított arányú, ha balról-jobbra növekedő, akkor egyenes arányú. A 3.8. táblázatban található értékeket felhasználva az adatok egy derékszögű koordináta-rendszerben ábrázolva ferde ellipszishoz hasonlítanak (3.2. ábra), amelynek nagytengelye a matematikai x tengellyel balról-jobbra csökkenő szöget zár be, tehát az ismétlésszám és a pontosság közötti kapcsolat fordított arányú (negatív korreláció).



3.2. ábra. Az ismétlésszám és a pontosság kapcsolatának jellemzése

A *Pearson*-féle korrelációs koefficiens meghatározásának négy feltétele van:

1. a vizsgált elemek véletlenszerűen legyenek kiválasztva,
2. mindenhol legyen mért a két változó,
3. egymástól legyenek függetlenek a megfigyelések,
4. az elemek normál eloszlást kövessenek.

Az általam felhasznált változók mindegyikére teljesülnek a fenti feltételek, hiszen nagy mennyiségű, egymástól független, véletlenszerűen kiválasztott, normális eloszlású elemet használtam fel a számításaimhoz. A fenti feltételek, de különösen a normális eloszlás teljesülésének feltételét jól mutatják az előfeldolgozások után végzett hisztogram-elemzések (lásd a digitális CD-mellékleten a „GNSS-mérések” könyvtárban); bármely változót kiválasztva és diagram-képére függvényt illesztve a normális eloszlás haranggörbéjét, a *Gauss*-görbét fogjuk visszakapni. Az 3.12-es képletet felhasználva tehát a *Pearson*-féle korrelációs koefficiens képlete a következőképpen írható fel:

$$r = \frac{\Sigma(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{x})^2 \cdot \Sigma(y - \bar{y})^2}} \quad (3.13)$$

azaz az összetartozó értékpárok halmazának mindegyik tagját külön-külön átlagoljuk és az egyes értékeknek a saját átlaguktól való eltérését vizsgáljuk. Az összetartozó különbségeket összeszorozzuk és a szorzatok összegét (kovariancia) elosztjuk a négyzetes

különbségek össze szorzatának négyzetgyökével. Általános esetben r értékére a következő megállapításokat tehetjük:

- $r < 0.25$, akkor a két változó között nincs vagy gyenge a kapcsolat,
- $0.25 < r < 0.50$, a két mennyiség között gyenge kapcsolat van,
- $0.50 < r < 0.75$, a két mennyiség között mérsékelten erős kapcsolat van,
- $r > 0.75$, a két mennyiség között igen erős kapcsolat van.

A két változó kapcsolatának megítélésében fontos szerep juthat még a determináltsági koefficiensnek is, melyet a *Pearson*-féle korrelációs koefficiensből számíthatunk a következő képlettel:

$$r_{\text{det}} = r^2 \quad (3.14)$$

A determináltsági koefficiens megadja, hogy az egyik változó változása várhatóan milyen mértékben jár a másik változó megváltozásával, azaz mennyire lehet az egyik változó megváltozásából a másikat előre jelezni. Az r_{det} értékét 100-al szorozva a koefficiens értékét százalékban fogjuk megkapni.

Az általam vizsgált mérési eredmények esetében (3.8. táblázat.) a korrelációs koefficiens értéke -0.85-re adódott, amely a két mennyiség közötti erős kapcsolatra utal. A korreláció 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns, mert $t_{0.05,4} = 2.776$, és $|t| = 3.227$, továbbá $|t| > t_{0.05,4}$, tehát a két változó között kapcsolat van, és azt nem a véletlen okozza. A determináltsági koefficiens értéke 0.72, azaz 72%. Mindezekből arra lehet következtetni, hogy az ismételtszámból 72%-os valószínűséggel lehet következtetni a várható megbízhatóságra, amely a mérsékelten erős kapcsolatoknak jellemzője.

A regresszió úgy mutatja meg két változó kapcsolatát, hogy egyben az egyik változó (függő változó) a másik változótól (független változó) való függésének a mértékét is kifejezi, hiszen a regresszió lehet lineáris és nem lineáris is, egyszeres és többszörös is.

Az általam vizsgált változók esetében lineáris regresszióról lehet beszélni, hiszen a változókat egy koordináta-rendszerben ábrázolva (3.2. ábra), azok közel egy egyenes mentén helyezkednek el. A feladat tehát az, hogy a változók ismeretében felírjuk egy olyan egyenes egyenletét, amely a mérési pontoktól a lehető legkisebb távolságban halad. Matematikailag ez azt jelenti, hogy minden más egyenes esetében a mérési pontok egyenestől mért x -irányú távolságainak négyzetösszege nagyobb volna (hiszen csak a középhiba értékek kaphatnak javítást, az ismételtszám értékek nem). A regressziós egyenes képlete:

$$y = b \cdot x + a \quad (3.15)$$

ahol b a meredekség és a az egyenesnek az y tengellyel alkotott metszéspontja. A meredekség számításának képlete:

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \quad (3.16)$$

továbbá a metszéspont számításának képlete:

$$a = \bar{y} - (b \cdot \bar{x}) \quad (3.17)$$

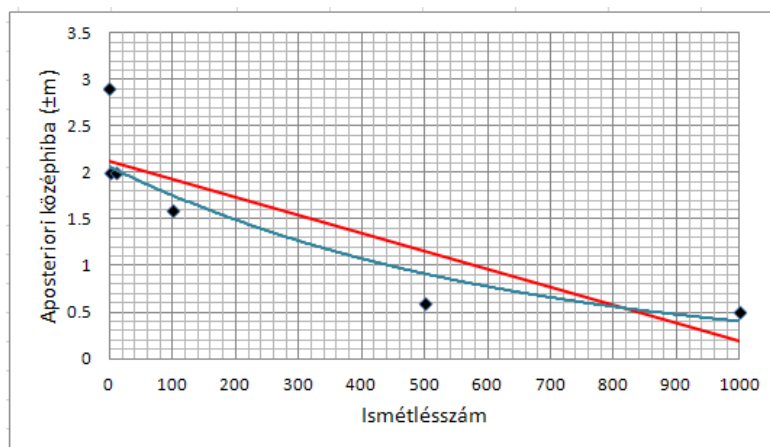
Fontos tulajdonsága a lineáris regresszióknak, hogy benne a változók nem cserélhetők fel, csak a megfigyelt tartományban alkalmazható, és a változóknak függetleneknek és normális eloszlásúaknak kell lenniük. A mérési ismétlésszámból és a tapasztalati aposteriori középhibákból az alábbi regressziós egyenes egyenlete írható fel (3.3. ábra):

$$y = 2.11769669 - 0.00192811x \quad (3.18)$$

A lineáris regresszió azonban nem az egyetlen módszer a két változó mennyiség kapcsolatának a függvénnyel történő leírására (3.3. ábra). Egyenes helyett használhatunk egyéb függvényalakokat is (pl. exponenciális függvényt, polinomokat stb.) is, amelyek jobb illeszkedést tesznek lehetővé a két mennyiség összefüggésében.

Az exponenciális függvénnyel történő leíráshoz felhasználtam a 3.8. táblázat adatait, és a függvény együtthatóit egy differenciálegyenlet meghatározásával vezettem le. A megoldást a *Microsoft Excel* segítségével ellenőriztem. A mérési ismétlésszámból és a tapasztalati aposteriori középhibákból az alábbi exponenciális függvény egyenlete írható fel.

$$y = 2.0664 \cdot e^{-0.002 \cdot x} \quad (3.19)$$



3.3. ábra. A 3.18 képlettel (piros) és a 3.19 képlettel (kék) számított függvények képe

Az interpoláció matematikai közelítő módszer. Az interpoláció során célunk a $g(x)$ függvény alakjának egy $f(x)$ függvénnyel való minél pontosabb megközelítése olyan formában, hogy a közelítő függvény is áthaladjon az adott pontokon, tehát elégítse ki az $y_i = f(x)$ feltételt. Interpolációról akkor beszélünk, ha az x pont, melyben az $f(x)$ értéket szeretnénk megbecsülni, a megadott pontok által meghatározott intervallumon belül helyezkedik el. Az interpolációs módszereket sokféleképpen csoportosíthatjuk, a legelterjedtebb a közelítő függvények típusa szerinti csoportosítás. Mind a *Lagrange*, mind a *Spline*-interpoláció polinomokat használ a mérési adatok közelítésére, ezért a

továbbiakban csak ezzel a csoporttal foglalkoztam. Minden polinomos interpoláció közös tulajdonsága, hogy az interpoláció segítségével n különböző számpárra, vagyis n pontra egyértelműen illeszthető egy polinom, amely átmegy az adott pontokon. Az n -ed fokú polinom általános alakja:

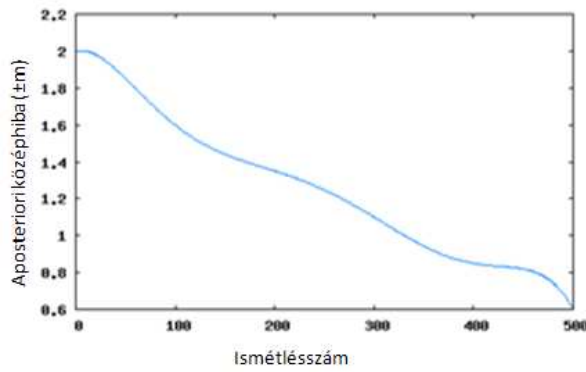
$$f(x) = a_n \cdot x^n + a_{n-1} \cdot x^{n-1} + \dots + a_1 \cdot x + a_0 \quad (3.20)$$

A *Lagrange*-interpoláció egy globális interpolációs módszer. A meghatározott polinom a teljes $(x_1; x_n)$ intervallumon értelmezett, és egy pont kivételével az összes x_i pontra szükség van együtthatóinak meghatározására, tehát a polinom fokszáma $n-1$. Kutatásomban az ismétlésszám vizsgálatánál csak az *EGNOS*-korrekciókkal simított mérési módszereket vettem figyelembe. Az 500-as és 1000-es ismétlésszám között nem tapasztalható számottevő javulás, ezért az 1000-es ismétlésszámot a polinom számításba nem vontam be. Így az adott értékek száma négy, tehát a feladat egy harmadfokú polinom felírása volt.

A *Lagrange*-polinom esetében a fokszám az adott értékek számával nő, tehát bizonyos esetekben indokolatlanul erőteljes hullámlások jelennek meg a polinom grafikus képében, két egymást követő pont között. Ez annak tudható be, hogy az eredeti, az adott pontokat származtató, $g(x)$ megközelítendő függvény nem polinomiális (azaz nem olyan függvény, amelynek értéke a független változókból az összeadás, kivonás, egymással és önmagukkal, valamint megadott állandókkal való szorzás véges sokszori alkalmazása útján kiszámítható). Egy megközelítő polinom csak úgy tud eleget tenni az összes pont érintési követelményének, hogy a pontok között lokális maximumokon és minimumokon halad keresztül. A polinom helyes felírásához be kellett vonnom újabb három értékpárt a 100-as és 500-as ismétlésszám közé lineáris változást feltételezve. Ezzel biztosítható a polinom-alak megfelelő lefutása, az ismeretlenek száma 7-re, a polinom fokszáma a 6-ra nő. A módosítással kapott hatodrendű *Lagrange*-polinom képlete tehát:

$$\begin{aligned} f(x) = & -(4.50642677 \cdot 10^{41} \cdot x^6 - 6.66762385 \cdot 10^{44} \cdot x^5 + 3.69243830 \cdot 10^{47} \cdot x^4 \\ & - 9.35732167 \cdot 10^{49} \cdot x^3 + 1.02772425 \cdot 10^{52} \cdot x^2 - 1.03065912 \cdot 10^{53} \cdot x \\ & - 1.48371625 \cdot 10^{56}) / 7.42322535 \cdot 10^{55} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Felrajzolva az ilyen módon kapott függvényképet (3.4. ábra), látható, hogy a függvény jól közelíti az ismétlésszám és a megbízhatóság kapcsolatát, azonban hullámossága (lokális minimum és maximum helyek) még továbbra is megmaradt. További támpontok bevonásával a függvénykép tovább lehetne simítható, azonban ez már jelentősen megnövelné a polinom fokszámát, ezzel pedig rontaná a polinom kezelhetőségét.



3.4. ábra. A vizsgálatban számított hatodfokú *Lagrange*-polinom képe

A *Lagrange*-interpoláció fentebb megfogalmazott hátrányát kiküszöbölendő döntöttem a kisebb fokú polinomok használata mellett, melyeket lokálisan definiáltam. Az egyes polinomok mindig két egymást követő intervallum-határ között értelmezettek, viszont a jobb illeszkedés érdekében, úgy határoztam meg a polinomok együtthatóit, hogy az intervallum-határokon deriváltak azonosak legyenek. Harmadfokú *Spline* esetén harmadfokú polinomokkal kötjük össze az egymást követő pontokat. A harmadfokú polinom négy együtthatóval rendelkezik, amelyek szerepe az, hogy olyan módon görbüljön a két adott pont között a polinom, hogy annak végpontjainál simán illeszkedjen a szomszédos szakaszokon értelmezett polinomokhoz.

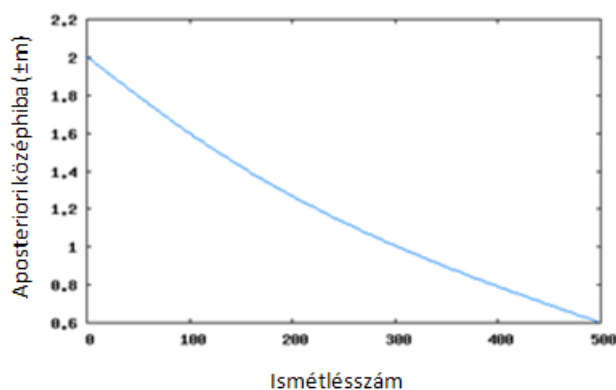
Az interpolációs függvénnyel szemben támasztott követelmények a következők:

- legyen folytonos,
- az elsőrendű és másodrendű deriváltja is legyen folytonos.

Feladatomban a lokális interpoláció alkalmazásánál az volt, hogy meghatározzam az egyes intervallumokon belül értelmezett polinomok együtthatóit a fentebbi feltételek tiszteletben tartásával. Szem előtt tartottam, hogy az adott pontokban a másodrendű derivált értelmezett és jól meghatározott értéket kell felvegyen, tehát ezeket ismertnek tekintettem. Figyelembe véve a 3.8 táblázatban lévő adatokat a polinom a következő formában írható fel:

$$\begin{aligned}
 & x \in [1, 100] \\
 & 1.5590818408575122 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 - 4.6772455225725366 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 \\
 & - 0.0041931628791713 \cdot x + 2.004193194060808 \\
 & x \in [100, 500] \\
 & - 3.8587275561223434 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 + 5.7880913341835146 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 \\
 & - 0.0047766492581122 \cdot x + 2.023642740025506
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

A kapott *Spline*-polinomot grafikonon ábrázolva (3.5. ábra, láthatjuk, hogy a görbe sima lefutású, megfelelően illeszkedik az ismétlésszámhoz tapasztalati úton levezetett aposteriori középhiba értékekhez. A *Spline*-interpolációval kapott görbe jó fedést mutat a hatodfokú *Lagrange*-polinom képével, azonban szakaszossága, intervallumokra számított egyedi függvényalakjai miatt hullámossága elmarad.



3.5. ábra. A vizsgálatban számított harmadfokú *Spline*-polinom képe

A legoptimálisabb, terepen legkönnyebben és egyben kellően megbízhatóan használható közelítő függvény megtalálása érdekében összehasonlítottam a függvények segítségével számítható középhiba értékeket azokkal, amelyeket tapasztalati úton a mérésekből vezettem le (3.9. táblázat).

3.9. táblázat. A mérésekből levezetett és a függvények segítségével becsült középhibák eltérései

	Mérésből származó	Középhiba (mérésből levezetett és függvény segítségével számított) [± m]				Eltérések [m]			
		Lineáris regresszió	Exponenciális függvény	<i>Lagrange</i> -polinom	<i>Spline</i> -polinom	Lineáris regresszió	Exponenciális függvény	<i>Lagrange</i> -polinom	<i>Spline</i> -polinom
<i>EGNOS1x</i>	2.0	2.1	2.1	2.0	2.0	-0.1	-0.1	0.00	0.00
<i>EGNOS10x</i>	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0	-0.1	0.0	0.00	0.00
<i>EGNOS100x</i>	1.6	1.9	1.7	1.6	1.6	-0.3	-0.1	0.00	0.00
<i>EGNOS500x</i>	0.6	1.2	0.8	0.6	0.6	-0.6	-0.2	0.00	0.00
<i>EGNOS1000x</i>	0.5	0.2	0.3	-	-	0.3	0.2	-	-

A táblázatból látható, hogy a regressziós egyenes használata adja a legnagyobb eltéréseket, aminek oka, hogy ez az egyenes csak közelíti a támpontokat olyan módon, hogy a támpontok egyenestől mért függőleges távolságának négyzetösszege minimális legyen. Az exponenciális függvény eltérései nem jelentősek. A *Lagrange*- és *Spline*-polinom tulajdonságaiból következik, hogy ezen függvények áthaladnak a megadott támpontokon, ezért nem látható eltérés a függvényből számolt és a tapasztalati úton levezetett értékek között. A *Lagrange*-polinom előnye, hogy csak egy függvénytypussal kell számolni, míg ez a függvény a *Spline*-polinom esetén intervallumonként változik. Ugyanakkor a *Lagrange*-polinom egy hatodfokú polinom, míg a *Spline*-polinom csak harmadfokú, tehát egyszerűbben kezelhető. A görbék képét figyelembe véve látható, hogy a *Lagrange*-polinom lefutása hullámos, míg a *Spline*-polinomé sima, jól illeszkedik a tapasztalati úton megállapított értékekhez.

A fenti szempontokat mérlegelve elmondható, hogy a *Spline*-polinom az, ami a legjobban leírja az ismétlésszám és a megbízhatóság kapcsolatát. Figyelembe véve azonban a *Spline*-polinom képletének bonyolultságát, továbbá azt, hogy az exponenciális függvénnyel számított középhibák eltérései a tapasztalati úton levezetett értékekhez

képest a *DGPS*-technika pontossága miatt nem relevánsak, ezért a gyakorlatban ez utóbbi használata indokolt (3.19 képlet).

3.6. A *DGPS*-technika alkalmazási lehetőségei a barlangkataszterben

A *CMAS*-módszer alkalmazásával levezetett pontossági mérőszámok, továbbá az ismétlésszám és a megbízhatóság kapcsolatának ismeretében látható, hogy az *EGNOS*-korrekciókkal segített helymeghatározás alkalmas lehet – megfelelő feltételek teljesülése mellett – a barlangkataszter céljaira. Gyakorlati megfontolásokból a 10 fokos magassági kitakarási szöget és 500-szoros ismétlésszámot érdemes alkalmazni, mert a barlangkataszter által megkövetelt 1.0-1.5 méteres pontosságot ez a típusú meghatározás várhatóan biztosítja.

A mai, modern térinformatikai célú műholdas helymeghatározó eszközök az esetek ~90%-ában alkalmasak valós időben az 1 méter alatti pontosságú 2D pozíció és a 1.5 méter alatti pontosságú 1D pozíció meghatározásra ingyenes *EGNOS* korrekcióval, amennyiben az alábbi feltételek (saját tapasztalataim, továbbá a http://www.GPSdebrecen.hu/GPS_pontossag.htm weboldalon olvasható összefoglalás alapján) teljesülnek:

- szabad kilátás az égboltra (a kitakarási szög a zavaró objektumok függvényében 5-10-15 fok),
- *EGNOS*-holdak jelének folyamatos vétele,
- minimum 6 *GPS* műhold folyamatos követése,
- maximum 3-as *PDOP* érték,
- a mérés megkezdése előtt minimum 10 másodpercnyi tartózkodás a mérési ponton
- minimum 10 perc mérési idő vagy 500 átlagolt mérés,
- a készülék fejmagasságban tartása 45 fokos szögben vagy külső *GPS*-antenna használata.

Az *EGNOS*-korrekciókkal segített helymeghatározásnak a barlangkataszter szempontjából két alkalmazási területe lehetséges. Az egyik a bejáratok koordinátájának meghatározása, a másik pedig a barlangbejáratok helyszínrajzok elkészítéséhez szükséges mérések végrehajtása.

A bejáratok koordináták meghatározása csak a korlátok mérlegelése és a fentebb említett szempontok betartása mellett lehetséges. A pontosságot tárgyaló fejezetben bemutatott 3.5.-3.6. táblázatok segítik terepen a munkát az objektív, hasznos döntések meghozatalában. A táblázatok lényegében gyűjtőtáblázatok, amelyekben található mérőszámokat a terepi körülményekhez igazítva el tudjuk dönteni, hogy a bejáratot meg lehet-e határozni a kívánt pontossággal valós időben vagy sem.

Az *EGNOS*-korrekciókkal segített helymeghatározás alkalmas lehet a bejárat környezetét bemutató helyszínrajzok elkészítéséhez szükséges mérések elvégzéséhez is, amennyiben a felmérési környezet lehetővé teszi ezen *DGPS*-módszer alkalmazását. Az

Országos Barlangnyilvántartás (OBNY) nem írja elő a barlangkataszter számára az ilyen célú helyszínrajzok készítését (3/2007. (I. 22.) KvVM rendelet), azonban meglétük nagymértékben könnyítheti a barlangok nyilvántartását, terepi felkeresését.

A barlangok – különösen a kisbarlangok – bejáratai a terepen sokszor nehezen lelhetők fel. Az Országos Barlangnyilvántartásban található koordináták megfelelő pontosságúak a bejáratok újbóli terepi felkereséséhez, azonban egyes bejáratok környezetének növényzeti vagy sziklaformáció által okozott kitakarása miatt (navigáció pontosságának drasztikus romlása) szükség lehet a fényképek mellett bejárat helyszínrajzok készítésére is. A helyszínrajzok kellően részletesen mutatják a barlang bejáratának közvetlen környezetét, az ott található sziklaformációkat, növényeket, a mellettük elhaladó utakat és nyiladékokat, a bejáratról látható jelentős tereptárgyakat stb. Az EGNOS-korrekciókkal segített helymeghatározás – továbbá egy mérőszalag és tájoló – által biztosított méteres (ideális esetekben szubméteres) pontosság elegendő ahhoz, hogy a bejárat körül fellelhető tereptárgyakat bemérjük. Természetesen, ebben az esetben sem hagyhatók figyelmen kívül az alkalmazás feltételeire megállapított szempontok, továbbá a táblázatokban összefoglalt pontossági mérőszámok.

3.7. DGPS-technika a Velencei-hegység barlangkataszterében

A 2010-2012-es években a hegységben térképezett tizenhat új barlang illetve barlangszerű objektum bejáratának meghatározása és helyszínrajz készítése (3.6. ábra) mellett elvégeztem a hegységből már korábban ismert bejáratok újbóli bemérését is (TARSOLY, 2010b). A Velencei-hegység barlangjai nemkarsztos kőzetbe mélyednek és jellemzően kis kiterjedésűek, így nyilvántartásukat az Országos Barlangnyilvántartás (OBNY) mellett a Vulkánszpeleológiai Kollektíva (VK) is vezeti (csak síkbeli koordináták).

A VK honlapján (<http://geogr.elte.hu/nonkarstic>) megadott koordináták esetében sajnos semmilyen metaadat nincsen feltüntetve a koordináták származásáról, pedig a felhasználhatóság szempontjából hasznos információt közvetítene, ha meg lenne adva, hogy ki, mikor, milyen műszerrel és módszerrel, milyen pontossággal és megbízhatósággal határozta meg a koordinátákat.

A hegység keleti peremén lévő barlangok esetében a VK által és általam mért értékek EOV_y értelemben átlagosan 30 méter, EOV_x értelemben pedig átlagosan 60 méter eltérést mutatnak. A lineáris eltérés átlagos értéke 70 méter. A korábbi tesztmérések során bebizonyosodott (TARSOLY, 2009), hogy a vevő által kijelzett középhibák (HRMS, VRMS) jól fedik a valóságos értékeket, így ezen értékeket figyelembe véve elmondható, hogy a részben fedett terep ellenére a koordinátákat ± 1.5 méteres síkbeli, és ± 3.0 méteres magassági megbízhatósággal sikerült meghatároznom. A hegység középső részén (Bodza-völgy, Borjú-völgy, Polák-hegy) lévő bejáratok koordinátáit EGNOS-korrekciókra épülő DGPS-technikával meghatározni nem lehet,

mert a terep fedettsége és a bejáratok völgyoldali elhelyezkedése miatt a szabad kilátás déli irányban az égboltra nem biztosítható, így az *EGNOS*-holdak jelei nem észlelhetők. A bejáratokat abszolút *GPS*-méréssel határoztam meg; az így kapott koordináták megbízhatósága átlagosan ± 8.0 méteres síkbeli, és ± 12.0 méteres magassági értelemben. Korábban a hegység középső részén – 2010-12-ben ezen a területen hat gyapjúzsákbarlang és három gránit-álbarlang került feltárára – mindösszesen két barlang volt ismert: a Báracházi-barlang (valójában mesterséges üreg) és a Likas-kő (kvarcitbarlang). Ezen két barlang csak a VK nyilvántartásában szerepelt, az általam mért koordináták az ott tárolt értékekkel – tekintve a mért koordináták csekély megbízhatóságát illetve a VK nyilvántartásában szereplő koordináták bizonytalan eredetét – jó egyezést mutattak (síkjai értelemben ~ 25 méter; magasság a VK nyilvántartásában nem szerepel). A hegység nyugati részén lévő barlangok nyílt terepen helyezkednek el, tehát *EGNOS*-korrekciókkal történő bemérésüket semmi nem korlátozta. Meglepő módon a VK nyilvántartásában szereplő értékektől több száz méterre eltérő koordinátákat határoztam meg (3.10. táblázat). A vevő által kijelzett megbízhatósági mérőszámokat figyelembe véve a síkbeli megbízhatóság ezen barlangoknál átlagosan ± 0.9 méter volt, a magassági megbízhatóság pedig ± 1.5 méter. Később topográfiai térképre feltéve az adatokat egyértelműen bebizonyosodott, hogy a VK nyilvántartásában lévő koordináták hibásak voltak a hegység teljes területén, és azóta javításra is kerültek (a Vulkánszpeleológiai Kollektíva nyilvántartásának 2012-ben érvénybe lépő frissítésében már a javított értékek szerepelnek).

Az Országos Barlangnyilvántartásban (2012.09.20.) a Velencei-hegység barlangjai közül mindösszesen 3 darab szerepel (Pirofillit-bánya barlangja, Hasadék-barlang, Zsivány-barlang), melyeknek koordinátáit utófeldolgozással, kód-méréssel határozták meg. Mind a három barlang elhelyezkedése olyan (egy a hegység nyugati, kettő pedig a keleti részén található), hogy környezetükben magassági külpontosság alkalmazásával körpanorámás álláspont létesíthető. Összehasonlítva az általam mért értékeket az *OBNY*-ben tárolt értékekkel mindösszesen 3-5 méteres eltéréseket tapasztaltam, amelyek akár a bejáratok eltérő beazonosításából is származhatnak.

3.10. táblázat. Síkbeli eltérések a bejáratok koordinátaiban a Velencei-hegység nyugati részén a VK nyilvántartása és a saját méréseim között

Név	Y_VK	X_VK	Y_DGPS	X_DGPS	ΔY [m]	ΔX [m]	E [m]
Iker-kő barlangja	611477	210282	611307	210248	170	34	173
Oroszlán-kő barlangja	611615	210377	611435	210295	180	82	198
Gömb-kő barlangja	611586	210456	611406	210484	180	-28	182
Kis-barlang	611837	210758	611614	210573	223	185	290
Zsivány-barlang	611846	210759	611621	210583	225	176	286
Teraszos-barlang	611855	210761	611622	210580	233	181	295
Osztott-barlang	611862	210758	611630	210579	232	179	293
Háromszájú-barlang	611871	210761	611630	210577	241	184	303

3.8. Gránitbarlangok barlangbejárati helyszínrajzainak tartalmi és formai követelményei

A terepi objektumok bemérésénél nehezebb feladatot jelent a meghatározott tereptárgyak kartográfiai igényű, könnyen érthető és előállítható ábrázolása. Gránitba mélyülő nemkarsztos barlangokhoz tartozóan összeállítottam és rendszereztem a barlangbejárati helyszínrajz tartalmi és formai követelményeit, továbbá a fekete-fehér ábrázoláshoz szükséges jelkulcsrendszert (lásd a digitális CD-mellékleten a „Gránitbarlangok-jelkulcskészlet” könyvtárban). Mindezt a gyakorlatban a Velencei-hegység kisbarlangjain és barlangszerű objektumain teszteltem és minősítettem.

A jelkulcsrendszer létrehozásához figyelembe vettem az *MKBT* Kartográfiai Albizottsága által 1966-ban elfogadott barlangi jelkulcsrendszert (Karszt és barlang 1966/II. 69-76. oldal), a Nemzetközi Szpeleológiai Unió ajánlásait (*Cave Symbols – The Official UIS List*), az 1:10 000-es és 1:5000-es topográfiai térképek jelkulcsrendszerét (303/60 *ÁFTH* számú, illetve 116/60 *HM* számú rendelet), földtani térképek jelkulcsait (A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása, Budapest, 1996, *MÁFI*, ISBN 963671185), továbbá a földmérési alaptérképek jelkulcsrendszerét (*DAT1 M2*, Budapest, 1996).

A barlangbejárati helyszínrajz formai alapjául a geodéziai vízszintes alappontok pontleírását vettem. Az A/5-ös méretű helyszínrajzot két lényeges főbb alkotóelemre osztottam: a leíró adatok és a grafikus adatok információs mezőjére (3.7. és 3.8. ábra).

A leíró adatok információs mezői a helyszínrajz felső és jobb szélén helyezkednek el, és további alrészekre tagolódnak. A leíró adatok kiválasztásánál figyelembe vettem az Országos Barlangnyilvántartás által a barlangokra előírt kötelezően nyilvántartandó adatok körét, és ezek közül azokat az adatokat választottam ki, melyek elengedhetetlenül szükségesek a bejáratok terepi felkereséséhez. Néhány esetben, mint látni fogjuk, ezen adatok körét kiegészítettem további olyan információkkal (pl. koordináták többféle vonatkoztatási rendszerben stb.), amelyek a felhasználók terepi munkáját könnyítik.

A jobb oldali információs oszlop fentről lefelé teljes egészében végigvonul a lapszéltől befelé egyenlő távolságban (10 mm) körbefutó, 0.25 mm vastag vonallal határolt, 190×135 mm méretű határoló-kereten. Mérete 135×50 mm, és további öt részre oszlik. Minden önálló cella bal felső sarkában a cella tartalmának megnevezése látható 3 mm-es álló *Times New Roman* félkövér betűtípussal. A cellák kitöltése (kivéve az egyedileg kiemelteknél) azonos méretű betűtípussal történik, azonban itt a betűk már nem félkövérek, hanem döltek. A cellákat 0.20 mm vastag vonalak határolják. A legfelső cella mérete 15×50 mm, és a kataszteri terület/sorszám értéket tartalmazza, illetve annak a földrészletnek a helyrajzi számát, amelyről a bejárat, vagy bejáratok nyílnak. Fentről a második mező mérete 15×50 mm, és a közigazgatási adatokat (megye, település) tartalmazza. Fentről a harmadik mező mérete 37×50 mm, és a bejárat megközelítésének leírását tartalmazza. Fentről a negyedik cella mérete 50×50 mm, és a bejárat digitális

fényképezőgéppel készített, színes fényképét tartalmazza. Jobb oldalon a legalsó cella mérete 15×50 mm, és a felmérő vagy helyszínelő nevét, illetve a felmérés és helyszínelés évét tartalmazza.

A felső részen elhelyezkedő információs mező a bal oldali határoló kerettől a jobb oldali információs oszlopig tart, mérete 40×142 mm és négy, egyenként 10 mm széles sorra oszlik. A felső sor két részből áll; a cellák mérete 10×80 mm és 10×60 mm. A bal oldali cellában a barlang neve található 3 mm-es dőlt, félkövér *Times New Roman* betűtípussal. A jobb oldali cellában a barlang hossza és mélysége olvasható. A második sor négy részre oszlik. A bal oldali cella mérete 10×10 mm, és a vetületi rendszer rövidített megnevezését (*EOV*) tartalmazza. A második és harmadik cella mérete 10×40 mm, és az y_{EOV} és x_{EOV} koordinátákat tartalmazzák. A negyedik cella mérete 10×45 mm és a Balti magasságot tartalmazza. A harmadik sor négy részre oszlik. A bal szélső cella a harmadik és negyedik sorban egyesített, mérete 20×20 mm, és a vonatkoztatási rendszer rövidített megnevezését (*WGS84*) tartalmazza. A következő három cella mérete 10×38 mm, és a *WGS84* rendszerben adott X, Y, Z koordinátákat tartalmazza. A negyedik sor ismét négy részre oszlik. A bal szélső cella mérete a harmadik sorban lévővel egyesített. A második és harmadik cella mérete 10×40 mm, és a *WGS84* φ és λ koordinátákat tartalmazzák. A negyedik cella mérete 10×45 mm és az ellipszoidi magasságot tartalmazza.

A barlangbejárat helyszínrajz grafikus, térképi részét tartalmazó mező a bal alsó részen található, mérete 100×135 mm. Kitöltésénél ugyanazok a szabályok érvényesek, mint egy geodéziai pontleírás esetében:

- a helyszínrajz alakhelyes, méretarányal nem rendelkező rajz,
- minden vonal illetve felületszerű objektum a határoló vonalig tart (ezzel keltve a térképi folyamatosság érzetét),
- a bejáratok közvetlen környezetét felnagyítva ábrázoljuk, majd pedig attól távolodva egyre kevésbé részletesen jelenik meg a terep felszíne.

Természetesen ezen ábrázolás megvalósításához alkalmaznunk kell a kartográfiai generalizálás minden módszerét (*ZENTAI*, 2000): az egyszerűsítést, a nagyobbítást, az eltolást, az összevonást, a tipizálást (jelkulcsokkal történő ábrázolást), a kiválasztást és a hangsúlyozást.

A helyszínrajz elkészítéséhez összeállítottam és rendszereztem egy, a gránitba mélyülő nemkarsztos barlangbejáratok esetére alkalmazható jelkulcskészletet (lásd a digitális CD-mellékleten a „Gránitbarlangok-jelkulcskészlet” könyvtárban), különös gonddal figyelembe véve az 1966-ban a Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat és a Nemzetközi Szpeleológiai Unió által elfogadott nemzetközi jelkulcsrendszert. Ez utóbbi jelkulcsrendszer az V. csoportban 43-50. sorszámmal összesen 8 darab kifejezetten nemkarsztos jelkulcsot tartalmaz, a többi jelkulcs pedig a felszíni és felszín alatti karsztformákat jelöli, illetve olyan szpeleológiai jelkulcsokat, amelyek nagy barlangok

kis- közepes- és nagyméretarányú ábrázolásához szükségesek. Az általam létrehozott nemkarsztos jelkulcsrendszer összesen 56 darab jelkulcsból áll, és kifejezetten csak a felszín feletti formakincs ábrázolását teszi lehetővé.

A más jelkulcskészletből átvett és saját jelkulcsok darabszáma a következőképpen alakul:

- Pontszerű-jelkulcsok: 20 db (topográfiai és kataszteri térképből) átvett, 9 saját (meglévő jelkulcsok átalakításával); összesen 29 darab.
- Vonalszerű-jelkulcs: 8 db (topográfiai és szpeleológiai térképből) átvett, 1 saját (meglévő jelkulcsok átalakításával); összesen 9 darab.
- Felületszerű-jelkulcs: 13 db (topográfiai, földtani és szpeleológiai térképből) átvett, 5 db saját (meglévő jelkulcsok átalakításával); összesen 18 darab.

A meglévő jelkulcsok átalakításával általam szerkesztett saját jelkulcsok (3.6. ábra) tételesen a következők:

1. Pontszerű jelkulcsok:

- Omega-1: a bejárat helyét jelölő 4 mm-es görög abc-beli nagy omega betű, melynek jobb felső sarkában helyezkedik el a befoglaló közet nevének kezdőbetűje 2 mm álló betűtípussal (g – gránit).
- Omega-2: a veszélyes megközelítésű bejárat helyét jelölő 4 mm-es görög abc-beli nagy omega betű, melynek jobb felső sarkában helyezkedik el a befoglaló közet nevének kezdőbetűje 2 mm álló betűtípussal, a jelkulcs után a jelkulcs magassági méretével egyező felkiáltójellel.
- Omega-3: a lezárt bejárat helyét jelölő 4 mm-es görög abc-beli nagy omega betű, melynek jobb felső sarkában helyezkedik el a befoglaló közet nevének kezdőbetűje 2 mm álló betűtípussal, a jelkulcs után a jelkulcs magasságának fele méretét kitevő két vízszintes párhuzamos vonalat metsző két párhuzamos, a jelkulcs méretével egyező függőleges vonal ("kerítés").
- Kapu: a mesterséges üreg bejáratát jelölő 4 mm-es fél ellipszis alakú jelkulcs, belső részén a külső határoló vonaltól 0.18 mm távolságban haladó fekete színű kitöltéssel, jobb felső sarkában a befoglaló közet nevének kezdőbetűjével 2 mm álló betűtípussal.
- Kótált pont-1: középső részén 1 mm átmérőjű fekete kör, melyhez a négy égtáj irányában a lejtés irányba mutató, 4 mm hosszú nyilak csatlakoznak; a nyilak között a jelkulcs jobb felső sarkában a Balti-tenger szint feletti magasság van megírva 2 mm-es álló betűvel, méter élességgel.
- Kótált pont-2: középső részén 1 mm átmérőjű fekete kör, melyhez a négy égtáj irányában a vízszintességet mutató, 4 mm hosszú vonalak csatlakoznak; a vonalak között a jelkulcs jobb felső sarkában a Balti-tenger szint feletti magasság van megírva 2 mm-es álló betűvel, méter élességgel.

- Kótált pont-3: középső részén 1 mm átmérőjű fekete kör, melyhez a négy égtáj irányában 4 mm hosszú, a vízszinteséget mutató vonalak vagy lejtírányt kifejező nyilak csatlakoznak; a vonalak és nyilak között a jelkulcs jobb felső sarkában a Balti-tenger szint feletti magasság van megírva 2 mm-es álló betűvel, méter élességgel.
- Kútgyűrű: 4 mm átmérőjű kör alakú jelkulcs, amely az aknabarlangok vagy kútgyűrűvel foglalt barlangbejáratot mutatják; a körbe a négy égtáj irányából 1 mm hosszú tüskék nyúlnak; a jelkulcs jobb felső sarkában a befoglaló közet kezdőbetűje olvasható 2 mm álló betűtípussal.
- Kilátás: szép kilátású helyet jelölő négyágú csillag, melynek karjai 3 mm hosszúságra nyúlnak.

2. Vonalszerű-jelkulcsok:

- Tereptárgy: jellegzetes tereptárgy felé mutató 5 mm hosszú nyíl, mely felett az égtáj megnevezésének kezdőbetűi olvashatók 2 mm álló betűtípussal, a felirat talpa a nyíllal párhuzamos; a nyíl jobb felső sarkában 2 mm álló betűtípussal a mágneses azimut értéke olvasható fok élességgel.

3. Felületszerű-jelkulcsok:

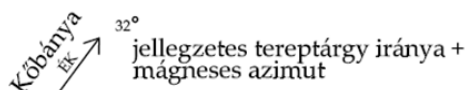
- Szikla: a bejáratot befoglaló jellegzetes sziklaképződmény alaprajzos ábrázolása 0.5 mm vastag határvonallal; a sziklában vagy a szikla mellett mind két végén nyílban végződő méretjelöléssel, amely a szikla hosszát és szélességét mutatja, a nyilak felett elhelyezett 1.5-2 mm magasságú méter éles felirattal, továbbá a szikla mellett elhelyezett talpas nyíllal, amely a szikla becsült magasságát mutatja, mellette 1.5-2 mm magasságú méter éles felirattal
- Kötenger: az ábrázoláshoz szükséges határon 0.18 mm vastag vonallal határolt, 1mm átmérőjű körökkel folyamatosan kitöltött felület.
- Sarjerdő: az ábrázoláshoz szükséges határon 0.18 mm vastag vonallal határolt, belül a két szárán rövid vízszintes vonalban végződő „v” betűk sorozatával folytatólagosan kitöltött felület, amely a felvételezés évét is rögzíti.
- Cserje: az ábrázoláshoz szükséges határon 0.18 mm vastag vonallal határolt, belül nyomtatott „Y” betű szárát rövid vízszintes vonallal keresztezett szimbólumok sorozatával folytatólagosan kitöltött felület, amely a felvételezés évét is rögzíti.
- Lejtés: alaprajzszerűen ábrázolt síkrajzi elemek (út, vízmosás) lejtésviszonyait tükröző jelkulcs, az ábrázoláshoz szükséges határon 0.18 mm vastag vonallal határolva, melyen belül a lejtírányba mutató nyíl keresztezi a határoló vonalakon belül megrajzolt rövid szintvonalszakaszokat.

A jelkulcsok a fekete-fehér ábrázoláshoz lettek kidolgozva olyan formában, hogy azt a térképészeti előképzettséggel nem rendelkező barlangászok is képesek legyenek előállítani egy tetszőlegesen megválasztott, általános grafikai célú szoftverrel. A jelkulcsok tervezésénél figyelembe vettem azt a szempontot, hogy alakjuk, mintázatuk jól tükrözze az ábrázolni kívánt objektum elsőre látható jellemző tulajdonságait. Az ábrázolás részletessége olyan módon lett megalkotva, hogy egyszerű, bárki számára beszerezhető eszközökkel (kézi GPS, tájoló, mérőszalag) meghatározhatók legyenek az objektumok terepi összerendezői (koordináták, méretek).

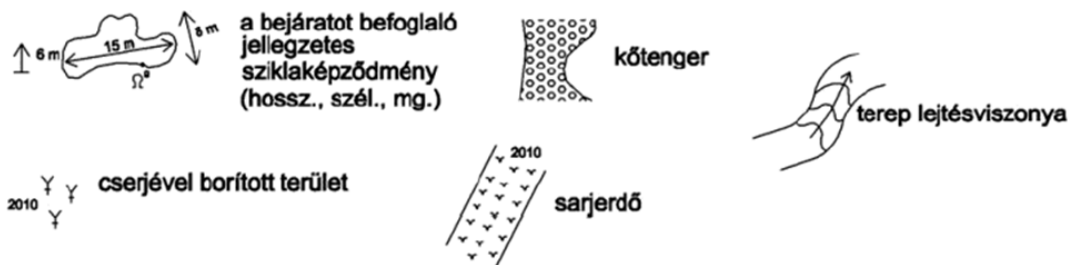
Pontszerű jelkulcsok



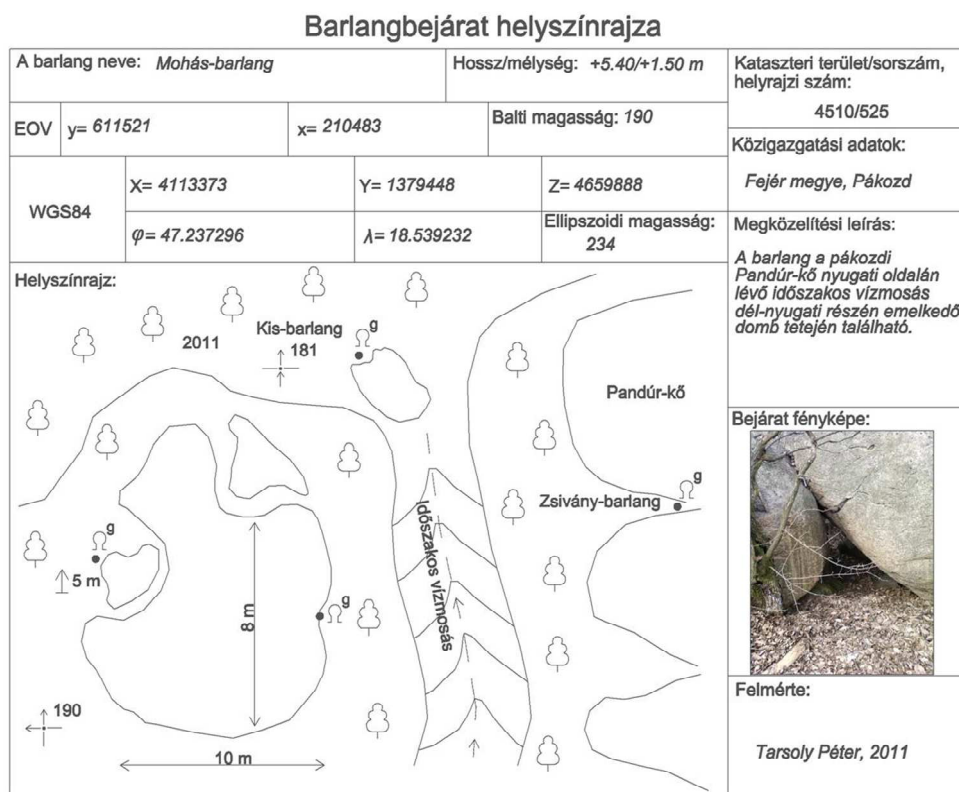
Vonalszerű jelkulcsok



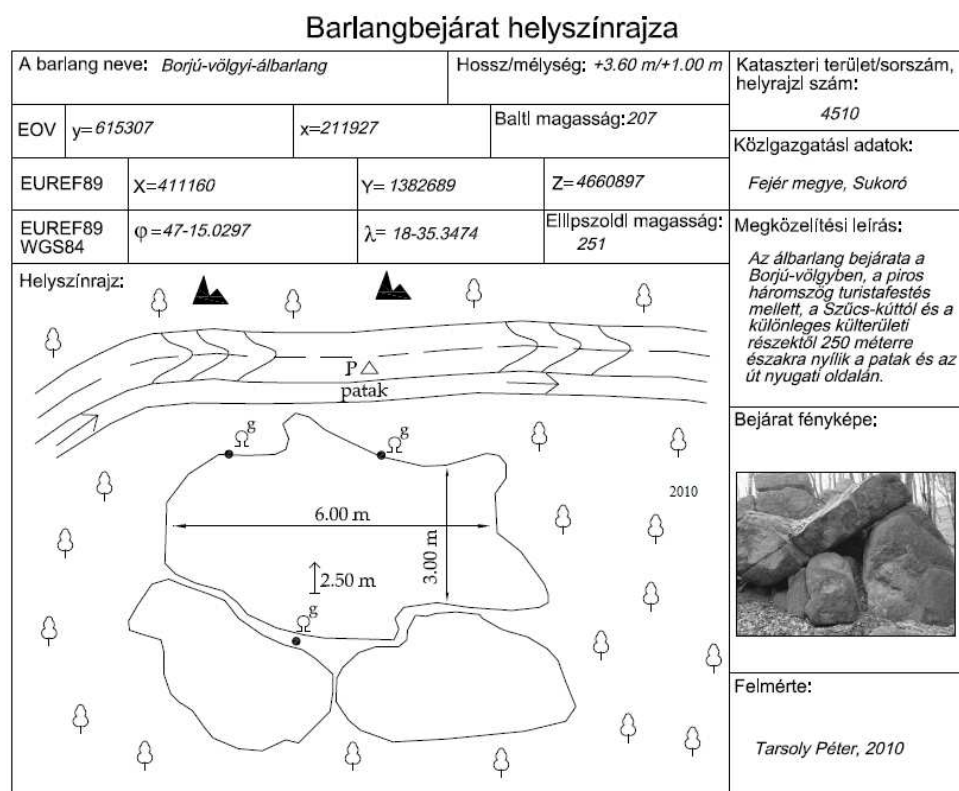
Felületszerű jelkulcsok



3.6. ábra. Meglévő jelkulcsok módosításával létrehozott saját jelkulcsok a gránitba mélyülő nemkarsztos barlangbejáratok ábrázolásához szükséges barlangbejárat helyszínrajz jelkulcskészletében



3.7. ábra. Barlangbejárat helyszínrajz a Velencei-hegységben található Mohás-barlang (gyapjúsákbárány) esetében



3.8. ábra. Barlangbejárat helyszínrajz a Velencei-hegységben található Borjú-völgyi-álbarlang (gránit álbarlang) esetében

4. Gyapjúsákbarlangok mikroklimatológiai paramétereinek vizsgálata

„...A természet mindig sikerültebb törvényeket szerkeszt, mint az emberek...”

(Michel Eyquem de Montaigne (1533 – 1592), Törvényekről)

Talán a barlangklimatológia az egyetlen olyan tudományterülete a speleológiának, amelyről összefoglaló szakkönyv jelent meg Fodor István tollából 1981-ben, mégis elmondható, hogy törvényszerűségeit tekintve ez az egyik legkevésbé ismert szakterület. Különösen igaz ez a hazai nemkarsztos kőzetben lévő barlangokra, amelyek mindig is kevesebb érdeklődőt és kutatót vonzottak (ESZTERHÁS, 1994, 2001, 2002).

A középhegységeink karsztos köztömegében előforduló fontos, nagy barlangjainkban hosszú idő óta folynak rendszeres megfigyelések a mikroklima térképezésére, a barlangbeli és felszíni klíma-kapcsolat meghatározására. A kisbarlangok és barlangszerű objektumok azonban ugyanígy rendelkezhetnek sajátos, egyedi mikroklimával; kutatásukkal, különösen a nemkarsztos kőzetben lévő kisbarlangok mikroklimájával, eddig még senki nem foglalkozott behatóbban. A kisbarlangokban természetesen nem alakulhat ki olyan tulajdonságokkal rendelkező mikroklima, mint amely egy 50-100 méter mélységű barlangban megfigyelhető, de kétségtelen, hogy kisbarlangjaink „lélegeznek”, a környezettől eltérő klíma-paraméterekkel jellemezhetők, és ezen tulajdonságaik összefüggnek a külső környezeti változásokkal. A barlangi klíma elemei – légáramlás, hőmérséklet és páratartalom – megfigyelésére és modellezésére rendszeres méréseket végeztem a pákozdi Zsivány-barlangban, és időszakos megfigyeléseket további gyapjúsákbarlangokban: az Iker-kő barlangjában, a Gömb-kő barlangjában, az Oroszlán-kő barlangjában, a Rejtekek-barlangban, a Háromszájú-barlangban és a Mohás-barlangban. A gyapjúsákbarlangokban korábban senki nem végzett mikroklimatológiai méréseket, így kutatásom célja elsődlegesen az ismeretszerzés volt, a speleológiai adatokban meglévő hiány kitöltése, továbbá a mért adatok bemutatása és modellezése a térinformatika eszköztárának segítségével. A mért adatok elemzése mindemellett segítséget nyújthat a gyapjúsákbarlangok kialakulása fanerogenetikus fázisának a jobb megértéséhez is, hiszen ebben a folyamatban a hidrolízises mállás és az aprózódás játssza a döntő szerepet, mely folyamatok összefüggnek a klimatológiai adottságokkal.

4.1. Barlangok mikroklimatológiai rendszerének jellemzésére használt mérőszámok és modellek¹

A barlangok olyan természetes földalatti üregrendszerek, amelyeknek sajátos mikroklimáját egyetlen mérőszámmal jellemezni nem lehet. A bennük lejátszódó légköri

¹ szakirodalmi összefoglaló fejezet rész

folyamatoknak meghatározott karaktert ad a morfológia, a víz, a bezáró kőzet stb. A barlangok jellemzése tehát csak rendszerben képzelhető el, amelynek három legfontosabb paramétere a hőmérséklet, a páratartalom és a légáramlás.

Kutatásomban azért volt szükséges a jelenleg a barlangklimatológiai megfigyelésekben használt számítási képletek részletes vizsgálata a hibaelmélet és a kiegyenlítő számítások segítségével, mert csak ilyen módon tudtam megismerni azt a hatásmechanizmust, amelyet az egyes számítási és paraméter-meghatározási eljárások jelentenek a gypjűzsákbarlangok mikro- és bioklimatológiai modellezésében.

4.1.1. A légáramlás, a hőmérséklet és a páratartalom szerepe a barlangok mikroklimatológiai rendszerében

A levegő mozgásának meghatározó szerep jut a barlangklíma sajátos jellegének kialakításában, s talán a legfontosabb paraméter a feltáró kutatások és az ismeretszerzés szempontjából. A légáramlás mértéke és minősége mutatója a szabad és a barlangi légtömegek cseréjének, ezen keresztül egyik jelentős tényezője a barlangok anyag- és energiaforgalmának. Az állandó légcserre révén a barlangokban tiszta és egészséges levegő található, emiatt a barlangokat por-, csíra- és allergénmentes környezetnek lehet tekinteni. A barlang bejáratánál vagy az elágazásokban tapasztalható légáramlást nemcsak az elméleti kutatások, hanem a gyakorlati barlangkutatás is megfelelően tudja hasznosítani.

A barlangi légáramlást számos szerző vizsgálta már korábban műveiben, és hozta összefüggésbe a hőmérséklet, a légnyomás és a légsűrűség változásával. Ezen kívül a barlangi légáramlás más egyéb tényezőkkel is mutathat szorosabb vagy kevésbé szoros összefüggést pl. felszíni uralkodó szélirány, a környező táj geomorfológiája stb. *BÉLL* (1945) a mesterséges földalatti terek kutatása során, *JAKUCS* és *MARKÓ* (1956) pedig a barlangok légáramlási rendszerének vizsgálata során jutott arra a következtetésre, hogy a légáramlás szoros összefüggésben van a légnyomáskülönbséggel. A légáramlással foglalkozó kutatások rámutattak arra, hogy a felszíni időjárási elemek, a felszíni hőmérséklet kivételével, gyenge kapcsolatot mutatnak a barlangi légáramlással (*FODOR*, 1981). A barlangi levegő áramlását a barlangban és a felszínen ugyanabban a magassági szintben uralkodó légnyomáskülönbség okozza, ami szoros kapcsolatban van a két eltérő állapotú légtömeg hőmérsékletkülönbségével. A hőmérsékletkülönbség és a légáramlás kapcsolata nem lineáris (*MARKÓ*, 1962; *FODOR*, 1981; *NYERGES*, 2006), azaz a hőmérsékletkülönbség növekedésével nem növekszik minden határon túl a légáramlás erőssége. Alacsony hőmérsékletkülönbségek mellett a légáramlás sebessége erősebben, magasabb hőmérsékletkülönbségek esetén pedig gyengébben növekszik. Ezt a jelenséget a levegőnek a barlang falával való súrlódása okozza. A levegő, a kőzetben lévő repedéseket is figyelembe véve, nagy felületen érintkezik a barlang járataival és azoknak

egyenetlen felfelületével. *FODOR* (1981) empirikus úton meghatározott egy szigmoid függvényt, amely jól leírja a légáramlás és a hőmérsékletkülönbség kapcsolatát:

$$v = A \cdot \frac{1}{1 + b \cdot e^{c \cdot \Delta t}} + B \quad (4.1)$$

ahol

v = a barlangi légáramlás nagysága m/s -ban,

Δt = a külső és belső hőmérséklet különbsége $^{\circ}C$ -ban,

b és c = a görbe alakját meghatározó konstansok.

FODOR megadja a függvény alakját az Abaligeti-barlangra vonatkozóan, és összefoglalja, hogy a b és c konstansok milyen határértékek között változhatnak, de nem ad támpontot arra vonatkozóan, hogy a képletben szerepelő A és B paraméterek milyen módon számolhatók. *FODOR* függvénye jól szemlélteti, hogy a hőmérsékletkülönbség változásával a szél erőssége növekedése nem lép túl egy meghatározott határértéket, azaz a görbe aszimptotikusan tart egy y határértékhez. Elméletileg minden barlangról rajzolható egy ilyen görbe, amely mutatja a barlang átszellőzési fokát. Minél meredekebb a görbe, annál nagyobb az átszellőzöttség foka, és annál nyíltabb a barlang. Amennyiben a görbe átmegy a 0-ponton, úgy az azt jelenti, hogy a barlang nyílásán keresztül változik a légáramlás iránya is, tehát a barlang rendelkezik tipikus téli és nyári légkörzessel. Ha nulla a hőmérsékletkülönbség, akkor a barlang és a külső környezet között energiaegyensúly van, azaz a barlang bejáratánál szélcsend van. A légáramlásnak tehát közvetve kiváltó oka a hőmérsékletkülönbség, de nem egyedüli meghatározója. Más fizikai tényezők is kapcsolatban vannak vele, melyeket a 4.1. táblázatban foglaltam össze *FODOR* 1981-es munkája alapján.

4.1. táblázat. A barlangi légáramlás és a felszín, valamint a barlang légtere éghajlati elemei közti kapcsolat statisztikai elemzése (*FODOR*, 1981)

	Parciális korrelációs együttható (P=95%)
Léghőmérséklet a barlangban [$^{\circ}C$]	A korrelációs együttható nem különbözik szignifikánsan nullától ($p \geq 0.05$).
Relatív nedvesség a barlangban [%]	A korrelációs együttható nem különbözik szignifikánsan nullától ($p \geq 0.05$).
Párányomás a barlangban [$mbar$]	A korrelációs együttható nem különbözik szignifikánsan nullától ($p \geq 0.05$).
Léghőmérséklet a szabadban [$^{\circ}C$]	0.77
Relatív nedvesség a szabadban [%]	0.73
Párányomás a szabadban [$mbar$]	-0.68
Légnyomás a szabadban [$mbar$]	A korrelációs együttható nem különbözik szignifikánsan nullától ($p \geq 0.05$).

A barlangi huzat alapvető oka a barlangi és a felszíni levegő hőmérsékletkülönbsége, ezáltal nyomás- és sűrűségkülönbsége. A melegebb levegő ritkább, a hidegebb sűrűbb, a légáramlást a kétféle levegő fajsúlykülönbsége okozza (kéményhatás). A barlangi levegő áramlásának iránya és sebessége elsősorban a felszíni hőmérséklettől

függ, s azt az egyéb felszíni klímaparaméterek (légnomás, szél stb.) csak kevésbé befolyásolják, inkább csak zavarják (FODOR, 1981; 4.1. táblázat). A felszíni és a barlangbeli nyomáskülönbség a következő képlettel számítható (TERMÉSZETTUDOMÁNYI KISLEXIKON, 1989, LOSONCI, 2010):

$$\Delta P = C \cdot a \cdot h \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (4.2)$$

ahol

ΔP = nyomáskülönbség Pascal-ban,

$C= 0.0342$ (állandó),

a = külső légnyomás Pascal-ban,

h = vertikális kiterjedés méterben,

T_0 = külső hőmérséklet Kelvin fokban,

T_i =átlagos belső hőmérséklet Kelvin fokban.

A nyomáskülönbség hatására bekövetkező légáramlást a következő összefüggéssel számíthatjuk (TERMÉSZETTUDOMÁNYI KISLEXIKON, 1989, LOSONCI, 2010):

$$Q = K \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \frac{T_i - T_0}{T_i}}, \text{ ha } T_i > T_0$$
$$Q = K \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \frac{T_0 - T_i}{T_0}}, \text{ ha } T_0 > T_i \quad (4.3)$$

ahol

Q = légáramlás, m^3/s -ban,

A = a bejáratok felülete m^2 -ben,

K = felszíni légnyomás együtthatója, általában 0.65,

g =nehézségi gyorsulás, $9.81 m/s^2$,

Δh =vertikális kiterjedés méterben,

T_i = átlagos belső hőmérséklet Kelvin fokban,

T_0 =külső léghőmérséklet Kelvin fokban.

A barlangi légáramlás sebességének a kiszámítására használható MARKÓ (1962) összefüggése (4.4 képlet). A gyakorlati vizsgálatok során kiderült, hogy MARKÓ-képlete csak abban az esetben működik hatékonyan, ha Δt értéke kicsi (FODOR, 1981).

$$c = K \cdot \sqrt{\Delta t} \quad (4.4)$$

ahol

c = légáramlás, m/s -ban,

K = felszíni légnyomás együtthatója, értéke általában 0.65,

Δt = barlangi és felszíni hőmérséklet különbsége $^{\circ}C$ -ban.

A légáramlás számításának egyéb képletei a légsűrűségből indulnak ki. Ennek összefüggései lényegében megegyeznek a szűk terek (kémények, csövek stb.) belsejében

kialakuló légáramlás számításának empirikus képleteivel (AIR FLOW, 2012; NEWKIRK, KILLENBECK, 2012).

A levegő sűrűsége 1.293 kg/m^3 0°C -on, a levegő sűrűségét tetszőleges hőmérsékleten az alábbi egyenlettel lehet számolni:

$$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 1.293 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot \frac{273.15[\text{K}]}{273.15[\text{K}] + t[^\circ\text{C}]} \quad (4.5)$$

A számított légsűrűség értékekből számítható a légsebesség értéke m/s -ban:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \left[9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot (\rho_0 - \rho_r) \cdot h}{\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{d_h} + \sum \xi \cdot \rho_r}} \quad (4.6)$$

ahol

v = áramlási sebesség m/s -ban,

h = vertikális kiterjedés méterben,

dh = hidraulikus átmérő méterben (becsülve a járatok keresztmetszéneiből),

ρ_0 = felszíni levegő sűrűsége kg/m^3 -ben,

ρ_r = barlangi levegő sűrűsége kg/m^3 -ben,

l = a barlang hossza méterben,

λ = súrlódási együttható (0.8 – durva felület),

$\sum \xi$ = összesített áramlási veszteség (elhanyagolható, ezért értéke 1.0).

A szélsébsesség értékeinek számítása után számíthatjuk a légáramlás értékét m^3/s -ban:

$$q = \pi \cdot \frac{d_h^2}{4} \cdot v \quad (4.7)$$

ahol

q = légáramlás, m^3/s ,

v =áramlási sebesség m/s -ban,

dh = hidraulikus átmérő méterben (becsülve a járatok keresztmetszéneiből).

A 4.2 és 4.7 között felsorolt képletek mindegyike alkalmas a barlangi szélsébsesség (m/s) és légáramlás (m^3/s) meghatározására, azonban bizonyos megkötéseket figyelembe kell venni alkalmazásuknál. A 4.2. fejezetben a hőmérők vizsgálatánál fejtem ki részletesebben a hibaterjedés törvényének felhasználásával, hogy a fent nevezett képletek melyike alkalmas a gypjúsákbarlangok klimatológiai paramétereinek meghatározására.

A barlang levegőjének a hőmérséklete a befoglaló közet hőmérsékletétől, valamint az adott helyen uralkodó levegő- és vízforgalomtól függ. Ez utóbbi két tényező miatt tapasztalható ingadozás a barlangok levegőjének hőmérsékletében, a felszíni hőmérséklettől függően. A barlang léghőmérsékletének átlaga mindig valamivel a felszín évi középhőmérséklete alatt van, hiszen télen a behúzó légáramlás lehűti a barlangot, míg nyáron a repedéshálózatán keresztül közethőmérsékletű levegő érkezik a barlangba (FODOR, 1981; NYERGES, 2006). Az ingadozások természetesen a barlang belsejében nem túl nagyok, eltekintve természetesen a bejárati zóna térségétől, és a kettő között

kialakul az úgynevezett *hidegpont*, melynek hőmérséklete télen-nyáron alacsonyabb a barlangi hőmérsékletnél, mivel itt van az a pont, ahol a téli befelé húzó hideg levegő hűtő hatását a nyári kifelé húzó barlangi "meleg" nem tudja kompenzálni.

A barlangok egyes részeit a hőmérséklet és annak változása szerint az alábbi szakaszokra bontjuk (FODOR, 1981; NYERGES, 2006):

1. Bejárati szakasz: ahol a napi hőmérséklet-ingadozás meghaladhatja a napi 1 °C-ot. Ez három alszakaszra osztható:

- a) hűlési (télen melegedési) szakasz,
- b) örvénylési szakasz,
- c) melegedési (kiegyenlítődési) szakasz.

2. Barlangi szakasz: ahol a hőmérséklet napi ingadozása kisebb 1 °C-nál.

A barlangi levegő relatív páratartalma (a levegő víztartalma összehasonlítva az adott hőmérsékleten vízgőzzel telített levegőével) általában 95-100% közötti, amely a bejáratától való távolság és a huzatviszonyoktól függően lehet csak kevesebb (normál csapadékviszonyok esetén). Ingadozásának mérését nagyban megnehezíti az a tény, hogy a használható mérőműszerek hibája nagyobb, mint a várható ingadozás. Megtévesztő a relatív páratartalom magas értéke, a barlangi levegő abszolút páratartalma általában (egy liter levegőben levő vízpára mennyisége grammokban) jóval alacsonyabb a felszíni levegő abszolút páratartalmánál.

4.1.2. A klimatikus barlangtípusok modelljei

A barlangokban végzett mikroklimatológiai megfigyelések eredményei vezettek a különböző klimatikus barlangmodellek megalkotásához. Az első átfogó osztályozás PENCK-től származik 1889-ből, aki klimatológiai szempontból a barlangok három típusát különböztette meg:

- felül zárt, nehezen hozzáférhető, száraz barlang, állandóan meleg hőmérséklettel,
- két oldalt nyitott, patak által keresztülfolyt barlang, jelentékeny hőmérsékleti ingadozásokkal,
- felül nyitott, nedves jégbarlang, állandó alacsony hőmérséklettel.

OEDL saját, és mások ausztriai, svájci és németországi méréseit felhasználva 1923-ban újabb, általános érvényűnek tartott csoportosítást tett közzé:

- vizes barlangok,
 - víznyelő barlangok,
 - forrásbarlangok,
- száraz barlangok.

OEDL rendszerében is létezett a száraz barlangoknak további csoportosítása, ezeket a barlangokat a hőmérséklet, a légmozgás, a barlangot kitöltő anyag fizikai természete szerint tovább differenciálta, ezzel téve lehetővé a részletesebb besorolást. Hőmérséklet

szerint megkülönböztetett meleg és hideg barlangokat, légmozgás szerint statikus és dinamikus barlangokat, a barlangokat kitöltő anyag fizikai természete szerint pedig cseppkő- és jégbarlangokat. Túl azon, hogy ebbe a rendszerbe például a nemkarsztos száraz barlangokat nem lehetett elhelyezni, mégis ezt a fajta osztályozást lehet a későbbi klimatológiai modellek alapjának tekinteni.

GRESSEL 1958-ban újabb modellt fogalmazott meg. Bírálta a barlangok osztályozására korábban kitalált modelleket, mert szerinte a hőmérsékleten alapuló besorolás nem fejezi ki egyértelműen a barlangok klimatológiai jellegzetességeit. *GRESSEL*-nek ez egy jó meglátása volt, hiszen a hőmérséklet nem fejezi ki elég plastikusan például az átszellőzés módját, ráadásul a hőmérsékleti viszonyok az egyes barlangokban nagyon specifikusak és ingadozók. Dinamikai szempontokon nyugvó osztályozást javasol, ebben azonban nem veszi kellő mértékben figyelembe a hőmérséklet szerepét, és a hangsúlyt jóformán csak az átszellőzésre helyezi:

- Dinamikus barlangok: amelyek két vagy több nyíláson keresztül kapcsolatban vannak a külvilággal. Ezek a barlangok közvetlen kapcsolatban vannak a felszíni légnyomással, hőmérséklet és légáramlási viszonyokkal.
- Sztatikus barlangok: amelyeknek csak egy bejáratuk van. Aszerint, hogy a rendszer a hegy belseje felé emelkedik vagy süllyed, beszélhetünk melegebb vagy hidegebb barlangról.
- Sztatodinamikus barlangok: egyrészt a dinamikus barlangokhoz hasonlóan, több nyíláson keresztül állnak kapcsolatban a külvilággal, de vannak olyan oldaltermek is, amelyek a barlangi szellőzéstől egyáltalán nem, vagy csak részben befolyásoltak.

GRESSEL a termálbarlangokat különleges barlangoknak tartja klimatológiai szempontból, hiszen ezeknél a barlangoknál a klímát a keresztülfolyó termálvíz hőmérséklete jelentősen befolyásolja.

Az 1960-as években jelennek meg az első olyan barlangosztályozási rendszerek, amelyek a mikroklimatológia kialakulásánál már a geomorfológiát is figyelembe vették. *QUITT* 1962-ben már utalt arra, hogy a barlangok klímáját a földalatti terek formája, nagysága és hidrológiai viszonyai döntően befolyásolhatják. *JAKUCS* 1960-ban feltárja a karsztfejlődés genetikáját és 1962-ben *KESSLER*-rel közös tanulmányban megadja a barlangok genetikai osztályozásának rendszerét. Ezt követően a barlangklimatológiai modellek a légköri állapotváltozók mellett már a barlangok morfostruktúráját is figyelembe vették.

A ma elfogadott elméletek szerint a barlangok klímáját energiaforgalmuk határozza meg. Az energiamérleg két karját a felszíni és barlangi energiamennyiségek jelentik, melyeket döntően befolyásolnak a légköri állapotváltozók a barlangban és a felszínen, a barlangot magába foglaló közet helyzeti energiája, a barlangok morfostruktúrája, továbbá a barlangok légkörzési rendszere (*FODOR*, 1981). A barlangok korábbi klimatikus csoportosítása egy vagy több éghajlati elemet vett csak figyelembe (pl.

hőmérséklet, légáramlás stb.). Ezek a rendszerek azonban túlzottan leegyszerűsítették a kérdéskört, a helyes megközelítést a komplex mérőszámokból való következtetések levonása jelenteti. Ahhoz, hogy egy barlang klimatológiai modellje megállapítható legyen, mindenképpen figyelembe kell venni a barlangban tartózkodó ember közérzetét, azaz a biológiai hőmérsékletet, melynek meghatározására több mérőszám is ismert. Kutatásaimban én négyféle index segítségével határoztam meg a termális komfort értékét: a *Beçancenot*-féle index (1974), a *Wind-chill* index (Észak-Amerikai - Európai, 2005), a *Linke*-féle index (1957) és a *Bradtke*-féle index (1937) felhasználásával. Azért esett a választásom ezekre a mérőszámokra, mert meg akartam határozni, hogy a gyapjúzsákbarlangokban az egyes komfort-összetevők (hőmérséklet, páratartalom, légáramlás) mennyire befolyásolják a hőérzet alakulását.

A *Beçancenot*-féle index a t hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) és az RH relatív páratartalom (%) adatainak segítségével határozza meg a B komfortérzet típusát *Celsius*-fokban kifejezve, de nem veszi figyelembe a légáramlás értékét (*BEÇANCENOT*, 1979).

$$B = t - (0.55 - 0.0055 \cdot RH) \cdot (t - 58) \quad (4.8)$$

A *Wind-chill* index már figyelembe veszi a légáramlás értékét is (*MASTERSON*, 1979; *TREMBLAY* 2003), azonban ugyanazt lehet róla elmondani általában, mint a *Beçancenot*-féle indexről; szabad felszíni hőérzet megállapítására tervezték, nem pedig zárt térben (barlangban) való felhasználásra.

Ha T_{wc} a hőérzeti index $^{\circ}\text{C}$ -ban, T_a a levegő hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$ -ban és V a levegő áramlási sebessége km/h -ban, akkor a *Wind-chill* index értéke:

$$T_{wc} = 13.12 + 0.6215 \cdot T_a - 11.37 \cdot V^{0.16} + 0.3965 \cdot T_a \cdot V^{0.16} \quad (4.9)$$

A *Linke*-féle index a *Wind-chill* indexhez hasonlóan figyelembe veszi a hőmérséklet mellett a légáramlást is, és használatát barlangokban a szakirodalom is javasolja (*FODOR*, 1981). Ha L a *Linke*-féle index $^{\circ}\text{C}$ -ban, t a levegő hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$ -ban, v a szélesebbesség m/s -ban és J a sugárzás J/kg -ban:

$$L = t - 4 \cdot \sqrt{v} + 12 \cdot J \quad (4.10)$$

A barlangokban a sugárzás elhanyagolható, így a képlet utolsó tagjával nem szoktunk számolni.

A *Bradtke*-féle index a legteljesebb abban az értelemben, hogy magába foglalja a hőmérséklet, a páratartalom és a légáramlás értékét is (*FODOR*, 1981). Ha B -vel jelöljük a dimenzió nélkül használt *Bradtke*-féle indexet, t -vel a levegő hőmérsékletét $^{\circ}\text{C}$ -ban, és A -val a száraz *Kata*-értéket, akkor:

$$B = \frac{t}{A} \quad (4.11)$$

A száraz *Kata*-érték lényegében a lehülési sebesség kifejezésére alkalmas; megadja az egységnyi felületen kialakuló átlagos hőleadás sebességét. A száraz *Kata*-érték meghatározására a *Kata*-hőmérő szolgál. A *Kata*-hőmérőben higany vagy borszesz van, használatkor 50-70 $^{\circ}\text{C}$ -os vízbe mártják, kiemelve letörlik és mérik a hülési időt (z) 38

°C-ról 35 °C-ra. A hőmérőre az egységre vonatkozó hőleadás (F) értékét viszik rá, amiből az A értéke:

$$A = \frac{F}{z} \quad (4.12)$$

A különböző, hőérzettel összefüggő száraz *Kata*-értékeket a 4.2. táblázatban foglaltam össze *BÁNHÍDI* (2000) munkája alapján, megadva azokat az értékeket is, amelyeket a Zsivány-barlangban végzett kutatásom során felhasználtam.

4.2. táblázat. A hőérzettel összefüggő száraz *Kata*-értékek a Zsivány-barlangban

Hőérzet	Száraz <i>Kata</i> -érték	Hőmérséklet °C-ban	Zsivány-barlang esetében használt száraz <i>Kata</i> -érték
Nagyon meleg	3	25>	3
Meleg	3-4	20-25	4
Kellemes	4-6	15-20	5
Hűvös	6-9.5	5-15	8
Hideg	9.5	<5	9.5

A *Bradtke*-féle index felhasználásával kialakítható egy olyan felosztás, amelyben elméletben a Föld valamennyi barlangja elhelyezhető, így a gyapjúzsákbarlangok is (4.3. táblázat).

4.3. táblázat. Barlangok bioklimatológiai rendszere *FODOR* 1981-es munkája alapján

Barlang-típus	<i>Bradtke</i> -féle index	A típusba tartozó barlangok
Melegérzetet keltő barlangok	>5.0	A trópusi barlangok és azok a termálbarlangok, amelyekben a B_i 5.0 fölött van
Komfortérzetet keltő barlangok	2.1-5.0	Meleg-mérsékelt éghajlatok területén található barlangok és azok a termálbarlangok, amelyekben a B_i tartósan 5.0 alatt marad, de nem süllyed 2.1 alá
Hűvösérzetet keltő barlangok	0.1-2.0	Hűvös-mérsékelt éghajlatok területén található barlangok 0.1-2.0 között B -indexszel
Hidegérzetet keltő barlangok	<0	Jég- és jegesbarlangok nulla vagy negatív B -indexszel

Humánbioklimatológiai szempontokat is figyelembe véve alakult ki egy olyan osztályozási rendszer, amely a mai napig is a barlangok legteljesebb besorolását teszi lehetővé (4.4. táblázat). Az osztályozásban a hőmérséklet, a vízgőznyomás, a relatív páratartalom, a légáramlás és a *Bradtke*-féle index is szerephez jut. A *GRESSEL* által 1958-ban ismertetett dinamikus és sztatikus barlang fogalma megmarad azonos értelmezésben, de a sztatodinamikus barlang fogalma már nem jelenik meg a rendszerben, helyette bevezetésre kerül a kvázi dinamikus barlang fogalma. A kvázi dinamikus barlangtípus megjelölést azokra a barlangokra alkalmazzuk, amelyek egy nyílással érintkeznek csak a külvilággal, de a barlanghoz tartozó nagyszámú karsztos mikroüregben és repedésen keresztül állandó légáramlással kapcsolódnak a felszíni légtömegekhez (*FODOR*, 1981).

4.4. táblázat. Klimatikus barlangtípusok modelljei (FODOR, 1981)

Az ember közérzetése különböző módon ható barlangok típusai	Bradtké-féle index	A barlang morfostruktúrája és légáramlási rendszere alapján	Léghőmérséklet [°C]	Relatív nedvesség [%]	Vízgőznyomás [mbar]
Hidegérzetet keltő barlangok	$B \leq 0.0$	a, statikus b, dinamikus	$x_t \leq 1.0$ $\sigma_s \leq 1.0$ $\sigma_d > 1.0$	$x_{us} = 85-95$ $x_{ud} = 80-95$	$x_e = 0.1 - 6.5$ $\sigma = 0.1 - 3.0$
Hidegérzetet periódikusan keltő barlangok	$B = 0.1 - 1.0$	a, kvázi dinamikus b, dinamikus	$x_t \leq 5.0$ $\sigma_s \leq 0.5$ $\sigma_d > 5.0$	$x_u = 80-99$	$x_e = 0.1 - 8.5$ $\sigma = 0.1 - 3.0$
Hűvösérzetet keltő barlangok	$B = 1.1 - 2.0$	a, statikus b, kvázi dinamikus c, dinamikus	$x_t = 1.1 - 12.0$ $\sigma_s \leq 1.0$ $\sigma_{kd} \leq 1.5$ $\sigma_d > 1.5$	$x_u = 90-98$	$x_e \leq 14.0$ $\sigma_s \leq 0.8$ $\sigma_{kd} \leq 1.0$ $\sigma_d > 1.0$
Komfortérzetet keltő barlangok	$B = 2.1 - 5.0$	a, statikus b, kvázi dinamikus c, dinamikus	$x_t = 12.1 - 20.0$ $\sigma_s \leq 1.0$ $\sigma_{kd} \leq 1.5$ $\sigma_d > 1.5$	$x_u = 90-98$	$x_e \leq 20.0$ $\sigma_s \leq 0.5$ $\sigma_{kd} \leq 1.0$ $\sigma_d > 1.0$
Melegérzetet keltő barlangok	$B > 5.0$	a, statikus b, kvázi dinamikus c, dinamikus	$x_t > 20.0$ $\sigma_s \leq 1.0$ $\sigma_{kd} \leq 1.5$ $\sigma_d > 1.5$	$x_u = 90-99$	$x_e > 20.0$ $\sigma_s \leq 0.5$ $\sigma_{kd} \leq 1.0$ $\sigma_d > 1.0$
$x_t = a$ hőmérséklet évi közepe, $x_e = a$ vízgőznyomás évi közepe, $x_u = a$ relatív nedvesség évi közepe, $s =$ statikus barlang, $d =$ dinamikus barlang, $kd =$ kvázidinamikus barlang, $\sigma =$ szórás					

Hazai gránit kisbarlangjainkról a kutatásom megkezdése előtt még nem álltak rendelkezésre mért mikroklimatológiai adatok, így kutatásom sok tekintetben új eredményeket hozott. A fent leírt, a barlangokat általában jellemző paraméterek, folyamatok és modellek csak részben mutatnak egyezést a gyapjúzsákbarlangokban tapasztalható értékekkel és folyamatokkal. A következő fejezetben a különböző gyapjúzsákbarlangokban mért mikroklimatológiai paraméterek elemzésén és a folyamatok modellezésén keresztül próbálok meg választ találni arra, hogy melyek azok a sarkalatos pontok, amelyekben egy gyapjúzsákbarlang klímája különbözik a többi barlangétól.

4.2. Mikroklimatológiai mérések a Zsivány-barlangban

Kutatásomban rendszeres klimatológiai méréseket végeztem a Zsivány-barlangban 2010 és 2012 decembere között, általában kétheti rendszerességgel, összesen 54 alkalommal. 2011 decembere és 2012 decembere között szinkron-méréseket is végeztem ugyanennél a barlangnál, összesen 16 alkalommal közel egyenletesen elosztva a teljes év, azon belül az évszakok folyamán. Szinkron-mérésnek neveztem azt a mérés-típust, amikor 10 perces leolvasási időközben rögzítettem a barlangban és a bejáratánál tapasztalható klimatológiai paramétereket 1-1.5 órán keresztül. Ezzel a méréssel célom volt a barlangban bekövetkező gyors periódusú változások felderítése. A megfigyelések

továbbra is folytatódnak, nem zárultak le a fent nevezett időpontokban, azonban a doktori értekezésem megírásához az adatsort 2012 decemberében lezártam.

A Zsivány-barlang a pákozdi ingókőmezőn található a Pandúr-kőnek nevezett sziklaformációban; gránitporfírban mállással és aprózódással keletkezett (4.1. ábra). Horizontális és vertikális kiterjedéssel is rendelkezik, északi, déli és keleti bejáratát a felsőbb szintekkel egy függőleges kürtő kapcsolja össze. A felső szintek (2 db) lényegében olyan sziklaereszek, amelyek csak egy oldalra, délnyugatra nyitottak és szerepük elsődlegesen a barlang légáramlási rendszerének kialakulásában van. A megfigyelések célja volt a kisbarlangban uralkodó klímaelemek – különösen a barlangi huzat – és a külső környezet meteorológiai viszonyai közötti kapcsolat meghatározása mérések végzésével; az adatsorok elemzése; a barlang elhelyezése a barlangklimatológiai modellekben; ha szükséges a modellek módosítása; valamint a kiértékelt eredmények bemutatása tematikus térképeken keresztül.



4.1. ábra. A Zsivány-barlang a pákozdi Pandúr-kő északnyugati oldalában található
(Képek forrása: Bekk Tímea)

4.2.1. A hőmérséklet, szélsébség, légáramlás és légsűrűség méréséhez és számításához használt eszközök és képletek minősítése

A gypjúsákbarlangokban tapasztalható huzat kialakulásának legfontosabb tényezője a külső és belső környezet között kialakuló hőmérsékletkülönbség. A hőmérséklet méréseiből vezethető le a későbbiekben a külső és belső tér közötti nyomás- és légsűrűség-különbség, illetve a légáramlást jellemző mennyiség. A hőmérséklet mérésére szolgáló eszközöket fontosságuk miatt a használat előtt minősíteni kell, ezzel biztosítva, hogy a mérések után ismert legyen az eszközök által szolgáltatott adatok megbízhatósága.

A hőmérséklet méréséhez öt eszközt használtam: két nem szabatos kültéri fatokos hőmérőt, egy szabatos, tizedfokos osztással rendelkező hőmérőt és két mini meteorológiai állomást (*Deluxe 4-LD2099*, *hama TH100*). A két meteorológiai állomás esetében elfogadtam a használati kézikönyvben lévő adatot ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$), míg az analóg hőmérők esetében meghatároztam a mérhető hőmérsékleti értékek megbízhatóságát a geodéziából ismert első kiegyenlítési csoport segítségével, egyenlő súlyú mérések esetére nézve.

Az analóg hőmérők vizsgálatát normál mérőtermi körülmények között végeztem az NymE-GEO Csepregi-termében. A hőmérőket tíz, öt és három alkalommal, mérési sorozatokba foglalva olvastam le, minden leolvasás-sorozat előtt a hőmérők végét meleg vizes pohárba mártottam, és megvártam, amíg a higanyszál újra beáll a mérőterem hőmérsékletére. A szabatos hőmérőn a tizedfokot közvetlenül le lehet olvasni, a századfokot pedig becsülni lehet. A nem szabatos kültéri fatokos hőmérőkön a leolvasás egész fokban lehetséges, a tizedfokot pedig becsülni lehet. A barlangbeli kutatási feltételek nem teszik szükségessé a hőmérséklet századfokban való meghatározását, ezért csak tizedfok élességgel mértem. A számítások során a javítások négyzetét, a legvalószínűbb értéket, illetve az egyes mérési eredmények középhibáját két tizedes élességgel számítottam.

A tíz, öt és három leolvasási sorozat mérési eredményeiből megállapítható, hogy a legvalószínűbb érték középhibája (μ_x) 0.01-0.05 °C között változott mind a három hőmérő esetében, míg egy mérési eredmény középhibája (μ) 0.03-0.16 °C között alakult. Gazdaságossági megfontolásokat is figyelembe véve a megbízhatóság mellett megállapítható, hogy a leolvasást elegendő egyszer elvégezni, és az így kapott mérési eredmény középhibája szabatos hőmérő esetén 0.03 °C lesz, míg a fatokos, nem szabatos hőmérők esetén 0.08 °C. Az eredményeket a 4.5. táblázat foglalja össze:

4.5. táblázat. Hőmérők megbízhatóságának vizsgálata különböző mérési sorozatokkal

	Tíz-es mérési sorozat		Ötös mérési sorozat		Hármas mérési sorozat	
	μ [°C]	μ_x [°C]	μ [°C]	μ_x [°C]	μ [°C]	μ_x [°C]
1-es számú fatokos hőmérő	±0.09	±0.03	±0.08	±0.03	±0.08	±0.03
2-es számú fatokos hőmérő	±0.16	±0.05	±0.09	±0.03	±0.08	±0.03
Szabatos hőmérő	±0.09	±0.03	±0.03	±0.01	±0.03	±0.01

Ismerve a hőmérőkről leolvasott hőmérsékleti értékek megbízhatóságát, a hibaterjedés törvényének felhasználásával lehetővé vált, hogy meghatározzam, vajon a hőmérséklet mérésében elkövetett hiba milyen módon és mértékben befolyásolja a belőle származtatott légnyomás [Pa], légsűrűség [kg/m^3], szélesség [m/s] és légáramlás [m^3/s] értékét. A 4.2 – 4.7 közötti képletek közül ezáltal sikerült kiválasztanom azokat, amelyek alkalmasak a gypajúzsákbarlangokra jellemző értékek meghatározására.

Ha a hibával terhelt mennyiségekből valamilyen ismert függvény vagy függvények segítségével újabb mennyiségeket határozunk meg, akkor azok is hibával terheltek. A hibaterjedés törvénye azt fejezi ki, hogy a meghatározó adatok megbízhatósági mérőszámainak ismeretében hogyan határozhatjuk meg a meghatározott mennyiségek megbízhatósági mérőszámait (GEODÉZIAI SZÁMÍTÁSOK, 1959). A hőmérséklet-mérések eredményei valószínűségi változónak tekinthetők (egymástól függetlenek és csak szabálytalan hibák terhelik), tehát a mérési eredmények függvényei is valószínűségi változók. Nemlineáris függvények esetében a középhiba-meghatározás érdekében a függvényt a legegyszerűbben valamilyen lineáris függvényre vezetjük vissza

Taylor-sorba fejtéssel; csak a lineáris tagokat tartjuk meg, és ezekre alkalmazzuk a hibaterjedés törvényét (*GEODÉZIAI SZÁMÍTÁSOK*, 1959). A hibaterjedés tehát alkalmazható minden olyan függvényre, amely folytonos, differenciálható és *Taylor*-sorba fejthető. A csak lineáris tagok megtartása és az összes többi felsőrendű tag elhanyagolása megengedhető közelítést jelent. Ha $u=f(x,y,z,...)$, és ismerjük az x , y és z értékek középpontjait, akkor u középpontja:

$$\mu_U = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \cdot \mu_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \cdot \mu_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \cdot \mu_z^2 + \dots} \quad (4.13)$$

Alkalmazva a hibaterjedés törvényét a 4.2 - 4.7 képletekre, a parciális deriválás a következő eredményeket szolgáltatja (C , K , A , a , g , λ , dh , $\sum \zeta$ értékeket hibátlanak feltételezve):

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial T_0} = C \cdot a \cdot h \cdot \left(-\frac{1}{T_0^2}\right)$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial T_i} = C \cdot a \cdot h \cdot \left(\frac{1}{T_i^2}\right)$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial h} = C \cdot a \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i}\right)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial T_0} = K \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \frac{T_0 - T_i}{T_0}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot -\frac{1}{T_0^2}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial T_i} = K \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \frac{T_0 - T_i}{T_0}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot -\frac{1}{T_0}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \Delta h} = K \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \frac{T_0 - T_i}{T_0}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(2 \cdot g \cdot \frac{T_0 - T_i}{T_0}\right)$$

$$\frac{\partial c}{\partial \Delta t} = K \cdot \frac{1}{2} \cdot 1^{-\frac{1}{2}}$$

$$\Delta t = T_0 - T_i$$

$$\mu_{\Delta t} = \sqrt{\mu_{T_0}^2 + \mu_{T_i}^2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -1.293 \cdot \frac{273.15 \cdot 274.15}{(273.15 + t)^2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial \rho_0} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho_r) \cdot h}{\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r} \cdot (2 \cdot g \cdot (1 - \rho_r) \cdot h)$$

$$\frac{\partial v}{\partial h} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho_r) \cdot h}{\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r} \cdot (2 \cdot g \cdot (1 - \rho_r))$$

$$\frac{\partial v}{\partial \rho_r} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho_r) \cdot h}{\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{(2 \cdot g \cdot (\rho_0 - 1) \cdot h \cdot \frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r) - 2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho_r) \cdot h \cdot (\frac{1}{dh} \cdot \lambda \cdot l + \sum \zeta)}{(\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r)^2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial l} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho_r) \cdot h}{\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{-2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho_r) \cdot h \cdot (\frac{1}{dh} \cdot \lambda \cdot \rho_r + \sum \zeta \cdot \rho_r)}{(\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho_r}{dh} + \sum \zeta \cdot \rho_r)^2}$$

$$\frac{\partial q}{\partial v} = \pi \cdot \frac{dh^2}{4}$$

(4.14)

Behelyettesítve a 4.14 szám alatt származtatott képleteket a 4.13-as általános egyenletbe, megkaphatjuk a Zsivány-barlangra vonatkozó középhibákat. Ha $T_0=20^\circ\text{C}$, $T_1=12^\circ\text{C}$, $a=1013.27 \text{ hPa}$, $A=1.5 \text{ m}^2$, $l=12.1\text{m}$, $\mu_l=\pm 0.50\text{m}$, $h=\Delta h=1.2\text{m}$, $\mu_h=\pm 0.05\text{m}$, $dh=0.75\text{m}$, $\lambda=0.8$, $\sum \zeta=1.0$, $g=9.81 \text{ m/s}^2$, $\rho_0=1.221 \text{ kg/m}^3$, $\rho_r=1.209 \text{ kg/m}^3$; továbbá ismerjük a hőmérséklet megbízhatóságát (4.5 táblázat), és feltételezzük, hogy C , K , A , a , g , λ , dh , $\sum \zeta$ értékek hibátlanok, a hőmérsékletből származtatott légsűrűség (ρ), szélesség (c és v) és légáramlás (Q és q) értékek megbízhatósága a következőképpen alakul (4.6. és 4.7. táblázat):

4. 6. táblázat. A hőmérsékleti értékekből számított egyéb barlangi légáramlás paraméterek megbízhatósága I.

	μP [Pa] (4.2képlet)	μQ [m^3/s] (4.3 képlet)	μc [m/s] (4.4képlet)	μq [m^3/s] (4.7 képlet) számítva μc megbízhatóságával
1-es, 2-es számú fatokos hőmérők $\pm 0.08^\circ\text{C}$ hőmérsékleti megbízhatóság	± 0.000175129	± 0.003907665	± 0.036769553	± 0.016236055
Szabatos hőmérő $\pm 0.03^\circ\text{C}$ hőmérsékleti megbízhatóság	± 0.000167164	± 0.001465374	± 0.013788582	± 0.00608852
Mini meteorológiai állomások $\pm 0.3^\circ\text{C}$ hőmérsékleti megbízhatóság	± 0.000268537	± 0.014653743	± 0.127885822	± 0.056469583

A 4.6. táblázatból látható, hogy a hőmérséklet mérésében elkövetett hiba nem befolyásolja számottevően a belőle számított légnyomáskülönbség megbízhatóságát. A számított c értékben (Markó-képlete) a fatokos és a szabatos hőmérők adataiból számított szélesség kellően megbízhatónak tekinthető ($\sim \pm 4 \text{ cm/s}$ és $\sim \pm 1 \text{ cm/s}$), míg a mini meteorológiai állomások hőmérsékleti értékeiből légáramlást számítani ezzel a képlettel nem szabad, mert a megbízhatóság mindösszesen $\sim \pm 13 \text{ cm/s}$ körül mozog. A Markó-képletével számított szélesség értékeket használva fel a 4.7-es képletben a légáramlás számításához elmondható, hogy ugyancsak a fatokos és a szabatos hőmérő adatait szabad csak felhasználni ($\sim \pm 16 \text{ dm}^3/\text{s}$ és $\sim \pm 6 \text{ dm}^3/\text{s}$), de a mini meteorológiai állomásokét nem

($\sim \pm 56 \text{ dm}^3/\text{s}$), mert azok nem megfelelő megbízhatóságúak. A 4.3 képlettel számított légáramlás értékek mind a három hőmérő-típus esetén megfelelő megbízhatóságúak (fatokos: $\sim \pm 4 \text{ dm}^3/\text{s}$, szabatos: $\sim \pm 1 \text{ dm}^3/\text{s}$, mini meteorológiai állomás: $\sim \pm 15 \text{ dm}^3/\text{s}$).

4.7. táblázat. A hőmérsékleti értékekből számított egyéb barlangi légáramlás paraméterek megbízhatósága II.

	$\mu\rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$ (4.5 képlet)	$\mu v \text{ [m/s]}$ (4.6 képlet)	$\mu q \text{ [m}^3/\text{s]}$ (4.7 képlet) számítva μv megbízhatóságával
1-es, 2-es számú fatokos hőmérők $\pm 0.08 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleti megbízhatóság	± 0.0952645	± 0.144127599	± 0.063641342
Szabatos hőmérő $\pm 0.03 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleti megbízhatóság	± 0.035724	± 0.066917578	± 0.029548293
Mini meteorológiai állomások $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleti megbízhatóság	± 0.357242	± 0.518125241	± 0.228784676

Megvizsgálva a 4.7.-es táblázatot azt mondhatjuk, hogy a fatokos és a szabatos hőmérők esetén megfelelő a hőmérsékletből számított légsűrűség megbízhatósága ($\sim \pm 95 \text{ g/m}^3$ és $\sim \pm 35 \text{ g/m}^3$), de a mini meteorológiai állomások által szolgáltatott hőmérsékleti adatokat a légsűrűség számítására felhasználni nem szabad, mert azok megbízhatósága mindösszesen $\sim \pm 357 \text{ g/m}^3$. A 4.6-os képlettel számított szélesség megbízhatósága egyik hőmérő típusnál sem megfelelő (fatokos: $\sim \pm 14 \text{ cm/s}$, szabatos: $\sim \pm 7 \text{ cm/s}$, mini meteorológiai állomás: $\sim \pm 52 \text{ cm/s}$). Ugyanezt lehet elmondani a 4.7-es képlettel számított légáramlás értékekre is, amennyiben bemenő adatnak a 4.6 képlettel számított értékeket és azok megbízhatóságát tekintjük. Ebben az esetben a fatokos hőmérő adataiból számított légáramlás megbízhatósága $\sim \pm 64 \text{ dm}^3/\text{s}$, a szabatos hőmérő adataiból számított légáramlás megbízhatósága $\sim \pm 30 \text{ dm}^3/\text{s}$, a mini meteorológiai állomások adataiból számított légáramlás megbízhatósága $\sim \pm 229 \text{ dm}^3/\text{s}$.

A 4.6. és a 4.7. táblázat eredményeit röviden összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a fatokos és a szabatos hőmérők felhasználhatók a légnyomáskülönbség, a szélesség, a légáramlás és a légsűrűség értékének a meghatározásához is. Az így levezetett adatok megbízhatósága kielégítő lesz. A mini meteorológiai állomások hőmérsékleti adatait a további számításokhoz felhasználni nem szabad; ezek az értékek csak a durva hibák szűrésére használhatók fel. A szélesség számításához hibaterjedési szempontból gyapjúzsákbarlangoknál Markó-képletét (4.4) ajánlott felhasználni, a légáramlás értékét pedig a 4.3-as képlet alapján ajánlott számítani. Mindezt az is indokolja, hogy átlagos méretű gyapjúzsákbarlangok esetében a légáramlás értéke $\sim 250\text{-}500 \text{ dm}^3/\text{s}$, a szélesség $\sim 0.50 \text{ m/s}$, a légnyomáskülönbség $\pm 0.20 \text{ Pa}$ (a $\pm$ előjel oka a téli és nyári külső-belső hőmérsékleti viszonyok és ezáltal a légnyomásviszonyok felcserélődése), és ezeket az értékeket kellő megbízhatósággal meghatározni csak a fenti megállapítások betartásával lehetséges. Megjegyzem még, hogy a légáramlás számítását kellő megbízhatósággal el lehet végezni a 4.7-es képlettel is. A 4.7-es képlet összetételében egyszerűbb, mint a 4.3-as képlet, azonban a képletben szereplő dh hidraulikus átmérő csak becslésből

határozható meg, és ennek bizonytalansága továbbadódik a számított légáramlás értékebe is, és rontja annak megbízhatóságát.

4.2.2. A klimatológiai mérések gyakorlati végrehajtása

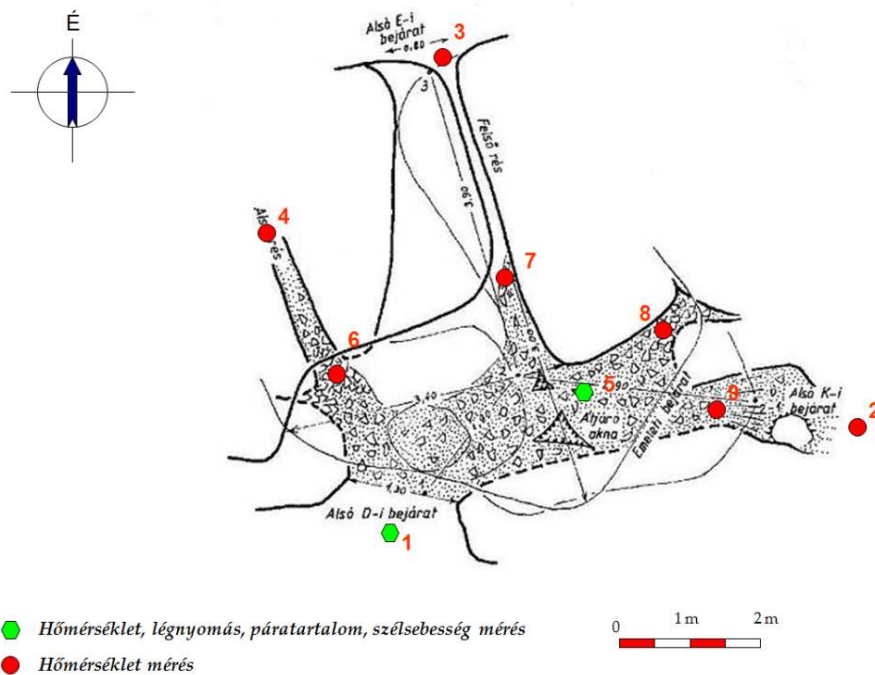
A hőmérséklet a levegőmolekulák mozgási energiájával arányos mennyiség. Minél gyorsabban mozognak a légköri részecskék, annál gyakrabban ütköznek egymással, annál magasabb a hőmérséklet (AUJESZKY, 1965). A levegő hőmérsékletének mérésekor a hőmérő környezetében mozgó levegőmolekulák mozgási energiáját határozzuk meg. Ezek a molekulák kapcsolatba lépnek a hőmérőként használt különböző anyagokkal, s megváltoztatják azok fizikai állapotát.

A hőmérsékletet °C fokban határoztam meg, a felszín feletti 5 cm-es magasságban (ún. fűszinti hőmérséklet). Folyadékos hőmérőknél gondosan ügyeltem arra, hogy a leolvasás a folyadékoszlopra merőlegesen történjen. A hőmérséklet meghatározását, a belőle származtatott légnyomáskülönbség, légáramlás és szélsősebesség értékek megfelelő középhibájú számításának érdekében a 4.2.1. fejezetben ismertetett leolvasási módszer szerint végeztem (4.2. ábra).

A levegő nyomása az egységnyi felület felett található légoszlop súlya. Minél magasabbra haladunk a légkörben egy adott pont felett, annál kisebb lesz a légnyomás, mert egyre kevesebb levegőrészecske súlya nehezedik egységnyi felületre. A légköri mozgásrendszerek sajátos légnyomási mezővel rendelkeznek. A légnyomás mérése, illetve a légnyomás változása tehát a mozgásrendszerek áthelyeződését (pl. barlangi kémény-hatás) segít nyomon követni.

A légnyomás mértékegysége a pascal, de a meteorológiai gyakorlatban ennek 100-szorosát, a *hPa*-t használják. A légnyomás meghatározása különböző barométerekkel történhet, melyek a műszerszínti légnyomás (adott tengerszint feletti magasságban mért érték) értékét adják meg. A légnyomás függ a tengerszint feletti magasságtól, ezért a hagyományos meteorológiában annak érdekében, hogy a különböző tengerszint feletti magasságban lévő állomások adatait össze lehessen hasonlítani, a mért légnyomásértéket átszámítják a tenger szintjére.

Vizsgálatomban a 30 perces beállási időt követően *hPa*-ban olvastam le a légnyomás értékét, a vizsgálat lokális kiterjedése miatt azonban a műszerszínti légnyomást nem redukáltam tovább a tengerszintre. A felszíni és föld alatti légnyomáskülönbség kimutatása számítással történt a 4.2-es képlet alapján, ugyanis e különbség felelős a barlangi kémény-hatás kialakulásáért.



4.2. ábra. Klimatológiai mérőeszközök elhelyezkedése a Zsivány-barlangban

A Föld légkörét alkotó levegőrészecskék összetett hatások eredményeként állandó mozgásban vannak. Ezt a mozgást, vagyis a levegőnek a földfelszínhez viszonyított áramlását szélnek nevezzük. A szél a különböző területek eltérő légnyomásának kiegyenlítődére beinduló áramlás. A magasabb légnyomású terület felől a levegőrészecskék az alacsonyabb nyomású terület felé mozdulnak el. Minél nagyobb a légnyomás különbsége két pont között, annál élénkebben zajlik e folyamat, azaz annál erősebb a szél. A levegő mozgásának irányát és nagyságát mérni tudjuk a szélirány és a szélsebesség segítségével. A szél sebességét m/s , illetve $km/óra$ egységekben adjuk meg ($1m/s = 3,6 km/óra$), a szél irányát pedig fokban. A fokbeosztás 0-tól 360 fokig terjed. A 0° (360°) az északi, a 90° a keleti, a 180° a déli és a 270° a nyugati irány. A szél irányának azt tekintjük, amerről a szél fúj.



4.3. ábra. Szélsebesség mérése a Zsivány-barlangban és a bejáratánál
(Képek forrása: Bekk Tímea)

A szél sebességét forgókanalas szélmérővel (a szélútból származtatva) végeztem (4.3. ábra), a szél irányát lobogó szélzászló segítségével jelöltem ki, mágneses azimutját pedig egy tájoló segítségével olvastam le. A durva hibák kiszűrése érdekében öt mérés

átlagos értékét fogadtam el végleges mérési eredménynek. A kanalas szélmérővel nem mérhető szélesség értékeit a felszínen 0-nak fogadtam el, a barlangban pedig számítottam a szélességet a felszíni és a barlangi hőmérséklet különbségéből *Markó*-képletéből (4.4 képlet). A barlangbeli szélesség mérésére alkalmasabb lett volna a hődrótos huzatmérő, azonban a 4.6.-os táblázatban foglalt adatok alapján bizonyítható, hogy a kanalas szélmérő és a 4.4 képlet együttes alkalmazása gyapjúzsákbarlangok esetében kielégítő pontosságú adatokat szolgáltat.

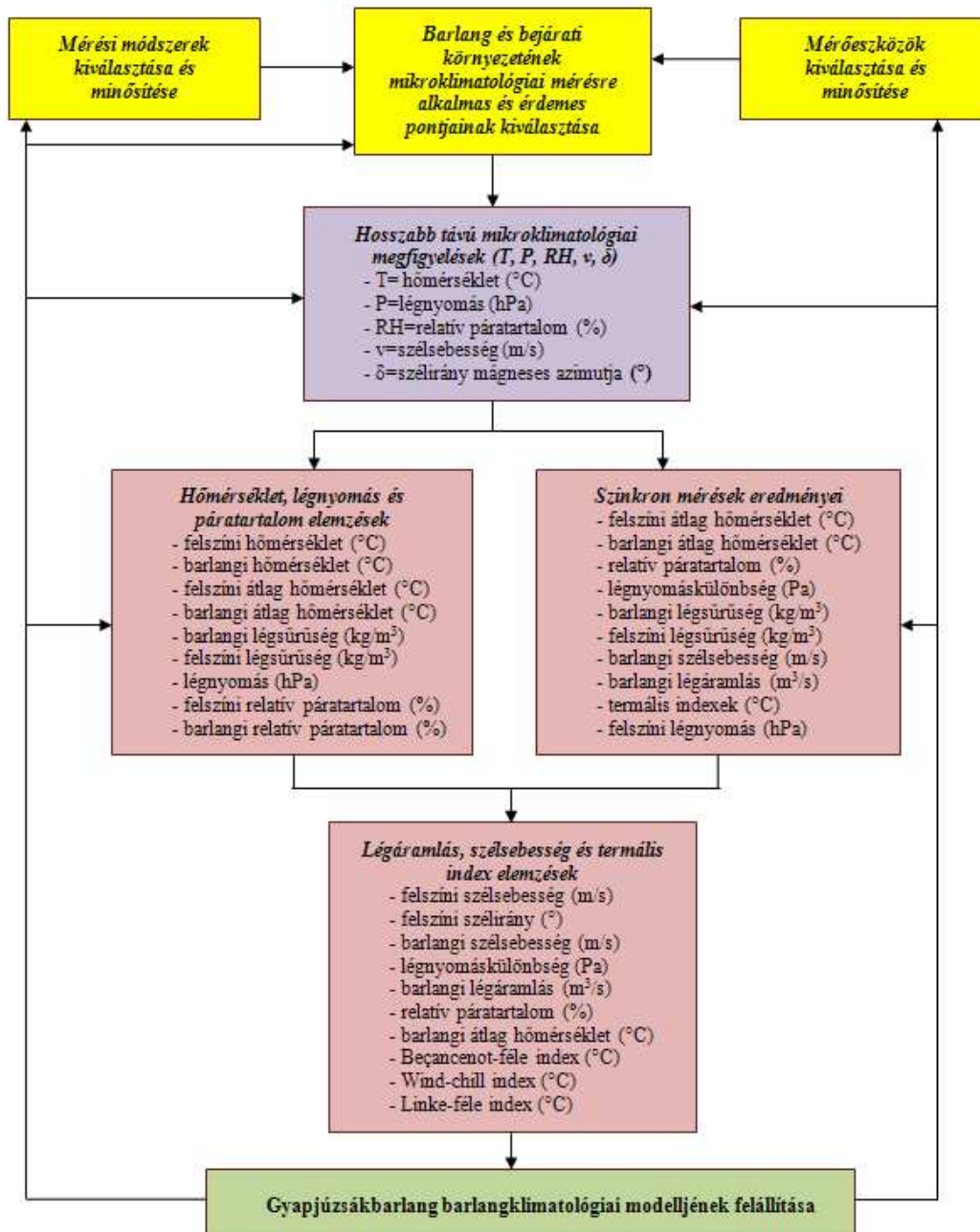
A levegő nedvességtartalmát különböző légnedvességi mérőszámok segítségével fejezhetjük ki. Vizsgálatomban a relatív nedvességet és a telítési vízgőznyomást használtam. A relatív nedvesség a tényleges és a telítési gőznyomás arányát fejezi ki (a gőznyomás egységnyi térfogatban a vízgőz tényleges nyomása, a telítési gőznyomás pedig a vízgőz nyomása telített állapotban). A nedvesség meghatározására kijelzős nedvességmérőt alkalmaztam, és a leolvasás 30 perces beállási idő betartása után történt meg. A vízgőznyomás értékét a Magnus-Tetens képlet segítségével számoltam:

$$e = 6.112 \cdot \exp\left(\frac{17.67 \cdot t(^{\circ}\text{C})}{t(^{\circ}\text{C}) + 243.5}\right) \quad (4.15)$$

4.2.3. A mikroklimatológiai mérések eredményeinek kiértékelése

A gyapjúzsákbarlangok mikroklimatológiai modelljének megismeréséhez a lehető legtöbb klíma-paramétert szükséges figyelembe venni, ugyanis a barlangok klímája nem más, mint a különböző éghajlati állapothatározók összessége. A legfontosabb klíma-paraméterek a léghőmérséklet, a szélesség és a páratartalom, de ezzel összefüggésben célszerű vizsgálni a légsűrűség, légnyomás-változás és a légáramlás értékeit is. Ahhoz, hogy a vizsgálat tárgyát képező barlangokról, komplex, általánosítható képet kapjunk a hozzá hasonló genotípussal rendelkező barlangokra is, szükséges a fenti állapothatározók megfigyelésének kiterjesztése a barlang bejárat környezetre is. A Zsivány-barlangban – amely a legnagyobb gyapjúzsákbarlang a Velencei-hegységben – 2010. december óta végzek összetett klíma-megfigyeléseket. A mérési adatsort jelen dolgozat megírásához lezártam 2012 decemberében, azonban tudván, hogy 2 év megfigyelése még nem adhat tökéletesen pontos képet a vizsgált barlang mikroklimatológiai modelljéről, a még teljesebb megismerés érdekében a megfigyeléseket tovább folytatom.

A gyapjúzsákbarlangok mikroklimatológiai elemzésének folyamatát a 4.4. ábrán lehet összefoglalni. A 4.4.-dik ábrán citromsárgával és halványkékkel jelölt folyamatokról, azaz a mérési eszközök és módszerek kiválasztásáról és minősítéséről, a barlang és környezetének mérésre alkalmas pontjainak kiválasztásáról továbbá a mikroklimatológiai mérések végrehajtásáról már a 4.2.1. és a 4.2.2. alfejezetekben írtam. A következő fejezetrészekben tehát a diagram lilával és halványzölddel jelölt részeiről lesz szó, azaz a mért állapothatározók elemzéséről és a mikroklimatológiai modell felállításáról.



4.4. ábra. Gyapjúzsákbarlangok mikroklimatológiai modelljének meghatározása

A legfontosabb mikroklimatológiai paraméternek a hőmérséklet-értékeket tekinthetjük. A barlang bejáratainál (4.2. ábra) mért hőmérsékleti értékek összefoglalását a 4.8. táblázat tartalmazza.

A bejáratok topográfiai elhelyezkedése egyértelműen meghatározza a bejáratok barlang klímájának meghatározásában betöltött szerepét. Az egyes bejáratok hőmérsékleti értékeit elemezve a barlang bejárat környezetiében évszakos (napár szerinti értelmezés) törvényszerűségeket lehet megfigyelni.

Téli időszakban a leghidegebbnek a 4-es bejárat tekinthető. A 4-es és 1-es megfigyelési pont fagyugos helyként viselkedik, azonban megjegyezzük, hogy a Nap

ekliptikán elfoglalt helyzete olyan, hogy téli időben, napsütés idején képes az 1-es pont környezetének a többihez mért relatív felmelegítésére is; így itt zajlódhatnak le a legintenzívebb hőmérsékleti változások. A 2-es bejárat van a leginkább kitéve az uralkodó ÉNY-i szél irányának, amely jelentékeny hűtő erőt képvisel. A 3-as megfigyelési pont téli időszakban a legmelegebbnek tekinthető, amely azzal magyarázható, hogy magasabban van, mint az 1-es bejárat, és az 1-es bejáraton befolyó hideg levegő a melegebb barlangi levegőt ezen bejárat irányába szorítja.

4.8. táblázat. A Zsivány-barlang bejáratainál mért hőmérsékleti értékek 2010-2012 között

Barlang bejáratainál mért hőmérsékleti értékek [°C]													
	1			2			3			4			
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Havi átlag [°C]
I	-4.9	4.0	0.1	-4.1	4.0	0.5	-2.7	4.4	1.3	-4.0	4.1	0.5	0.6
II	-2.9	1.2	-0.6	-3.6	1.2	-1.1	-3.6	2.6	-0.6	-5.0	3.3	-1.2	-0.9
III	1.9	12.3	7.6	0.9	13.1	8.2	1.1	9.1	6.4	0.0	11.0	6.8	7.3
IV	5.1	15.7	11.6	5.9	14.8	11.5	7.3	14.0	10.7	7.1	14.4	10.8	11.2
V	12.9	26.2	19.9	12.8	22.8	19.0	13.1	19.7	17.4	14.0	19.5	17.6	18.5
VI	18.7	26.1	23.0	16.9	27.8	23.1	16.6	26.6	22.1	17.2	26.0	21.6	22.5
VII	19.7	28.4	21.9	18.7	29.5	21.2	19.0	28.4	21.2	17.4	28.0	20.2	21.1
VIII	17.6	23.9	20.6	17.0	24.0	20.9	17.6	22.8	20.1	18.2	22.1	20.2	20.5
IX	12.2	20.2	15.7	11.8	20.8	16.3	13.0	19.3	16.1	14.9	19.1	17.4	16.4
X	9.5	11.6	10.2	8.9	11.2	10.2	9.8	12.1	10.7	9.3	12.5	10.9	10.5
XI	0.1	8.7	5.8	1.3	9.0	6.4	1.6	9.4	6.5	1.9	8.0	6.4	6.3
XII	-0.8	3.1	1.7	-2.1	4.2	2.1	-0.5	4.1	2.4	-1.8	5.1	2.0	2.1
Barlang bejáratainál mért éves hőmérsékleti értékek [°C]													
	1			2			3			4			
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	
2010-2012	-4.9	28.4	11.5	-4.1	29.5	11.5	-3.6	28.4	11.2	-5.0	28.0	11.1	
Barlang bejáratainál mért éves átlaghőmérsékleti érték [°C]: 11.3													

Tavasszal a legnehezebben a 3-as pont melegszik fel, és ugyanez mondható el fordított értelemben az őszi időszakra is lehűlés esetére. A 2-es és 4-es pontok közül a 2-es helyzete olyan, hogy tavaszi időszakban jelentős napsugárzás éri, emiatt hamarabb és jobban felmelegszik, mint a 4-es pont; őszi időszakban viszont gyorsabban hűl le, tehát ezekben az évszakokban a 4-es pont hőmégtartó képessége jobb. Az 1-es pont helyzetéből adódóan tavasszal a napsütés hatására hamar felmelegedik, ősszel pedig hamar lehűl; tavaszi és őszi időszakban is itt zajlódhatnak le a legdinamikusabb hőmérséklet-változások. Tavaszi időszakban a legmelegebb bejárat az 1-es pontnál található, a leghidegebb a 3-as pontnál; őszi időszakban viszont a leghidegebbnek lehet tekinteni az 1-es bejáratot, a legmelegebbnek a 3-as és 4-es bejáratot.

Nyári időszakban meghatározó a hőmérséklet alakulásában, hogy az 1-es és 2-es pontokat közvetlen napsugárzás éri, míg a 3-as és 4-es pontokat nem. A legmelegebb bejárat az 1-es és a 2-es váltakozva, míg a leghidegebb egyértelműen a 4-es. A barlang bejáratainál mért éves minimum hőmérsékleti értékeket vizsgálva a leghidegebb bejárat a

hőmérséklet emelkedésének sorrendjében a 4-1-2-3; a mért éves maximum hőmérsékleti értékeket vizsgálva a legmelegebb bejáratok a hőmérséklet csökkenő sorrendjében 2-3-1-4. Az átlag hőmérsékleti értékeket vizsgálva az egyes bejáratok között alig néhány tized Celsius fokos különbség van; a hőmérséklet csökkenő sorrendjében a bejáratok sorrendje 1-2-3-4.

A havi átlagokat összevetve a 2.2. táblázattal (150-200 méter tengerszint feletti magasság értékeit vizsgálva; Zsivány-barlang magassága $M_{\text{Balti}}=190$ méter) a maximális eltérés $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (június), a minimális pedig $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (július és október). Az eltérés várható értéke a 12 hónapra számítva $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. A számított éves átlag a barlang bejáratainál ($11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$) $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al különbözik a 2.2. táblázatban a 150-200 méter közötti tengerszint feletti magasságra a Velencei-hegységre megállapított értéktől ($10.5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Az eltérés a barlangot magában foglaló sziklatömb (Pandúr-kő) meteorológiai következményeket is magával vonó topográfiai elhelyezkedésével illetve a gránit, mint befoglaló kőzet mikroklimatológia alakító/módosító tényezőjével magyarázható.

Összefoglalóan azt mondhatjuk, hogy a Zsivány-barlang mikroklímájának kialakításában elsősorban azok a bejáratok vesznek részt, amelyek egyrészt méretüknél (bejárati felületüknél) másrészt az évszakok/évek folyamán megfigyelt hőmérsékleti változásaik révén meghatározóak. Ezen szempontokat figyelembe véve a Zsivány-barlang mikroklímája szempontjából legmeghatározóbb bejáratok csökkenő sorrendben: 1-2-3-4. Az 1-es és 2-es bejáratok tehát azok, amelyeken keresztül a legintenzívebb a kapcsolat a barlang belső tere és a külső környezet között; itt zajlódnak le azok a folyamatok, amelyeken keresztül megérthetjük a Zsivány-barlang, és rajta keresztül a gypajúzsákbarlangok mikroklímájának jellemzőit.

A vizsgálati időszakban a barlangban mért hőmérsékleti értékeket a 4.9. táblázat foglalja össze (mérési helyek a 4.2 ábra jelölései szerint).

A barlang belsejében a bejárathoz hasonló évszagos változásokat figyelhetünk meg, azonban a változások amplitúdója, valamint az egyes megfigyelési pontok közötti különbség kisebb. Téli időszakban a leghidegebbnek az 5, 8, 9-es megfigyelési pontok tekinthetők, míg a legmelegebbnek pedig a 6-os és 7-es pontok. Ennek oka, hogy a legmeghatározóbb mértékben az 1-es és 2-es pontokon „folyik” be télen a hideg felszíni levegő, és ezzel közvetlenül az 5, 8, 9-es pontok érintkeznek. Tavaszi és őszi időszakban az egyes mérési helyek között már nem tapasztalható ilyen számottevő eltérés, általános megfigyelésként a hőmérsékleti adatokat közel azonosnak lehet tekinteni. A leghamarabb az 5-ös és 6-os pontok melegednek fel tavaszi időszakban, a legnehezebben pedig a 7-es, 8-as és 9-es pontok. Őszi időszakban az 5, 6, 9-es pontok hamar áthűlnek, a 7, 8-as pont viszont nehezebben.

Nyári időszakban a legmelegebbnek a 6-os pontot tekinthetjük, aminek magyarázata, hogy közvetlenül érintkezik az 1-es bejárattal, amelyeket nyári időszakban meghatározóan átmelegít a nap, ugyanakkor a pont barlang-topográfiai elhelyezkedése

olyan, hogy a felvett hőt képes hosszabb ideig megőrizni (repedés-jelleg). Nyári időszakban a legkevésbé a 8-as pont melegszik fel, amely a barlangon belüli elszigetelt helyzetével magyarázható.

4.9. táblázat. A Zsivány-barlangban mért hőmérsékleti értékek 2010-2012 között

Barlangban mért hőmérsékleti értékek [°C]																
	5			6			7			8			9			
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Havi átlag [°C]
I	-3.5	4.0	0.5	-3.0	4.1	1.0	-2.2	4.1	1.4	-3.7	4.0	0.7	-3.5	4.0	0.7	0.9
II	-4.1	1.0	-1.1	-3.8	1.6	-0.8	-4.2	1.4	-0.8	-4.0	0.9	-1.2	-3.7	1.0	-1.3	-1.0
III	1.0	9.5	6.5	0.3	9.7	6.5	0.4	9.0	6.1	0.5	9.5	6.2	0.5	10.0	6.5	6.4
IV	4.7	12.8	9.6	6.3	13.9	10.5	5.9	12.9	10.4	5.1	13.0	9.7	4.9	13.0	9.8	10.0
V	13.1	19.5	16.5	13.7	19.0	16.5	13.0	18.2	15.9	12.8	18.0	17.3	13.6	19.2	16.6	16.6
VI	17.2	23.8	20.4	17.0	23.3	20.9	16.7	23.5	20.1	16.9	22.7	19.6	17.0	23.7	20.7	20.3
VII	17.0	26.1	19.9	18.3	26.9	20.8	18.8	25.6	20.1	17.0	24.4	19.0	18.2	25.5	20.0	20.0
VIII	16.8	21.7	19.4	17.4	22.2	20.0	17.7	21.8	19.8	17.0	21.1	19.3	17.0	21.7	19.5	19.6
IX	14.4	18.9	16.3	14.3	18.8	16.8	14.5	18.1	16.7	13.9	17.8	16.1	13.1	18.4	16.0	16.4
X	9.0	11.4	10.3	9.6	11.7	10.9	9.8	12.2	11.2	9.4	12.0	10.7	9.0	11.5	10.5	10.7
XI	1.0	8.9	6.0	1.7	8.8	6.7	2.1	8.8	6.7	1.0	8.4	5.9	0.2	8.6	5.7	6.2
XII	-1.8	2.8	1.5	-2.2	4.0	1.9	-1.7	3.9	2.5	-1.0	3.9	2.4	-1.8	3.9	1.9	2.0
Barlangban mért éves hőmérsékleti értékek [°C]																
	5			6			7			8			9			
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	
2010-2012	-4.1	26.1	10.5	-3.8	26.9	11.0	-4.2	25.6	10.8	-4.0	24.4	10.5	-3.7	25.5	10.6	
Barlangban mért éves átlaghőmérsékleti érték [°C]: 10.7																

A barlangban mért éves minimum hőmérsékleti értékeket vizsgálva a leghidegebb pontok a hőmérséklet emelkedésének sorrendjében a 7-5-8-6-9; a mért éves maximum hőmérsékleti értékeket vizsgálva a legmelegebb bejáratok a hőmérséklet csökkenő sorrendjében 6-5-7-9-8. Az átlag hőmérsékleti értékeket vizsgálva az egyes bejáratok között alig néhány tized *Celsius* fokos különbség van (10.5°C és 11.0°C közötti a szórás); a hőmérséklet csökkenő sorrendjében a bejáratok sorrendje 6-7-9-5-8. A havi átlagokat összevetve a 4.8. táblázatban található havi átlagokkal a maximális eltérés -2.2 °C (június), a minimális pedig 0 °C (szeptember). Az eltérés várható értéke a 12 hónapra számítva -0.7 °C. A számított éves átlag a barlangban (10.7 °C) 0.5 °C-al különbözik a barlang bejárataira számított éves átlagtól (11.3 °C) és 0.3 °C a 2.2. táblázatban lévő értéktől (10.5 °C). A meglévő néhány tized *Celsius* fokos eltérésre magyarázatot ad a Zsivány-barlang topográfiai fekvése továbbá az, hogy a vizsgált két év (2010-2012)

rendkívül aszályosnak volt tekinthető, ezért az átlagostól eltérő, magasabb hőmérsékleti értékek jellemezték a teljes vizsgálati időszakot.

Összefoglalásként elmondhatjuk, hogy a barlang bejáratai és a velük szomszédos megfigyelési pontok egymással nagyon intenzív kapcsolatban vannak. A Zsivány-barlang mikroklimája szempontjából a legmeghatározóbb az 1-es bejárat; továbbá az 5-ös pontnál mért hőmérsékleti adatok jól jellemzik a barlang éves/évszakos viselkedését. A déli oldali bejáratral érintkező részekben a levegő hőmérséklete szinte időbeli eltolódás nélkül követi a felszíni változásokat (5,7,9), míg a belső repedésekben elsősorban a tartósabb, néhány napos vagy hetes lehűlések és felmelegedések érvényesítik hatásukat (6,8).

A barlangi hőmérséklet általános bemutatásánál említett barlangi szakaszok általában minden nagy barlang esetében megtalálhatók, azonban a Zsivány-barlang és feltételezhetően a többi gypjűzsákbarlang esetében is a barlangi szakasz teljesen elmarad, és a bejárat szakasz három alszakasza közül csak egy, a hűlési szakasz fordul elő. A barlangi hőmérséklet-változások szinte késés nélkül követik a felszín hőmérsékleti változásait, de a közetszigetelő tulajdonságainak következtében csillapított mértékben (4.8. és 4.9. táblázat). A lehűlés gyorsabban megy végbe, mint a felmelegedés. A hőmérsékleti minimum februárban, a maximum pedig júniusban jelentkezik a barlangban és környezetében egyaránt. A hőmérsékletnek télen és nyáron is határozott napi menete van, amely követi a felszíni változásokat, de még ez a kis légterű barlang is csillapítja azokat (4.10. táblázat).

4.10. táblázat. A Zsivány-barlang hőmérsékleti csillapító hatása

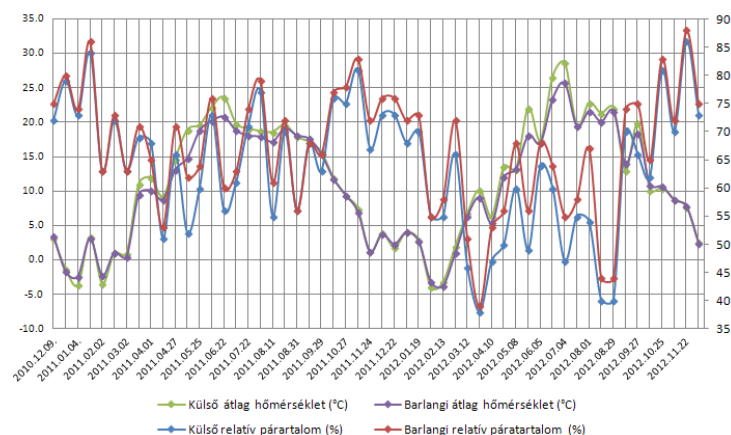
Mért átlag hőmérséklet adatok [°C], reggel 9 órakor a 2011-es évben												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	01.04	02.02	03.16	04.13	05.25	06.22	07.22	08.18	09.15	10.27	11.24	12.22
Felszín	-3.6	-3.4	11.1	9.2	19.6	22.2	19.1	19.6	17.1	9.4	1.2	1.8
Barlang	-2.4	-2.3	9.5	8.8	18.8	20.2	18.1	19.1	17.6	9.4	1.2	2.3
Mért átlag hőmérséklet adatok [°C], reggel 9 órakor a 2012-es évben												
	01.06	02.28	03.12	04.10	05.21	06.20	07.18	08.15	09.13	10.11	11.22	12.06
Felszín	4.1	2.0	6.8	6.4	22.1	26.6	19.5	21.3	13.0	10.2	7.7	2.6
Barlang	4.0	1.0	6.3	5.4	18.1	23.4	19.4	20.1	14.0	10.9	7.8	2.4

A hőmérsékleti csillapítás mértéke maximálisan 4.0 °C (2012. május), minimálisan 0 °C (2011. október és november). A csillapítás mértéke nagyobb volt, mint 1.5 °C 2011. március és június, továbbá 2012. május és június hónapokban. A csillapítás mértéke kisebb volt, mint 0.5 °C 2011. április, augusztus, szeptember, október, november és december hónapokban; továbbá 2012. január, március, július, október, november és december hónapokban. A csillapítás átlagos mértéke a két vizsgált év tekintetében 0.5 °C, ami pontos egyezést mutat a 4.8. és 4.9. táblázatokból számítható éves átlag hőmérsékletkülönbség értékkel (0.5 °C). Általánosságban elmondhatjuk, hogy a legkisebb csillapító hatás késő ősszel és télen jelentkezik, amelynek oka, hogy a hideg levegő

„befolyik” a barlang bejáratain kiszorítva onnan a melegebb levegőt, így a felszín és a barlang hőmérséklete csak csekély mértékben különbözik. A legnagyobb csillapító hatás a nyár folyamán (június, augusztus) jelentkezik (nagyon meleg tavasz esetében már májusban); ebben az esetben a melegebb, és egyben kisebb sűrűségű felszíni levegő nem tudja a barlangból a hidegebb és nagyobb sűrűségű levegőt kiszorítani, így a barlang hosszabb időre meg tudja őrizni a hidegebb mikroklímáját. Általában augusztusra a befoglaló gránitsziklák annyira átmelegednek, hogy hő közvetítő hatásuk következtében a barlang légtére is felmelegszik, így ismét csökken a felszíni levegőhöz képest számított eltérés.

Amikor a belső és külső hőmérséklet különbsége pozitív (a barlangban van melegebb), akkor a barlangban jelentékeny napi menet mutatkozik a hőmérsékletben (4.2.4. fejezet). Ennek legfőbb oka, hogy télen hidegebb, nagyobb sűrűségű levegő áramlik a barlangba. Amikor ez a különbség negatív, akkor a hőmérséklet napi menete a barlangban kisebb. Az éves napi változásokban a felszínen lejátszódó periodikus hatások (a felszínen érvényesülő időjárási elemek napi menete) mellett aperiodikus tényezők is szerepet kapnak (a barlangon keresztül folyó, langyos, nyári csapadékvíz, téli vagy tavaszi hideg olvadékvíz, antropogén hatások), amelyeket a szinkron-mérések segítségével sikerült kimutatni (4.2.4. fejezet).

A barlangban jelenlévő vízgőz által lekötött látens hő – amely az állandó párolgás, kondenzáció és légcsere következtében folyton változik – a barlang hőháztartásában jelentős szerepet játszik. A közel telített, nedves levegőjű barlangokban a lehűlés csak fokozatosan következik be, azonban a Zsivány-barlang (mint gypjúsákbarlang) relatív páratartalma közel a felszínivel egyezik meg, ezért lényegesen gyorsabban hűl le vagy melegedik fel, mint a nagy barlangok. A Zsivány-barlang és általában a gypjúsákbarlangok vízgőz készletének forrásai: szivárgó vizek és a felszíni levegő (amikor nedvességtartalma nagyobb, mint a barlangi). A Zsivány-barlang relatív nedvessége a felszíni időjárással szoros kapcsolatban van, és benne nem figyelhető meg törvényszerű, szabályos napi változás. A relatív nedvesség görbéje lényegében a teljes év folyamán fordított menetű a hőmérsékleti görbével szemben (4.5. ábra).



4.5. ábra. Hőmérséklet és páratartalom adatok a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban

Amíg a hőmérséklet a szabadból a barlang belseje felé csökken nyári időszakban, addig a relatív páratartalom növekedést mutat. Télen minden olyan nyílásnál, ahol a száraz, hideg levegő befelé áramlik, a hőmérséklet növekszik a barlangban befelé haladva, tehát vagy csökken a relatív páratartalom vagy egyezőséget mutat a felszínivel. Ennek oka, hogy a szabadból a barlangba beáramló száraz, hideg levegő fokozatosan melegedik, és a barlang levegőjéből vízgőzt vesz fel (4.11. táblázat).

4.11. táblázat. Relatív páratartalom értékek a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban

	Relatív páratartalom [%] bejárat			Relatív páratartalom [%] barlang		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Január	55	84	70	55	86	72
Február	55	72	64	58	73	67
Március	38	69	54	39	71	56
Április	47	68	56	53	71	60
Május	49	60	55	56	68	63
Június	56	73	63	60	76	67
Július	47	77	62	55	79	66
Augusztus	40	70	52	44	72	57
Szeptember	63	70	67	66	75	71
Október	62	81	74	65	83	76
November	67	86	76	72	88	79
December	72	79	74	75	80	76
	Éves relatív páratartalom [%] bejárat			Éves relatív páratartalom [%] barlang		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
2010-2012	38	86	64	39	88	68

Ha a felmelegedés elenyésző mértékű, akkor a felszíni és a barlangi páratartalom közel egyező értéket vesz fel. Tavasszal és ősszel a barlangi páratartalom általában magasabb a felszíninél, azonban az energiaegyensúllyal jellemezhető hónapokban (február és szeptember) akár hosszabb időn át egyezőséget is mutathat. Havi lebontásban vizsgálva a páratartalom értékeket a maximális eltérés a felszín és a barlang között májusban jelentkezik (8%), a minimális pedig január, március, október és december hónapokban (2%). Minderre magyarázatot ad a hideg-meleg levegő áramlási viszonyaival jellemezhető kémény-hatás. Hideg időszakban a beáramló magasabb páratartalmú hideg levegő tölti ki a barlangot, amely csak minimális mértékben melegszik fel és csökken ez által a páratartalma. Ezért esik az átlagos eltérések minimális értéke a hideg hónapokra. Meleg időszakban a melegebb és alacsonyabb páratartalmú felszíni levegő nem tud beáramlani a barlangba (hűvösebb levegő és magasabb páratartalom), ezért jelentkeznek nagyobb eltérések. Az éves átlagos eltérés a havi bontásból számolva -3.6 % (barlangban mért és felszínen mért különbséget számolva), amely jó egyezést mutat a felszínre és barlangra számított éves átlagolt értékek közti különbséggel (4%).

A hőmérsékleti és páratartalom adatok vizsgálata alapján elmondható, hogy a Zsivány-barlangban nem figyelhető meg a hőmérséklet függőleges eloszlásában jelentős változás, tehát a járatok szinte teljes keresztmetszete azonos hőmérséklettel jellemezhető. A függőleges rétegződés részben tekinthető csak stabilnak (nem következnek be benne hirtelen változások), a déli oldalon lévő nagy bejáratnál a hőmérsékleti gradiens nagyobb, mint a belső terekben található repedésekben, vagy a barlang délkeleti oldalán felemelkedő kürtőben. A barlang lényegében egy közepes méretű, a felszínnel nagyobb keresztmetszetű bejáratral érintkező tereméből áll és több kisebb, a tereméből kiinduló repedésből, így turbulencia nem figyelhető meg.

A barlangok bejárat zónái azt az általános jegyet viselik magukon, hogy a rajtuk keresztül áramló levegő fizikai állapotváltozása az év egy részében jelentős (akár a külső meleg levegő lehűlése, akár a felszíni hideg levegő felmelegedése), az év más részében a légáramlás irányának megváltozásával azonban ezeket a légtereket is a stabil fizikai állapotú barlangi levegő tölti ki. A hőmérséklet szerint a hűvös érzetet keltő barlangok bejáratánál is megkülönböztethetünk hűvös-hideg és enyhe-meleg típust (FODOR, 1981).

Hűvös-hideg típusú az a bejárat, amelyen keresztül nyáron a hűvös barlangi levegő áramlik kifelé, télen viszont a hideg külső levegő áramlik a barlang belseje felé, a hőmérséklet a bejáratától a barlang belseje felé emelkedik.

Az enyhe-meleg típusú bejárat térségeken át nyáron a külső meleg levegő áramlik a barlang felé, télen pedig az enyhébb barlangi levegő kifelé, így az év minden részében lényegesen melegebb a hűvös-hideg típusnál, a hőmérséklet a bejáratától a barlang belseje felé csökken.

A Zsivány-barlang nyári légkörzéses időszakban (februártól szeptemberig) és téli légkörzéses időszakban (szeptember és február között) is úgy viselkedik, mint a hűvös-hideg típusú bejáratok. A barlang egésze – csekély kiterjedése miatt – lényegében úgy viselkedik, mint egy önálló bejárat, a közet szigetelő hatása miatt a levegő felmelegedése tavasszal és nyáron lassan következik be, ősszel és télen pedig a felvett hőt nehezen adja le. Elmondható tehát, hogy nyári légkörzéses időszakban a barlang hőenergiát vesz fel, téli légkörzéses időszakban pedig hőenergiát ad le. Februárban és szeptemberben rövid ideig tartó energia-egyensúly lép fel, amikor izotermikus állapotba kerül a felszíni környezet és a barlang. Mindezt a megállapítást a légsűrűség, légnyomás-különbség és a légáramlás paraméterek vizsgálata is megerősíti.

A 4.12. táblázat tartalmazza a barlang és a bejárat környezeti légsűrűség értékeit. A légsűrűség adatok általános jellemzője, hogy minél hidegebb a levegő, annál nagyobb a légsűrűség értéke, és fordítva. A táblázatból látható, hogy február és szeptember hónapokban a Zsivány-barlangban és bejáratánál azonos hőmérsékletű és sűrűségű levegő található; február és szeptember között a nyári légkörzésnek megfelelően a barlangi levegőnek alacsonyabb a hőmérséklete és nagyobb a sűrűsége; szeptember és február

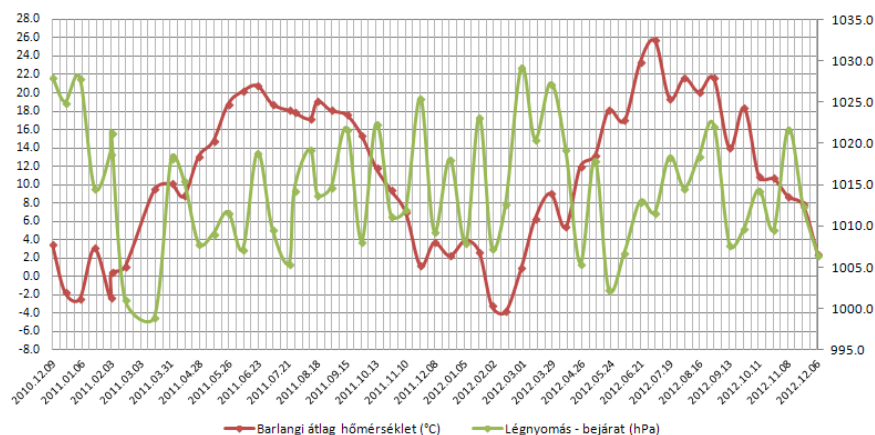
között viszont a téli légkörzésnek megfelelően a barlangi levegő magasabb hőmérsékletű, mint a felszíni, ezáltal a sűrűsége kisebb.

4.12. táblázat. Légsűrűség adatok a Zsivány-barlangban és környezetében a vizsgálati időszakban

	Barlang bejárat légsűrűség [kg/m ³]			Barlang légsűrűség [kg/m ³]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Január	1.274	1.312	1.290	1.274	1.308	1.289
Február	1.284	1.309	1.297	1.288	1.311	1.298
Március	1.243	1.288	1.260	1.250	1.291	1.264
Április	1.227	1.263	1.242	1.234	1.268	1.248
Május	1.196	1.233	1.211	1.210	1.233	1.221
Június	1.178	1.216	1.195	1.191	1.217	1.204
Július	1.170	1.210	1.200	1.182	1.213	1.205
Augusztus	1.193	1.213	1.203	1.198	1.216	1.206
Szeptember	1.205	1.234	1.220	1.211	1.230	1.220
Október	1.239	1.250	1.245	1.239	1.250	1.244
November	1.253	1.287	1.264	1.253	1.287	1.265
December	1.275	1.299	1.284	1.276	1.301	1.284
	Barlang bejárat éves légsűrűség [kg/m ³]			Barlang éves légsűrűség [kg/m ³]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
2010-2012	1.170	1.312	1.243	1.182	1.311	1.246

A légsűrűség adatok egyben meghatározzák a légáramlás irányát is: téli időszakban a barlang felé irányul a légmozgás, nyári időszakban viszont a barlangból kifelé. A legalacsonyabb légsűrűségi érték a barlang bejáratánál júniusban mérhető (hőmérsékleti maximum), a legmagasabb légsűrűségi érték pedig februárban (hőmérsékleti minimum). A barlangi légsűrűség adatok ugyanezt a tendenciát mutatják, de egyben a közet hőmérséklet-változás csillapító hatása is megfigyelhető; azaz a légsűrűség adatok változása a barlang esetében kisebb intervallum határok között mozog.

A Zsivány-barlangban mért átlaghőmérsékleti értékek és a légnyomás összefüggéseit a 4.6. ábra mutatja:

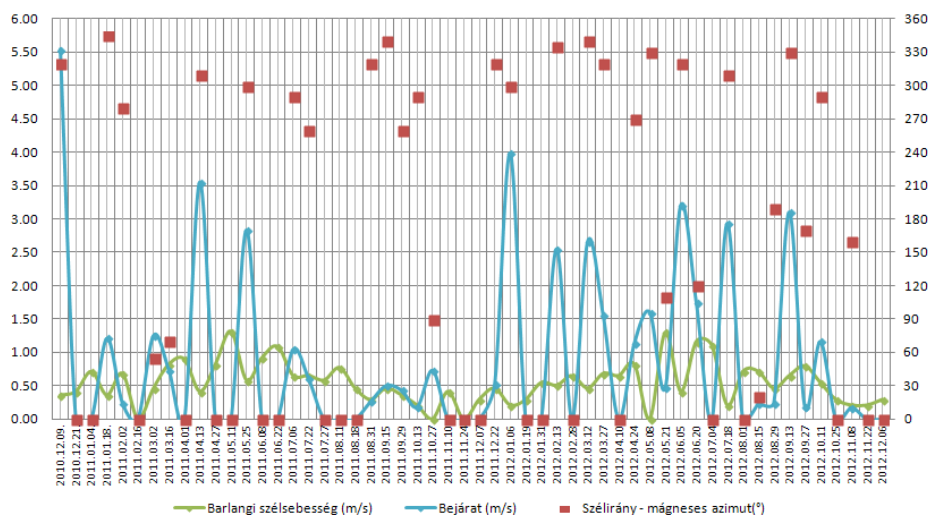


4.6. ábra. Hőmérséklet és légnyomás értékek összefüggése a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban

A 4.9. táblázatból látható, hogy a barlangi átlag hőmérséklet értékek egy naptári év folyamán az évszakok függvényében törvényszerűen változnak, ehhez azonban

szaggatott, változó amplitúdójú légnyomás értékek tartoznak. Megvizsgálva a két változót *Pearson*-féle korrelációs koefficiens segítségével, ennek értéke $r=0.28$ -ra adódik, ami azt jelenti, hogy a két mennyiség között nagyon gyenge kapcsolat áll fent. A determináltsági koefficiens értéke 0.08, ami azt jelenti, hogy az egyik mennyiség megváltozásából nem lehet következtetéseket levonni a másik mennyiség változására. A két mennyiség között meglévő gyenge kapcsolatot a hideg- és melegfrontok betörését kísérő törvényszerű légnyomás és hőmérsékletváltozásokkal lehet indokolni. Hidegfront esetén a meleg légtömeget hidegebb követi. A légnyomás a front előtt csökken, majd növekszik, a hőmérséklet csökken. Melegfront esetén a hideg légtömeg mögé melegebb nyomul. A légnyomás folyamatosan csökken, a hőmérséklet a front előtt csökken, majd lassan nő. Ezeket a törvényszerű hatásokat fel lehet ismerni az adatsorban, hiszen a barlangi klíma intenzív kapcsolatban van a felszínnel, de ezek a változások csillapítva jelentkeznek (4.10. táblázat).

A 4.7. ábra tartalmazza a barlang bejáratánál mért szélesebbesség, szélirány és a barlangi szélesebbesség összefüggéseit:



4.7. ábra. A Zsivány-barlangban és a külső környezetében mért átlag-hőmérsékleti értékek (°C) és a barlangi szélesebbesség összefüggése a felszíni széliránnyal

A 4.7. ábra alapján egyértelműen megállapítható, hogy a barlang környezetében az uralkodó szélirány az NY-ÉNY-É-i. A szélcsendes napok száma – amelyet 0 jelöl az ábrán eltérően a 360°-os széliránytól – ezzel közel megegyező. Hisztogram-elemzést végezve a legtöbb esetben a szél iránya 270 – 360° közé esik, és ennek a széliránynak a gyakorisága megegyezett a szélcsendes napok számával. Az ÉK-K-DK-D vagy DNY-i szél gyakorisága elenyésző. *Pearson*-féle korrelációs koefficiens számítással vizsgálva a felszíni szélirány és a barlangi szélesebbesség értékét, a korrelációs együttható értéke $r=0.30$, ami gyenge kapcsolatra utal. A determináltsági koefficiens értéke 0.09, tehát a felszíni szélirány változásából nem lehet következtetni a barlangi szélesebbesség értékére. Kovariancia-analízissel, azaz a két érték együtt változását vizsgálva a két változót szintén gyenge negatív kovariancia kapcsolat (-13.4) jellemzi. Mindez arra utal, hogy a szélirány

360°-os alapértékről történő csökkenése bizonyos mértékben okozhatja a barlangi szélesebbesség értékének növekedését. Ez a jelenség – mint ahogy a 4.7. ábrán is látható - 300±60° szélirány esetén mutatható ki gyenge mértékben, ami a barlang 3-as és 4-es számú bejáratának ilyen irányú fekvésével és a barlang morfológiájával magyarázható.

A bejáratnál mérhető szél sebessége és a barlangban mérhető szél sebessége között nem mutatható ki egyértelmű összefüggés. A *Pearson*-féle korrelációs koefficiens értéke $r=0.23$, ami azt mutatja, hogy a két mennyiségnek nincs kapcsolata. A determináltsági koefficiens értéke 0.05, tehát a felszíni szél sebességéből nem lehet következtetni a barlangi szél sebességére. A kovariancia-analízis eredményeképpen kapott mérőszám (-0.09) közel 0, ami szintén arra utal, hogy a két mennyiség között nincs törvényszerű összefüggés.

A Zsivány-barlang légáramlás paramétereit a 4.13. táblázat foglalja össze. A szélesebbesség [m/s] vagy a légáramlás [m^3/s] egyértelműen kapcsolatba hozható a barlangi és a felszíni levegő hőmérséklet-, légsűrűség-, és légnyomáskülönbségével.

4.13. táblázat. A Zsivány-barlangban mért légáramlás paraméterek a vizsgálati időszakban

Barlangban mért légáramlás paraméterek									
	Légnyomás különbség [Pa]			Szélesebbesség [m/s]			Légáramlás [m^3/s]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Január	-0.02	0.07	0.02	0.21	0.71	0.42	0.089848	0.314957	0.185774
Február	-0.06	0.06	0.01	0.00	0.68	0.46	0.000000	0.301493	0.202434
Március	-0.08	-0.03	-0.05	0.46	0.82	0.61	0.199935	0.354940	0.262920
Április	-0.10	-0.02	-0.07	0.41	0.90	0.72	0.178066	0.386176	0.310659
Május	-0.20	0.00	-0.11	0.00	1.32	0.80	0.000000	0.560542	0.339627
Június	-0.15	-0.02	-0.10	0.41	1.16	0.90	0.175535	0.488810	0.378299
Július	-0.13	0.00	-0.05	0.21	1.11	0.64	0.087452	0.463789	0.270415
Augusztus	-0.07	0.01	-0.04	0.29	0.77	0.57	0.123973	0.327720	0.240860
Szeptember	-0.07	0.05	0.00	0.36	0.80	0.57	0.152465	0.338469	0.241576
Október	-0.01	0.04	0.01	0.00	0.54	0.26	0.000000	0.234853	0.112260
November	-0.02	0.01	-0.01	0.00	0.41	0.21	0.000000	0.178696	0.089262
December	-0.02	0.03	0.01	0.29	0.46	0.36	0.127110	0.201562	0.158669
	Légnyomás különbség éves értéke [Pa]			Szélesebbesség éves értéke [m/s]			Légáramlás éves értéke [m^3/s]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
2010-2012	-0.20	0.07	-0.03	0.00	1.32	0.54	0.000000	0.560542	0.232730

A légnyomáskülönbség adatok maximális értéke a nyári időszakban tapasztalható, ekkor a legnagyobb a hőmérséklet- és légsűrűség-különbség is a barlang és a felszín között. Csúcspontnak a június hónapot kell tekinteni, egyben ez az időszak összeesik a hőmérsékleti maximummal is. Február és szeptember hónapokban energiaegyensúly lép fel a barlang és a környezet között, melynek köszönhetően a légnyomáskülönbség, és ezzel együtt a szélesebbesség és légáramlás értéke is nulla lesz. A szélesebbesség és a légáramlás mértéke szoros összefüggésben van a légnyomáskülönbséggel; a fent jelzett

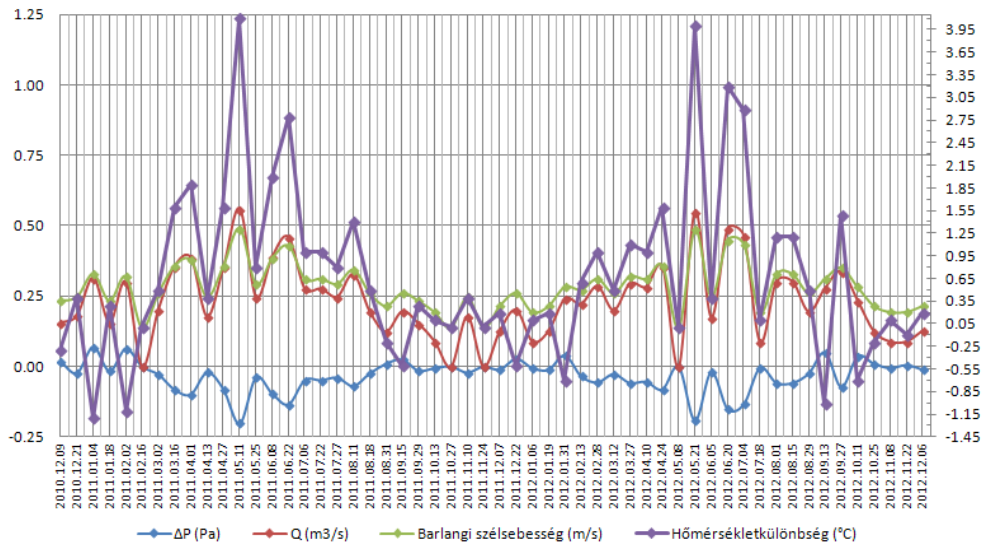
értékek maximuma júniusban tapasztalható, míg minimális értékük pedig a téli légkörzéses időszakban, elsődlegesen februárban. Megjegyezném még, hogy a vizsgált évszakot jellemző időjárástól eltérő, extrém időjárási körülmények között (téli hosszú szokatlan felmelegedés, nyári hosszú szokatlan lehűlés stb.) szélsőséges légnyomáskülönbség, szélesebbesség és légáramlás viszonyok az év bármely szakában kialakulhatnak. Az éves értékeket megvizsgálva a légnyomáskülönbség átlagos értéke $-0.03Pa$, ami arra utal, hogy az év nagyobb részében hűvösebb van a barlangban, mint a környezetében. A barlangi szélesebbesség éves átlagos értéke 0.54 m/s , azaz 1.9 km/h , amely a Beaufort-skála 1-es fokozatának felel meg, tehát a gyenge szélnek. Ezt a zónát az jellemzi, hogy a felszálló füst gyengén ingadozik, és alig érezhető. A légáramlás éves átlagos értéke $0.232730\text{ m}^3/\text{s}$, amit úgy lehet elképzelni, mintha másodpercenként a Zsivány-barlang valamennyi bejáratán keresztül összesen egy $61,5\text{cm} \times 61,5\text{cm} \times 61,5\text{cm}$ élhosszúságú kocka térfogatával egyenlő térfogatú légtest hagyná el a barlangot. Ennek a légtestnek a döntő része a barlang 1-es számú bejáratán keresztül közlekedik, amelynek felülete megközelítőleg 0.7 m^2 . Ezen a bejáraton keresztül áramlik $0.108607\text{ m}^3/\text{s}$; a fennmaradó $0.124123\text{ m}^3/\text{s}$ légáram a 2-3-4-es számú bejáratokon és a barlanghoz kapcsolódó $0.50\text{m} \times 0.60\text{m} \times 0.70\text{m}$ oldalhosszúságú, háromszög keresztmetszetű kürtön keresztül távozik. A kürtő területét a Heron-képlettel számolva 0.146969m^2 -t kapunk, és az ezen keresztül áramló légáram $0.022802\text{m}^3/\text{s}$. A 2-3-4-es számú bejáratokon tehát összesen $0.101321\text{m}^3/\text{s}$ távozik, ami közel azonos az 1-es bejárat légáramlás értékével. Mivel a 2-3-4 bejáratok felülete között nincs számottevő különbség, ezért azt lehet mondani, hogy mind a három bejáraton kb. $0.033774\text{m}^3/\text{s}$ levegő áramlik keresztül. A bejáratokkal összefüggő légáramlás értékeket a 4.14. táblázat foglalja össze:

4.14. táblázat. A Zsivány-barlang átlagos légáramlás értéke és bejáratainak összefüggése

	Felület [m^2]	Légáram [m^3/s]	Légtest az adott méretű kocka térfogatában
1	~ 0.69	0.108607	$47,7\text{cm} \times 47,7\text{cm} \times 47,7\text{cm}$
2	~ 0.22	0.033774	$32,3\text{cm} \times 32,3\text{cm} \times 32,3\text{cm}$
3	~ 0.22	0.033774	$32,3\text{cm} \times 32,3\text{cm} \times 32,3\text{cm}$
4	~ 0.22	0.033774	$32,3\text{cm} \times 32,3\text{cm} \times 32,3\text{cm}$
kürtő	~ 0.15	0.022802	$28,5\text{cm} \times 28,5\text{cm} \times 28,5\text{cm}$

A Zsivány-barlangban megfigyelt szélesebbesség értékek két forrásból származtak: amennyiben a szél sebessége meghaladta a 0.5 m/s értéket, úgy kézi kanalas szélmérővel mértem, amennyiben ennél kisebb volt, úgy a 4.4-es képlettel (Markó-képlete) számítottam. A nevezett képlet jól használható abban az esetben, ha a felszín és a barlang között kicsi a hőmérsékletkülönbség, tehát mint a gypjűzsákbarlangok esetében is. A Zsivány-barlangbeli szélesebbesség tapasztalati értékeket feltéve egy diagramba (4.8. ábra) arra a következtetésre jutottam, hogy a hőmérsékletkülönbség összefüggésében vizsgálva a szélesebbesség értékeket, közöttük egyértelműen kapcsolat van, amely a Zsivány-

barlangra jellemző tartományban jól közelíthető lenne egy $y=e^{a|x|+b}$ vagy egy $y=\ln(a|x|+b)$ típusú függvényvel.



4.8. ábra. A Zsvány-barlangban és a külső környezetben mért hőmérsékletkülönbség összefüggése a légnyomáskülönbséggel (ΔP), a légáramlással (Q) és a barlangi szélesebességgel

A *Pearson*-féle korrelációs együttható értéke $r=0.77$, ami erős kapcsolatra utal. A determináltsági együttható értéke 60%, tehát az egyik mennyiség megváltozásából jó közelítéssel lehet következtetni a másik mennyiség megváltozására. A korreláció 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns, mert $t_{0.05,52}=1.677$, és $|t|=11.753$, továbbá $|t| > t_{0.05,52}$, tehát a két változó között kapcsolat van, és azt nem a véletlen okozza. A képletekben az x jelöli a hőmérsékletkülönbséget, y a szélesebességet, a és b pedig konstansok. Alkalmazva a differenciálegyenletek közelítő megoldásának módszerét, tíz lépéses iterációt követően meghatároztam mind a két függvény esetében az a és b együtthatókat. A függvények alakja a következő lett:

$$y = e^{0.257119418 \cdot |x| - 0.80081184} \quad (4.16)$$

$$y = \ln(0.627435829 \cdot |x| + 1.170934477) \quad (4.17)$$

A két függvény közül a megfelelőbb kiválasztására leíró statisztikai, hisztogram és grafikon elemzéseket végeztem a függvényekből számított szélesebesség értékek és a tapasztalati értékek különbségére. A leíró statisztikai elemzés legfontosabb eredményeit a 4.15. táblázat tartalmazza.

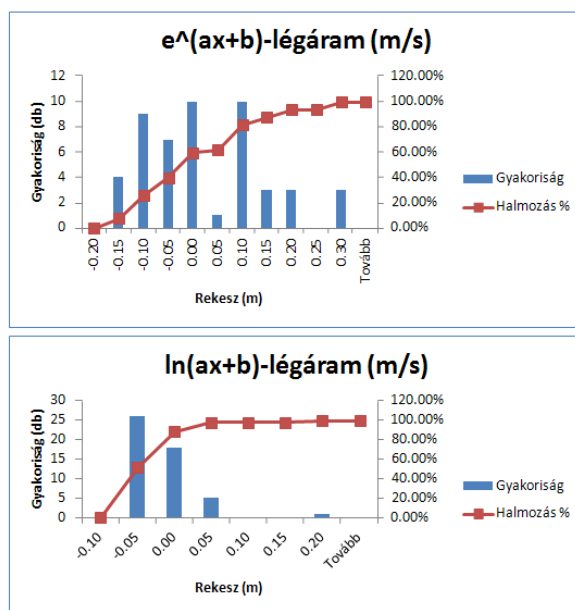
A 4.17-es képlettel számított értékek kisebb tartományban térnek el a tapasztalati szélesebességtől, mint a 4.16-os képletből számított értékek, ugyanakkor a belőle számítható várható érték kedvezőtlenebb. A szórás tekintetében nagyobb értékkel a 4.16-os képletből meghatározott adatok bírnak, azaz ezeknek kisebb a megbízhatósága. A

standard hiba mind a két esetben elhanyagolható mértékű, azaz a mintavételi hiba elenyésző mértékű.

4.15. táblázat. A 4.16 és 4.17 képletek leíró statisztikai elemzésének összegzése

Eltérések a tapasztalati szélsőbességtől	$y = e^{a x +b}$	$y = \ln(a x + b)$
Minimum	-0.17	-0.07
Maximum	0.26	0.16
Tartomány	0.42	0.23
Várható érték	-0.00	-0.04
Szórás	0.11	0.04
Standard hiba	0.02	0.00

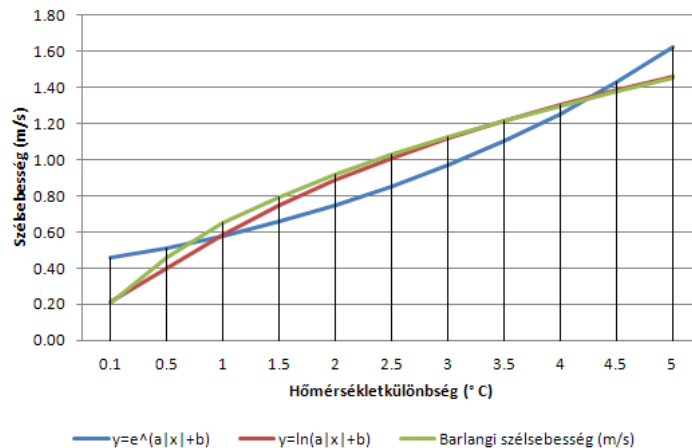
A hisztogram-elemzések eredményét a 4.9. ábra mutatja. A 4.16-os függvény esetében a legtöbb eltérés -0.10 m/s és 0.10 m/s között található, amely a teljes mintának a 82%-át képviseli. Az eloszlás az x tengelyre szimmetrikus, ezért lesz a várható érték 0. A 4.17-es függvény esetén a legtöbb eltérés -0.05 m/s és 0.05 m/s között található, és egyben felöleli a teljes minta 98%-át. Az eloszlás az x tengelyre nem szimmetrikus, az eltérések 88%-a $-0.05 - 0.00 \text{ m/s}$ közé esik.



4.9. ábra. Hisztogram-elemzések a 4.16-os és 4.17-es képletre vonatkozóan

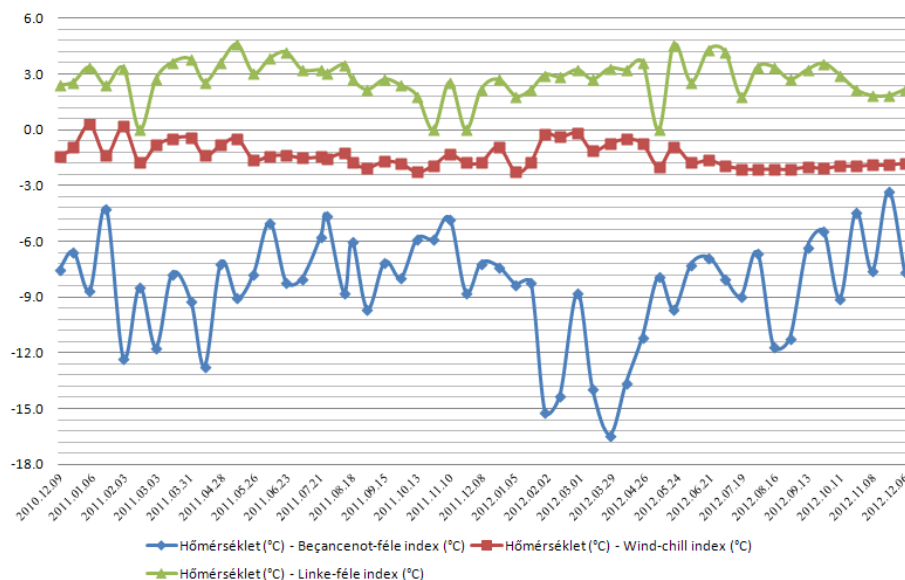
Figyelembe véve a leíró statisztikai és hisztogram-elemzéseket elmondhatjuk, hogy mind a két függvény alkalmazható a Zsivány-barlangban tapasztalható szélsőbesség értékek számítására a hőmérsékletkülönbség függvényében; azonban a kisebb eltérési-tartomány és szórás a 4.17-es képlet alkalmazását indokolja. Ezt támasztja alá a függvények grafikonon történő ábrázolása is a Zsivány-barlangra jellemző hőmérsékletkülönbség tartományban (4.10. ábra). A 4.17-es függvény tekintetbe véve a tulajdonságait alkalmazható további gyapjúzsákbarlangok szélsőbesség értékeinek számítására is, azonban az a és b együttható értékek meghatározása a tapasztalati szélsőbesség és

hőmérsékletkülönbség értékek függvényében minden gypjúsákbarlangnál egyedi kell, hogy legyen.



4.10. ábra. A 4.16 és 4.17 képletekkel számított függvények képének összehasonlítása a tapasztalati szélsebességgel

A barlang által nyújtott termális komfort-érzet meghatározásához négyféle mérőszámot használtam fel (4.1.2. fejezet). A korábbi szakirodalmi adatok (FODOR, 1981) a *Bradtke*-féle index és a *Linke*-féle index alkalmazását javasolták, kutatásomban azonban megvizsgáltam, hogy vajon az említett mérőszámok kiváltására, helyettesítésére vagy egyenértékűsítésére használhatók-e további indexek, úgy, mint a *Beçancenot*-féle index és a *Wind-chill* index. Az egyes termális indexek (az ilyen módon meg nem jeleníthető *Bradtke*-féle index kivételével) barlangi hőmérséklettől mért különbségét a 4.10. ábra tartalmazza.



4.11. ábra. A barlangi hőmérséklet eltérése a különböző termális komfort indexektől
A legmarkánsabb eltérést a *Beçancenot*-féle index mutatja a mért hőmérséklettől. Ez az index nem veszi figyelembe a barlangi szelet, mint hőérzeti tényezőt. Az ilyen módon számított hőérzeti adatok mindig magasabbak lesznek, mint a tényleges barlangi

hőmérséklet, így a különbségük meghatározóan negatív lesz. Leíró statisztikával vizsgálva a különbségeket a legnagyobb eltérés értéke $-16.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, a legkisebbé $-4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, az eltérési tartomány tehát 12°C . A várható érték $-8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, melynek szórása $\pm 2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hisztogram-elemzéssel vizsgálva az eltéréseket, az eltérések 92% lesz -5 és $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ között; azaz a *Beçancenot*-féle index-szel meghatározott hőérzeti érték döntően $5-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al lesz magasabb, mint a tényleges hőmérséklet. Mindez alapján kijelenthetjük, hogy a *Beçancenot*-féle index nem alkalmas a Zsivány-barlang (és feltételezhetően a többi gyapjúzsákbarlang) termális komfort-érzetének a kifejezésére.

A *Wind-chill* index már figyelembe veszi a barlangi szelet, mint hőérzet módosító tényezőt. Értéke általában nagyobb, mint a barlangban mérhető hőmérsékleté, tehát a kettő különbsége egyaránt lehet negatív és pozitív is. Leíró statisztikával vizsgálva a különbségeket a legnagyobb eltérés értéke $-2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, a legkisebbé $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, az eltérési tartomány tehát 2.6°C . A várható érték $-1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, melynek szórása $\pm 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hisztogram-elemzéssel vizsgálva az eltéréseket, az eltérések 96% lesz -2 és $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ között; azaz a *Wind-chill* index-el meghatározott hőérzeti érték döntően $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al lesz magasabb, mint a tényleges hőmérséklet. A *Wind-chill* index értékei azt a megfontolást sugallják, hogy a barlangi szél a Zsivány-barlangban módosítja a hőérzetet, azonban azt döntően – a szélesebbesség csekély értéke miatt – nem befolyásolja. Mindez azonban nem igaz, ugyanis a barlangban való mérés során a tapasztalatok éppen ennek az ellenkezőjét mutatják. Összefoglalóan kijelenthetjük tehát, hogy a *Wind-chill* index nem alkalmas a Zsivány-barlang (és feltételezhetően a többi gyapjúzsákbarlang) termális komfort érzetének a kifejezésére. Fontos azonban megjegyezni, hogy a *Wind-chill* indexet szabad környezeti viszonyokra tervezték és nem zárt terekre, így használata csak barlangok esetében nem javasolt.

A *Linke*-féle index alapján számított hőérzeti mérőszámok mindig kisebbek, mint a barlangi hőmérséklet, ami egyértelműen a barlangi szél hőérzet-csökkentő szerepével hozható kapcsolatba. A kettő különbsége mindig pozitív lesz. Leíró statisztikával vizsgálva a különbségeket a legnagyobb eltérés értéke $4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, a legkisebbé $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, az eltérési tartomány tehát 4.6°C . A várható érték $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, melynek szórása $\pm 1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hisztogram-elemzéssel vizsgálva az eltéréseket, az eltérések 90% lesz 0 és $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ között; azaz a *Linke*-féle index-el meghatározott hőérzeti érték döntően $0-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal lesz alacsonyabb, mint a tényleges hőmérséklet. Figyelembe véve a terepmunka során szerzett tapasztalatokat elmondhatjuk, hogy a más genotípusú barlangokra vonatkozó szakirodalmi eredmények (*FODOR, 1981*) helytállónak tekinthetők a gyapjúzsákbarlangok esetében is; azaz a gyapjúzsákbarlangok hőérzetének kifejezésére a *Linke*-féle indexet lehet ajánlani.

A *Bradtke*-féle közérzeti index vizsgálata kiemelten fontos a gyapjúzsákbarlangok mikroklimatológiai modelljének a meghatározása szempontjából, ugyanis ez az index az egyik alapja az egyes barlangtípusok mikroklimatológiai modellbeli elkülönítésének (4.3.

és 4.4. táblázatok). Leíró statisztikával vizsgálva a számított index értékeket a legkisebb érték -0.4, a legnagyobb 8.6, azaz a minta tágassága 9.0. A várható érték 2.1, aminek szórása ± 2.1 . A hisztogram-elemzés alapján elmondható, hogy az adatok 60%-a esik 0 és 2 közé, 27 százaléka 2 és 5 közé, 12 % pedig 5-nél nagyobb. A nullánál kisebb adatok részesedése nem éri el az 1%-ot. A kapott index értékek vizsgálatából kitűnik, hogy a barlang elsődlegesen a hűvösérzetet keltő barlangok (szeptember és május között) közé tartozik (*Bradtke-index* 0 és 2 között), de éves periódusát vizsgálva van a barlangnak olyan hosszabb időszaka (május és szeptember között), amikor a komfortérzetet adó barlangok közé lehet besorolni (*Bradtke-index* 2 és 5 között). Egy rövidebb időszakban (bármely nyári hónapban) a Zsivány-barlang a kifejezetten melegérzetet keltő barlangok közé tartozik (*Bradtke-index* >5); és egy egészen rövid időszakban (bármely téli hónapban), amikor a hidegérzetet keltő barlangok (*Bradtke-index* <0) közé tartozik.

4.2.4. Szinkron-mérések a Zsivány-barlangban

Szinkron-mérésnek neveztem azt a megfigyelési módszert, amikor 1-1.5-2 órán keresztül 5-10 perces leolvasási időközökben egyidejűleg rögzítettem a barlang bejáratánál (1-es pont) és a barlangban (5-ös pont) tapasztalható mikroklimatológiai paramétereket. A célom ezzel a megfigyeléssel az volt, hogy meghatározzam, a barlang klímájában milyen eltéréseket okoznak a felszíni gyors periódusú változások. A méréseket 2011 és 2012 decembere között végeztem. Az előzetes hőmérsékleti vizsgálatok alapján kiderült, hogy a barlang némileg csillapítja a felszíni változásokat, de tendencia kiolvasása ezekből az adatokból csak a szinkron-mérések elvégzésével vált lehetségessé.

A szinkron-mérések adatait hőmérséklet-változás tekintetében a 4.16., 4.17. és 4.18. táblázatok tartalmazzák. A felszíni és a barlangi hőmérséklet változása a rövid periódusú mikroklimatológiai változások egyik jelzőszáma, a felszíni és barlangi hőmérsékletkülönbség-változás pedig azt mutatja meg, hogy a felszín és a barlang hőmérsékletében bekövetkező változások mennyire mozognak együttesen. A hőmérséklet-különbség változás minimuma és maximuma nem más, mint a teljes évre összegzett, mérési időpontonként meghatározott, mérés kezdete kori hőmérséklet-különbség értékhez viszonyított legnagyobb változás-értékek közül a legnagyobb és legkisebb. Ugyanilyen módon számítottam a légsűrűség-különbség és a légnyomáskülönbség változását is a felszíni és a barlangi levegő esetében. A felszíni és barlangi hőmérséklet, a légsűrűség, szélesség, légáramlás és a relatív páratartalom változás értékeinek maximuma és minimuma a teljes évre összegzett, mérési időpontonként meghatározott legnagyobb változás-értékek közül a legnagyobb és legkisebb. Az átlag értékek minden esetben a teljes évre összegzett legnagyobb változás-értékeket tartalmazó sorozat elemeinek számtani középértékeként kerültek számításra.

4.16. táblázat. Felszíni és barlangi hőmérsékletváltozások a Zsivány-barlangnál a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei					
	Felszíni hőmérsékletváltozás [°C]			Barlangi hőmérsékletváltozás [°C]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
2011-12	0.0	2.1	1.1	0.0	1.7	0.7

A felszíni hőmérsékletben akár +2.1 °C-os változás is beállhat rövid idő alatt, ez a változás-érték a barlang esetében azonban csak +1.7 °C. A megfigyelési időszakban mindösszesen öt alkalommal fordult elő a barlangban +1.0 °C-nál nagyobb hőmérsékletváltozás, a többi esetben a változás átlagosan +0.5 °C volt. A minimális változás (0 °C) mind a felszín, mind a barlang esetében egyetlen megfigyelési alkalommal volt tapasztalható, kora tavasszal és ősszel, tehát abban az időszakban, amikor a két légtér között energiaegyensúly lép fel (március és szeptember). Az átlagos hőmérséklet-változás a felszínen a vizsgálati időszakban 1.0-1.5 órás megfigyelési periódust tekintve +1.1°C; barlangokban pedig +0.7 °C. Mindez arra utal, hogy a barlangban a felszíni gyors periódusú változások rövid idővel késve és csillapítottan jelentkeznek.

4.17. táblázat. Felszíni és barlangi légsűrűség-változás a Zsivány-barlangnál a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei					
	Felszíni légsűrűség-változás [kg/m ³]			Barlangi légsűrűség-változás [kg/m ³]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
2011-12	0.000	0.008	0.005	0.000	0.007	0.003

A légsűrűség változásának maximális értéke a felszínen 8 g/m³, míg a barlangban 7 g/m³. A változás átlagos értéke a felszínen 5 g/m³ a barlangban pedig 3 g/m³. Mindez arra utal, hogy a felszínen valamivel gyorsabban következik be a hőmérsékleti értékek változása, mint a barlangban. A légsűrűség-változások minimális értékének (0 kg/m³) időpontja egybeesik a hőmérsékletváltozások minimális értékének időpontjával, azaz a márciusi és szeptemberi energia-egyensúllyal.

4.18. táblázat. Hőmérsékletkülönbség, relatív páratartalom és légsűrűségkülönbség-változás értékek a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei								
	Hőmérsékletkülönbség változás [°C]			Relatív páratartalom változás [%]		Légsűrűség-különbség változás [kg/m ³]			
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
2011-12	0.2	1.3	0.8	0	8	3	0.001	0.006	0.004

Megvizsgálva a hőmérsékletkülönbség változás értékeit azt mondhatjuk, hogy a Zsivány-barlangban kialakulhatnak gyors periódusú változások. A hőmérsékletkülönbség változásának maximális értéke a +1.3 °C-ot is elérheti, ami tekintettel az 1-1.5 órás megfigyelési időtartamokra jelentősnek nevezhető. A változások elsődlegesen a felszíni hőmérséklet értékek változékonyságából következnek, ugyanakkor a barlangok hőmérséklete is változik, csak késve és csillapított mértékben. Az átlagos

hőmérsékletkülönbség változás a vizsgálati időszakban 1.0-1.5 órás megfigyelési periódust tekintve $+0.8^{\circ}\text{C}$. A hőmérsékletkülönbség változás kapcsolatban van a barlang légkörzésével, amelyet jól szemléltetnek a légsűrűség-különbségben, szélességben és légáramlásban bekövetkező változások (4.18. és 4.19. táblázat).

A páratartalom változásának minimális értéke 0%, maximális értéke 8%, az átlagos érték pedig 3%. Összevetve a páratartalom változásokat a barlangi hőmérsékletváltozásokkal; átlagos értéknek tekinthetően a Zsivány-barlang 0.1°C -al való lehűlése $\sim 0.4\%$ relatív páratartalom emelkedést von maga után és fordítva. Az éves átlagos hőmérsékletváltozás értékek és a hozzájuk tartozó éves átlagos páratartalom értékek alátámasztják ezt a változási tendenciát.

A légsűrűség-különbség változás maximális értéke eléri a 6 g/m^3 -t, az átlagos változás értéke pedig 4 g/m^3 . Mivel a légsűrűség értékek szoros kapcsolatban vannak a hőmérsékleti értékekkel, így a légsűrűség-különbség változása is szoros kapcsolatot mutat a hőmérsékletkülönbség-változással. A légsűrűség-különbség változás éves átlagos alacsony értéke arra utal, hogy a barlangban a rövid periódusú változások csak csillapítottan jelentkeznek.

A légnyomáskülönbség-változás, szélesség-, légáramlás- és Linke-féle index-változását mutatja a 4.19. táblázat. A táblázatban szereplő értékek a mérési időpontokból a teljes megfigyelési időszakra összegzett értékeket mutatják.

4.19. táblázat. A légnyomáskülönbség-változás, a szélesség-változás, a légáramlás-változás és a Linke-féle index változásának értékei a Zsivány-barlang esetében a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei											
	Légnyomáskülönbség-változás [Pa]			Szélesség-változás [m/s]			Légáramlás-változás [m^3/s]			Linke-féle index-változás [$^{\circ}\text{C}$]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
2011-2012	0.01	0.07	0.04	0.08	0.59	0.28	0.034201	0.250186	0.121922	0.2	2.1	0.9

A hőmérsékletkülönbség-változás (4.18. táblázat) kapcsolatban van a barlang légkörzésével, amelyet jól szemléltetnek a légnyomáskülönbség-változás, szélesség-változás, légáramlás-változás és Linke-féle index-változás értékek. A légnyomáskülönbség-változás maximális értéke 0.07 Pa , éves átlagos értéke a szinkron-mérés periódusában 0.04 Pa . Az ezzel összefüggő szélesség-változás maximális értéke 59 cm/s , éves átlagos értéke pedig 28 cm/s a szinkron-mérés periódusában. A légáramlás-változás maximális értéke $250\text{ dm}^3/\text{s}$, átlagosan pedig $122\text{ dm}^3/\text{s}$ szinkron-mérés periódusában. Figyelembe véve a 4.14.-es táblázatban kifejezett légáramlás-megoszlás értékeket azt lehet mondani, hogy az összesen $122\text{ dm}^3/\text{s}$ változásból $57\text{ dm}^3/\text{s}$ zajlik le a Zsivány-barlang 1-essel jelölt főbejáratán, $3 \times 18\text{ dm}^3/\text{s}$ változás a 2-3-4-es számú bejáratokon és $11\text{ dm}^3/\text{s}$ pedig a kürtön keresztül. A Linke-féle index maximális változása 2.1°C , míg átlagos értéke 0.9°C . Mindez tehát azt mutatja, hogy rövid periódusú időszakban a termális komfort érzet nem, vagy csak alig változik.

A 4.16. – 4.19. táblázatokban lévő értékek és változások megmagyarázhatók a Zsivány-barlang topográfiai fekvésének és alakjának a vizsgálatával. A barlang D-É-i fekvésű, és mikroklímájának meghatározása szempontjából meghatározó 1-es számú bejárata déli fekvésű. A kisebb bejáratok közül a 2-es délkeleti fekvésű, a 3 és 4 északi fekvésű. A barlang alsó nagy tere egy kürtővel kapcsolódik a második szintet jelentő sziklaereszhez, amely szintén déli fekvésű. Jellemzően ugrásszerű változások a hőmérsékletben, légsűrűségben, légáramlásban és szélsébségben akkor következnek be, ha a barlang és környezete árnyékból napsütésbe kerül. Ebben az esetben a felszíni légköri állapotváltozók gyorsan megváltoznak, azonban ezt a változást a barlangi állapotváltozók csak késve és csillapítottan képesek követni. A Zsivány-barlang olyan fekvésű, hogy egy nap folyamán (a Nap évszaktól függő, ekliptikán történő vándorlása miatt) biztosan bekövetkeznek olyan időszakok, amikor a szellőzés szempontjából meghatározó bejárat (1-es számú) közvetlen napsugárzásnak van kitéve. Meghatározóak lehetnek még különösen téli időszakban az antropogén hatások is; a barlangban való tartózkodás a barlang kicsiny légtere miatt felmelegítheti a barlangot kitöltő légtestet, ezáltal változásokat okozva a többi állapotváltozóban is. Méréseim idején ez utóbbi hatást igyekeztem azzal kiküszöbölni, hogy csak a lehető legkevesebb ideig tartózkodtam a barlangban; tapasztalati értékként elmondható, hogy az antropogén befolyás után ~ 30 perc kellett a barlang légterének helyreállításához.

A Zsivány-barlang szinkron-mérésével kapcsolatban a következtetéseket az alábbi pontokban tudnám összefoglalni:

- a Zsivány-barlang olyan fekvésű, hogy egy nap folyamán biztosan bekövetkeznek olyan időszakok, amikor a szellőzés szempontjából meghatározó 1-es bejárata közvetlen napsugárzásnak van kitéve, ezáltal a felszíni állapotváltozók környezetében gyorsan megváltoznak,
- a felszíni légköri állapotváltozók gyors megváltozását a barlangi állapotváltozók csak késve és csillapítottan követik,
- a hőmérsékletben, szélsébségben és légáramlásban bekövetkező rövid periódusú változások mértékadóak lehetnek,
- a légsűrűségben és a termális komfort indexben bekövetkező gyors periódusú változások nem mértékadóak,
- a mikroklímában bekövetkező változások szoros kapcsolatban vannak a barlang alakjával, fekvésével, topográfiai környezetével és az antropogén tényezőkkel,
- a légköri állapotváltozók változásában a felszínen lejátszódó periodikus hatások (a felszínen érvényesülő időjárási elemek napi menete) mellett aperiodikus tényezők is szerepet kapnak (a barlangon keresztül folyó, langyos, nyári csapadékvíz, téli vagy tavaszi hideg olvadékvíz, antropogén hatások).

4.2.5. További gyapjúsákbarlangokban végzett szinkron-mérések eredményeinek kiértékelése

A Zsivány-barlangban végzett mérések kiegészítéseként további hat gyapjúsákbarlangban (Oroszlán-kő barlangja, Iker-kő barlangja, Rejtek-barlang, Gömb-kő barlangja, Háromszájú-barlang, Mohás-barlang) végeztem szinkron megfigyeléseket 2012 júniusa és szeptembere között (összesen 11 alkalommal) ugyanazzal a megfigyelési módszerrel és időtartamban, mint a Zsivány-barlangnál. Ezzel a megfigyelés-sorozattal az volt a célom, hogy bebizonyítsam, hogy a Zsivány-barlang esetére megfogalmazott következtetések a többi gyapjúsákbarlang esetére is mértékadóak. A hipotézis vizsgálatával válik lehetővé a Zsivány-barlang példáján keresztül egy olyan mikroklimatológiai modell felállítása, amely a többi gyapjúsákbarlangra is általánosan alkalmazható.

A különböző gyapjúsákbarlangok esetére a felszíni és a barlangi hőmérsékletváltozásokat a 4.20. táblázat tartalmazza.

4.20. táblázat. Felszíni és barlangi hőmérsékletváltozások különböző gyapjúsákbarlangokban a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei 2012. június - szeptember					
	Felszíni hőmérsékletváltozás [°C]			Barlangi hőmérsékletváltozás [°C]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Iker-kő barlangja	2.2	3.7	2.8	0.2	0.8	0.6
Gömb-kő barlangja	1.1	5.5	3.3	1.2	2.0	1.6
Oroszlán-kő barlangja	1.1	1.6	1.4	0.1	1.0	0.6
Rejtek-barlang	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5	0.5
Háromszájú-barlang	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
Mohás-barlang	1.8	1.8	1.8	1.0	1.0	1.0

A felszíni hőmérsékletben akár +5.5 °C-os változás is beállhat rövid idő alatt, ez a változás-érték a barlangok esetében azonban csak +2.0 °C. Ez utóbbi érték a Gömb-kő barlangjánál volt tapasztalható, míg a többi barlang esetében a maximális változás +1.0 °C volt. A minimális változást a felszíni hőmérsékletben és a barlangi hőmérsékletben is egyaránt a Rejtek-barlangnál tapasztalhatjuk (+0.9 °C és +0.5 °C), ami a barlang időjárás tényezőkre vonatkoztatott topográfiai fekvésével magyarázható. Sajnos az említett barlang hosszabb távú vizsgálata a közeli lódarázsfészek miatt nem volt megvalósítható. Az átlagos hőmérséklet-változás a felszínen a vizsgálati időszakban 1.0-1.5 órás megfigyelési periódust tekintve +2.0°C; barlangokban pedig +0.9 °C.

A felszíni és barlangi légsűrűség-változás adatokat a különböző gyapjúsákbarlangok esetére a 4.21. táblázat tartalmazza. A légsűrűség változásának maximális értéke a felszínen 21 g/m³, míg a barlangban 8 g/m³. A változás átlagos értéke a felszínen 8 g/m³ a barlangban pedig 3 g/m³. Mindez arra utal, hogy a felszínen sokkal gyorsabban következik be a hőmérsékleti értékek változása, mint a barlangban. A legnagyobb változás értékek ebben az esetben is a Gömb-kő barlangjánál tapasztalhatók,

amely változások a barlang relatív nagy méreteivel, nagy felületű bejárataival, rövid hosszával és topográfiai fekvésével magyarázhatók. A legkisebb felszíni változások a Rejtek-barlangnál jelentkeznek, míg a legkisebb barlangi változásokat az Oroszlán-kő barlangjánál, a Rejtek- és Háromszájú-barlangnál tapasztaljuk.

4.21. táblázat. Felszíni és barlangi légsűrűség-változások különböző gyapjúsákbarlangokban a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei 2012. június - szeptember					
	Felszíni légsűrűség-változás [kg/m^3]			Barlangi légsűrűség-változás [kg/m^3]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Iker-kő barlangja	0.009	0.015	0.012	0.000	0.004	0.002
Gömb-kő barlangja	0.005	0.021	0.013	0.005	0.008	0.007
Oroszlán-kő barlangja	0.004	0.007	0.005	0.000	0.003	0.002
Rejtek-barlang	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
Háromszájú-barlang	0.007	0.007	0.007	0.002	0.002	0.002
Mohás-barlang	0.006	0.006	0.006	0.004	0.004	0.004

A hőmérsékletkülönbség, légsűrűség-különbség és a szélesség-változás értékeit a 4.22. táblázat tartalmazza.

4.22. táblázat. Hőmérsékletkülönbség, légsűrűség-különbség és szélesség-változás értékek különböző gyapjúsákbarlangokban a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei 2012. június - szeptember								
	Hőmérsékletkülönbség-változás [$^{\circ}\text{C}$]			Légsűrűség-különbség-változás [kg/m^3]			Szélesség-változás [m/s]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Iker-kő barlangja	1.7	3.0	2.4	0.006	0.012	0.010	0.47	0.73	0.59
Gömb-kő barlangja	0.2	3.6	1.9	0.001	0.013	0.007	0.05	0.74	0.40
Oroszlán-kő barlangja	0.6	1.7	1.2	0.001	0.003	0.002	0.20	0.36	0.28
Rejtek-barlang	0.3	0.3	0.3	0.002	0.002	0.002	0.10	0.10	0.10
Háromszájú-barlang	0.5	0.5	0.5	0.005	0.005	0.005	0.39	0.39	0.39
Mohás-barlang	0.6	0.6	0.6	0.006	0.006	0.006	0.41	0.41	0.41

Megvizsgálva a hőmérsékletkülönbség változás értékeit azt mondhatjuk, hogy a gyapjúsákbarlangokban kialakulhatnak gyors periódusú változások. Az egy-egy barlang hőmérsékletkülönbség változásának maximális értéke akár a $+3.6^{\circ}\text{C}$ -ot is elérheti, ami tekintettel az 1-1.5 órás megfigyelési időtartamokra számottevőnek nevezhető. A változások elsődlegesen a felszíni hőmérséklet értékek változékonyságából következnek, ugyanakkor a barlangok hőmérséklete is változik, csak késve és csillapított mértékben. Az átlagos hőmérsékletkülönbség változás a vizsgálati időszakban 1.0-1.5 órás megfigyelési periódust tekintve $+1.2^{\circ}\text{C}$. A hőmérsékletkülönbség változás kapcsolatban van a barlang légkörzésével, amelyet jól szemléltetnek a légsűrűség-különbségben, szélességben és légáramlásban bekövetkező változások.

A légsűrűség-különbség változás maximális értéke eléri a 13 g/m^3 -t, az átlagos változás értéke pedig 5 g/m^3 . A barlangi szélesség értékek változása átlagosan 36

cm/s, de a maximális értékek elérhetik a 74 cm/s értéket is. A 4.20. – 4.22. táblázatokban lévő változások megmagyarázhatók a barlangok topográfiai fekvésének és alakjának a vizsgálatával. Jellemzően ugrásszerű változások a hőmérsékletben, légsűrűségben és szélességben akkor következnek be, ha a barlang és környezete árnyékból napsütésbe kerül. Ebben az esetben a felszíni légköri állapotváltozók gyorsan megváltoznak, azonban ezt a változást a barlangi állapotváltozók csak késve és csillapítottan képesek követni. A fent vizsgált barlangok mindegyike olyan fekvésű, hogy egy nap folyamán biztosan bekövetkeznek olyan időszakok, amikor a szellőzés szempontjából meghatározó bejáratuk közvetlen napsugárzásnak van kitéve. Ugyanakkor a legnagyobb mértékű változások azoknál a barlangoknál következnek be, ahol a viszonylagosan nagy bejárat mellett több kisebb bejárat is található, és a bejárat felületéhez viszonyítva rövid a barlang járathossza (Gömb-kő barlangja, Háromszájú-barlang, Mohás-barlang). A kis bejáratú rendelkező szűk barlangokban a változások is kisebb mértékűek (Iker-kő barlangja, Oroszlán-kő barlangja, Rejtek-barlang).

A 4.23. táblázat tartalmazza a légáramlás és a Linke-féle index értékek változását a különböző gypjúsákbarlangoknál végzett szinkron-mérések folyamán.

4.23. táblázat. Légáramlás és Linke-féle index-változás értékek különböző gypjúsákbarlangokban a vizsgálati időszakban

	Szinkron-mérések eredményei 2012. június - szeptember					
	Légáramlás-változás [m^3/s]			Linke-féle index-változás [$^{\circ}C$]		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Iker-kő barlangja	0.014796	0.024282	0.019026	0.8	1.8	1.3
Gömb-kő barlangja	0.014198	0.204248	0.043689	1.2	1.3	1.3
Oroszlán-kő barlangja	0.017240	0.110628	0.063934	0.9	0.9	0.9
Rejtek-barlang	0.028414	0.029414	0.028414	0.8	0.8	0.8
Háromszájú-barlang	0.114840	0.114840	0.114840	1.1	1.1	1.1
Mohás-barlang	0.213891	0.213891	0.213891	1.0	1.0	1.0

A légáramlás értékek változása átlagosan $81 \text{ dm}^3/s$, maximálisan $214 \text{ dm}^3/s$, mely változások – a hőmérséklet, légsűrűség és szélesség változásokhoz hasonlóan – a barlangok geomorfológiájával és alakjával magyarázhatóak. A légáramlás változása összefügg a különböző állapotváltozók különbségének változásával, ezért ebben az esetben is igaz, hogy a felszíni légköri paraméterek gyors periódusú változását a barlang csak késve és csillapítottan képes követni. A Linke-féle index maximális változása $1.8 \text{ }^{\circ}C$, míg átlagos értéke $1.0 \text{ }^{\circ}C$. Mindez tehát azt mutatja, hogy rövid periódusú időszakban a termális komfort érzet nem, vagy csak alig változik.

Összefoglalóan tehát ugyanazt lehet elmondani a vizsgált gypjúsákbarlangokról, mint a Zsivány-barlang esetében (83. oldal).

4.2.6. Gyapjúzsákbarlangok mikroklimatológiai modellje

A 4.2.4.-4.2.5. fejezetekben elvégzett klimatológiai vizsgálatok alapján a gyapjúzsákbarlangok elsődlegesen a hűvösérzetet keltő barlangok (szeptember és május között) közé tartoznak (*Bradtke*-index 0 és 2 között), de éves periódusát vizsgálva van a barlangoknak olyan hosszabb időszaka (május és szeptember között), amikor a komfortérzetet adó barlangok közé lehet őket besorolni (*Bradtke*-index 2 és 5 között). Egy rövidebb időszakban (bármely nyári hónapban) a gyapjúzsákbarlangok a kifejezetten melegérzetet keltő barlangok közé tartoznak (*Bradtke*-index > 5); és egy egészen rövid időszakban (bármely téli hónapban), pedig a hidegérzetet keltő barlangok (*Bradtke*-index < 0) közé.

Általában hűvösérzetet keltő barlangként viselkednek a gyapjúzsákbarlangok szeptember és május között; május és szeptember között pedig komfortérzetet keltő barlangként. Szeptember és május között a *Bradtke*-index minimális értéke -0.4, maximális értéke 1.9, átlagosan pedig 0.7. Hisztogram-elemzéssel vizsgálva az adatsort megállapítható, hogy a kapott értékek 77% -a esik 0 – 1 közé, és mindösszesen 23% tartozik 1- 2 közé. A nullánál kisebb *Bradtke*-indexel jellemezhető időszakok száma a vizsgálatban még az 1%-ot sem éri el; így a gyapjúzsákbarlangok csak elenyésző mértékben viselkednek hidegérzetet keltő barlangként, ugyanakkor elmondható, hogy a hűvösérzetet keltő barlangok alsó határszélén helyezkednek el ebben az időszakban. Május és szeptember között a *Bradtke*-index minimális értéke 3.1, maximális értéke 8.6, átlagosan pedig 4.4. Hisztogram-elemzéssel vizsgálva az adatsort megállapítható, hogy a kapott értékek 65% esik 3 – 5 közé, és a 35%-a pedig 5-9 közé. Mindez azt jelenti, hogy a gyapjúzsákbarlangok ebben az időszakban általánosan komfortérzetet keltő barlangként viselkednek, de főleg nyáron az erőteljes kánikulai időszakokban lehetnek olyan periódusaik is, amikor már a melegérzetet keltő barlangok közé lehet őket besorolni. A *FODOR* által meghatározott klimatikus barlangtípus modellek közé csak részben lehet a gyapjúzsákbarlangokat elhelyezni. Ebben a rendszerben (4.4. táblázat) a gyapjúzsákbarlangok a hűvösérzetet keltő dinamikus barlangtípusok közé tartoznak, azonban a *FODOR* által megadott paramétereket a gyapjúzsákbarlangok esetében módosítani szükséges, mely értékeket a 4.24. táblázat tartalmazza.

4.24. táblázat. Gyapjúzsákbarlangok klimatikus modellje (zárójelben a Zsivány-barlangot jellemző értékek)

	Klimatikus barlangtípus – hűvösérzetet keltő barlangok				
	<i>Bradtke</i> -féle index éves átlag	A barlang morfostruktúrája és légáramlási rendszere alapján	Léghőmérséklet éves átlag [°C]	Relatív nedvesség [%]	Vízgőznyomás [mbar]
Gyapjúzsákbarlangok	B~2.1 (2.1)	dinamikus	$x_t = 1.1-12.0$ (10.7) $\sigma_d > 1.5$	$x_u = 60-80$ (68)	$x_e \leq 15.0$ (14.5) $\sigma_d > 1.0$

GRESSEL (1958) besorolási rendszerében a kutatásaim alapján a gyapjúzsákbarlangok a dinamikus barlangok közé tartoznak. Mivel a gyapjúzsákbarlangok két vagy több nyíláson keresztül kapcsolatban vannak a külvilággal, ezért ezeken keresztül közvetlen kapcsolatban vannak az atmoszférikus légnyomás, hőmérséklet és áramlási viszonyokkal is, tehát az év minden szakaszában meghatározó a felszínnel történő levegőcsere, azaz az advektív légáramlatok jelenléte. Télen a gyapjúzsákbarlangok – a rendkívüli felmelegedésektől eltekintve – tisztán dinamikus barlangként viselkednek, azaz $t_{\text{felszíni}} < t_{\text{barlangi}}$, nyáron azonban – eltekintve a szélsőséges időjárású napoktól – $t_{\text{felszíni}} > t_{\text{barlangi}}$, ezért a barlangok viselkedésében statikus elemek (a barlang döntően csak egy bejáraton keresztül szellőzik) is megfigyelhetők.

4.3. A téli és nyári barlangkép fogalma

A gyapjúzsákbarlangok klimatológiai adatainak kartográfiai igényű bemutatására és a klímáparaméterek modellezést elősegítő elemzésére definiáltam a barlangkép fogalmát. A barlangkép a gyapjúzsákbarlang alaprajzi térképéből a felületek tematikus térképezési módszerével előállított kép. A nyári barlangkép a tavaszi és nyári időszakban (március elejétől szeptember végéig) a gyapjúzsákbarlangok klimatológiai paramétereinek modellezésére szolgáló, a barlangok alaprajzi térképén alapuló kép. A téli barlangkép az őszi és téli időszakban (szeptember végétől március elejéig) a gyapjúzsákbarlangok klimatológiai paramétereinek modellezésére szolgáló, a barlangok alaprajzi térképén alapuló kép. A nyári és téli barlangkép tehát nem a naptári időszakokhoz kapcsolódik, hanem a gyapjúzsákbarlang életrajzaihoz. A mért adatokat nyári barlangképen ábrázoljuk abban az esetben, amikor a barlang olyan módon viselkedik, mint a nyári légkörzéses időszakban (*Bradtke-index* > 2.0), és téli barlangképen ábrázoljuk abban az esetben, ha olyan módon viselkedik, mint a téli légkörzéses időszakban (*Bradtke-index* < 2.0). A március elejétől szeptember végéig, és a szeptember végétől március elejéig tartó időszakokat tapasztalati úton határoztam meg (4.2.3. fejezet), azonban az említett időszakok bekövetkezésében időjárástól függő néhány hetes, bármely irányú eltolódás előfordulhat. Március és szeptember hónapokban a barlang és a külső környezet között rövid energiaegyensúlyi állapot lép fel, amikor a külső és belső környezet paraméterei (elsődlegesen a hőmérséklet) azonosnak tekinthetők. Ekkor mind a téli, mind a nyári barlangkép alkalmazása megengedett lehetne, mégis azért esett inkább a téli barlangképre a választásom, mert az egyensúlyi állapot csak nagyon rövid ideig áll fenn (márciusban még változékony az idő, szeptemberben pedig már változékony), és a barlang általában a hónap nagyobb részén úgy viselkedik, mint a téli légkörzéses időszakban.

A barlangképek közös tulajdonsága, hogy a mért barlangklimatológiai adatokat – hőmérséklet, páratartalom, légnyomás – tematikus térképeken mutatják be a felületek módszere segítségével. Pontos területábrázolásnál a jelenségek határozott vonal mentén

határolódnak el egymástól és a környezetüktől. Barlangok esetében a klimatológiai paraméterek változása folyamatos, átmenetes, azonban a szemléletesség érdekében őket éles határok mentén, élénk színekkel ábrázoltam. Az egyes, azonos klímaparaméterekkel jellemezhető barlangrészek elkülönítése csak hosszabb megfigyelés sorozat eredményeképpen lehetséges. Minden barlangszakaszt a felületek módszere önálló területként kezel, kitöltésük történhet homogén felületi színezéssel, vonalkázással vagy térkitöltő felületi jelekkel. A barlangképek esetében homogén felületi színezést alkalmaztam az adatok számszerű feltüntetése mellett.

A tavaszi és nyári időszakban mért adatokat a nyári barlangképen ábrázoljuk. Általános esetben a hőmérséklet a külső környezetben magasabb, mint a barlang belsejében, ezért célszerű a külső környezet hőmérsékletének megjelenítésére meleg színeket használni, a barlang belsejében mérhető hőmérséklet megjelenítésére pedig hideg színeket. Az egyértelmű értelmezés érdekében célszerű az ábrázolt adatok számszerű feltüntetése is. A 4.25. táblázat az ajánlott színeket tartalmazza színskálán, figyelembe véve kartográfiai-esztétikai szempontokat, illetve a megfigyelhető hőmérsékleti tágasság lehetséges alsó és felső határát.

4.25. táblázat. Nyári barlangkép esetére javasolt színek a Zsivány-barlang vonatkozásában

	R	G	B	Leírás	Tapasztalati érték a Zsivány-barlangra [°C]
Külső környezet	240	208	208	hőmérsékleti alsó határ	$8.0 \leq x \leq 12.0$
Külső környezet	224	200	200	közepes hőmérséklet	$12.0 \leq x \leq 20.0$
Külső környezet	255	128	128	hőmérsékleti felső határ	$20.0 \leq x$
Barlang	112	112	224	hőmérsékleti alsó határ	$8.0 \leq x \leq 12.0$
Barlang	168	168	224	közepes hőmérséklet	$12.0 \leq x \leq 20.0$
Barlang	200	200	224	hőmérsékleti felső határ	$20.0 \leq x$

A fenti táblázat a lehetséges hőmérsékleti skálának csak három-három értékét fogja át, a további hőmérséklet-átmenetek ábrázolása a színek közötti átmenettel lehetséges, azonban mindez erősen barlang-függő, a lehetséges színátmenetek és barlang-szakaszok megállapítása a felmérő és térképező feladata. A táblázatban meghatározott színek adatait – a téli barlangkép, légáramlás és páratartalom színekéhez hasonlóan – hosszabb mérési periódusok összefoglaló bemutatására alkalmazhatjuk legpraktikusabban. Egyetlen mérési időpont adatsorának bemutatására a táblázatokba foglalt színek adatait kell alapnak tekinteni, majd azokból kiindulva színátmenetekkel az adatsornak megfelelő plasztikus ábrázolásmódot kialakítani.

A légáramlás ábrázolására nem célszerű különbséget tenni a barlangbéli és a külső környezet között, annak ellenére, hogy a kettő mértéke sokszor nagyságrendekkel különbözik. A légáramlás viszonyainak bemutatására sárga színek használhatók. A 4.26. táblázat a légáramlás megjelenítéséhez szükséges színek alsó, középső és felső határát adja meg.

4.26. táblázat. Légáramlás ábrázolására javasolt színek a Zsivány-barlang vonatkozásában

	R	G	B	Leírás	Tapasztalati érték a Zsivány-barlangra [m/s]
Külső környezet/Barlang	255	255	0	légáramlás alsó határ	$0 \leq x \leq 0.8$

Külső környezet/Barlang	255	220	0	közepes légáram	$0.8 \leq x \leq 2.0$
Külső környezet/Barlang	255	190	0	légáramlás felső határ	$x \geq 2.0$

A légáramlás alsó, közepes és felső határának értéke barlangfüggő, megállapítása csak hosszabb időtartamú vizsgálati mérés elvégzése után lehetséges. Az egyértelmű értelmezés érdekében célszerű az ábrázolt adatok számszerű feltüntetése is.

A páratartalom-adatok megjelenítésére a kékeszöld színek használhatók. Gyapjúszákbarlangok esetében a külső környezet és a barlangbeli páratartalom értékek szorosan együtt mozognak, ezért nem célszerű két különböző színskála alkalmazása, ami nagyobb kiterjedésű barlangok esetében indokolt lehet. A légáramláshoz hasonlóan itt is szükséges a számszerűen mért adatok feltüntetése. A 4.27. táblázat a relatív páratartalom megjelenítéséhez szükséges színek kódokat tartalmazza.

4.27. táblázat. Páratartalom ábrázolására javasolt színek kódok a Zsivány-barlang vonatkozásában

	R	G	B	Érték [%]
Külső környezet/Barlang	155	255	255	0-10
Külső környezet/Barlang	138	241	255	10-20
Külső környezet/Barlang	121	227	255	20-30
Külső környezet/Barlang	103	212	255	30-40
Külső környezet/Barlang	86	198	255	40-50
Külső környezet/Barlang	69	184	255	50-60
Külső környezet/Barlang	52	170	255	60-70
Külső környezet/Barlang	34	155	255	70-80
Külső környezet/Barlang	17	141	255	80-90
Külső környezet/Barlang	0	127	255	90-100

Az őszi és téli időszakban mért barlangklimatológiai adatokat az úgynevezett téli barlangképen ábrázolhatjuk. Ebben az időszakban általános esetben a hőmérséklet a külső környezetben alacsonyabb, mint a barlang belsejében, ezért célszerű a külső környezet hőmérsékletének megjelenítésére hideg színeket használni, a barlang belsejében mérhető hőmérséklet megjelenítésére pedig meleg színeket. A 4.28. táblázat az ajánlott színeket tartalmazza színskálán, a Zsivány-barlang tapasztalati adatainak függvényében.

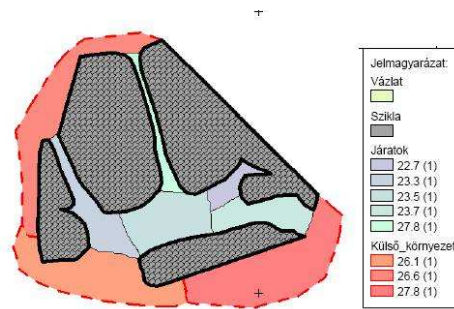
4.28. táblázat. Téli barlangkép esetére javasolt színek kódok a Zsivány-barlang vonatkozásában

	R	G	B	Leírás	Tapasztalati érték a Zsivány-barlangra [°C]
Külső környezet	128	128	255	hőmérsékleti alsó határ	$x \leq -4.0$
Külső környezet	184	184	240	közepes hőmérséklet	$-4.0 \leq x \leq 3.0$
Külső környezet	200	208	224	hőmérsékleti felső határ	$3.0 \leq x \leq 8.0$
Barlang	255	192	192	hőmérsékleti alsó határ	$x \leq -4.0$
Barlang	240	184	184	közepes hőmérséklet	$-4.0 \leq x \leq 3.0$
Barlang	224	112	112	hőmérsékleti felső határ	$3.0 \leq x \leq 8.0$

A légáramlás és a páratartalom adatok megjelenítésére a téli barlangképek esetén ugyanazokat a színek kódokat alkalmazzuk, mint amelyeket a nyári barlangképek szerkesztésénél használtunk. Ebben az esetben is szükséges megadni a számszerűen mért adatokat az egyértelmű értelmezhetőség érdekében.

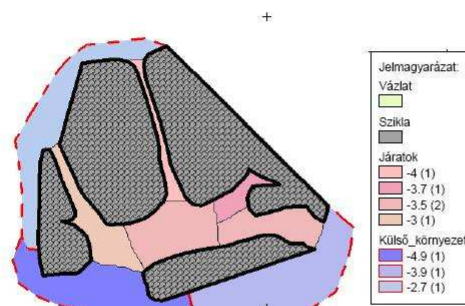
A nyári és téli barlangképek értelmezését elősegíti, hogy a külső és a barlangi környezet ábrázolása eltérő tulajdonságú rétegekkel (vonal és felület) történik.

A külső környezet a nyári barlangképen (4.12. ábra) mindig meleg színekkel van ábrázolva, határoló vonala piros (RGB kódja:255,0,0), rövid szaggatott vonal, ezzel szemléltetve, hogy a képen a külső környezetnek csak egy kiragadott darabja látható. Az alaprajzszerű képen a sziklaalakzatok szürke színűek (RGB kódja:162,162,162), bennük téglamintázatos textúra található, határoló vonaluk 0.5 mm vastag fekete vonal. A járatok a nyári barlangképen hideg színekkel vannak ábrázolva, kontúrvonaluk 0.3 mm vastag fekete vonal. Az egyes barlangi szakaszok lehatárolása tapasztalati úton történik.



4.12. ábra. A Zsivány-barlang hőmérsékleti viszonyait bemutató nyári barlangkép (2012.06.20.)

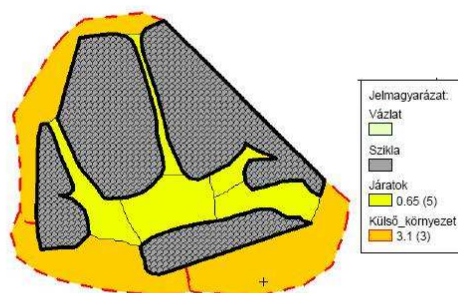
A külső környezet a téli barlangképen (4.13. ábra) mindig hideg színekkel van ábrázolva, határoló vonala piros (RGB kódja:255,0,0), rövid szaggatott vonal, ezzel szemléltetve, hogy a képen a külső környezetnek csak egy kiragadott darabja látható. Az alaprajzszerű képen a sziklaalakzatok szürke színűek (RGB kódja:162,162,162), bennük téglamintázatos textúra található, határoló vonaluk 0.5 mm vastag fekete vonal. A járatok a téli barlangképen meleg színekkel vannak ábrázolva, kontúrvonaluk 0.3 mm vastag fekete vonal. Az egyes barlangi szakaszok lehatárolása tapasztalati úton történik.



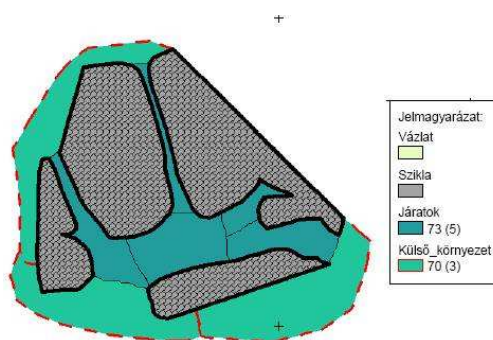
4.13. ábra. A Zsivány-barlang hőmérsékleti viszonyait bemutató téli barlangkép (2012.01.31.)

A légáramlás és a páratartalom adatok megjelenítése a téli és nyári barlangképeken ugyanolyan módon történik. A légáramlás megjelenítésére (4.14. ábra) sárga színeket, a páratartalom megjelenítésére (4.15. ábra) pedig kékeszöld színeket használunk. Az alaprajzszerű képen a sziklaalakzatok szürke színűek (RGB kódja:162,162,162), bennük téglamintázatos textúra található, határoló vonaluk 0.5 mm vastag fekete vonal. A járatok

kontúrvonala 0.3 mm vastag fekete vonal. Az egyes barlangi szakaszok lehatárolása tapasztalati úton történik.



4.14. ábra. A Zsivány-barlang légáramlási viszonyait bemutató barlangkép (2012.09.13.)



4.15. ábra. A Zsivány-barlang páratartalom viszonyait bemutató barlangkép (2012.01.19.)

5. A barlangnevek szabványosítási irányelveinek alkalmazása a Velencei-hegységben

„...a helyesen leszűrt és csoportosított elvek nem szűkmarkúak,
hanem bőkezűen szolgálják a gyakorlatot, és seregestől
özönlenek nyomában az új meg új gyakorlati eredmények...”
(Francis Bacon (1561 – 1626), *Novum Organum* és *Új-Atlantisz*)

A tudományos és a szakmai munka során a kutatás vagy munkavégzés tárgyát nyelvi eszközökkel is minél pontosabban ki kell fejeznünk. A szaknyelv kevésbé tűri az olyan többértelműséget, mint amilyeneket a mindennapi nyelvhasználat esetleg megenged. A szaknyelvben egzaktásra, egyértelműségekre kell törekednünk, amelynek egyik fő eszköze az adott szakterület terminológiájának kialakítása és következetes használata. A terminusok – eltérően a köznapi nyelvhasználat szavaitól – definitív módon rögzített jelentéssel használt kifejezések, amelyeket a szakemberek szűkebb vagy tágabb köre megegyezésen alapulóan, azonos módon alkalmaz. Ez a megegyezés a szaknyelv használói között többnyire a szakterület hagyományain nyugszik, és ebből adódóan folyamatosan módosul, változik is. Az egyes szakmák művelőinek – a kölcsönös megértés pontossága érdekében – célszerűen törekedniük kell arra, hogy az elfogadott terminusokat a szakmai nyelvhasználat szabályainak megfelelően alkalmazzák; a még kialakulatlan, netán ellentmondásosan használt kifejezéseket pedig egyértelműen, definitív módon rögzítsék.

A Velencei-hegységben feltárt barlangok és barlangszerű objektumok névadásával és geomorfológiai besorolásával kapcsolatosan felmerült problémák vezettek a barlangnevek szabványosításához kapcsolódó irányelvek és lehetőségek kutatásához. A barlangnevek szabványosítása során végzett kutatás nem kapcsolódik szervesen a dolgozat témájához, ezért a dolgozat végén függelékben (15. fejezet) közlöm csak az eredményeket. A függelék első része általában foglalkozik a barlangnevek szabványosítási irányelveinek a közreadásával, a második részben pedig a magyar karszt- és barlangkutatásban leggyakrabban használt barlangi köznevek kerülnek definiálásra. A szabványosítás alapelveinek megfogalmazása során dr. Dénes György történész-geográfus- barlangkutatóval és Dr. Hoffmann Istvánnal, a Debreceni Egyetem Magyar Nyelvtudományi Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanárával működtem együtt. A barlangok és a gyakoribb felszíni karsztformák megjelölésére szolgáló köznevek nyelvészeti és geomorfológiai szempontból történő definiálása teljesen önálló munkámnak tekinthető.

Azért szükséges a függelékben leközölt tanulmány ismerete, mert a benne megfogalmazott irányelvek vezettek a Velencei-hegységben feltárt új barlangok és barlangszerű objektumok szabványosítási törekvéseknek megfelelő elnevezéséhez.

A Velencei-hegységben 2010-2012-ben végzett barlangkutatások során tizenhat új barlangot (2.1. táblázat) illetve barlangszerű objektumot kutattam fel, majd írtam le (TARSOLY, 2010a/b, 2011, 2012a/b). A barlangok elnevezésénél arra törekedtem, hogy azok a lehető leggondosabban választott barlangnevet kapják és megfeleljenek a barlangnevek standardizációjánál lefektetett alapelveknek.

Az újonnan felfedezett, leírt és térképezett barlangok névadásakor a *barlang* szót használtam fel a nevek utótagjaként. A Cserkupacsos-barlang (5.1. ábra) esetében a név geomorfológiailag is, és tudományos szempontból is helytálló, azonban a többi, általam felfedezett üregek mind barlangszerű objektumnak (5.2. ábra) tekinthetők (Gomba-kő barlangja, Kökényes-barlang, Pókhálós-barlang, Róka-lyuk-barlang, Szúnyogos-barlang, Rejtek-barlang, Bújdosó-barlang, Mohás-barlang, Páfrányos-barlang). Ezek esetében is a *barlang* köznévi utótagot illesztettem a tulajdonnévi taghoz, ebben az esetben azonban a *barlang* szó csak elnevezésbeli értelemben használható, tehát nem jelöl geomorfológiai kategóriát. A *barlang* utónévi tag használatától hat esetben tértem el, a Borjú-völgyi-álbarlang, a Kőrözsa-álbarlang, a Kuszoda-álbarlang, a Gyümölcsöző-álbarlang, és a Csúzli-álbarlang elnevezésekor, amelyek omlás hatására, gravitációs úton lecsúszott támaszkodó, felfekvő kövek között kialakult tömbközi álbarlangok és törmelékbarlangok (5.3. ábra), így helyesebbnek láttam az üreg geomorfológiai megnevezését használni. A Pázmándi-sziklakapu (az ilyen típusú képződmények geomorfológiai értelemben nem tartoznak a barlangok közé, azonban a népnyelv és a köznyelv annak tartja őket, védelmüket és nyilvántartásukat sajátos geológiai kifejlődésük indokolja) szintén alakjáról kapta nevét (5.4. ábra). A többi barlang minden esetben mállás hatására létrejött, helyben maradt, támaszkodó kövek között kialakult üreg (a gránit lepusztulásának fanerogenetikus fázisában), amelyeknél gravitációs csúszás nem figyelhető meg (bár ez a Rejtek-barlangnál vitatott lehet). Az általam adott nevek előtagjait úgy választottam meg, hogy azok sajátosságjelölő funkciójuk révén tükrözzék a barlang első ránézésre is látható tulajdonságait pl. Mohás-barlang, Pókhálós-barlang stb.

2010 áprilisában Eszterhás István a pákozdi Polák-hegy oldalában egy új gránitbarlangot fedezett fel, amely egy sziklahasadékot befedő kőlap alatt található (ESZTERHÁS, 2010a). A barlangot Polák-hegyi-álbarlang-nak nevezte el (5.5. ábra), amely név tükrözi az üreg geomorfológiai jellegét, s emellett a pontos elhelyezkedését is.

A 2011 nyarán Eszterhás István és általam térképezett, korábban csak fényképről ismert (Gazda Attila – 2004) Pirofillit-bánya barlangja, amely az Országos Barlangnyilvántartásban is szerepel 4510-3-as sorszámon (5.6. ábra), a jelenleg érvényes barlang-definíció szerint nem tekinthető barlangnak. Kutatásaink bizonyították (ESZTERHÁS, TARSOLY, 2011), hogy valójában egy mesterséges üregről van szó, amely a bányászat ideje alatt a robbantók menedékeként szolgálhatott. A köznévi utótagban használt *barlang* kifejezés valójában csak elnevezésbeli és köznyelvi értelemben használható ez esetben.



5.1. ábra. A Cserkupacsos-barlang – a *barlang* köznévi utótag tudományos és geomorfológiai szempontból is helytálló



5.2. ábra. A Páfrányos-barlang mérete miatt (~1.90 m) csak barlangszerű objektum – a *barlang* köznévi utótag csak elnevezésbeli értelemben használható



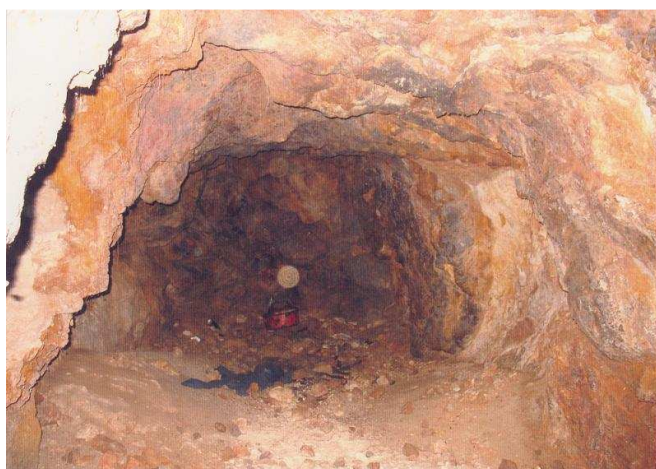
5.3. ábra. A Borjú-völgyi álbarlang támaszkodó, felfekvő kövek között alakult ki



5.4. ábra. A Pázmándi-sziklakapu



5.5. ábra. A Polák-hegyi-álbarlang



5.6. ábra. A Pirofillit-bánya barlangja valójában egy vaktáró – a *barlang* köznévi utótag csak elnevezésbeli és köznyelvi értelemben használható

6. Összefoglalás

„...a legnagyobb bölcsek is csak idővel, tapasztalással és tanulással jutnak a legfőbbre,
s mutatják, hogy a bölcsek a teóriának tanítói és egyszersmind tanítványai is lehetnek.”
(Berzsenyi Dániel, 1835)

A Velencei-hegység hazánk barlangtanilag kevésbé ismert területei közé tartozik. 2009-ig összesen 16 barlang és barlangszerű objektum, továbbá 2 mesterséges üreg volt ismert a hegységben. A hegységről rendelkezésre álló földtani, barlangtani és geomorfológiai szakirodalom áttanulmányozása után, tudatos terepbejárással további 16, gránitban és andezitben lévő barlangot és álbarlangot sikerült feltárnom 2012-ig.

A barlangokról készített dokumentáció része a bejáratot jelölő pont koordinátájának meghatározása. A korábban elterjedt utófeldolgozós technikával szemben én ezt az EGNOS-korrekciókra épülő valós idejű DGPS-technikával végeztem. A terepi méréseket megelőzően az NymE-GEO tetőpillérén (tehát szabályozottan modellezhető körülmények között) végeztem vizsgálati méréseket. A CMAS-módszer segítségével minősítettem a technológia pontosságát és meghatároztam a gyakorlati felhasználás szempontjából optimálisnak tekintett 500 mérés átlagolásával járó, 10 fokos magassági kitakarási szög melletti mérés terepi alkalmazhatóságának feltételeit. A mérési ismétlésszám és a megbízhatóság közötti kapcsolatot négy különböző függvénnyel modelleztem (lineáris regressziós egyenes, exponenciális függvény, *Lagrange*- és *Spline*-polinom). A négy függvény további vizsgálata bizonyította, hogy a terepi körülmények között az exponenciális függvény alkalmas kielégítő pontossággal az ismétlésszám függvényében a várható megbízhatóság érték számítására. A pontosság és megbízhatóság értékek vizsgálata során szerzett tapasztalatokat gyűjtőtáblázatokban foglaltam össze, majd az adatok helyességét a Velencei-hegység barlangjainak bemérésével teszteltem és minősítettem.

A DGPS-technika a bejáratok meghatározásán túl alkalmas a bejáratok mikrokörnyezetének térképezéséhez, illetve helyszínrajzok készítéséhez is. A barlangbejáratok helyszínrajzok kartográfiai modelljének megalkotásához kialakítottam egy 56 darabból álló fekete-fehér jelkulcskészletet kifejezetten gránitba mélyülő barlangok mikrokörnyezetének az ábrázolásához.

A gyapjúsákbarlangok összetett kutatásának részeként meghatároztam, modelleztem és minősítettem a gyapjúsákbarlangok mikro- és bioklimatológiai modelljét a Zsivány-barlang és hat további gyapjúsákbarlang klímaparamétereinek rendszeres és részletes terepi megfigyelésével. Bemutattam mindazokat a mérési és számítási eljárásokat, amelyek célszerűségi okokból gyapjúsákbarlangok klimatológiai megfigyeléséhez ajánlhatók és elegendő pontosságúak. A vizsgálat egyik legfőbb eredményeként kapcsolatot találtam a barlangi légáramlás és a külső-belső hőmérséklet

különbsége között, amely kapcsolatot egy $y = e^{a|x|+b}$ és egy $y = \ln(a|x| + b)$ típusú függvénnyel sikerült leírnom.

Megvizsgálva a barlangnevek szabványosításának lehetőségét, irányelveket fogalmaztam meg a köznévi tagok használatára, továbbá megadtam a leggyakrabban használt barlangi köznevek definíciószerű ismertetését a geomorfológia és a nyelvészet tükrében. A lefektetett irányelveket a Velencei-hegységben újonnan felfedezett barlangok és barlangszerű objektumok mintapéldáján keresztül a gyakorlatban is alkalmaztam.

7. Új tudományos eredmények és hasznosításuk

„...göröngyös, kínos úton, itt megbotolva, ott elesve, távolabb megint fölegyenesedve,
majd ismét elbukva érik el tudósaink a kívánt színvonalat...”
(Miguel de Saavedra Cervantes (1547 – 1616), *Don Quijote*)

- 1) A CMAS-módszer segítségével minősítettem az EGNOS-korrekciók vételével megvalósítható DGPS-technika pontosságát különböző valószínűségi szinteken, különböző mérési ismétlés-számoknál, különböző kitakarási szögek mellett. Megállapítottam, hogy gyakorlati alkalmazásokhoz, pontosság szempontjából a barlangkataszter céljaira a 10 fokos kitakarási szög mellett alkalmazott 500-as ismétlésszám felel meg kódkorrekciók vétele mellett.
- 2) Kapcsolatot találtam az átlagoláshoz felhasznált mérések ismétlésszáma és a megbízhatóság között, mely kapcsolatot matematikai úton négy függvénnyel (lineáris regressziós egyenes, exponenciális függvény, *Lagrange*- és *Spline*-polinom) jellemeztem. A négy függvény részletes vizsgálata során megállapítottam, hogy gyakorlati alkalmazásokhoz, egyszerűsége és pontossága miatt, az exponenciális függvény javasolható.
- 3) Meghatároztam a gránitbarlangok mikrokörnyezete DGPS-technikával történő felméréséhez szükséges feltételeket, továbbá az ábrázoláshoz szükséges tartalmi és formai követelményeket. Kidolgoztam egy 56 darabból álló, a gránitbarlangok felszíni környezetének ábrázolására alkalmas fekete-fehér jelkulcskészletet.
- 4) Klímaparaméterek matematikai összehasonlító vizsgálata és szinkron mérések segítségével meghatároztam a Zsivány-barlang mikroklimatológiai paramétereinek évszakos és éves változását leíró folyamatokat.
- 5) Terepi megfigyelések eredményeként meghatároztam a Zsivány-barlang bio- és mikroklimatológiai modelljét, amely magában hordozza a többi gyapjúsákbarlangra vonatkozó általánosítás lehetőségét is. A gyapjúsákbarlangok mikroklimatológiai paramétereinek kartográfiai igényű bemutatására és elemzésére definiáltam a téli és nyári barlangkép fogalmát.
- 6) Modelleztem a Zsivány-barlangban és annak külső környezetében mérhető hőmérsékletkülönbség valamint a barlangi légáramlás kapcsolatát egy $y=e^{a|x|+b}$ és $y=\ln(a|x|+b)$ típusú függvénnyel, melyek együtthatóit empirikus úton határoztam meg.

Az eredmények lehetséges hasznosítása:

1-2-3) A jelenlegi barlangkataszter utófeldolgozósos felmérési technológiát használ. Figyelembe véve az elvárt megbízhatóságot, pontosságot, időráfordítást és gazdaságosságot, a valós idejű technológiák alkalmazása is indokolt lehet. Az EGNOS-korrekciók arra alkalmas vevővel térítésmentesen foghatók, becslésem szerint a magyarországi barlangvagyon mintegy 20%-a (~800 darab) bemérhető lenne ezzel a

technológiával. Határozott előnyt jelentene az utófeldolgozással szemben a néhány perces mérési időtartam a terepen, a megfelelő pontosság és megbízhatóság továbbá az *EOV*-koordináták azonnali rögzítésének lehetősége. Az optimális megoldás valójában az utófeldolgozós és valós idejű technológiák együttes alkalmazásában rejlik, mert jelenleg nem minden pont koordinátáját lehet valós idejű technológia felhasználásával meghatározni. Egyrészt az *EGNOS*-jelek sem foghatók minden felmérési helyzetben (szükséges a szabad kilátás dél felé); másrészt a *GPRS/3G/WIFI*-n keresztüli *NTRIP* használat sem megoldható minden esetben a térerő hiánya miatt. Az általam gránitbarlangokra meghatározott barlangbejárat helyszínrajz hasznosításának lehetősége a Velencei-hegység barlangvagyonának teljes körű dokumentálásában rejlik.

4-5-6) A gyapjúzsákbarlangok és az elsődlegesen a Zsivány-barlang példájára felállított barlangklimatológia-modell felhasználható a Velencei-hegység valamennyi gyapjúzsákbarlangja esetében. Az összefüggések és indikátorszámok (pl. termális indexek) kisbarlangok esetére lettek minősítve, így feltételezhetően a bezáró kőzet fajtájától függetlenül valamennyi magyarországi kisbarlang esetére alkalmazhatók. A hőmérsékletkülönbség és a légáramlás kapcsolatát jellemző $y = e^{a|x|+b}$ és $y = \ln(a|x| + b)$ típusú függvények felhasználhatók Magyarország valamennyi kisbarlangja esetében, de az a és b együtthatók értéke minden kisbarlangnál egyedi meghatározást igényel. A barlangkép, mint fogalom, és mint kartográfiai modell más barlangok esetére is alkalmazható, de figyelembe kell venni, hogy az egyes színekhez rendelt intervallumhatárok minden barlang esetében egyéni meghatározást igényelnek.

8. További tervek

A kutatások több irányban is folytathatók. A *DGPS*-technika esetében csak az *EGNOS*-korrekciókkal megvalósítható helymeghatározást vizsgáltam, léteznek azonban másféle *DGPS*-technológiák is, amelyek vizsgálata érdekes eredményeket hozhat. A legígéretesebbnek a hazai aktív hálózat *DGPS*-internetes szolgáltatása tűnik. A technológia tesztelése valószínűleg jobb eredményeket biztosítana a barlangkataszter szempontjából, mint az *EGNOS*-korrekciókkal megvalósítható helymeghatározás, bár tény, hogy működéséhez internetkapcsolat és mobil-térérő szükséges. Jelenleg ez nem biztosított az egész ország területén (pl. a Velencei-hegységben a Bodza-völgy egyes szakaszaiban stb.), de feltételezhetően mégis több barlang esetében lenne elérhető, mint az *EGNOS*-holdak vétele (azaz a szabad kilátás dél felé).

Mindenképpen érdekes lehet a térinformatika, esetleg a távérzékelés és a sztereofotogrammetria alkalmazási lehetőségének vizsgálata a barlangbejáratok helyszínrajzok készítése szempontjából. További fontos kutatási terület lehet a gránit esetére létrehozott jelkulcskészlet kibővítése és átszerkesztése más vulkanikus kőzetben lévő barlangok esetére.

A gyapjúzsákbarlangok mikroklimatológiai modelljének finomításához szükséges a további megfigyelések folytatása. A vizsgált 2010-2012 évek rendkívül szárazak voltak; és egy ilyen meteorológiai „tünet” feloldása csak több év megfigyeléseinek viszonylatában lehetséges. Szükségesnek látnám továbbá olyan adatrögzítő-egységek beszerzését, amelyek lehetővé tennék hosszabb távon keresztül a hőmérséklet, páratartalom, légnyomás és CO_2 változásának regisztrálását automatikusan előre beállított időközökben. Az ilyen egységet a barlangban elrejtve az eddig diszkrétnek tekintett adatmintavétel folyamatossá lenne kiterjeszthető, amelynek a gyapjúzsákbarlangok légköri állapothatározóinak napi menetének a megfigyelésében lenne jelentősége.

Szándékomban áll a klimatológiai megfigyelések kiterjesztése más vulkanikus kőzetekben lévő, de hasonló struktúrájú barlangok esetére (andezit, bazalt). A kapott eredmények összehasonlítása lehetővé tenné a különböző vulkanikus kőzetekben lévő barlangok általános mikro- és bioklimatológiai modelljének felállítását, amely modell segítségével más szakterületek művelőinek (pl. barlangbiológusok) komplex vizsgálatát segíthetném elő.

9. Irodalomjegyzék

- 303/60 ÁFTH számú, illetve 116/60 HM számú rendelet: Az 1:10 000 és 1:5000 méretarányú topográfiai térképek jelkulcsa
- DAT1 M2 (1996), Budapest
- A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása (1996), MÁFI, ISBN: 963671185, Budapest
- 13/1998. (V.6.) KTM rendelet: A barlangok nyilvántartásáról, a barlangok látogatásának és kutatásának egyes feltételeiről, valamint a barlangok kiépítéséről,
- 3/2007. (I. 22.) KvVM rendelet: a barlangok nyilvántartásáról, a barlangok látogatásának és kutatásának egyes feltételeiről, valamint a barlangok kiépítéséről szóló 13/1998. (V. 6.) KTM rendelet módosításáról
- AIR FLOW VELOCITIES DUE TO NATURAL DRAFT (2012): (http://www.engineeringtoolbox.com/natural-draught-ventilation-d_122.html, accessed on Sept, 2012)
- ÁDÁM L. (1993): A Velencei-hegység fejlődéstörténete és felszínalaktana, Földrajzi Értesítő XLII. évf. 1993. 1-4. füzet, pp. 93-110
- ÁDÁM J., BÁNYAI L., BORZA T., BUSICS GY., KENYERES A., KRAUTER A., TAKÁCS B. (2004): Műholdas helymeghatározás, Műegyetemi Kiadó, Budapest, p. 453
- AUJESZKY L. (1965): A légkör fizikája, Kézirat, Tankönyvkiadó, Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem, Mérnöki Kar, Szakmérnöki Tagozat, Mérnöki Továbbképző Intézet Kiadványa, M.88, p. 95
- BÁNHÍDI L., KAJTÁR L. (2000): Komfortelmélet, Műegyetemi Kiadó, Budapest, p. 436
- BEÇANCENOT J.P.(1974): Premieres donnés sur les bioclimatiques en France. Annales géogr., 459, Paris.
- BORZA T., KENYERES A., VIRÁG G. (2007): Műholdas geodéziai vonatkoztatási rendszerünk (ETRS89) felújítása, Geodézia és Kartográfia, 2007/11 pp. 40-48.
- BUSICS GY. (2006): Minősítő vélemény a VITEL nevű transzformációs programról. 2006. augusztus. 22., p. 8
- BUSICS GY. (2007): Technológia-váltás a GNSS-korszakban, Geomatikai Közlemények X., MTA-GGKI, Sopron, pp. 43-51.
- Cave Symbols – The Official UIS List (2012): <http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/>
- DÉNES GY. (1971): Tíznyelvű szpeleológiai szakszótár készül. Karszt és Barlang II/8
- DÉNES GY. (1973): Középkori magyar barlangnevek. Karszt és Barlang I-II., pp. 5–6.
- DÉNES GY. (1997): A Munuhpest sziklája és a pest köznév jelentése hegyek, sziklák nevében. In: B. Gergely Piroska és Hajdú Mihály (szerk): A magyar névtani kutatások legújabb eredményei. (Egyetemi oktatási segédlet.) Miskolc–Budapest. p. 284–288.
- DÉNES GY.(2002): Magyar karsztföldrajzi szókincsünk középkori elemei, Karsztfejlődés VII., Szombathely
- ESZTERHÁS I.(1994): A Velencei-hegység barlangjai, Vulkánszpeleológiai Kollektíva Kiadványa, Kapolcs p.52-54
- ESZTERHÁS I.(1994): Magyarország jégbarlangjai - Lychnis, a Vulkánszpeleológiai Kollektíva kiadványa, Kapolcs p. 36-42

- *ESZTERHÁS I.(1997): Nemkarsztos Kifejezések Kislexikona, Vulkánszpeleológiai Kollektíva Kiadványa, Isztimér*
- *ESZTERHÁS I.(2000): Magyarország nemkarsztos barlangjai. Kézirat. Vulkánszpeleológiai Kollektíva Kiadványa, Isztimér*
- *ESZTERHÁS I.(2001): Néhány klimatológiai mérés Szilvás-kő barlangjaiban-kézirat a Vulkánszpeleológiai Kollektíva Évkönyvében p.114-120*
- *ESZTERHÁS I.(2002): A mérsékelt öv jégbarlangjai bazaltban - Karsztfejlődés VII., Szombathely p. 259-267*
- *ESZTERHÁS (2006): Felszíni denudációs formák és gyapjúzsákbarlangok a Velencei-hegység gránitjában, Karsztfejlődés XI., Szombathely pp. 195-208*
- *ESZTERHÁS I. (2010a): Újabb barlang Pákozdon. (A Polák-hegyi-álbarlang ismertetése.) Kézirat. Vulkánszpeleológiai Kollektíva Kiadványa, Isztimér*
- *ESZTERHÁS (2010b): Nemkarsztos barlangok genotípusai, Kézirat a Vulkánszpeleológiai Kollektíva 2010-es Évkönyvéből a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, valamint a V.M. Földtani és Barlangtani Osztályának adattárában, Budapest, pp. 33-49.*
- *FÁBIÁN P., FÖLDI E., HÓNYI E. (1998): A földrajzi nevek helyesírása Akadémiai Kiadó, Budapest, p 131.*
- *FODOR I. (1981): A barlangok éghajlati és bioklimatológiai sajátosságai, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 190*
- *GAÁL L., BELLA P. (2008): Granites and granite caves in the Western Carpathians, Cadernos Lab., Xeológico de Laxe, Coruña, Vol.33, pp. 11-18, ISSN: 0213-4497*
- *GEODÉZIAI SZÁMÍTÁSOK (1959): Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, szerk.: Dr. Vincze Vilmos, p. 610*
- *GIELSDORF F., GRUENDIG L., ASCHOFF B.(2004): Positional Accuracy Improvement-A Necessary Tool for Updating and Integration of GIS Data, FIG Working Week, Greece 2004, (http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts02/ts02_2_gielsdorf_et_al.pdf, accessed on January 02,2008)*
- *GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE PERFORMANCE STANDARD (2008), Pentagon, Washington (http://docsfiles.com/pdf_global_positioning_system_standard_positioning_service_performance.html, accessed on Sept, 2012)*
- *GRESSEL W. (1958): Über die Bewetterung der alpinen Höhlen. Meteorologische Rundschau 11.2*
- *HOFFMANN I. (1993/2007): Helynevek nyelvi elemzése. Tinta Kiadó, Budapest, p 180.*
- *HOLÉNYI L.(1969): Velencei-tó, Velencei-hegység útikalauz, Sport Kiadó, Budapest, p. 118*
- *HORVÁTH I., DARIDÁNE TICHY M., DUDKO A., GYALOG L., ÓDÓR L., (szerk), GYALOG L. – HORVÁTH I. (2004): A Velencei-hegység és a Balatonfő földtana, Magyarázó a Velencei-hegység földtani térképéhez (1:25 000) és a Balatonfő-Velencei-hegység mélyföldtani térképéhez (1:100 000), MÁFI, Magyarország tájegységi térképsorozata, Budapest, p. 316*
- *HUSTI GY., BÁNYAI L., BUSICS GY., KRAUTER A. (2000): Globális helymeghatározó rendszer, NyME, Sopron, p. 146*
- *JAKUCS L. (1960): A mészkőhegyek születése. Kiad.: TIT Földtan-geofizikai választmánya. Budapest, p. 19*

- JAKUCS L., KESSLER H. szerk.(1962): A barlangok világa. Barlangjárók zsebkönyve. Sport-Medicina K., Budapest, pp. 29–59
- JANTSKY B. (1953): A Velencei-hegység földtani és közettani viszonyai -MÁFI Évi Jelentése az 1950-es évekről, Budapest p. 79-82
- JANTSKY B. (1957): A Velencei-hegység földtana - Geol. Hung. Ser. Geol. 11. kötet, Budapest p. 3-166
- JANTSKY B. (1960): Geológuskalapáccsal az ércek nyomában, Gondolat Könyvkiadó, Budapest, p.181
- JUHÁSZ Á.(1987): Évmilliók emlékei, Gondolat Kiadó, Budapest, p. 561
- Karszt és barlang (1966/II): Karsztos felszínek és barlangok térképeinek nemzetközi jelkulca, 69-76. oldal
- KADIĆ O.(1913): A barlangok elnevezéséről. Barlangkutatás 1913/3, pp. 163–166
- KISS L. (1988): Földrajzi nevek etimológiai szótára. I–II. Negyedik, bővített kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest, p 1643.
- KORDOS L. (1972): Magyarország barlangkataszteri felosztása. Karszt és Barlang 1972. I–II. pp. 25–32.
- KORDOS L. (1984): Magyarország barlangjai. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, p 326.
- KRAUS S.(1999): Barlangföldtan, Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, Budapest, p.76
- LOSONCI G. (2010): A huzat és a barlangkutatás, p. 11. (http://www.gubacs.hu/konyvek-irasok/huzat_losi.pdf, érvényes 2010.12.10.)
- MALING, D.H. (1989): Measurements from maps, Pergamon Press, Oxford University, p. 577
- MAP ACCURACY STANDARDS (2007), USGS, Science for a changing world, (<http://erg.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs17199.pdf>, accessed on December 12, 2007)
- MAP SCALE AND ACCURACY STANDARDS (2007), <http://www.in.gov/igic/standards/mapscaleaccuracystandard.html>, accessed on December 12, 2007
- MARKÓ L. (1962): A barlangi légáramlás kérdéséhez. Barlangkutatási Tájékoztató, 3, pp. 22-26.
- MARTENSSON S.G. (2002): Height Determination by GPS, FIG XXII International Congress, Washington, D.C. USA
- MARTON A. (1989): A Magyar helyesírás szabályai, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 388
- MASSAT P., WAYNE B. (2002): Optimizing performance through constellation management. *Crosslink*:17–21.
- MASTERSON J., RICHARDSON F. A. (1979): Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity. Downsview, Ontario: Environment Canada. 45p.
- MEYER T., ROMAN D., ZILKOSKI D.,(2006): What does height really mean? Part III: Height Systems, Part IV: GPS Heighting, Surveying and Land Information Science, Vol. 66, No. 2-3, pp 149-160, pp 165-183
- MOLNÁR P. (2006): Barlangföldtan. Meander Természetjáró, Barlangjáró és Oktató Egyesület, Budapest, p. 20 (<http://www.meander.hu/Barlangfoldtan.pdf> - 2012.10.03.)
- NAVSTAR GPS User Equipment (1991): PUBLIC RELEASE, (<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/GPS/GPSuser/GPSuser.pdf>, accessed on Sept 12, 2012)

- *NEPPEL F. (1963):* Gondolatok a barlangkataszter alapelveinek kérdéséhez. MKBT Karszt és Barlangkutatási Tájékoztató 1963/III.
- *NEPPEL F. (1964):* Földrajzi helyek elnevezési problémái a karszt- és barlangkutatás szemszögéből. MKBT Karszt és Barlangkutatási Tájékoztató 1963/IX–X.
- *NYERGES M. (2006):* Barlangklimatológiai alapismeretek, Meander Természetjáró, Barlangjáró és Oktató Egyesület, Budapest, p. 4
- *NEWKIRK N., KILLENBECK B. (2012):* The Cave Air Flow Bible, (http://www.purdueoutingclub.org/files/caving/docs/Cave_Air_Basics.pdf, accessed on Sept, 2012)
- *PESTY F. (1864):* Magyarország helynevei – kézirat az OSzK-ban, Budapest (Zala fol. 276)
- *PETOVELLO M.(2008):*What are the differences between accuracy, integrity, continuity and availability and how are they computed?, Inside GNSS, September/October 2008, pp. 20-22
- *STRIEBEL T.(2008):* Granite caves in the Fichtelgebirge Mountains, Germany, Cadernos Lab., Xeolóxico de Laxe, Coruña, Vol.33, pp. 167-174, ISSN: 0213-4497
- *STRÖMPL G. (1914):* A barlangok nomenklatúrája és terminológiája. Barlangkutatás 1914/2, pp. 65–76.
- *TARSOLY P. (2002/2003):* GPS alkalmazása barlangbejáratok helyének meghatározására, Szakdolgozat/OTDK Konferencia különdíj, Debrecen, p. 54/51
- *TARSOLY P. (2007):* Barlangok Információs Rendszere. In: Földméréstől a geoinformatikáig. 45 éves a GEO., ISBN:978-693-06-2036-9, NyME-GEO, Székesfehérvár, pp. 295-303
- *TARSOLY P. (2008):* A barlangtérképezés története a korai középkortól napjainkig. XLVII. Bányamérő Konferencia és Tapasztalatcsere konferencia kiadványa. Esztergom-kertváros. pp. 38–47.
- *TARSOLY P. (2009):* Digital topographical maps-positional accuracy (How CMAS-method works in the practise). Proceeding of 7th FIG Regional Conference, Hanoi, Vietnam, Oct. 19-22. 2009. CD.p 11
- *TARSOLY P. (2010a):* Gyapjúsáksbarlangok a Velencei-hegységben, MKBT Vulkánszpeleológiai Kollektívájának évkönyve, Isztimér, pp. 121-140
- *TARSOLY P. (2010b):* A valósidejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározás jellemzése a barlangkataszter szempontjából, Geomatikai Közlemények XIII/2, HU ISSN 1419-6492, MTA GGKI, Sopron, 2010, pp. 73-81.
- *TARSOLY P. (2011):* Gránit- és andezitbarlangok a Velencei-hegységben, Barlangkutatók Szakmai Találkozója, Székesfehérvár, 2011.11.11 – 13.
- *TARSOLY P., ESZTERHÁS I. (2012a):* Felszíni denudációs formák, gránit- és andezitbarlangok a Velencei-hegységben, Vulkánszpeleológiai Kollektíva 20 éves Jubileumi Találkozó, Sukoró, 2012.07.20-22.
- *TARSOLY P. (2012b):* Gránitbarlangok a Velencei-hegységben, 50 éves a GEO, Ünnepi DVD-kiadvány, 2012.09.11., Székesfehérvár, NymE-GEO, p. 15
- *TERMÉSZETTUDOMÁNYI KISLEXIKON (1989),* Akadémiai Könyvkiadó, Budapest, p. 1285
- *TREMBLAY M. (2003):* Wind Chill and Humidex, Canada, (http://ptaff.ca/humidex/?lang=en_CA – accessed on 2012.03.18.)

- *VENDL A.(1911):* Jelentés a Velencei-hegységben végzett részletes földtani vizsgálatokról. – MÁFI Évi Jel. pp. 40-45
- *VENDL A (1912):* Újabb adatok a Velencei-hegység kőzeteinek ismeretéhez. – Ann. Mus. Nat. Hung.
- *VENDL A. (1914):* A Velencei-hegység geológiai és petrográfiai viszonyai. – MÁFI Évk. XXII. p. 170
- *ZENTAI L.(2000):* Számítógépes térképészet, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, p. 248

10. Ábrák jegyzéke

Sorszám	Cím	Oldalszám
2.1.	A Velencei-hegység felosztása domborzat szerint I: nyugat-velencei terület, A=székesfehérvári egység, B=nyugat-velencei egység II: kelet-velencei terület, C= kelet-velencei egység, D= Nadap- pázmándi hegység A térképen a rózsaszín szín a Velencei Gránit Formációt jelenti, azaz azt a területet, ahol a gyapjúsákbarlangok előfordulnak (Forrás: www.mafi.hu)	8
2.2.	A Velencei-hegység barlangjainak megoszlása közigazgatási egységek szerint (2012 december)	9
2.3.	A Velencei-hegységben 2010 és 2012 között újonnan feltárt barlangok és barlangszerű objektumok (A térkép forrása: http://lazarus.elte.hu/hun/maps/velenceh/velind.htm)	10
2.4.	Barlangok területi megoszlása a Velencei-hegységben a Vulkánszpeleológiai Kollektíva Magyarország nemkarsztos barlangjairól vezetett digitális nyilvántartási rendszerében (1 és 2. lap – gránitbarlangok; 3. lap – andezitbarlangok) (Forrás: http://geogr.elte.hu/nonkarstic/)	15
2.5.	Gránitbarlangok a Pákozdí Ingókővek Természetvédelmi Területen (Forrás: http://geogr.elte.hu/nonkarstic/)	16
2.6.	Gránitbarlangok Pákozd és Sukoró területén (Hurka-, Bodza-, Borjú-völgy) (Forrás: http://geogr.elte.hu/nonkarstic/)	16
3.1.	A 2D lineáris eltérések hisztogramja (EOV y,x) EGNOS10x beállítás esetén	23
3.2.	Az ismétlésszám és a pontosság kapcsolatának jellemzése	31
3.3.	A 3.18 képlettel (bal oldal) és a 3.19 képlettel (jobb oldal) számított függvények képe	33
3.4.	A vizsgálatban számított hatodfokú <i>Lagrange</i> -polinom képe	35
3.5.	A vizsgálatban számított harmadfokú <i>Spline</i> -polinom képe	36
3.6.	Meglévő jelkulcsok módosításával létrehozott saját jelkulcsok a gránitba mélyülő nemkarsztos barlangbejáratok ábrázolásához szükséges barlangbejárat helyszínrajz jelkulcskészletében	44
3.7.	Barlangbejárat helyszínrajz a Velencei-hegységben található Mohás-barlang (gyapjúsákbarlang) esetében	45
3.8.	Barlangbejárat helyszínrajz a Velencei-hegységben található Borjú-völgyi-álbarlang (gránit álbarlang) esetében	45
4.1.	A Zsivány-barlang a pákozdí Pandúr-kő északnyugati oldalában található (Képek forrása: Bekk Tímea)	56
4.2.	Klimatológiai mérőeszközök elhelyezkedése a Zsivány-barlangban	62
4.3.	Szélesség mérése a Zsivány-barlangban és a bejáratánál (Képek forrása: Bekk Tímea)	62
4.4.	Gyapjúsákbarlangok mikroklimatológiai modelljének meghatározása	64
4.5.	Hőmérsékleti és páratartalom adatok a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban	69
4.6.	Hőmérséklet és légnyomás értékek összefüggése a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban	72
4.7.	A Zsivány-barlangban és a külső környezetében mért átlag - hőmérsékleti értékek (°C) és a barlangi szélesség összefüggése a felszíni széliránnyal	73
4.8.	A Zsivány-barlangban és a külső környezetében mért hőmérsékletkülönbség összefüggése a légnyomáskülönbséggel (ΔP), a légáramlással (Q) és a barlangi szélességgel	76
4.9.	Hisztogram-elemzések a 4.16-os és 4.17-es képletre vonatkozóan	77
4.10.	A 4.16 és 4.17 képletekkel számított függvények képének összehasonlítása a	78

	tapasztalati szélességgel	
4.11.	A barlangi hőmérséklet eltérése a különböző termális komfort indexektől	78
4.12.	A Zsivány-barlang hőmérsékleti viszonyait bemutató nyári barlangkép (2012.06.20.)	91
4.13.	A Zsivány-barlang hőmérsékleti viszonyait bemutató téli barlangkép (2012.01.31.)	91
4.14.	A Zsivány-barlang légáramlási viszonyait bemutató barlangkép (2012.09.13.)	92
4.15.	A Zsivány-barlang páratartalom viszonyait bemutató barlangkép (2012.01.19.)	92
5.1.	A Cserkupacsos-barlang – a <i>barlang</i> köznévi utótag tudományos és geomorfológiai szempontból is helytálló	95
5.2.	A Páfrányos-barlang mérete miatt (~1.90 m) csak barlangszerű objektum – a <i>barlang</i> köznévi utótag csak elnevezésbeli értelemben használható	95
5.3.	A Borjú-völgyi álbarlang támaszkodó, felfekvő kövek között alakult ki	95
5.4.	A Pázmándi-sziklakapu	96
5.5.	A Polák-hegyi-álbarlang	96
5.6.	A Pirofillit-bánya barlangja valójában egy vaktáró – a <i>barlang</i> köznévi utótag csak elnevezésbeli és köznyelvi értelemben használható	96

11. Táblázatok jegyzéke

Sorszám	Cím	Oldalszám
2.1.	A Velencei-hegység barlangjai (Forrás: Országos Barlangnyilvántartás, Vulkánszpeleológiai Kollektíva)	10
2.2.	A Velencei-hegység havi és évi középhőmérsékleti viszonyai (Forrás: <i>HOLÉNYI</i> , 1969)	12
2.3.	A szélirányok gyakoriságának %-os megoszlása, (Forrás: <i>HOLÉNYI</i> , 1969)	12
3.1.	A GPS-kódmérés hibaforrásai méterben a „NAVSTAR GPS User Equipment, 1991” szerint	20
3.2.	A GPS-kódmérés hibaforrásai méterben a <i>GPS Standard</i> 2008-as kiadványa szerint	20
3.3.	Az előfeldolgozás legfontosabb eredményei	24
3.4.	A CMAS-módszer paraméterei	25
3.5.	A CMAS-módszer alkalmazása <i>EGNOS0</i> (abszolút GPS-mérés), <i>EGNOS1x</i> és <i>EGNOS 10x</i> mérések esetén ($P(\%)$ =valószínűség) az <i>EOV</i> rendszerben	26
3.6.	A CMAS-módszer alkalmazása <i>EGNOS100x</i> , <i>EGNOS500x</i> és <i>EGNOS 1000x</i> mérések esetén az <i>EOV</i> rendszerben	28
3.7.	Eltérés a kvázi <i>EOV</i> és az <i>EOV</i> rendszer között	29
3.8.	A különböző beállításokhoz tartozó aposteriori középhiba értékek	30
3.9.	A mérésekből levezetett és a függvények segítségével becsült középhibák eltérései	36
3.10.	Síkbeli eltérések a bejáratok koordinátaiban a Velencei-hegység nyugati részén a VK nyilvántartása és a saját méréseim között	39
4.1.	A barlangi légáramlás és a felszín, valamint a barlang légtere éghajlati elemei közti kapcsolat statisztikai elemzése (<i>FODOR</i> , 1981)	48
4.2.	A hőérzettel összefüggő száraz Kata-értékek a Zsivány-barlangban	54
4.3.	Barlangok bioklimatológiai rendszere <i>FODOR</i> 1981-es munkája alapján	54
4.4.	Klimatikus barlangtípusok modelljei (<i>FODOR</i> , 1981)	55
4.5.	Hőmérők megbízhatóságának vizsgálata különböző mérési sorozatokkal	57
4.6.	A hőmérsékleti értékekből számított egyéb barlangi légáramlás paraméterek megbízhatósága I.	59
4.7.	A hőmérsékleti értékekből számított egyéb barlangi légáramlás paraméterek megbízhatósága II.	60
4.8.	A Zsivány-barlang bejáratainál mért hőmérsékleti értékek 2010-2012 között	65
4.9.	A Zsivány-barlangban mért hőmérsékleti értékek 2010-2012 között	67
4.10.	A Zsivány-barlang hőmérsékleti csillapító hatása	68
4.11.	Relatív páratartalom értékek a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban	70
4.12.	Légsűrűség adatok a Zsivány-barlangban és környezetében a vizsgálati időszakban	72
4.13.	A Zsivány-barlangban mért légáramlás paraméterek a vizsgálati időszakban	74
4.14.	A Zsivány-barlang átlagos légáramlás értéke és bejáratainak összefüggése	75
4.15.	A 4.16 és 4.17 képletek leíró statisztikai elemzésének összegzése	77
4.16.	Felszíni és barlangi hőmérsékletváltozások a Zsivány-barlangnál a vizsgálati időszakban	81
4.17.	Felszíni és barlangi légsűrűség-változás a Zsivány-barlangnál a vizsgálati	81

	időszakban	
4.18.	Hőmérsékletkülönbség, relatív páratartalom és légsűrűségkülönbség-változás értékek a Zsivány-barlangban a vizsgálati időszakban	81
4.19.	A légnyomáskülönbség-változás, a szélesebbesség-változás, a légáramlás-változás és a Linke-féle index változásának értékei a Zsivány-barlang esetében a vizsgálati időszakban	82
4.20.	Felszíni és barlangi hőmérsékletváltozások különböző gyapjúzsákbarlangokban a vizsgálati időszakban	84
4.21.	Felszíni és barlangi légsűrűség-változások különböző gyapjúzsákbarlangokban a vizsgálati időszakban	85
4.22.	Hőmérsékletkülönbség, légsűrűség-különbség és szélesebbesség-változás értékek különböző gyapjúzsákbarlangokban a vizsgálati időszakban	85
4.23.	Légáramlás és Linke-féle index-változás értékek különböző gyapjúzsákbarlangokban a vizsgálati időszakban	86
4.24.	Gyapjúzsákbarlangok klimatikus modellje (zárójelben a Zsivány-barlangot jellemző értékek)	87
4.25.	Nyári barlangkép esetére javasolt RGB-színkódok a Zsivány-barlang vonatkozásában	89
4.26.	Légáramlás ábrázolására javasolt RGB-színkódok a Zsivány-barlang vonatkozásában	89
4.27.	Páratartalom ábrázolására javasolt RGB-színkódok a Zsivány-barlang vonatkozásában	90
4.28.	Téli barlangkép esetére javasolt RGB-színkódok a Zsivány-barlang vonatkozásában	90

12. Köszönetnyilvánítás

Magányos barlangkutató nincsen, mint ahogyan ezt a dolgozatot sem tudtam volna magányosan megírni. Szükségem volt olyan jóakarókra és támogatókra, akik végig mellettem álltak, akkor is, ha feladni készültem a kutatást, ha forrófejűségemet kellett lehűteni, ha fáradtságomnak köszönhetően előjött a „nehéz” természetem; vagy csak egyszerűen egy jó szóra volt szükségem.

Mindenekelőtt szűkebb *családomra* gondolok hálás szeretettel: *feleségemre*, aki sok mindent elviselt, hogy munkámnak élhessek és csak a kutatással foglalkozzak és *szüleimre*, akik kezdetektől fogva támogattak és bíztattak.

Köszönettel tartozom munkahelyemnek a *Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Karának* a jó munkafeltételek, a korszerű eszközök és szoftverek biztosításáért. Köszönöm *munkatársaimnak* és *feletteseimnek*, hogy végig bíztak bennem és segítették munkámat.

Hálával tartozom konzulensemnek, *Dr. Busics Györgynek*, aki már főiskolás koromban felkarolt, és attól kezdve segítő, baráti és szakmai tanácsaival végig kísért azon az úton, amely jelen dolgozat megírásához vezetett. Nem tudom köszönetemet eléggé kifejezni barlangász mentoraimnak, *Eszterhás Istvánnak* és *dr. Dénes Györgynek*, akik terveim, elképzeléseim sok vadhajtását megnyirbálták, és arra a helyes útra tereltek, amely ugyan rögzös és akadályokkal teli, de az egyedüli járható a tudományos pályán. Köszönettel tartozom *Dr. Leél-Őssy Szabolcs* és *Dr. Gadányi Péter* barlangkutatóknak a segítő és jobbító szándékú észrevételeikért.

Köszönettel és tisztelettel gondolok *Dr. Hoffmann István* nyelvtudósra és helynév-szakértőre, aki komolyan vette egy geodéta elkalandozását a barlangnevek világába, és szaktudásával segítette a barlangnevek szabványosítására vonatkozó törekvést.

Köszönettel tartozom továbbá *John Szilárdnak*, aki az elmúlt 12 évben Balatonedericsen lehetővé tette számomra, hogy belekóstoljak a karsztos barlangkutatás rejtelmeibe, és amiért mindig szeretettel, atyai jóindulattal fogadott.

Végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani *Mozartnak* a D- és Esz-dúr kürtversenyekért, *Brahmsnak* a Magyar táncokért, *Vivaldinak* a Négy évszakért, *Dvořáknak* az Új világ szimfónia és *Liszt Ferencnek* a Magyar rapszódia című mű megkomponálásáért. Sok nehézségen átgátítottak.

Még egyszer, köszönet mindenkinek!

Székesfehérvár, 2013.03.20.

.....
Tarsoly Péter

13. A témához kapcsolódó publikációk

Nyomtatva az MTMT-adatbázisból
Az adatok 2013.03.17.-ig vannak feltöltve.

Folyóiratcikk Szakcikk

-
- Tarsoly Péter
A DGPS-technika alkalmazása barlangbejáratok helyének meghatározására
1. KARSZTFEJLŐDÉS XVI: pp. 315-327. (2011)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#) /
Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
A valósídejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározás jellemzése a barlangkataszter szempontjából
2. GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XIII:(2) pp. 73-81. (2010)
Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos
Független idéző: 1 Összesen: 1
-
- Tarsoly Péter
Barlangok információs rendszere
3. GEODÉZIA ÉS KARTOGRAFIA 59:(2) pp. 36-41. (2007)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#) /
Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos
-

Könyvrészlet Szaktanulmány

-
- Tarsoly Péter
Újabb barlangok a Pázmándi-sziklák között
In: Eszterhás István (szerk.)
4. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2012. pp. 91-96.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-
- Tarsoly Péter, Eszterhás István
Pirofillit-bánya barlangja
In: Eszterhás István (szerk.)
5. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2012. pp. 96-103.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
Pázmánd 2012-ben feldolgozott álbarlangjai
In: Eszterhás István (szerk.)
6. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2012. pp. 109-115.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
A Mohás-barlang
In: Eszterhás István (szerk.)
7. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2012. pp. 87-91.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-
8. Tarsoly Péter, Eszterhás István
A magyar föld nemkarsztos barlangjainak legendái
-

In: Eszterhás István (szerk.)
Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2012. pp. 79-103.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos

- Tarsoly Péter
A Hurka-völgy barlangjai
In: Eszterhás István (szerk.)
9. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2012. pp. 104-109.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-

- Tarsoly Péter
A DGPS-technika pontosságának jellemzése a barlangkataszter, helyszínrajzok és a térképezés
pontossága szempontjából
10. In: Eszterhás István (szerk.)
Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2012. pp. 63-79.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-

- Tarsoly Péter
Gyapjúsákbarlangok a Velencei-hegységben
In: Eszterhás István (szerk.)
Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
11. Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2010. pp. 121-140.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
Független idéző: 1 Összesen: 1
1 Eszterhás Válogatott irodalom a Vulkánszpeleológiai Kollektíva magyarországi nemkarsztos
István barlangok nyilvántartásának kialakításához, 2010.
-

- Tarsoly Péter
Földrajzi nevek a barlangkataszterben
In: Eszterhás István (szerk.)
12. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2010. pp. 26-37.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-

- Tarsoly Péter
A pázmándi Zsidó-hegy új barlangja
In: Eszterhás István (szerk.)
13. Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat Vulkánszpeleológiai Kollektívájának Évkönyve
Székesfehérvár: Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, 2010. pp. 141-143.
Könyvrészlet/Szaktanulmány/Tudományos
-

Konferenciaközlemény

- Tarsoly Péter
A valós idejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározás a barlangkataszterben
In: Márkus Béla (szerk.)
GISOpen 2011: Megfelelni az új kihívásoknak
Székesfehérvár: NymE GEO - Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatika Kar, 2011. pp. 93-106.
14. (ISBN:978-963-9883-75-8)

Befoglaló mű link(ek): [Teljes kötet](#) /
Könyvrészlet/Konferenciaközlemény/Tudományos
Független idéző: 1 Összesen: 1

- Tarsoly Péter
Barlangok Információs Rendszere
15. In: Márkus Béla, Szepes András, Engler Péter, Dr Jancsó Tamás (szerk.)
Földméréstől a geoinformatikáig: 45 éves a GEO
-

Székesfehérvár: NymE GEO - Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatika Kar, 2007. pp. 295-303.
(ISBN:978-963-9364-83-7)
Könyvrészlet/Konferenciaközlemény/Tudományos

Egyéb konferenciaközlemény
Konferenciaközlemény

Tarsoly Péter

Ágfalvi Mihály, Busics György, Engler Péter, Németh Gyula (szerk.)
Gránitbarlangok a Velencei-hegységben

16. In: 50 éves a GEO.

Konferencia helye, ideje: Székesfehérvár, Magyarország, 2012.09.11

Székesfehérvár: NymE GEO - Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatika Kar, pp. 1-15.

Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos

Tarsoly Péter

A magyar barlangtérképezés múltja, jelen és jövője

In: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (szerk.)

17. XII. Földmérő Találkozó.

Konferencia helye, ideje: Nagyvárad, Románia, 2011.05.12-2011.05.15.

Nagyvárad: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, pp. 84-89.

Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos

Tarsoly Péter

Digital topographical maps - positional accuracy: How CMAS-method works in the practise

In: Proceeding of 7th FIG Regional Conference: Spatial Data Serving People: Land Governance and the
Environment – Building the Capacity.

18. Konferencia helye, ideje: Hanoi, Vietnam, 2009.10.19-2009.10.22.

pp. 1-9.

Link(ek): [Teljes dokumentum](#) /

Befoglaló mű link(ek): [Teljes kötet](#) /

Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos

Tarsoly Péter

A barlangtérképezés története a korai középkortól napjainkig

In: XLVII. Bányamérő Továbbképző és Tapasztalatcsere.

19. Konferencia helye, ideje: Esztergom, Magyarország, 2008.06.04-2008.06.06.

Esztergom: OMBKE, pp. 38-47.

Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos

Tarsoly Péter

Cave Information System

In: Proceeding of XIII. FIG Congress.

Konferencia helye, ideje: München, Németország, 2006.10.08-2006.10.13.

pp. 1-9.

20. Link(ek): [Teljes dokumentum](#) /

Egyéb konferenciaközlemény/Konferenciaközlemény/Tudományos

Független idéző: 1 Összesen: 1

1 Καλογερόπουλος Η Λαζαρίδης Γ &
Τσεκούρα Αικ

Μεθοδολογία χαρτογράφησης Σπηλαίων: Συγκρίσεις
Οδεύσεων, 2008.

Absztrakt

Tarsoly Péter

DGPS-technika alkalmazása barlangbejáratok helyének meghatározására

In: Veress Márton, Zentai Zoltán, Péntek Kálmán, Györe Istvánné (szerk.)

21. Karsztfejlődés konferencia 2011, Absztrakt kötet.

Konferencia helye, ideje: Szombathely, Magyarország, 2011.05.26-2011.05.29.

Szombathely: p. 29.

Egyéb konferenciaközlemény/Absztrakt/Tudományos

**Egyéb
Diplomamunka, szakdolgozat, TDK dolgozat**

-
- Tarsoly Péter
A DGPS-technika pontosságának jellemzése a barlangkataszter, helyszínrajzok készítése és a térképezés pontossága szempontjából
22. pp. 1-20.
Doktori szigorlati dolgozat, Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola (2012)
Egyéb/Diplomamunka, szakdolgozat, TDK dolgozat/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
Digital topographical maps - positional accuracy
23. pp. 1-88.
Paris Lodron University, Salzburg, Centre für Geoinformatics, Master thesis (2008)
Egyéb/Diplomamunka, szakdolgozat, TDK dolgozat/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
Információs rendszer létrehozása barlangok adatainak tárolására és megjelenítésére
24. pp. 1-68.
NymE-GEO, UNIGIS térinformatikai szakmérnöki szakdolgozat (2007)
Egyéb/Diplomamunka, szakdolgozat, TDK dolgozat/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
GPS alkalmazása barlangbejáratok helyének meghatározására
25. pp. 1-54.
OTDK Konferencia, Debrecen, Különdíjas előadás és dolgozat (2003)
Egyéb/Diplomamunka, szakdolgozat, TDK dolgozat/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
GPS alkalmazása barlangbejáratok helyének meghatározására
26. pp. 1-94.
NymE-GEO szakdolgozat (2002)
Egyéb/Diplomamunka, szakdolgozat, TDK dolgozat/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
GPS alkalmazása barlangbejáratok helyének meghatározására
pp. 1-41.
27. NymE-GEO Kari TDK Konferencia I. helyezés (2001)
Egyéb/Diplomamunka, szakdolgozat, TDK dolgozat/Tudományos
Független idéző: 1 Összesen: 1
1 Busics György GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK V: 295-302 (2003)
-

Nem besorolt

-
- Tarsoly Péter, Eszterhás István
28. Felszíni denudációs formák, gránit- és andezitbarlangok a Velencei-hegységben
Vulkánszpeleológiai Kollektíva 20 éves Jubileumi Találkozó, Sukoró, 2012.07.20-22. (2012)
Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
29. Barlangnevek a geomorfológia tükrében
Vulkánszpeleológiai Kollektíva 20 éves Jubileumi Találkozó, Sukoró, 2012.07.20-22. (2012)
Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
30. Legendás magyarországi vulkanikus barlangok
Kutatók Éjszakája 2011.09.23., Székesfehérvár, NymE-GEO (2011)
Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
-
- Tarsoly Péter
31. Gránit- és andezitbarlangok a Velencei-hegységben
Barlangkutatók Szakmai Találkozója, 2011.11.10-13., Székesfehérvár (2011)
-

Egyéb/Nem besorolt/Tudományos	
<u>Tarsoly Péter</u> A valós idejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározás a barlangkataszterben	
32.	GISopen 2011 Konferencia, NymE-GEO, Székesfehérvár (2011) Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
<u>Tarsoly Péter</u> A magyarországi barlangtérképezés története	
33.	Kutatók Éjszakája 2011.09.23., Székesfehérvár, NymE-GEO (2011) Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
<u>Tarsoly Péter</u> Gyapjúsákbarlangok a Velencei-hegységben pp. 1-13.	
34.	Elektronikus cikk az MKBT hivatalos honlapján, 2010.05.06. (2010) Link(ek): Teljes dokumentum / Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
<u>Tarsoly Péter</u> Földrajzi nevek a barlangkataszterben pp. 1-6.	
35.	Elektronikus cikk az MKBT hivatalos honlapján, 2010.05.06. (2010) Link(ek): Teljes dokumentum / Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
<u>Tarsoly Péter</u> A valós idejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározás pontosságának jellemzése a barlangkataszter szempontjából	
36.	VII. Geomatika Szeminárium, Sopron (2010) Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
<u>Tarsoly Péter</u> A barlangi köznevek értelmezése pp. 1-4.	
37.	Elektronikus tudományos-ismeretterjesztő cikk az NymE-GEO honlapján, Székesfehérvár, 2010.12.09. (2010) Link(ek): Teljes dokumentum / Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
<u>Tarsoly Péter</u> A barlangtérképezés története a korai középkortól napjainkig	
38.	XLVII. Bányamérő Továbbképző és Tapasztalatcsere, Esztergom-kertváros (2008) Egyéb/Nem besorolt/Tudományos
<u>Tarsoly Péter</u> Barlangtérképek: a kezdetektől a térinformatikáig	
39.	NymE-GEO, Tudomány Napja Konferencia, Székesfehérvár (2007) Egyéb/Nem besorolt/Tudományos

14. A CD-melléklet tartalomjegyzéke

- Barlangbejáratok helyszínrajzok mintái
- Barlangklimatológia
- Barlangleírások minták
- GNSS mérések
- Gránitbarlangok jelkulcskészlete
- Gránitbarlangok a Velencei-hegységben
- Magyarország nemkarsztos barlangjai 2012 december
- Zsivány-barlang DigiTerra Explorer
- Dolgozat, magyar és angol nyelvű tézisleírás

15. Függelék

A tudományos megismerés fejlődése természetszerűen követeli meg azt egy-egy szakma művelőitől, hogy az újonnan kialakított fogalmakra új terminusokat hozzanak létre és használjanak. E terminusok meg kell, hogy feleljenek az adott szakterület ilyen irányú követelményeinek: illeszkedniük kell az addig használt terminusokhoz mind állományukat, mind nyelvi megjelenési formájukat tekintve. A terminusok körében a leginkább a többjelentésűség (poliszémia) kerülendő, ha ugyanis egy kifejezéshez többféle fogalom, jelentés is kapcsolódik, az megnehezíti, gyakran akár értelmezhetetlenné is teszi az adott terminus használatát. Az azonos fogalomnak több terminussal történő jelölése sem feltétlenül szerencsés dolog, ám az ilyenfajta szinonimitás kevésbé zavaró a szaknyelvi használatban. A földrajzi név terminust például szokás helyettesíteni a helynév vagy a toponíma szakkifejezéssel, ami értelmezési zavart nemigen okoz, sőt adott esetben segítségünkre lehet szövegeink stiláris élénkítésében. (A helynév terminus használatát egyébként egyszerűsége, jó kapcsolhatósága – pl. helynévkutatás, helynévgyűjtemény stb. – indokolja elsősorban.) A szaknyelv terminusai alakilag akár a köznyelv kifejezéseivel is megegyezhetnek, de a definiálás a jelentésüket ilyenkor terminusként egyértelművé kell, hogy tegye. A terminusoknak gyakran más nyelvek, régebben a latin, újabban főképpen az angol a forrásai, ami a tudomány nemzetközi jellegének természetes velejárója. Az idegen eredetű terminusoknak a magyarban történő meghonosítása indokolt esetben tehát nem vethető el, ami nem jelenti azt, hogy a terminusalkotásban ne törekedjünk arra, hogy a magyar nyelv saját belső eszközeivel (pl. szóösszetétel, szóképzés révén) hozzunk létre újabb terminusokat. A szakmai és tudományos terminológiába alkalmanként régi, elavulóban lévő vagy már elavult szavak, illetőleg a tájnyelvben használt nyelvjárási elemek is beemelhetők. A nevek világával foglalkozó, a nevekkel kapcsolatban lévő szakmák körében ez utóbbi lehetőség különösen tág teret kaphat. A karszt- és barlangkutatásban, úgy tűnik, megérett a helyzet arra, hogy a terminusok egységes használatának ügyét ismét elővegyük és áttekintsük.

15.1. A barlangnév, mint helynévfajta

A hazai karszt- és barlangkutatás első jelentős szervezete a Magyarhoni Földtani Társulat Barlangkutató Bizottsága kezdte meg a magyar szpeleológiai szaknyelv rendszerezését. *KADIĆ OTTOKÁR* és *STRÖMPL GÁBOR* még az első világháború előtt tette meg az első lépéseket a tudatosan fejlesztett szaknyelv kialakítása terén. A folyamat azonban nagyon lassan haladt, így csak az 1960-as évek elejére, majd újragondolva és más formában az 1970-es évek elejére készült el egy a karszt- és barlangtani szakkifejezéseket rendszerező, értelmező és összesítő munka (*JAKUCS, KESSLER, 1962; DÉNES, 1971*). Az említett művek részletesen foglalkoznak a karszt- és barlangtani terminológiával, de csak futólagosan érintik a nevekkel foglalkozó nevezéktant. Ez utóbbi azonban legalább annyira fontos, mint a szakkifejezések pontos ismerete, hiszen ez magát a barlang- és karsztjelenségek névanyagát, mint sajátos helynévfajta alkotó csoportot érinti.

STRÖMPL GÁBOR „A barlangok nomenklatúrája és terminológiája” (1914) című tanulmányában a következőképpen ír: „Az újabb és újabb barlangok felfedezésével idővel annyira megnő a hazai barlangok száma, hogy közöttük alig fogunk tudni eligazodni. Már a kutatások elején, már az eddig ismert barlangok összeírásánál olyan zavarok mutatkoznak, amelyek az egyneű, de különböző helyen fekvő barlangok megkülönböztetését megnehezítik. Növeli a zavart, hogy egy barlangnak többféle neve is lehet, és ugyanazt a barlangot többféle névvel is említik. Még bonyolultabbá tehetik az eligazodást a temérdek barlang kétannyi, sőt még több neve közt maguk a kutatók is, ha nem veszik figyelembe a barlangnak régebbi elnevezését, és újabb, jobb vagy rosszabb, helyeselt vagy rosszalt elkereszteléssel szaporítják a barlangnevek számát. S noha az ilyen elkeresztelések a prioritás jogának hangoztatásával történnek, mégis, ha a barlang neve után nyomozunk, olykor-olykor ráakadunk a régebbi, jogosultabb nevére.”

STRÖMPL GÁBOR szavai a mai korban is aktuálisak, hiszen elkészült a barlangkataszter az ország számos területén, a még hiányzókon pedig lelkes barlangászok csoportjai fáradoznak azon, hogy felszámolják a fehér foltokat. Egy ilyen átfogó, nagy horderejű munka kellő összehangoltság nélkül aligha érhet el hosszabb időre tartósnak, szilárdnak bizonyuló eredményeket. A különböző karszt- és barlangformációk többnyire tulajdonnevekkel vannak megjelölve, s mivel ezek helyhez kötött objektumok, a nevüket helynévnek tekinthetjük. A helynevek eleve igen sokféle helyfajtát jelölhetnek: a települések, vizek, tájak, domborzati formák, erdők stb. mellett ide soroljuk például az utcák, épületek, építmények stb. megnevezéseit is. E színes csoportba tartoznak bele a karszt- és barlangformációk megnevezései (egyszerűbben: a barlangnevek) is, amelyeknek a helynévfajták között elfoglalt rendszertani helyét még nem jelölte ki eléggé egyértelműen a névkutatás. A barlangneveknek, mint sajátos tulajdonnév-, azon belül helynévfajtának a nyelvi kérdéseiben ez az interdiszciplináris tudományterület, az onomasztika vagy másképpen névtan a leginkább illetékes. A barlangneveknek helynévi jellegükből adódóan vannak olyan jellegzetességeik, amelyek más helynévfajtákéval azonosak, de emellett vannak speciális, csak rájuk jellemző jegyeik is.

15.2. A helynevek felépítésének nyelvi jellegzetességei

A helynév fogalmának egzakt meghatározását – mint sok más alapvető tudományos fogalomét is – minden igényt kielégítően nem tudjuk megadni. Ehelyett inkább csak néhány fontosabb jegyét szokás felsorolni: a helynevek ezek szerint a földfelszín (vagy speciális esetben: a felszín alatti térség) különböző – természeti vagy társadalmi alapon elhatárolt – részeinek, valamint ezeket a részeket alkotó természetes és mesterséges képződményeknek, illetve létesítményeknek, azaz helyeknek az azonosítására, megkülönböztetésére szolgáló tulajdonnévi értékű nyelvi alakulatok. Ugyanazokat az objektumokat, amelyeket helynevekkel jelölünk meg, természetesen képesek vagyunk közszói elemekkel is kifejezni, s ezt a mindennapos kommunikációban gyakran meg is tesszük. A tulajdonnevek tehát helyettesíthetők köznevekkel, közszói leírásokkal, ennek ellenére mégis azt tapasztaljuk, hogy minden nyelvben vannak tulajdonnevek, és ennek megfelelően helynevek is: azaz a helynévi kategória nyelvi univerzálé.

A helynevekről elmondhatjuk, hogy magukkal a nyelvekkel egyidős elemek, ám éppen úgy, mint a szókincs bármely része, a helynévállomány is állandó változásban van: helynevek halnak ki, változnak meg, és kerülnek be újabbak a helynévi rendszerekbe. A névadás, a megnevezés ősi emberi cselekvésforma, a nyelvi viselkedés sajátos megjelenési módja. A nevek keletkezésükkor, a névadás pillanatában szemantikailag, azaz elemeik jelentését tekintve áttetszők, mivel mindenkor a nyelv meglévő (közszói és tulajdonnévi) állományából épülnek fel. A helynevek szemantikai szerkezetüket tekintve a világ valamennyi nyelvében hasonlóságot mutatnak, mivel bennük a helyek sajátosságai fejlődnek ki. E szemantikai szerkezet adja a nevek alapvető strukturális jellegzetességét: a helynév szerkezeti egységeit névrésznek nevezhetjük, ez olyan szegmentuma a helynévnek, amely valamely információt ad meg a név jelöltjéről. A helynevekben ez az információ leggyakrabban a hely fajtájának megjelölését jelenti: ezt fajtajelölő szerepű (F) névrésznek nevezzük. A névvel jelölt hely valamilyen jellegzetessége, sajátossága is kifejeződik a névben: ezt sajátosságjelölő (S) funkciónak nevezzük. Ezek mellett léteznek olyan elemek is, amelyek csupán megnevező szereppel bírnak: ezek a megnevező szerepű (M) névrészek. E három névrészfunkció segítségével minden helynév szerkezete leírható. A nevek e tekintetben lehetnek egyrészeseek: *Ér* 'a Berettyó mellékvize' (F) vagy *Kőlyuk* (5223-5) 'barlang Kishartyán határában' (F), *Tekeres* 'vízfolyás neve' (S) vagy *Idegrendszer* (5221-34) 'barlang Vác határában' (S), *Tapolca* 'patak' (M) vagy *Benárd* (4430-14) 'barlang a Balatonfelvidéken' (M), illetve kétrészeseek: *Görbe-ér* (S+F) vagy *Meredek-lyuk* (5394-35) 'barlang Kisgyőr mellett' (S+F), *Tapolca-patak* (M+F) vagy *Mismucska-barlang* (5230-27) 'barlang Parádsasvár mellett' (M+F), *Fekete-Körös* (S+M). A nevekben akár több lexéma is

szerepelhet, ez azonban nem befolyásolja alapvetően a szerkezetüket, mert ezek is a fent bemutatott szerkezeti típusokba sorolhatók be: *Kenderszeri-patak* (S+F) vagy *Kámori-sziklahasadék* (5210-39) 'barlang Diósjenő mellett' (S+F), *Dömösi átkelés feletti-barlang* (5210-51) 'barlang Nagymaros határában' (S+F). A nevek nyelvi jellemzése során a helyneveknek ezeket a jellegzetességeit kell alapul vennünk, e leírási modell azonban természetesen tovább finomítható. Egyrészt részletesen felsorolhatók azok a sajátosságjegyek, amelyek a helynevekben megjelennek: ezek helynévfajták szerint is eltérést mutatnak, mivel pl. a víznevek esetében nem ritka a szín (*Kék-Kálló*) vagy a szag (*Büdös-kút*) megnevezése, a hegyneveknél az előbbi szokásos (*Kékes*), az utóbbi nem, viszont gyakran megjelenik a növénytakaró megjelölése (*Bükk*). Ilyen névtípusok a barlangnevek körében is megtalálhatók: *Vörös-barlang* (4422-50), *Büdös-barlang* (442136), *Medvehagymás-barlang* (4440-76). Tekintettel kell arra is lenni, hogy a név szerkezetének jellegét magának a jelölt objektumnak a természetéhez viszonyítva lehet csak megállapítani. Ennek megfelelően a *Sáros-patak* víznévként kétrészes név (S+F), mert azt fejezi ki, hogy a folyóvíznek (1) sáros a vize (2), a *Sárospatak* településnév viszont egyrészes (S), mert a városnak csupán arra a jellegzetességére utal, hogy egy egykor Sáros-patak nevet viselő víz mellett feküdt. A *Sáros-fürdő* (4732-23), a budapesti Ósforrás-barlangjának szinonim elnevezéseként kétrészes név (S+F), mert azt fejezi ki, hogy az itt létező gyógyhatású, meleg forrástó vize sáros; a *Sárosfürdő* (ma Fővám tér és Gellért fürdő) viszont – amely egykor Budapesten a Duna jobb partján, a Ferenc József híddal (ma Szabadság híd) szemben a Gellért-hegy déli oldalán létezett elsőrendű gyógyfürdő és szálloda neve volt – egyrészes név (S).

15.3. A helynevek keletkezése és használata

A helynevek nagy része, amint fent láttuk, ránk hagyományozott nyelvi elemként van jelen anyanyelvi elemkészletünkben. A nevek fennmaradását ilyen módon alapvetően maguk a nyelvhasználók biztosítják azáltal, hogy mindennapi kommunikációjuk során a környezetükről beszélve, a tájékozódást megkönnyítve stb. használják őket. Minél nagyobb a névhasználók köre, annál nagyobb a nevek megmaradásának az esélye: ez magyarázza például azt a körülményt, hogy a helynevek közül a legősibb múltra a nagy folyamok nevei tekintenek vissza. A nevek múltbeli keletkezése többnyire legfeljebb valamely konkrét nyelvhez köthető, olykor azonban még a névadók nyelve sem határozható meg teljes bizonyossággal. A helynevek születése leginkább a népdalokéhoz hasonlítható: többnyire konkrét személy hozhatta létre ugyan őket, ám e személyek kilétéről nincsenek ismereteink. A nevek formáját, alakját a továbbiakban a neveket használók éppúgy alakították, módosították, mint ahogyan a népköltészeti alkotások szövegét is formálták azok, akik továbbadták őket az újabb és újabb generációknak. Ebből következően a helynevek igen gyakran nem csupán egyetlen alakváltozatban élnek, s a közhiedelemmel ellentétben gyakori közöttük a szinonímia (az, hogy egy hely többféle nevet is visel) – példák a barlangnevek köréből: *Boszorkány-barlang* (4462-24), amelynek szinonimái *Totyem Palkó barlangja* és *Malom-völgyi-barlang* –, illetve a homonímia (az, hogy különböző helyek azonos nevet viselnek): pl. *Kis-barlang* (4120-204, 5500-3 és 4510-507).

Az újabb korban folyó névadási gyakorlatról részben több ismeretünk van, mint a régiségbeli történetekről, emellett pedig a névadásnak újabb formái is megjelentek. Ennek a helyzetnek újszerű eleme a hivatalosság és a korábbinál nagyobb fokú tudatosság a névadásban és a névhasználatban. A nevek hivatalossá emelését elsősorban a modern kori állami és közigazgatási gyakorlat követelte meg. Ennek során különböző szintű testületek döntenek a nevek bizonyos típusainak rögzítéséről. A legismertebb ilyen névrendezési folyamat a 19-20. század fordulóján zajlott le, amikor Magyarország településneveit rögzítették hivatalos formában elsősorban azzal a céllal, hogy megszüntessék a számos esetben fennálló azonos nevűséget. Ma a hivatalos névadási funkciót leggyakrabban az egyes települések önkormányzatai

gyakorolják a közterületek elnevezésével. A hivatalosság mozzanata megjelenik a földnyilvántartásokban és az állami térképezésben is.

A hivatalos névadás nem feltétlenül új nevek létrehozására irányul csupán, hanem igen sokszor meglévő, a nyelvhasználatban előforduló nevek kapnak ennek során hivatalos státust. A hivatalossá válás együtt jár az ún. névstandardizációval is, amelynek során az egyes nevek formáját, alakját rögzítik. Erre egyrészt azért van szükség, mert a nevek gyakran variánsokban használatosak, másfelől pedig az indokolja a standardizációt, hogy a nevek egységes köznyelvi formában kerüljenek át a népnyelvi használatból a nyelvhasználat más szintjeire. Ez persze nem jelenti azt, hogy a népnyelv jellegzetességeit le kellene hántani a nevekről, hanem leginkább az ejtés- és írásmód egységességének kialakítása a cél. A standardizációt nemcsak a hivatalos névadás aktusa követeli meg, hanem ugyanennek a szükségét felvetik a különböző szaknyelvek névhasználati igényei is. Ilyen helyzet a barlangkataszter kialakításának folyamata is, amelynek során a szaknyelvi használat egységének a biztosítása igényli az ide tartozó nevek standardizálásának az elvégzését.

15.4. Irányelvek a barlangnevek standardizálásához

A karszt- és barlangkutatás tárgyát képező objektumok tulajdonnévi megnevezései körében nyelvhasználati szempontból két szintet lehet elkülöníteni. Maguknak a barlangoknak, mint a földfelszínen is megjelenő földrajzi objektumoknak a nevei többnyire a szűkebb vagy tágabb környék lakóinak a helynévhasználatában is megtalálhatók, s jórészt a barlang elhelyezkedésétől függően többé-kevésbé ismeretesek. A barlangok belső részeinek, képződményeinek a megnevezéseit viszont többnyire csupán a barlangászok használják. E két névcsoport standardizálásában ebből adódóan részben eltérő alapelveket célszerű érvényesíteni. Jelen fejezet csak magukat a barlangokat, mint objektumokat jelölő közneveket tárgyalja, a barlangi képződmények megnevezéseivel, névadási gyakorlatával és standardizálásával nem foglalkozik.

Ha valamely barlangnak a környéken élők nyelvében általánosan ismert, használt elnevezése van, akkor ezt kell a standard változat megállapításának alapjává tenni. A helyben használt névformákról elsősorban azok a gazdag, sok százezernyi névadatot tartalmazó helynévgyűjtemények tájékoztatnak, amelyek az utóbbi évtizedekben jelentek meg az ország, illetőleg a magyar nyelvterület igen jelentős részére vonatkozóan. Ezek a névtárak az élőnyelvi gyűjtések alapvető szabályait figyelembe véve készültek, így autentikus népnyelvi, beszélt nyelvi forrásnak tekinthetők. Ezek a nevek, mint általában a többi helynévfajta is, a múlt szellemi örökségének tekintendők, és kulturális értéként védelmet érdemelnek.

Gondot okozhat a standardizálásban, ha a helyi nyelvhasználatban többféle, szinonim alak fordul elő: ilyenkor standard formaként a leggyakrabban használt változatot célszerű meghatározni. A többféle alak közül történő kiválasztáskor figyelembe veendő esetleg az is, hogy az így meghatározott forma különbözzön más barlangnevektől, illetőleg hogy a benne kifejeződő információtartalom (S, ill. F funkció) a barlang jellegzetességét egyedi módon jelölje meg. Több névváltozat esetén előnyt élvezhetnek a nagy történeti hagyományra visszamenő nevek, amelyeket a forrásokból gyakran gazdagon tudunk dokumentálni.

A standardizálás során a név lexikális összetételét nem célszerű megváltoztatni, pl. egyrészes névből nem kell feltétlenül kétrészes nevet alkotni (a korábbiakban ez a térképek névhasználatára jellemző eljárás volt), vagy a név valamely elemét, névrészét akkor sem kell módosítani, ha az a tudományos fogalomhasználatnak és kategorizációnak nem felel meg maradéktalanul (pl. ha a népnyelv a barlangot *kőlyuk*-nak nevezi *kőfülke* helyett). A neveket olyan elemekkel sem célszerű kiegészíteni, amelyek a tágabb földrajzi környezetben való megkülönböztetést szolgálhatják, elsősorban az azonos nevűség esetében. Ilyenkor az elkülönítő szerepű, többnyire a lokalizálást segítő elemet a név mellett, mint jelzőt, nem pedig mint a név részét tüntetjük fel: pl. balatonedericsi *Csodabogyós-barlang* (4440-4), orfűi *Csodabogyós-*

barlang (4120-56). Speciális esetekben, pl. névjegyzékek betűrendes összeállításakor e lokalizációs szerepű helységneveket a név után zárójelben közölhetjük: *Csodabogyós-barlang* (Balatonederics), *Csodabogyós-barlang* (Orfű).

A népi használatú barlangnevekben ún. valódi tájszavak is előfordulhatnak, amelyek más vidék lakói számára nem érthetők, és így leíró jellegű információt nem adnak az általa jelölt objektumról: a balatongyöröki *Kágyiló-barlang* (4440-70) nevének előtagjában például csak kevesen ismerik fel *kagyló* szavunkat, amely az adott vidéken ráadásul 'meztelen csigá'-t jelent, s a név olyan barlangot jelöl, amelybe a nyári hőségben meztelen csigák húzódnak be hűsölni. A leíró jelleg azonban nem is feltétele a helynevek működésének, a településnevek körében pl. teljesen általános a csupán megnevező funkcióban álló nevek (*Debrecen, Pápa*) használata. A fentiekből adódóan a tájszavak megőrizhetők a barlangnevekben is, hiszen azok a helyi nyelvhasználat jellegzetességeként lokális hagyományokat őriznek.

A barlangnevek standardizációjába beletartozik a nevek hangalakjának a köznyelvivé formálása is az olyan esetekben, amikor a név a népnyelvi kiejtés szerinti hangalakot mutat. Az ilyen természetű változtatásokat az is indokolja, hogy e téren a magyar helyesírás amúgy sincs felkészülve a nyelvjárási formák jelölésére, pl. az ún. zárt és nyílt *ë* – *e* elkülönítésére vagy a kettőshangzók ábrázolására. A hangalaki standardizációval a nevek tulajdonképpen köznyelvi alakjukat nyerik el. Nem könnyű persze minden esetben meghatározni a hangalaki átalakítás mértékét: a *Sinka liktya* (4440-20) esetében világos, hogy a *-ja* birtokos személyrag speciális *-tya* megvalósulásáról van szó, amely átalakítandó köznyelvi formává, kérdéses lehet azonban, hogy a *lik* megfeleltetendő-e a köznyelvi *lyuk*-nak, vagy az ilyen esetekben a standard alakban tartsuk-e meg az eredeti hangzós formát: *Sinka likja* ~ *Sinka lyuka*.

A barlangnevek másik nagy csoportját azok a megnevezések adják, amelyek nem az úgynevezett népi keletkezésű nevek közül valók, hanem mind létrejöttüket, mind használatukat tekintve a barlangászok világához kapcsolhatók. Ebben a körben általános szokásnak tekinthető, hogy ha valamely barlangnak a környéken élők körében nincs vagy csak jelentéktelen csoportok által használt neve van, akkor annak a személynek, aki a szakirodalomban vagy a kataszterben először leírja és ismerteti, joga van azt elnevezni. Erre példa Balatonedericsen a GN-töbörbarlang, amelyet a helyi barlangászok ilyen néven ismernek, a kataszterben azonban *Jakucs László-barlang* (4440-6) a neve. Ilyen esetekben a leírás vagy ismertetés nyomtatásban vagy hivatalos weblapon való megjelenésétől számítva a név az illető hely standard nevévé válik. Az ilyen nevekkel szemben általános követelménynek tekinthetjük, hogy nyelvi jellegét illetően feleljen meg a barlangnevek körében szokásos névtípusoknak, azaz a név lehetőleg legyen kétrészes, a fajtajelölő szerepű földrajzi köznévi tag tudományos szempontból helytálló legyen, a másik névrész pedig lehetőleg leíró jelleggel (S funkcióval) kapcsolódjon az elnevezett objektumhoz. Az ilyen eljárás révén standardizált nevet kiegészíteni vagy megváltoztatni csak különleges esetben célszerű, a megfelelő szakmai és közösségi fórum jóváhagyásával.

Régebben szokás volt a barlangokat és barlangi képződményeket görög-római mitológiai alakok nevére elnevezni, ilyen nevet visel például a cserszegtomaji *Acheron-kútbarlang* (4440-3). Különösen az első világháború előtt és a két világháború között volt divatban az ilyen típusú névadás, amikor a barlangok látogatói és kutatói a klasszikus műveltségű rétegből kerültek ki. Meglévő elnevezések esetében célszerű a korábban adott nevek megtartása, azonban újonnan felfedezett barlangok esetében kevésbé ajánlható az alapvető névtípusoktól eltérő megnevezések adása és használata.

A barlangnevek helyesírásában a magyar helyesírás szabályait kell irányadónak tekinteni, különösképpen a helyesírási szabályzatnak a helynevek írásmódjára vonatkozó részleteit. A bonyolultabb névformák írásában pedig a helynevek írásmódját szabályozó kiadványra kell támaszkodni pl. *FÁBIÁN et al.*, 1998.

15.5. A barlangok és a gyakoribb felszíni karsztformák megjelölésére szolgáló köznevek

A barlangok megjelölésére szolgáló köznevek Magyarországon általánosan elterjedtek, szakszerű használatuk azonban feltételezi a köznevek által megjelölt helyek, barlangok definíciószerű ismeretét. Sajnos, nem minden esetben tapasztalható e fogalmak helyes használata, és – különösen az internetes szabad publikálás lehetősége következtében – a pongyola szóhasználatú cikkek terjedőben vannak. Fontos, hogy a feltáró barlangkutatásban dolgozó valamennyi barlangász ismerje ezeket a fogalmakat, és alkalmazni tudja őket az új üregek elnevezése során, mert csak így érhető el, hogy barlangkataszterünk egységes elveken alapuló elnevezésekkel gazdagodjon. Az alábbiakban igyekeztem összefoglalóan megadni nyelvészeti és geomorfológiai szempontból a leggyakrabban használt barlangi köznevek jelentését.

Akna: a szó a köznyelvben mesterséges barlangot jelöl, de némely egykori és mai bányavidéken az ott élők természetes alakulatokra is használják. Meredek, gyakran függőleges bejáratú hasadékokat jelölnek ezzel a szóval, olykor az *aknabarlang* szóösszetételben, pl. *Víz-fői-akna* (5342-22), *Jószerecsét-aknabarlang* (4120-97). Megnevezésben szinonimaként nevezik még *kürtő*-nek is pl. *Tapasztalat-kürtő* (5221-25).

Álbarlang: omlás vagy mállás hatására, támaszkodó, felfekvő kövek között kialakult üreg; pl. *Endrina-barlang* (4510-502). Két fő fajtája ismeretes a kialakulás körülményeitől függően, úgy, mint törmelékbarlang (*Csúzli-álbarlang*, 4510-530) vagy tömbközi álbarlang (*Borjú-völgyi-álbarlang*, 4510-518).

Barlang: a kifejezést háromféle értelemben is használjuk. Köznyelvi értelmezésben minden felszín alatti üreget ezzel a szóval jelölnek, ebből származik például a *barlangkutatás* szavunk is (NEPPEL, 1964).

Használják szakkifejezésként tudományos értekezésekben, kutatásokban. Ebben az esetben a barlang definíciója – különbözve a tudományterületen elfogadott definíciótól – geográfiai és kultúrtörténeti vonatkozásokat is figyelembe véve némiképpen átalakul: *a barlang a Föld szilárd kérgében természetes vagy mesterséges úton keletkezett, ember számára járható méretű üreg, ami legalább 2 méter hosszú*. Üreg – azaz találhatunk olyan metszősíkot, amely zárt szelvényű vagy csak egyik oldaláról nyitott, és a síkra merőleges irányban a képződmény legalább kétszer akkora kiterjedésű, mint a keresztzelvény mentén. Mindemellett barlangnak számít a sziklaeresz, a kőfülke, a tágas beszakadás és a sziklakapu is. A barlang természetes vagy mesterséges úton keletkezett képződmény, azonban a mesterséges üregek nem mindegyike tartozik ide. Barlangnak minősítjük a löszbarlangokat, a kőbe vájt barátlakásokat, a sziklakápolnákat, a Bükk déli lábánál található barlanglakásokat, de nem számítanak barlangnak a bányák, mesterséges aknák, tárok és földpincék. A definíció fontos jegye, hogy a barlangok az ember számára járhatók, azaz legalább 2 méter hosszúak legyenek. A fenti definícióhoz hasonló, de attól több lényegi pontban különböző definíciókat olvashatunk más szakkönyvekben (KADIĆ, 1913; STRÖMPL, 1914; KRAUS, 1999; MOLNÁR, 2006). KADIĆ az ember számára könnyen járható, nagy szádával (bejárat) a szabadba nyíló, nagy terjedelmű, esetleg bonyolult alaprajzú képződményeket tartja csak barlangnak. STRÖMPL ezek közül csak a nagy szádát tartja alapvető ismérvnek. Valójában ezen definíciók ma már túlhaladottnak tekinthetők. Egyrésztől barlangnak nevezzük azokat a sziklaüregeket és sziklaereszeket, amelyek nagyjából függőleges sík alakú szádával nyílnak a felszínre, és legalább akkora térfogatúak, hogy padozatukon több ember is elfér. Másfelől barlangnak nevezzük azokat a nagy összterfogatú járatrendszereket is, amelyeket szűk járatokon – néha mesterséges bejáraton – keresztül közelíthetünk meg, de amelyeket összterjedelmük miatt a legnagyobb karsztos üregek közé sorolunk; pl. a dachsteini mészkőbe mélyülő tési *Alba Regia-barlang* (4422-1). Sokan csak a természetes üregeket tartják barlangoknak, tehát a mesterséges üregeket (löszbarlang, barátlakás, sziklatemplom, kőistálló, barlangistálló, kőkunyhó, kőhodály, betyárújó, menedék, sírűreg, lakóüreg stb.) nem (KRAUS, 1999; MOLNÁR, 2006), holott a néphagyomány ezt sok esetben indokolná: pl. a tihanyi Barátlakások esetében. Üregnek csak a zárt

szelvényű járatokat nevezik, tehát nem tartják barlangnak a sziklaereszeket és a kőfülkéket sem, pedig ilyeneket szép számmal lehet találni a nemkarsztos barlangok között: pl. *Akasztó-hegyi-eresz* (4463-1).

A *barlang* szó használható még elnevezéseknél is, a köznyelvi értelmezésnél szűkebb, de a szaknyelvi értelmezésnél tágabb körben. Ezt tekinthetjük a *barlang* szó leggyakoribb használati módjának, köznévként sok barlang neve kap megnevezésében *barlang* utótagot: pl. aggteleki *Áfonyás-barlang* (5500-54).

A *barlang* szó előfordul szóösszetételekben is: *aknabarlang*, *gipszbarlang*, *karsztbarlang*, *sóbarlang*, *víznyelőbarlang*, *forrásbarlang*, *mésztufabarlang*, *gejzírbarlang*, *átmenő-barlang*, *cseppkőbarlang*, *jégbarlang*, *tavasbarlang*, *résbarlang*, *hólyagbarlang* stb. Általános értelemben használhatjuk ezeket a szavakat a barlang tulajdonságainak kifejezésére is (pl. *gipszbarlang* – gipszben lévő barlang).

Berogyás: víznyelők berogyásával, beomlásával keletkezett, közel vízszintes síkban álló bejáratú üreg. Sem népi tulajdonnevekben, sem köznévként nem túl elterjedt, ritka barlangi köznevünk: pl. bakonyszúcsi *2b-berogyás* (4413-28).

Bivak: többnyire kis kiterjedésű üreg, amely kialakulásánál fogva alkalmas arra, hogy egy éjszakát benne hálózásokban kényelmesen eltöltsünk, azaz bivakoljunk: pl. *Zsebes-bivak* (5500-41). A név nem utal a barlang genezisére, ugyanis kis kiterjedésű barlangok mellett nagyobb, sokszor 15-20 méteres hosszúságú barlangok is viselnek tulajdonnévi névrészükből *bivak* elnevezést: pl. pilisszentléleki *Bivak-barlang* (4840-91). A Bükkben egykor ősember lakta barlang is kapott ilyen elnevezést: pl. *Mély-völgyi Bivak-barlang* (5391-40).

Bontás: ideiglenes barlangi köznév. Többnyire a beomlott bejáratú, de már kutatási engedéllyel lefoglalt barlangok nevében szerepel: pl. bükki *Tekenősi-bontás* (5372-112).

Forrásszáj: az a nyílás, ahol a víznyelőlön keresztül a karsztba jutó víz a karsztvidék peremén ismét a felszínre lép: pl. *Vadalma-forrás árvízi forrásszája* (4422-25).

Gödör: többnyire vízszintes síkban álló bejáratú, kis mélységű, félgömb lenyomatához hasonló, nevében mesterséges eredetet feltételező üreg: pl. budapesti *Kakuk-hegyi piktortélagödör* (csak a Vulkánszpeleológiai Kollektíva nyilvántartásában szerepel). Előfordul, hogy függőleges síkban álló bejáratú üregnek adtak ilyen köznevet: pl. mátramindszenti *Sárkány-gödör* (5230-17), vagy aknabarlang kapott ilyen köznévi utótagú nevet: pl. gánti *Nagy-tiszta-gödör* (4521-2). A *gödör* a köznyelvben létező szó, helyes használata barlangnévként első látásra felismerhető tulajdonságon kell, hogy alapuljon.

Hasadék: többnyire szűk keresztmetszetű, magasságban és mélységben elkeskenyedő, gyakran megdőlt réteglapok között kialakuló repedésszerű üreg. Önmagában köznévként ritkán szerepel barlangnevekben: pl. *Kút-hegyi-hasadék* (5382-11). Gyakrabban fordul elő szóösszetételekben: *hasadékbarlang*, *sziklahasadék*, pl. *Csobánci-hasadékbarlang* (4450-21), *Hajmáskéri-sziklahasadék* (4464-1). A kataszterben arra is vannak példák, hogy a hasadékot (tektonikus eredetű üreget) a *csapda* közszóval jelölték meg: pl. *Damasa-szakadéki-csapda* (5320-42), illetve elnevezésében a *terem*: pl. *Damasa-szakadéki Baldachinos-terem* (5320-40) vagy a *sziklarepedés* utótagot kapta: pl. *Kisgyőr-hegyi-sziklarepedés* (4411-17).

Kőfülke: olyan üreg, amelynek jelentősen nagy, függőleges síkban álló bejárata van, és hosszúsága a szélességétől alig különbözik. Szinonimával nevezhetjük még *sziklafülké*-nek is. A köznyelvben létező szó, jelentése jelöltjének első látásra felismerhető tulajdonságán alapszik: pl. *Barna-kőfülke* (4120-200). A szó a *kő* előtag nélkül is előfordulhat: pl. *Fali-fülke* (4900-6), de megtalálható szóösszetételben is: pl. *Martinovich-hegyi-kristályfülke* (4732-26), *Pál-völgyi-omladékfülke* (4762-54), *Sátorkőpusztai-barlang feletti gömbfülkesor* (4851-23), *Solymári-kisfülke* (4773-2). A hasonló felépítésű barlangoknál előfordul az elnevezésben a *bagolytanya* (*Bagoly-tanya*, 4840-18, *Róka-hegyi bagolytanya*, 4810-11), illetve a *kőablak* (*Pilis-oldali-kőablak*, 4840-158) és az *ablakosbarlang* (*Padlathíd-árki-ablakosbarlang*, 4430-41) kifejezés is.

Kőkamra: többnyire függőleges síkban álló, szabályosnak ható bejáratú, belül kisebb kiterjedésű teremben folytatódó üreg. Szinonimaként nevezik még *kamrá*-nak is, ez inkább mesterséges eredetet valószínűsít. Ritka barlangi köznevünk: pl. nagygyörbői *Kőkamra* (4430-18).

Kőkapu: karsztos vagy nemkarsztos kőzetben nyíló, alakjában kapura vagy nyitott bejáratra hasonlító átjáró. Az ilyen típusú képződmények geomorfológiai értelemben nem tartoznak a barlangok közé, azonban a népnyelv és a köznyelv annak tartja őket, védelmüket és nyilvántartásukat sajátos geológiai kifejlődésük indokolja. Elnevezésük első látásra felismerhető tulajdonságon alapszik. Megnevezésben használják még a *kapu*, *átjáró*, *sziklakapu* és a *kő* kifejezéseket is: pl. *Kőkapu* (2892-6), *Kőkapui-átjáró* (5500-40), *Vaskapui-kis-sziklakapu* (4840-140), *Udvar-kő* (5363-6).

Kőodú: az *odú* szavunk a finnugor korból származó ősi örökség (DÉNES, 2002), amely a jelzői szerepű *kő* szóval összekapcsolva (*kőodú*) jelöl leginkább barlangfélét. Az 'üreges szikla' jelentésű *Odvas-kő* név első említése már a bakonybéli Benedek-rendi apátság 1037. évi keletkezésű alapítólevelében megtalálható (DÉNES, 1973). Az oklevélben szereplő sziklának ma is *Odvas-kő* a neve, és oldalában tágas barlang található (*Odvas-kői-barlang*, 4413-1). Az *odú*, *kőodú* és *sziklaodú* szavakat általában az embernél alig nagyobb sziklaüregek elnevezése használjuk, előfordul, hogy a bezáró kőzettel együtt szerepel az üreg nevében: pl. *Meleg-hegyi-dolomitodú* (4440-21). Köznyelvi értelemben az *odú* főleg állati lakóhelyre utal, így a közszó nem fejezi ki a barlang első látásra felismerhető tulajdonságait. Népnyelvi neveinkben igen elterjedt: pl. bükki *Ispán-hegyi-sziklaodú* (5341-10).

Kút: vízszintes síkban álló, közel szabályos bejáratú, függőleges kiterjedésű, lefelé gyakran összeszűkülő barlang. Önmagában ritkán használt barlangi köznév: pl. *Ördög-kút* (5363-14), de előfordul szóösszetételben is: pl. *Acheron-kútbarlang* (4440-3), csehbányai *Hosszú-dűlői-löszkút* (részben feltöltve, csak a Vulkánszpeleológiai Kollektíva nyilvántartásában szerepel).

Lyuk: ősi magyar szavunk, népnyelvi formában említik *lik*-nak is. Már a középkori okiratokban is előfordul, DÉNES GYÖRGY kutatásai szerint (2002) jelölhetett önmagában is barlangot, de csak akkor, ha a szövegkörnyezetből kiderült, hogy a *lyuk* hegygel vagy kősziklával kapcsolatos megjelölés, emellett gyakran előfordul *kőlyuk* összetételben is. A mai barlangnévadási gyakorlatban általában ilyen névvel illetnek minden kicsiny szájú, csekély kiterjedésű üreget, de nagyobb kiterjedésű, kicsiny bejáratú barlangok elnevezésében is előfordulhat köznévi tagként: pl. *Szél-lik* (4440-83). A kicsiny szájú üregek elnevezésekor célszerű előnyben részesíteni a többi megjelöléssel szemben, mert az elnevezés a barlang első látásra felismerhető tulajdonságán alapszik: pl. *Halápi-bazaltlyuk* (csak a Vulkánszpeleológiai Kollektíva nyilvántartásában szerepel), *Sárkánytörési-csőlyuk* (5210-35).

Nyelő: többnyire a víznyelőkől kialakult barlangokat nevezik így. Gyakran használják a *zsomboly* vagy *aknabarlang* szinonimájaként. Széles körben elterjedt barlangi köznevünk: pl. orfűi *Bolond-lyuk-nyelő* (4120-40).

Orgonaköz: kizárólag az oszlopos elválású bazaltorgonák között előforduló járható méretű üregeket nevezik így. A Balaton-felvidéken fordulnak elő pl. a Szent György-hegy és a Badacsonyi sziklafalaiban: pl. *Lépcső-menti-orgonaköz* (4450-9).

Ördöglyuk: a *zsomboly* népnyelvi megfelelője, azonban előfordul, hogy tektonikus hasadékok mentén kialakult, szövevényes, többszintes üregrendszer is ezen a néven neveztek el: pl. *Solymári-ördöglyuk* (4773-1). Általános értelemben a függőlegesen a felszínre nyíló, vízszintes síkban álló bejáratú üregek köznévi jelölője. Az elnevezés abból a népi hitből ered, hogy a függőlegesen a mélybe nyíló üregek a pokol bejáratai: pl. olaszfalui *Csengő-hegyi-ördöglyuk* (4422-20). Az *ördöglyuk*-at régebben nevezték még *bábalyuk*-nak is: a Baradla-Domica-barlangrendszerben ma is található ilyen nevű víznyelő.

Pest: egyes vélemények szerint a honfoglaló magyarság az Északi-középhegység vonulatai között élő bolgár jellegű déli szláv nyelvet beszélő népelemektől vette át a 'sziklaüreg', valamint 'kemence' jelentésű *pest* köznevet, amelyet kettős jelentése miatt főképpen összetételekben alkalmaztak (DÉNES, 2002). Ha sziklaüreget akartak jelölni vele, akkor *kőpest*, ha barlangos sziklát, akkor pedig *Pest-kő* vagy *Pest-hegy*

típusú névben használták. Legrégebbi *Pest-hegy*-ünk a Sziklakápolnaként ismert tágas barlangjáról is nevezetes Gellért-hegy, amelynek első említése egy 1061. évi oklevélből származik. Az 'odvas kő' jelentésű *Pest-kő* helynevünket egy 1391. évi latin nyelvű okirat említi először: *DÉNES GYÖRGY* kutatásai (1973) bebizonyították, hogy az oklevélben említett *Pest-kő* azonos a mai gerescei *Pes-kő*-vel, melynek oldalában tágas barlang nyílik. A 'barlang' jelentésű *pest* szavunkból származik több más középkori oklevélben szereplő, odvas követ vagy üreges sziklát jelentő *pestes* szavunk is. A 'sziklaüreg' jelentésű *kőpest* szavunkat először egy 1340. évi oklevél említi (*DÉNES*, 1997). Az oklevél szövegének elemzése és a helyszíni terepbejárások során *DÉNES* megállapította, hogy az oklevélben szereplő „*mons Kwpest*”, azaz *Kőpest-hegy* a bajnai Örhegygel, maga a *Kőpest* pedig a hegy *Öreg-lyuk* nevű tágas barlangjával azonos. A *pest* szó a mai barlangi névadási gyakorlatban igen ritkán fordul elő: pl. *Büdös-pest* (5363-3).

Pince: függőleges síkban álló, szabályosnak ható bejáratú, többnyire közel vízszintes járatban folytatódó, egy vagy ritkán több teremben kiteljesedő barlang. A szóhasználat mesterséges eredetet valószínűsít, mivel sem népi tulajdonnevekben, sem pedig ilyen jelentésben köznévként nem túl elterjedt: pl. *Damasa-szakadéki-porpince* (5320-39). Előfordul *barlangpince*-ként szóösszetételben is: pl. *Fortuna utca 18. sz. alatti barlangpince* (4762-78).

Ravaszlyuk, rókalyuk, borzlyuk, macskalyuk, ürgelyuk, egérlyuk, pocoklyuk, darázslyuk, denevérlyuk, görénylyuk, póklyuk, tücsöklyuk, rigólyuk, kecskelyuk, zergelyuk, sárkánylyuk: már a középkori oklevelekben is előfordulnak barlangnévként vagy barlangnevek részeként (*DÉNES*, 2002), amelyekkel a róka, borz, vadmacska stb. tanyahelyéül szolgáló üregeket nevezték meg. Az ilyen nevet viselő barlangok egyaránt lehetnek kis kiterjedésű üregek, szövevényes térlabirintusok, de akár víznyelőbarlangok is, tehát a név nem utal a barlang genezisére: pl. *Nagy-ravasz-lyuk* (5430-9), *Borz-lyuk* (4421-15), *Vadmacska-lyuk* (4421-33), *Kámori-rókalyuk* (5210-40), *Cserepes-kői-ürgelyuk* (5343-18), *Egér-lyuk* (5451-18), *Pocok-lyuk* (5382-27), perpáci *Darázs-lyuk* (5394-3), *Denevér-lyuk* (5363-50), *Görény-lyuk-barlang* (4840-201), kis-csipkési *Pók-lyuk* (5372-12), *Tücsök-lyuk* (5440-16), *Rigó-lyuk* (4421-47), *Kecske-lyuk* (5363-2), *Zerge-lyuk* (4621-39), *Sárkány-lyuk* (5230-19).

Rombarlang: emberi tevékenység vagy a természetes külső és belső erők hatására lepusztult barlang. Szinonimájaként használatos még a *torzó* vagy *barlangtorzó* kifejezés is. A bányászattal érintett területeken viszonylag gyakran előforduló, kevésbé ismert és kutatott barlangok tartoznak ide: pl. upponyi *Sima-kői rombarlang* (5320-14).

Szakadék: akkor keletkezik, amikor nagyobb üregek a felszín közelébe kerülnek, és a főtájuk leszakadásával végül a felszínig jutnak. Mérete általában néhány méter, néhányszor 10 m, falai közel függőlegesek, esetleg aláhajlók. Hazánkban ritkán fordul elő, régebben *kőudvar*-nak vagy *szakadéktöbör*-nek is nevezték. Hosszabb barlangok beszakadásával szurdokvölgyek jönnek létre. Ritka barlangi köznevünk: pl. *Csehek-szakadéka* (5451-39). A barlangi névadásban nevezik még *felszakadás*-nak vagy *beszakadás*-nak is: pl. *Borjú-kúti-felszakadás* (4421-1), *Káposztáskert-beszakadás* (5341-33).

Sziklaeresz: három oldalról zárt, egy oldalról nyitott szelvényű áthajló sziklaperem alatt létrejött beöblösödés. Sok barlangföldtannal foglalkozó szerző (*KRAUS*, 1999; *MOLNÁR*, 2006) nem tekinti igazi barlangnak, azonban karsztos és nemkarsztos formakincseink között a népnyelv számos sziklaereszt tart számon. Az elnevezés a barlang első látásra felismerhető tulajdonságán alapszik: pl. bakonybéli *Fogadói-sziklaeresz* (4412-36).

Sziklaüreg: kisebb barlangok és kőfülkék elnevezésére használatos. Szinonimája a *kőüreg* és az *üreg*. A szakirodalomban elsődlegesen, mint összefoglaló közszót alkalmazzuk a karsztos és nemkarsztos járatok megnevezésére, de a népnyelvben és a barlang és karszt nevezéktanban igen elterjedt köznévi elem tulajdonnevekben is: pl. *Alsó-Kecskevári-sziklaüreg* (5393-17), *Sárkánytörési-szemüreg* (5210-36), *Sárkánytörési-kisüreg*, *Budaörsi-hegy 1. piktortéglauerege*, *Dubrica-kúti-darászkőüregek* (csak a Vulkánszpeleológiai Kollektíva nyilvántartásában szerepelnek).

Töbör: a leginkább vitatott fogalmak egyike, amelynek definiálása valószínűleg a legtöbb szakmai vitát fogja a későbbiekben kiváltani. Néhányszor 10-100 m átmérőjű, csésze vagy tál alakú, minden oldalról zárt bemélyedések. Kialakulásukban a talajban feldúsuló CO₂-nek van döntő fontossága. A kőzet oldhatóbb részén mélyedés alakul ki, ami a növények életéhez kedvezőbb feltételeket biztosít. Itt a szerves anyag feldúsulása nagyobb lesz, ami a CO₂ mennyiségének további növekedését eredményezi, és a mélyedés egyre nő. Hazai szaknyelvünkben gyakran *dolina* néven említik ezt a formát, ez azonban kerülendő, mert a környező országok szláv nyelveiben a *dolina* völgyet jelent, s ilyen értelemben helynevekben is előfordul, így e nyelvhasználati kettősségből fogalmi zavarok adódhatnak. A töbör oldalában gyakran víznyelő található, amelyhez árok vagy kisebb vízmosás vezet. A hazai barlangok elnevezésében előfordul, hogy a *töbör* szót helytelenül használják az egyébként víznyelő vagy zomboly elnevezésére: pl. *Eleven-förtési 2. számú töbör* (4413-30). A *töbör* szó összetett barlangneveinkben nemcsak fajtajelölő utótagként szerepel, hanem gyakran előfordul a hely megnevezéseként is: pl. *balatonedericsi Nagy-töbör barlangja* (4440-78).

Vár: nagyon ritka barlangi köznév, az ilyen elnevezésű üregek nevüket képzettársítás révén kapták: pl. *Pele-vár* (csak a Vulkánszpeleológiai Kollektíva nyilvántartásában szerepel).

Verem: nem túl mély, tág, vízszintes síkban álló bejáratú üreg. A nevekben előforduló szóhasználat mesterséges eredetet valószínűsít, sem népi tulajdonnevekben, sem köznévként vagy szóösszetételekben nem túl elterjedt: pl. *Vízbe-verem* (5331-10), *Damasa-szakadéki jégverem* (5320-41).

Víznyelő: azok a karsztos nyílások, amelyeken keresztül a felszínen időszakosan vagy állandóan folyó víz a kőzet belsejébe kerül. Általában töbör mélypontján található, amelyhez árok vezet: pl. *Balla-völgyi-víznyelő* (5381-29).

Zsomboly: függőlegesen a mélybe nyúló barlang. A Gömör-Tornai-karszton a víznyelőket és egy-két helyen vizenyős területet jelölő *omboly* ~ *zomboly* ~ *zsomboly* tájszavunkat feltehetően honfoglalás kori, bolgár jellegű déli szláv nyelvet beszélő népektől vehette át a magyarság (DÉNES, 2002). A *zsomboly* és alakváltozatai megtalálhatók számos földrajzi nevünkben is, illetve használatosak a földrajzi szaknyelvben is. A *zsomboly* gyakran több aknából áll, amelyek egymással különböző magasságban, gyakran egészen kis nyílással érintkeznek. Az aknák felfelé rendszerint vakon végződnek, lefelé tágulnak, aljukat gyakran omlás zárja el. Az aknák vízszintes metszete egy vagy több irányban elnyújtott, zabszem vagy csillag szelvényű, mindig jól felismerhetőek a kialakulásában fontos szerepet játszó tektonikus repedések. A legtöbb zsomboly bejárata egy töbör oldalában található, és a bejáratú akna felső része általában beszakadással nyílt meg. STRÖMPL és KADIĆ a *zsomboly* szó használatát csak a Gömör—Tornai-karszton tartja megengedhetőnek, azonban a geográfiai és barlangkataszteri szaknyelvben széleskörűen elterjedtek a Bükkben és a Bakonyban is: pl. *Bongó-zsomboly* (4422-3).