

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar
Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

A Budai Vár-barlangot ábrázoló térképek
összehasonlító elemzése

Havasi Attila
térképész szakos hallgató

Témavezető:

Dr. Török Zsolt
egyetemi docens



Budapest, 2012

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. Barlangtérképezés.....	5
1.1. Szpeleokartográfia.....	6
1.1.1. Három képsíkos vetítési eljárás.....	7
1.1.2. Tér láttató barlangábrázolások	9
1.1.3. Barlangtérképek típusai.....	10
1.1.4. A barlangtérképek jelkulcsa.....	12
1.2. Szpeleometria.....	13
1.2.1. A barlangfelmérés pontrendszere.....	13
1.2.2. Mérési eredmények.....	14
1.2.3. A mérési hibák csoportosítása.....	16
1.2.4. A felmérések matematikai feldolgozása.....	18
1.2.5. Barlangi felméréseknél alkalmazott alappontsűrítési eljárások.....	19
1.2.5.1. Háromszögelés.....	21
1.2.5.2. Sokszögelés.....	21
1.2.5.3. A mágneses iránymérésű sokszögelés és feldolgozása.....	23
1.2.5.4. Az alappontok magasságának meghatározása.....	26
1.2.6. A részletes felmérés.....	27
1.2.7. A barlangi felmérés eszközei.....	28
2. Összehasonlító elemzés.....	31
2.1. Térképi alapanyagok.....	31
2.1.1. A referencia térkép.....	31
2.1.2. A korábbi felmérések térképei.....	32
2.2. A vizsgálat módszerei.....	35
2.2.1. A térképek előkészítése.....	36
2.2.1.1. A referencia barlangtérkép előkészítése.....	36
2.2.1.2. A vizsgálat tárgyát képező régi térképek előkészítése, georeferálása.....	37
2.3. A térképek geometriai vizsgálata.....	40
2.4. A térképek tartalmi összevetése.....	49
2.4.1. A Nagylabirintust ábrázoló térképek tartalmi összehasonlítása.....	50
2.4.2. A Bécsi kapu tér alatti barlangrendszer térképi ábrázolásainak tartalmi összehasonlítása.....	53
3. A térképmelléletek.....	54
3.1. Az összehasonlító térképek elkészítése.....	54
Összegzés.....	57
Köszönetnyilvánítás.....	58
Irodalomjegyzék.....	59
Melléletek.....	60

Bevezetés

A budai Vár-hegy gyomrában, az épületek alatt néhány méterrel, kiterjedt üreg és járatrendszer található. A több tucat részletben megtalált, később mesterséges tárókkal összekötött, több mint 3 kilométeres rendszer első üregeit valószínűleg már a török hódoltság előtt ismerte az itt élő ember. Ezeket az üregeket kútásás közben fedezték fel. Szinte minden házhoz tartozott egy-egy kút, a XVI. században már 285 kutat tartottak nyilván. Eleinte a borkészítés során lelték hasznosságát a fellelt üregeknek, majd később jégveremként és árutároló pincékként funkcionáltak. A barlangok aktív hasznosítási időszakában az eredeti, természetes üregeket tágitották, alakígtatták. Amelyekre nem volt szükség azokat eltömítették, szeméttel töltötték fel. A pincék legnagyobb amortizációja a XIX. században ment végbe. Sok üreg a feledés homályába veszett.

Az 1880-as években készült az első felmérés az akkor ismert pincebarlangokról. A XX. században ezen felmérést többször feldolgozták, kiegészítették, illetve új felméréseket is készítettek. Az új felmérésekre a II. világháború után volt nagyobb igény, amikor is a korábban különálló pincebarlangokat mesterséges tárókkal összekötötték, valamint állagmegóvó és erősítő munkálatokat, átépítéseket végeztek. Ezen felmérések térképei között, már ránézésre is sok különbséget fedezhetünk fel.

A régi térképek nem elégítették ki a mai igényeket, ezért a Vár-barlang statikai megerősítését célul kitűző Új Magyarország Fejlesztési Terv Közép-Magyarországi Operatív Program keretében 2010-2011-ben 3D lézerszkenneres felmérés készült a Nagylabirintusnak nevezett barlangrendszer jelentős részéről valamint két kisebb üregről. A felmérésből – több egyéb más termék mellett – levezettek egy 2D alaprajzos, digitális térképet.

Dolgozatomban ezen új felmérést feldolgozva összehasonlító elemzést készíték a korábbi, eltérő módszerekkel és változó minőségben készült felmérések térképeivel. Az összevetés a geometriai (geodéziai) és a tartalmi különbségek feltárására, valamint azok okainak megállapítására terjed ki.

A térképek geometriai összehasonlításakor elsősorban a korábbi felmérésekkor elkövetett durva hibák kimutatása a cél. Ezen hibák jellegükből adódóan nagyobb valószínűséggel deríthetők fel. A feltárt hibák nem csak az adott térkép minőségét segítik, hanem képet alkothatunk más barlangok térképezésekor elkövethető hibákról és azok következményeiről is.

A tartalmi összevetés segítségével nyomon követhetjük a barlangrendszer időbeni

változásait. Lehetőség adódik olyan termek, járatok és egyéb műtárgyak (kút, szellőző stb.) felkutatására, melyek a barlang átépítésével, illetve egyes termek elfalazásával és feltöltésével eltűntek.

A Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszéken ez idáig nem készült barlangtérképezéssel foglalkozó dolgozat, ezért mintegy hiánypótlásul és az összehasonlító elemzés megalapozásául, dolgozatom első részében igyekszem képet alkotni a hazai barlangtérképezés alkalmazott módszereiről és eszközeiről. Bár ezen ismertetés nem teljes körű, egyes esetekben olyan részletekbe is belemegy, amelyek az összehasonlító elemzés megértését jobban elősegítik a témában kevésbé jártas olvasók számára is. Igyekszem bemutatni, hogy mennyire összetett egy-egy barlang térképezési folyamata, milyen ismeretekkel kell felvértezve lennie a térképező barlangásznak.

Dolgozatom fontos termékei, az összehasonlító elemzés eredményeit bemutató, azaz a geometriai és a tartalmi különbségek szemléltetésére készült térképek, melyek a szpeleokartográfiai ábrázolási módok tematizált változataiként jelennek meg. Ezen térképeket mellékletként tartalmazza a dolgozat.

Egy ilyen komplex munka elvégzéséhez egy egész szoftverparkot felsoroltató munkakörnyezetet kellene kialakítani (az operációs rendszertől az irodai csomagokon keresztül a különböző térinformatikai és vektorgrafikus szerkesztő programokig), melynek igen magas költségei lennének. Ezért megpróbáltam olyan, szabad felhasználású, nyílt forráskódú programokat alkalmazni, amelyekkel ugyanannyi idő alatt és legalább ugyanolyan minőségben el tudom végezni a feladatot, mint a költséges társaikkal. Ez példa lehet különösen olyan non-profit szervezetek számára, mint az egyes barlangász csoportok, egyesületek, ahol a barlangtérképezési munkálatok költségeit a tagok saját maguk állják.

1. Barlangtérképezés

A barlangi kutatómunka egyik alapvető feladata, hogy az adott barlangról megfelelő információt szolgáltató dokumentum készüljön. Ezen dokumentum elengedhetetlen kelléke a barlangtérkép. A barlangok megfelelő részletességű térképi ábrázolása nem csak térbeli kiterjedésükről, jellegükről nyújt információt, hanem topográfiai alapot képez a szpeleológiával határos szakterületek kutatásai számára is.

Egy barlang térképezési munkálatai igen hosszú időt és magas fokú precizitást igényelnek. A térképező barlangásznak nem csak lelkesedésére és a biztonságos barlangi közlekedés elsajátítására van szüksége, hanem szpeleokartográfiai és -metriai ismeretek megszerzésére is. Csak így készülhetnek pontos felmérésű, igényes barlangtérképek.

Egy barlang térképének elkészítéséhez az első dolog amit el kell döntenünk, hogy mi legyen a térkép célja, rendeltetése. Ez lehet egy alaptérkép, vagy túratérkép, esetleg valamilyen szakági mérési adatokat bemutató tematikus térkép. A célok meghatározása után foghatunk hozzá az adatgyűjtéshez.

A térkép elkészítéséhez kétféle forrásból gyűjthetünk adatokat, amelyeket elsődleges, illetve másodlagos adatforrásoknak nevezünk. Az elsődleges adatforrás esetén, a szükséges geometriai adatokat magunk határozzuk meg, azaz a térképezési munkálatok barlangfelméréssel (szpeleometria) kezdődnek. Tulajdonképpen ez a módszer nyújthatja a legmegfelelőbb adatokat, hiszen az egész adatszerzési eljárást kontroll alatt tarthatjuk. Viszont az is elmondható, hogy ezen eljárás a legköltségesebb. Másodlagos adatforrásból dolgozva olyan adatokhoz jutunk, amelyeket más határozott meg és dolgozott fel. Ezek lehetnek kész térképek, illetve valamilyen írásos dokumentumok (pl. koordinátajegyzék). Ezek felhasználása előtt mindenképpen meg kell győződnünk a megbízhatóságukról, és hogy mennyire szolgálják ki céljainkat. Dolgozatom második részében (az összehasonlító elemzésben) példát is láthatunk arra, hogy mennyire körültekintően kell kezelni a másodforrásból származó adatokat, térképeket, hisz azok igen sok hibával, különbözőséggel lehetnek terheltek, mind geometriai, mind pedig tartalmi szempontból.

Másodlagos adatforrásból gyűjthetünk adatokat az Országos Barlangnyilvántartásból, melyet a Természetvédelmi Hivatal Nemzeti Parki és Tájvédelmi Főosztálya vezet. Az itteni adatok megbízhatóságát a fellelhető dokumentumok, térképek benyújtásának előírásai biztosítják. A Hivatalon túl egyéb kutatócsoportoktól is hozzájuthatunk jó alapadatokhoz.

A továbbiakban szeretném bemutatni a barlangtérképezés két fő szakterületét:a

szpeleokartográfiát és a szpeleometriát. A két szakterület teljes egészében felöleli a barlangtérképezésekkel kapcsolatos eljárásokat, mind elméleti és gyakorlati szinten. A bemutatásban előre vettem a barlangábrázolással foglalkozó részt (Szpeleokartográfia) és csak utána tárgyalom a felméréshez (Szpeleometria) kapcsolódó dolgokat. Bár a térképezés munkafolyamatai alapján más sorrend lenne a követendő, de ha előbb látjuk, hogy mit, hogyan ábrázolunk, könnyebben válik érthetővé, hogy mit, hogyan mérünk.

1.1. Szpeleokartográfia

A barlangok összetett, szabálytalan felületekkel határolt üregek, melyek ábrázolása nehezen megoldható feladatot jelent. Ezen felületeket könnyen kezelhető matematikai formulákkal meghatározni lehetetlen. Távérzékeléses mérési módszerekkel megfelelő sűrűségű pontrendszert hozhatunk létre, melyek segítségével pontosan meghatározhatók a barlangot határoló felületek. De sajnos ezen módszerekkel csak ritkán rendelkezhetünk, ezért a barlangok tökéletes, aprólékos, 3 dimenziós ábrázolása általában nem szempont, így többségében 2 dimenzióban kerülnek bemutatásra. A barlangtérképek készítése sokszor inkább művészi feladat, mint matematikai. Ez különösen igaz a plasztikus barlangábrázolásokra.

Természetesen egy barlang geometriai ábrázolásának problémáin túl egyéb kérdések is felmerülnek. Azaz egy barlang térképi ábrázolásához szükséges tudni, hogy mi az adott térkép rendeltetése, milyen egyéb terepi objektumot, adatot hogyan, milyen módszerrel szeretnénk még ábrázolni, valamint milyen jelkulcsot használjunk.

A barlangok térképi ábrázolásával a szpeleokartográfia foglalkozik. Ezen speciális kartográfiai rész tudomány intézményi kialakulása elég fiatalnak mondható hazánkban. Az 1960-as évek elejétől kezdtek foglalkozni a barlangi ábrázolások kartográfiai problémáival, amikor is a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulaton belül megalakult a Szpeleokartográfiai Szakbizottság. Feladatának a barlangok felmérési és ábrázolási munkáinak koordinálását, valamint a szpeleokartográfia elméleti és gyakorlati továbbfejlesztését tűzte ki.

Sajnos a Szpeleokartográfiai Szakbizottság az elmúlt évek során megszűnt, így a barlangtérképezések továbbfejlesztése az egyes kutatócsoportokon belül folytatódik tovább, ezzel valamelyest gátat szabva az egységes felmérési és kartográfiai módszerek kialakításának. A térképezéssel foglalkozó kutatócsoportoknál többnyire a felmérés a központi kérdés, a kartográfiai oldalra kevésbé fókuszálnak. Talán ennek a következménye az is, hogy

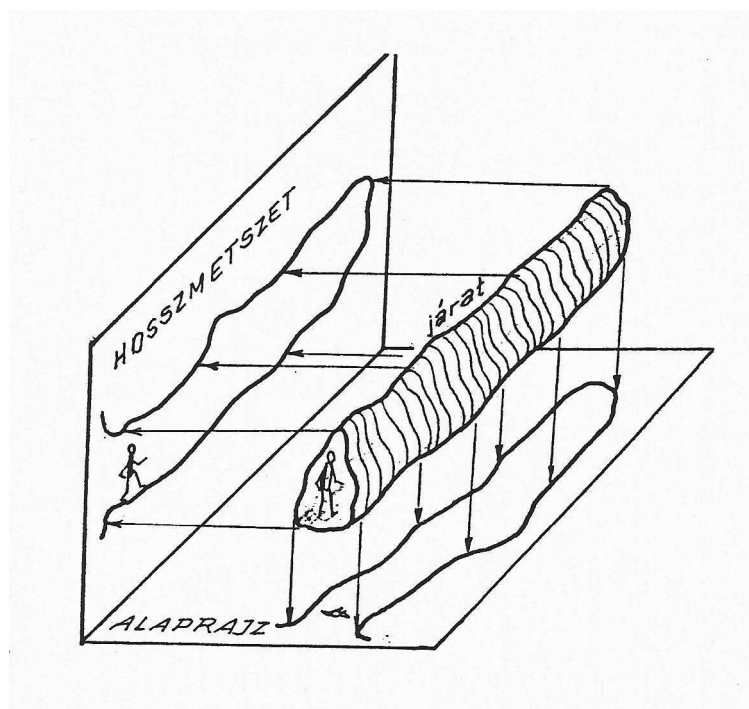
a barlangtérképezést taglaló szakirodalom több mint kétharmada a felmérés módszereit magyarázza. Csak kevés helyet szánnak a kartográfiai problémák bemutatására és megoldására annak ellenére, hogy az egyes kutatócsoportokon belül akár szülehetnek jó megoldások is.

A számítógéppel segített térképszerkesztés csak a 2000-es évek elejétől kezdett kibontakozni. Talán kijelenthető, hogy ma már minden barlangtérkép valamilyen vektorgrafikus szerkesztő programmal készül. Sajnos, hazánkban a geoinformatika alkalmazása a speleokartográfiában még igencsak gyerekcipőben jár. Elsősorban a hagyományos kétdimenziós, nyomtatott térképekre van igény. Ennek oka részben a szűkös költségvetés is lehet.

A továbbiakban a hagyományos barlangábrázolásokat szeretném röviden bemutatni

1.1.1. Három képsíkos vetítési eljárás

Az ábrázoló geometriából ismert módon a barlangok ábrázolására legáltalánosabban alkalmazott eljárás a három képsíkos vetítés módszere, mely alaprajzból, keresztmetszvényekből, valamint hosszmetsetekből áll.



1.1.1 ábra, A három képsíkos ábrázolás elvi bemutatása[Kárpát 1985]

Általános megfogalmazásban az alaprajz a barlangjárát vízszintes felületre vetített, méretarányosan kicsinyített képe, ahol a vetítősugarak merőlegesek a vetítési felületre. A hazai barlangok kis horizontális kiterjedése okán, a vetítési felületet szokás síkkal

helyettesíteni. Fontos tulajdonsága az alaprajzos ábrázolásnak, hogy a vízszintes vetületi felülettel párhuzamos irányok torzulás mentesek, míg ezen felülettel valamilyen szöget bezáró irányok torzulást szenvednek. Minél nagyobb a szög, annál nagyobb a torzulás mértéke is.

A fenti megállapítások abban az esetben érvényesek, ha barlangot önállóan, helyi koordináta-rendszerben (a mérés koordináta rendszerében) ábrázoljuk. Ha a barlangunkat el akarjuk helyezni egy térképen, akkor további vetítésekre lesz szükség. Azaz a vízszintes felületről, egy matematikailag zárt formában kezelhető, közvetítő felületre vetítjük. Ezen közvetítő felület lehet gömb, illetve ellipszoid. GPS méréseink során ellipszoidi, azaz földrajzi koordinátákat mérünk. A közvetítő felületről történik a térkép vetületi síkjára való vetítés. Ezek után barlang-ábrázolásunk már rendelkezik vetületi (térképi) koordinátákkal. Természetesen mindeközben valamilyen méretarányban történő kicsinyítést is végzünk. Tulajdonképpen eljutottunk a hétköznapi értelemben vett barlangtérképhez.

Az alaprajzos térkép legfontosabb eleme a barlang kontúrvonala. Ez általában a barlang legszélesebb vízszintes vetületi kontúrja. A térkép méretarányától, és rendeltetésétől függően ábrázolásra kerülnek a barlangjárat belső elemei. Ilyenek lehetnek a járat közlekedő szintjének megjelölése, az oldallejtők, különböző tereplépcsők, barlangi patakok, a jelentősebb formakincsek stb. feltüntetése.

Az vízszintes kiterjedésű barlangok esetében az alaprajzos térkép jelenti a főtérképet, a hosszszelvények illetve a keresztelvények csak kiegészítő elemek. A jellemzően függőleges kiterjedésű barlangok esetében a hosszszelvény is jelentős szerephez jut.

Kétféle hosszszelvényt különböztetünk meg. A vetített hosszszelvény, illetve oldalvetület a barlang függőleges síkra vetített, méretarányosan kicsinyített képe, ahol a vetítésugarak merőlegesek a vetítési síkra. A vetítési síkot általában érdemes a barlang, illetve barlangszakasz hossz tengelyével párhuzamosan felvenni. Bonyolultabb járatok esetén általában több különböző irányú hosszszelvényt is ábrázolunk.

A másik hosszszelvény típus a kifejtett, vagy kiterített hossz-szelvény. A vetítés ugyanúgy történik mint az előző esetben, csak itt a vetületi sík megtörik úgy, hogy az egyes síkdarabok párhuzamosak legyenek az adott barlangszakasz hossz tengelyével. Ezen hossz tengelyek általában a felmérés vázát képező sokszög vonal oldalait jelentik, és a sokszög pontoknál törnek meg a vetítési sík. Ezen ábrázolási móddal a barlang folyosók valódi hosszukban és lejtésükben, nulla vagy csekély mértékű torzulással ábrázolhatók, ellenben a vetített hosszszelvényt.

A keresztelvények képezik a harmadik vetítési síkot. A keresztelvény a járat tengelyére merőlegesen (közel vízszintes járatok esetében függőlegesen, vertikális kiterjedésű

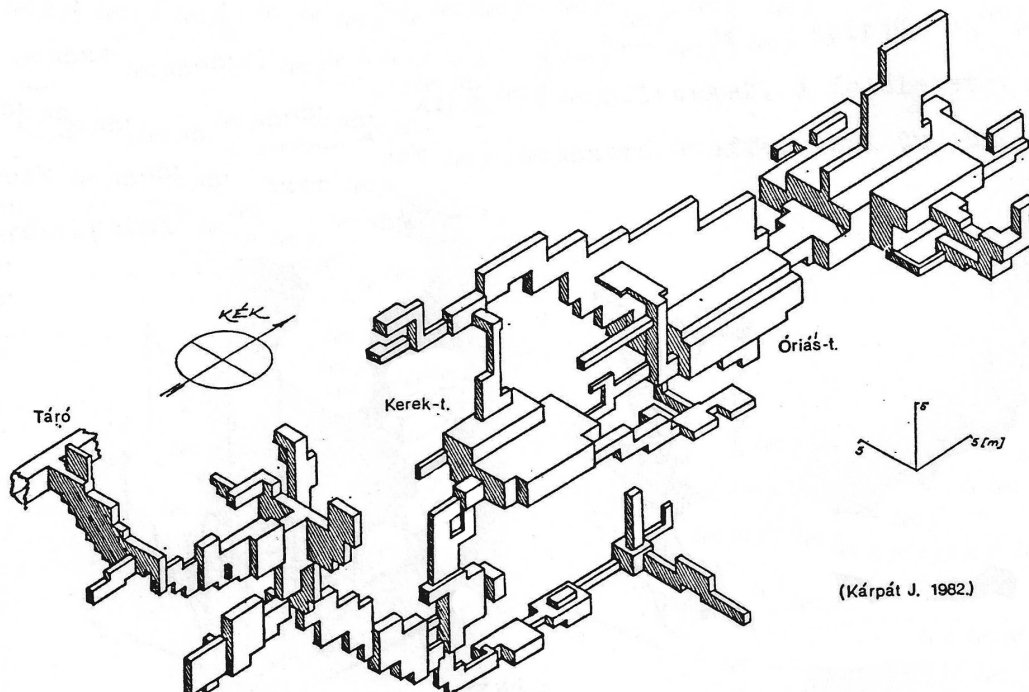
barlangoknál pedig vízszintesen), adott helyen felvett síknak a barlang falával zárt görbét alkotó, méretarányosan kicsinyített metszeti képe. A keresztmetszvények jól szemléltetik a barlang jellemző metszeti formáját.

Mind a hosszmetsetek, mind pedig a keresztmetszvények helye a barlang alaprajzos térképén jelölésre kerülnek.

1.1.2. Têrláttatós barlangábrázolások

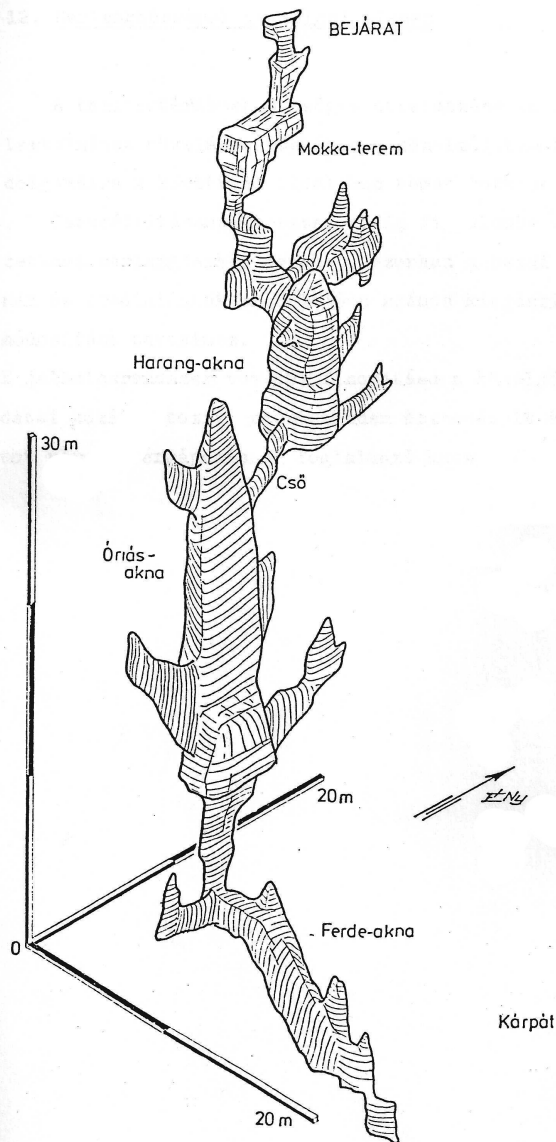
A barlangok térképi ábrázolása a fenti három képsíkos vetítéssel egzakt módon megoldható. Mindezen túl mindig is élt az az igény, hogy a barlangokat valamilyen térbeli ábrázolásmódban is szemléltessék. Ennek következményeként alakultak ki az úgynevezett izometrikus és plasztikus térhatású ábrázolási eljárások. Céljuk elsősorban a barlang szemléletesebb bemutatása, valamint térbeli kiterjedéseinek magasabb információ tartalmának biztosítása. [Kárpát 1985]

Az izometrikus ábrázolásnál a barlangüregeket egyszerű geometriai testekké redukáljuk, majd ezen testeket megpróbáljuk perspektivikusan a síkban ábrázolni. A geometriai testek élei párhuzamosak az egyes koordináta-tengelyekkel. [Kárpát 1985]



1.1.2a ábra, A Mátyás-hegyi-barlang Tűzoltó-ágának izometrikus ábrázolása [Kárpát 1985]

A plasztikus térrajz még jobban szemlélteti a barlang térbeli viszonyait és formáit, mint az izometrikus ábrázolás. Bár elkészítéséhez sokkal jobb kézügyesség és térszemlélet szükséges. Ha le akarnánk egyszerűsíteni, akkor azt mondhatnánk, hogy a plasztikus térrajz a barlang 5-10 méterenként felvett keresztmetszeteinek, perspektivikus ábrázolásának sorozatából áll.



1.1.2b ábra, Csengő-zsomboly plasztikus ábrázolása [Kárpát 1985]

1.1.3. Barlangtérképek típusai

Az elsődleges barlangtérkép a tisztázati-, vagy felmérési alaptérkép. A tisztázati név onnan ered, hogy a terepen, felmérés közben készült helyszínrajzról kerül átvezetésre, azaz letisztázásra. A tisztázati térkép a legnagyobb méretarányú térkép, ami az adott barlangról készül. Általában 1:100 illetve 1:200 körüli arány alkalmazott, de előfordulhatnak 1:50-es méretarányok is. Minden további térkép ezen térképből kerül levezetésre, így ennek kell a legrészletesebbnek lennie.

Az Országos Barlangnyilvántartás ezen térképekre az alábbi főbb formai követelményeket határozza meg: [Hegedűs-Szabó 2009]

- A barlang teljes járathálózatáról 1:100-as méretarányban alaprajzos térképet kell

készíteni.

- Az alaprajzos térkép mellé a fő járatszakaszokról, nagyobb oldalágakról hosszszelvény kell, hogy készüljön. Függőleges kiterjedésű barlangokról 1:100-as méretarányban vetített hosszszelvényt kell készíteni.
- A jellemző szakaszokról keresztelvényeket kell felvenni, minimum 25 méterenként.
- A mérési alapponthálózat állandósított pontjait számmal és magassági adatokkal fel kell tüntetni.
- A barlang ábrázolásánál a Nemzetközi Szpeleológiai Unió által elfogadott térképi jelkulcs használata kötelező. A kiegészítő jelkulcsok külön jelmagyarázatban feltüntetendők.
- Ha az alaptérkép több, vagy nagyobb méretű lapra készül, áttekintő térkép készítése kötelező.
- A térképlapokon fel kell tüntetni:
 - a barlang nevét,
 - a bejárat helyét és koordinátáit,
 - a méretarányt és a vonalas léptéket,
 - az alaprajzon az északi irányt, egyéb vetületi ábrázolásban a vetületi sík irányát,
 - a felmérők nevét és a felmérés dátumát,
 - valamint a barlang korábbi, vagy egyéb szinonim neveit.

A tisztázati térkép elkészítése mellé az áttekintő térképen kívül egyéb kiegészítő dokumentációt is készítenek. Ezen dokumentáció az adott barlang különböző szöveges leírását tartalmazza, mely röviden ismerteti a barlangot, különböző megfigyeléseket közöl, tartalmazza a felmérés körülményeit és eszközeit, a barlang alapadatairól informál, valamint bejárési útmutatóval is szolgálhat. Szokás még a barlangot árnyképként topográfiai térképre szerkesztve is ábrázolni.

A tisztázati térképből kerülnek levezetésre a kutatásokat segítő, a barlang jellegzetességeiből adódó különböző tematikákat felsorakoztató tematikus barlangtérképek. Ilyen térképek lehetnek – csak hogy a legfontosabbakat említsem – a barlangföldtani, tektonikai, hidrológiai, klimatológiai, régészeti térképek.

1.1.4. A barlangtérképek jelkulcsa

Mint minden térkép esetében itt is szükséges az alapvető térképi objektumoknak valamiféle egységes jelkulcs előírást követnie. A barlangi térképek esetében sincs ez másképp. 1953-ban az I. Nemzetközi Barlangkutató Kongresszuson megalakult az Egyezményes Térképjelek Bizottsága, mely felhívta az egyes országokat saját jelkulcs elkészítésére. Majd 1958-ban a II. Nemzetközi Barlangkutató Kongresszuson egy nemzetközi jelkulcs összeállítására tett kísérletet, [Tóth 1960]. A már eddig összeállított nemzetközi jelkulcs megtalálható a Nemzetközi Szpeleológiai Unió honlapján. Ezen lista időnként kiegészül újabb elemekkel, az egyes országok ajánlásával. Természetesen ettől függetlenül, minden nemzet kiegészítheti a saját országában található barlangok jellegzetességeit jobban bemutató térképjelekkel.

Hazánkban az 1960-as évektől a Magyar Karszt és Barlangkutató Társulaton belül megalakult Szpeleokartográfiai Szakbizottság irányításával indult meg egy egységes jelkulcs összeállítására való törekvés. A tervezett hazai jelrendszer mindenképpen igazodni akart a nemzetközi jelkulcshoz. Viszont hazánkban is vannak olyan barlangi jellegzetességek, ábrázolási hagyományok, szokások, melyekkel ki lehet és talán kell is egészíteni a nemzetközileg elfogadottat.

Mivel a barlangtérképek elsősorban terepi használatra készülnek, így a hagyományos térképi színek a különböző színhőmérsékletű mesterséges megvilágítás mellett nehezen lennének megkülönböztethetőek. Ezzel magyarázható az is, hogy a nemzetközi jelkulcs fekete-fehér. Így az esetlegesen színesnek készülő térképekre nincs semmilyen egységes koncepció.

1.2. Szpeleometria

Barlangok felmérésnek elméletével és gyakorlatával a barlangmérés tan, más néven a szpeleometria foglalkozik.

A barlangok felmérése egy speciális alsó-geodéziai feladat, mely a bányamérés tanban alkalmazott módszereket és eszközöket alkalmazza. Ha pontosabbak akarunk lenni, akkor azt mondhatjuk, hogy a barlangmérés tan a bányamérés tan egy speciális esete. A bányák felmérésénél egy mesterségesen kialakított, éppen ezért szabályos térbeli alakzatot kell térképeznünk. Ezzel szemben a barlangok természetes képződmények, azaz szabálytalan alakzatok. Természetességük persze nem csak a képződésükre vonatkozik, hanem a környezeti állapotokra is. A barlangok többségének bejárása is nehézségekbe ütközik, nemhogy még különböző geodéziai méréseket is végeznénk bennük. Éppen ezért a mérőeszközök, műszerek használhatósága korlátozott, és persze ezzel együtt a módszerek tárháza is leszűkül a bányamérés tanban alkalmazottakhoz képest. Olyan eljárások szükségesek amelyek a barlangi környezetben is megfelelő pontosságú mérést nyújtanak, valamint a mérések további feldolgozása is lehetséges.

Amíg a módszerek elvi háttere, ma már mondhatni teljesen kiforrott, addig mind az alkalmazott mérőeszközök, műszerek, mind pedig a mérések feldolgozása folyamatos változásban van, követve a technika fejlődését. Egyre pontosabb és megbízhatóbb méréseket produkálhatunk, melyeket közvetlenül számítógépre vihetünk, ezzel is megkönnyítve a további feldolgozást. Számítógépes programjaink segítségével méréseink matematikai feldolgozása mellett, ábrázolhatjuk is azok eredményeit, lehetővé téve barlangunk grafikus, illetve digitális térképi megjelenítését.

A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy a szpeleometria a felszín alatti természetes üregek, járatok alakjának és helyének különböző mérésekkel és számítási eljárásokkal való meghatározásával, illetve annak végrehajtásával, valamint a felmért alakzatok térképi ábrázolásával foglalkozik.

1.2.1. A barlangfelmérés pontrendszere

A térképezés célja határozza meg, hogy mely objektumok és milyen módon kerüljenek ábrázolásra. Viszont ehhez ismernünk kell az ábrázolni kívánt objektumok egymáshoz viszonyított helyzetét és geometriai alakját. Ezen információk megszerzésének céljából

geodéziai méréseket végzünk. Csakúgy mint a felszíni térképezésnél, a barlangokban is meghatározzuk a térképezni kívánt objektumok alakjelző pontjait. Ezen alakjelző pontokat részletpontoknak hívjuk.

Mielőtt a részletpontok meghatározásra kerülnének, létre kell hozni a felmérés vázát. Ezen vázat felmérési alapponthálózatnak hívjuk. A hálózatot alkotó alappontokat magasabb rendű mérésekkel határozzuk meg, alappontsűrítést végzünk. A felmérési alappontok elhelyezkedésének sűrűsége akkor a megfelelő, ha két egymást követő pont között az összelátás biztosított, valamint a két pontról vagy az őket összekötő mérési alapvonalról elvégezhető a térképezni kívánt objektumok részletpontjainak meghatározása. A barlangok zezgugos természeténél fogva a barlangi alapponthálózatokban az egyes alappontok közötti távolságok sokkal kisebbek a felszíni kialakításúakénál.

A felmérési alapponthálózatunk egy lokális koordináta-rendszerben van értelmezve. Ahhoz, hogy barlangunkat pontosan el tudjuk helyezni a Föld felszínén, egy magasabb rendű alapponthálózatba kell illeszteni. Ez értelemszerűen a felszínre kivezetett felmérési alapponthálózatnál lehetséges. A felszíni felmérési alappontjainkat GPS méréssel, vagy egy közeli magasabb rendű alapponthoz való csatlakozással tudjuk illeszteni a felszíni hálózathoz. Minél több helyen csatlakozik a felmérési alapponthálózatunk a felszínhez, annál pontosabb a felmért barlangunk térképi elhelyezkedése.

Míg részletpontjaink helyét maga a természet, illetve az ember építő és romboló tevékenysége jelöli ki, addig alappontjainkat magunknak kell megjelölni. Ez történhet állandó, illetve ideiglenes pontjelöléssel. Általában csak a fontosabb pontokat kell állandósítani. Ilyenek a barlangbejáratánál, elágazásoknál, végpontoknál elhelyezett alappontok, valamint azon helyeknél ahol valószínűsíthető, hogy mérési hálózatunkat később bővíteni kell.

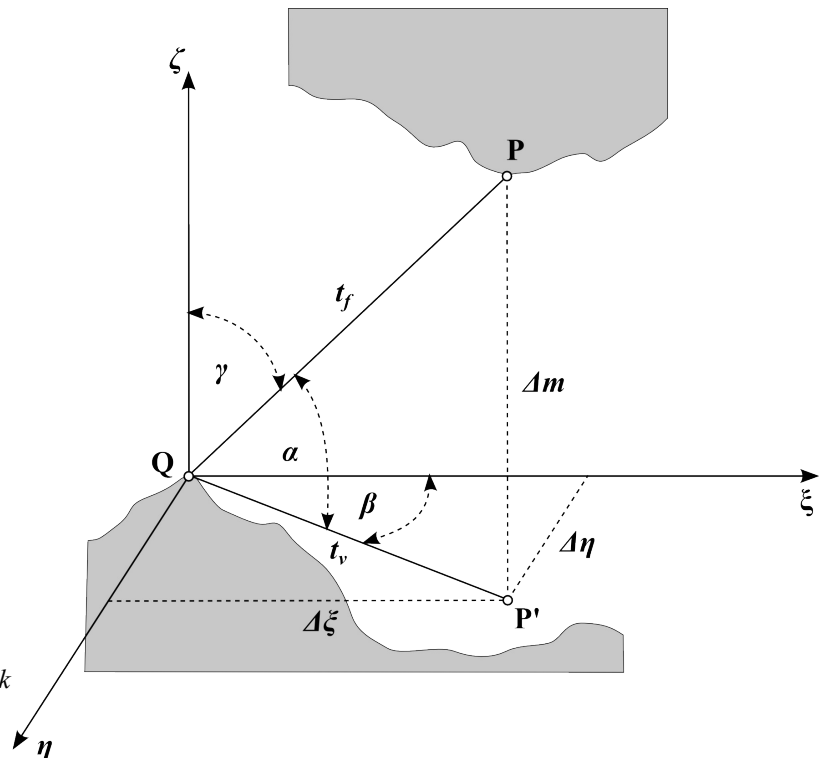
1.2.2. Mérési eredmények

A barlangban végzett geodéziai munkánk során, hagyományos módszereket alkalmazva (a távérzékelési eljárásokat most nem tárgyalom), méréseinkkel szög- és távolságértékeket határozunk meg.

Ismerünk vízszintes és magassági (vagy zenit) szögértékeket, attól függően, hogy a mért szög a vízszintes vagy függőleges síkban van értelmezve. Távolságok esetében is beszélhetünk vízszintes, ferde vagy függőleges távolságról. Ez utóbbit magasságnak illetve magasságkülönbségnek szokás nevezni. A derékszögű koordináta-rendszerben értelmezett

koordináták illetve koordináta-különbségek is távolság értékek egy kitüntetett kezdőpontból mérve. [Bácsatyai 2002]

α – magassági szög
 β – vízszintes szög
 γ – zenit
 ξ, η, ζ – helyi koordináta-rendszer
 $\Delta\xi, \Delta\eta$ – vízszintes koordináta
 különbségek
 Δm – magasságkülönbség
 t_f, t_v – ferde- és vízszintes távolság



1.2.2a ábra, Mérési eredmények

A vízszintes szögértéket a kezdőiránytól az óramutató járásával megegyező irányba mérjük. Ezt a szöget irányértéknek (I) szoktuk nevezni. A kezdőirány a mérőeszköz vagy műszer 0 beosztásának irányába mutat. Ha ez a kezdő 0 irányérték a földrajzi észak irányába mutat, akkor földrajzi azimutról (A_f), ha pedig a mágneses északi irányba, akkor mágneses azimutról (A_m) beszélünk. A térképi koordináta rendszer x tengelyével bezárt szög az irányyszög (δ). [Bácsatyai 2002]

A mágneses és a földrajzi északi irány által bezárt szög a deklináció (Δ). A mágneses irány időben változó, de iránya egy adott időpontra helytől függően meghatározható. Barlangi méréseink során, többnyire mágneses iránymérő eszközöket, műszereket használunk, ezért a deklinációval szinte minden esetben számolnunk kell.

A hálózati és a földrajzi észak (vagy dél) által bezárt szöget vetületi meridiánkonvergenciának nevezzük (μ). Értéke a vetületi egyenletek ismeretében egy adott pontra meghatározható. [Bácsatyai 2002]

A földrajzi azimut és a meridiánkonvergencia ismeretében az irányyszög az alábbi összefüggéssel állapítható meg:

$$\delta_{AB} = A_{AB} - \mu_A \quad (1.2.2a)$$

Ahol δ_{AB} A pontból a B pontba mutató irányyszög, A_{AB} az A pontból a B pontba mutató

földrajzi azimut és μ_A az A pontban meghatározott meridiánkonvergencia. Ha ismerjük a két pont koordinátáját, akkor az irányszögük meghatározható, és ha mérjük vagy ismerjük a földrajzi azimutot, akkor a 1.2.2a képlet átrendezésével meghatározható a meridiánkonvergencia.

A térképi és a mágneses irányokkal bezárt szög a mágneses tájékozó szög (θ). Úgy is definiálható mint a meridiánkonvergencia és a deklináció különbsége:

$$\Theta = \mu - \Delta \quad (1.2.2b)$$

Magassági szög alatt egy adott irány vízszintessel bezárt, függőlegesen mért szögét értjük, azaz a vízszintestől való elhajlását. Barlangi méréseknél ezt szokás hajlásszögnek (α) nevezni. A hajlásszöget 90 fokra egészíti ki a zenit (γ), amely a meghatározandó irányunk a függőleges tengellyel bezárt szöge.

$$90^\circ = \alpha + \gamma \quad (1.2.2c)$$

A magassági szög esetén a vízszintes a 0 érték. A vízszintes alá eső irány esetén negatív, fölé pedig pozitív szögértékű. Azaz:

$$+90^\circ \geq \alpha \geq -90^\circ \quad (1.2.2d)$$

A zenitszög csak pozitív értékű lehet, azaz:

$$0^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ \quad (1.2.2e)$$

Barlangi körülmények között végzett távolság mérések esetében a mért értékek, szinte mindig a ferde távolságot eredményezik (t_f). Ezen értékekből a magassági vagy a zenit szög ismeretében számíthatók a ferde távolság vízszintes és függőleges vetületi hosszai. A vízszintes távolság:

$$t_v = t_f \cdot \cos(\alpha) \quad ; \quad t_v = t_f \cdot \sin(\gamma) \quad (1.2.2f - 1.2.2g)$$

Magasság vagy magasságkülönbség:

$$\Delta m = t_f \cdot \sin(\alpha) \quad ; \quad \Delta m = t_f \cdot \cos(\gamma) \quad (1.2.2h - 1.2.2i)$$

Ha mérésünk közvetlenül a keresett mennyiségre irányul közvetlen mérésről beszélünk, míg ha a keresett mennyiség valamilyen függvénykapcsolattal határozható meg egy másik eredményből, akkor közvetett mérésről beszélünk. A mérés körülményeitől függően ugyanaz a mérés lehet közvetlen és közvetett is. [Csepregi-Tarsoly 2008]

1.2.3. A mérési hibák csoportosítása

A mérési hibákat 4 csoportba sorolhatjuk, úgy mint durva hibák, álhibák, szabályos (funkcionális) hibák és véletlen (sztochasztikus) hibák.

Durva hibáról beszélünk, amikor a mérési hiba nagyobb mértékű, mint az adott

mérőeszközzel illetve módszerrel elérhető, illetve elvárható hiba nagysága. Ezen hibák többnyire az emberi tényezőkön alapulnak, úgy mint hibás távolság vagy szögérték leolvasás, helytelenül megirányzott pont stb. [Csepregi-Tarsoly 2008]

Az álhiba szintén az emberi figyelmetlenség következménye lehet. Ezen hiba a közvetett mérési eredményeinknél fordulhat elő. Többnyire valamilyen számítási képlet nem megfelelő alkalmazásánál, vagy egyes paraméterek rossz behelyettesítésénél keletkezhet. [Csepregi-Tarsoly 2008]

A fenti hibák kiküszöbölésére méréseinket mindig gondosan tervezzük és hajtsuk végre. Nincs általános szabály a durva hibák elhárítására, de ha több olyan mérést is végzünk, mely a keresett mennyiség meghatározására több mint elegendő, azaz fölös méréseink is keletkeznek, akkor a durva hibák nagy valószínűséggel felderíthetők. [Csepregi-Tarsoly 2008]

A szabályos hibák funkcionálisan kimutatható módon, nyomon követhetően hatnak a mérés eredményére. Ezen ható tényezők lehetnek térben és időben változók, illetve állandók, de mindenképpen ismertek, illetve megismerhetők. Bizonyos esetekben a szabályos hibák elhagyhatók, ha tudjuk, hogy eredményeinket nem befolyásolja érdemben, ellenkező esetben a mérést korigálni kell. [Bácsatyai 2009]

A véletlen hibák ható tényezői általában ismeretlenek, számuk rendkívül nagy, előfordulásuk véletlenszerű, valamint mérési eredményeinkből kimutathatlanok. A véletlen hibák elkerülhetetlenek, méréseinket mindig terhelik. A mérések feldolgozásánál abból a hipotézisből indulunk ki, hogy mérési eredményeink normális eloszlásúak és függetlenek. A véletlen hibák a matematikai statisztika ismert eszközeivel kezelhetők. [Bácsatyai 2009]

Az egydimenziós normális eloszlás sűrűségfüggvénye:

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(u-U)}{2 \cdot \sigma^2}\right) \quad (1.2.3a)$$

ahol az U érték a normális eloszlású mérési eredmények valódi értéke, a σ a mérési eredmények szórása, az u pedig a mérési eredmény. Az i . mérési eredmény véletlen hibája:

$$\Delta_i = u_i - U \quad (1.2.3b)$$

A sűrűség függvényből is kimutathatók a Gauss-féle hibatörvények:

- Egyenlő nagyságú pozitív és negatív hibák előfordulásának valószínűsége egyenlő.
- A hibák előfordulásának valószínűsége a hibák nagyságának növekedésével csökken.
- A végtelen nagyságú hiba valószínűsége 0; valamint a legnagyobb valószínűsége a 0 nagyságú hibának van

Találkozhatunk a szabálytalan hiba fogalmával is, amit sokszor a véletlen hiba

szinonimájaként emlegetik. Tulajdonképpen a szabálytalan hibát a véletlen és a fel nem derített szabályos hiba alkotja. [Csepregi-Tarsoly 2008]

A szabályos és szabálytalan hibák összessége jelenti a valódi hibát. Másképpen megközelítve a valódi hiba egy meghatározandó mennyiség valódi értéke és a mérési eredményekből levezetett értékének különbsége. A valódi értéket általában nem ismerjük, így a valódi hiba csak elméleti fogalom. [Csepregi-Tarsoly 2008]

Fontos megjegyezni, hogy ha közvetlen méréseink hibával terheltek, akkor az a hibaterjedés törvénye alapján közvetett mérési eredményeinkre is kiterjed.

1.2.4. A felmérések matematikai feldolgoása

A geodéziai mérések matematikai feldolgoása alatt azon matematikai műveletek összességét értjük, amelynek végrehajtása során a mérések hibáiból eredő, ellentmondásokkal terhelt mérési eredmények felhasználásával ellentmondásmentes (kiegyenlített) adatrendszert hozunk létre, valamint meghatározzuk az ellentmondásmentes adatrendszer megbízhatóságát, pontosságát jellemző mérőszámokat. [Bácsatyai 2009]

Amikor egy adatrendszert ellentmondásmentessé teszünk, akkor kiegyenlítést végzünk. Ezen kiegyenlítés nem csak a mért mennyiségekre vonatkozik, hanem az azokkal valamilyen függvénykapcsolatban álló adatokra is. A kiegyenlítéssel csak az ellentmondások szűnnek meg, maguk a mérési hibák nem. Ez utóbbiak valamilyen matematikai módszerrel szétosztódnak az egyes mérések között. [Bácsatyai 2009]

Ha egy háromszög belső szögeit megmérjük majd a kapott mennyiségeket összeadjuk, akkor 180 foktól eltérő értéket fogunk kapni. Ezt nevezzük ellentmondásnak. Kiegyenlítéskor az egyes mért szögértékeket valamilyen feltételrendszer alapján javítjuk, úgy, hogy a kapott mennyiségek összege 180 fok legyen. Ezzel az ellentmondást megszüntettük, de a mérési hibák megmaradtak.

Az ellentmondások megszüntetésére végtelen sok megoldás kínálkozhat. Így olyan feltételek fogalmazódnak meg, mint hogy a javítások valamelyik függvényét minimalizálják. Az egyik ilyen minimalizálási elv Carl Friedrich Gausstól származik, mi szerint a javítások súlyozott négyzetösszege minimum legyen. Ezt nevezzük a legkisebb négyzetek módszerének. Csebüsev pedig az abszolút értékben legnagyobb javítás minimalizálását kötötte ki feltételként. A Gauss feltétele alapján meghatározott értékek a legvalószínűbb, illetve legmegbízhatóbb értékek. Az így kapott értékrendszert szokás a legvalószínűbb javítási értékrendszernek nevezni. Csebüsev feltétele alapján meghatározott értékeket pedig a

legkedvezőbb értékeknek nevezzük. [Csepregi-Tarsoly 2008]

A geodéziai gyakorlatban a legkisebb négyzetek módszerét (szigorú kiegyenlítés) alkalmazzák a legtöbbször. Ezen eljárás elméletében igen nehézkes, ezért gyakran szokták helyettesíteni valamilyen közelítő módszerrel. Barlangi méréseink feldolgozásánál szinte kivétel nélkül ez utóbbi alkalmazott. Ezen okból a legkisebb négyzetek módszerét nem részletezem a továbbiakban.

A közelítő kiegyenlítést szokás hibaelosztásnak nevezni. Ezen módszer jellemzője, hogy egyszerűbb és áttekinthetőbb megoldást nyújt mint a legkisebb négyzetek módszere. Hátránya viszont, hogy nem ad pontossági és megbízhatósági mérőszámokat, ellentétben a szigorú kiegyenlítés alkalmazásánál. A geodéziában leginkább a sokszögelési eljárásnál szokták alkalmazni.

A módszer lényege, hogy a meghatározandó mennyiségekre felállítunk egy pontossági kritériumot. Ami azt jelenti, hogy az alkalmazott mérőműszertől és mérési módszertől függően, valamint a körülményeket is figyelembe véve meghatározzuk a megengedhető hiba, illetve eltérés nagyságát. További kritérium, hogy ugyanazon mennyiség meghatározására a szükséges méréseken túl úgynevezett fölös méréseket is végezzünk. A fölös mérések segítségével a meghatározandó mennyiségünkre több eredményt is kapunk, melyek ha megfelelnek a pontossági kritériumnak, akkor egy egyszerű módszerrel, például átlagolással, meghatározható a kívánt eredmény.

A hibaelosztás név onnan ered, hogy ha egy meghatározandó mennyiséget közvetetten kapunk meg, és az eltér a kívánt eredménytől, de még hibahatáron belül, akkor az egyes mérési eredményeket megjavítjuk, úgy, hogy a kívánt eredményt kapjuk. Tulajdonképpen a hibát „szétosztottuk” az egyes mérések között. Egy korábbi példánál maradva, miszerint egy háromszög belső szögeit megmérve, majd összeadva az egyes értékeket, 180 foktól eltérő eredményt kapunk, az eltérés mértékét, a hibát, valamilyen egyszerű módszerrel „szétosztjuk” a mért szögek között.

1.2.5. Barlangi felméréseknél alkalmazott alappontsűrítési eljárások

Az alappontok sűrítése során a már meglévő alappontok közé illesztünk be újabb alappontokat. Ezen pontok fogják képezni a barlangtérképezésünk vázát, azaz ezen alappontokhoz illetve az általuk meghatározott alapvonalakhoz viszonyítva fogjuk meghatározni részletpontjainkat.

Az alappontok meghatározásának megvannak a főbb munkaszakaszai. Ilyenek az

előkészítés, tervezés, mérés és végül a számítás. Az egyes munkaszakaszok között nincsen éles határvonal, sőt sokszor egybeolvad két munkafázis. Az utóbbi különösen igaz barlangok felmérésekor. Sokszor előforduló eset, hogy térképezéskor fedeznek fel egy újabb barlangszakaszt, melyet azonnal fel is mérnek, gyakorlatilag egyben alkalmazva az egyes munkafázisokat.

Az előkészítés során adatgyűjtést végzünk. Ha már egy ismert barlanghoz szeretnénk az újonnan feltárt szakaszokat felmérni, vagy csak újra térképeznénk a barlangot, akkor össze kell gyűjtenünk a korábbi mérések adatait, térképeit. Az előkészítés folyamatába tartozik az ismert pontok felkeresése mind a felszínen és mind a barlangban, mellyel együtt a felméréndő szakaszokat előzetesen is bejárjuk.

A tervezés fázisa nagyban függ az előkészítés eredményességétől. Csak a megfelelő ismeretek birtokában lehetséges a felmérést jól megtervezni, tudniillik itt dől el, hogy milyen műszerrel és módszerrel kívánjuk a geodéziai munkálatokat elvégezni. A választott műszertől és eljárástól függően megbecsülhető a mérésünk várt pontossága és a mérésre szánt idő, valamint meghatározhatók a szükséges felszerelések.

A fenti két munkafázis mellőzése, illetve nem megfelelő kivitelezése nagyban növeli felmérésünk eredményességének kockázatát.

A tervezés fázisa után kerül sor a barlangfelmérés vázát képező alappontok és alapvonalak meghatározására, mérésére. A geodéziában az alábbi vízszintes alappontmeghatározási módszereket ismerjük:

- háromszögelés,
- sokszögelés,
- szabad álláspont,
- távérzékelés (fotogrammetria, 3D lézerszken),
- GPS.

A barlangok természeténél fogva a GPS pontmeghatározás szóba sem jöhet, bár a kezdőpontot, mely a barlangbejáratánál helyezkedik el, sokszor GPS segítségével határozzák meg. A többi módszer közül is a legelterjedtebb a sokszögeléses eljárás, valamint nagyobb termek esetén háromszögelést is alkalmazhatnak. A távérzékeléses módszerekkel egyre többször találkozhatunk, de túl költséges és bonyolultan kivitelezhető ahhoz, hogy a barlangi felméréseinknél sűrűn alkalmazhatnánk.

A továbbiakban csak a háromszögelést és a sokszögelést ismertetem röviden.

1.2.5.1. Háromszögelés

Háromszögelésen olyan vízszintes alappontmeghatározási eljárást értünk, amelyben az alappontokat összekötő egyenesek háromszögekből álló rendszert alkotnak. Az egyes háromszögeket különböző módon határozhatjuk meg.

Attól függően, hogy a hálózatban milyen értékeket mérünk, beszélhetünk

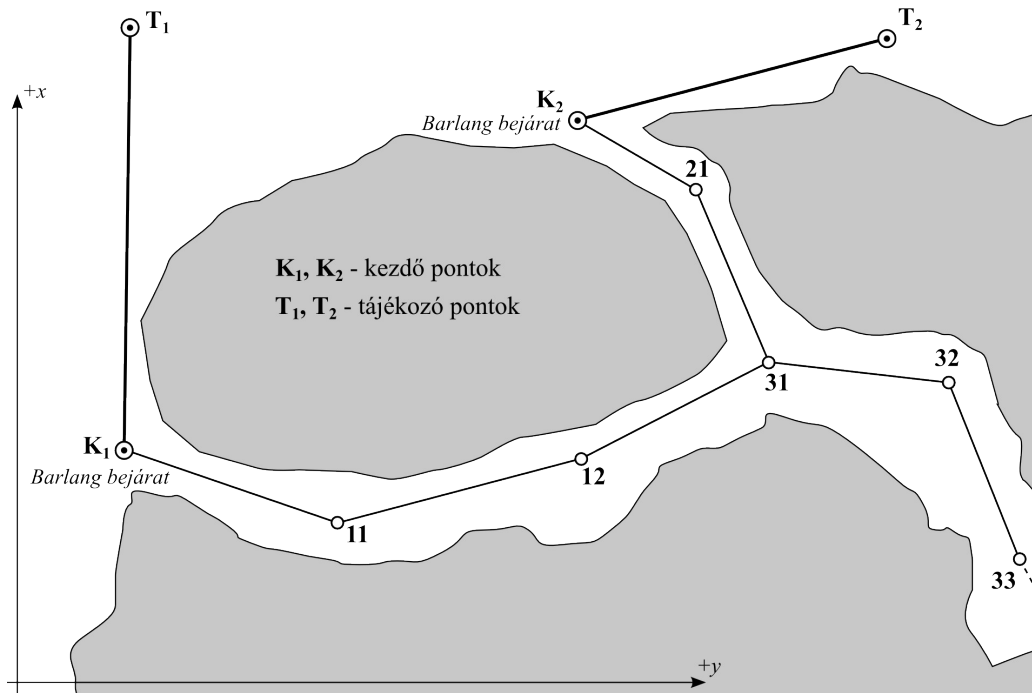
- szögméréses,
- irányméréses,
- távolságméréses,
- és vegyes (irány- és távolságméréses) háromszögelésről.

Mint fentebb említettem, barlangok felmérésénél a háromszögeléses módszerek alkalmazása csakis nagyobb termeknél lehetséges, ahol a létesítendő pontokról több pont is jól látható, azaz az alappontok által háromszögek határozhatóak meg.

1.2.5.2. Sokszögelés

Sokszögelésen olyan vízszintes alappontmeghatározási eljárást értünk, melyben a meghatározandó alappontokat a vetületi síkon láncszerűen összekötjük, majd mérjük az egymást követő pontok távolságát és az egyes pontokból kiinduló egyenesek egymással bezárt szögét. A kialakult alakzatot sokszögvonálnak nevezzük.

A sokszögvonal első és utolsó pontját kezdő- és végpontnak, a köztes pontokat töréspontoknak, illetve sokszögpontoknak, a töréspontok közötti egyeneseket sokszögoldalnak, valamint a sokszögpontokon mért szögeket (két szomszédos sokszögoldal által bezárt szöget) törésszögnek nevezzük. A sokszögvonalak keresztezhetik is egymást, a keresztezési pontot csomópontnak nevezzük.



1.2.5.2a ábra, Sokszögelési hálózat

A fenti meghatározás a teodolit típusú műszerek alkalmazásánál érvényes, ahol a műszerrel az egyes sokszögpontokon felállunk és iránymérést végzünk. Barlangi körülmények között ritkán van lehetőség ilyen műszerrel mérni, így ott többségében olyan műszereket alkalmaznak melyek az egyes sokszögoldalak mágneses északi iránnyal bezárt szögét határozzák meg. Ezen esetekben nincs szükség a törésszögek meghatározására.

Barlangi méréseink során ritkán van alkalmunk vízszintes távolságot mérni, így szinte mindig a ferde távolságot, majd pedig a lejtőszöget mérjük, melyekből meghatározható az adott sokszögoldal vízszintes vetülete, valamint a pontok magasságkülönbsége is. Ez utóbbiból is látszik, hogy barlangi sokszögeléskor a pontoknak nem csak a vízszintes vetületi koordinátáit határozzuk meg, hanem a magasságkülönbségeiket is. Bár a számításokkor a két érték meghatározása elkülönül.

A sokszögvonalak mérésekor a kezdő- és végpont általában ismert koordinátájú pont. Általános esetben az is elmondható, hogy mind a kezdő- és mind a végponton külön tájékozó irányokat mérünk, amelyek ellenőrzésül szolgálnak a törésszögek mérésére. Előfordulnak olyan esetek is – barlangi méréseink során szinte mindig – amikor nem tudunk tájékozó irányokat mérni, vagy esetleg a végpont koordinátái nem ismertek. A sokszögvonalakokat az alábbi csoportokba sorolhatjuk:

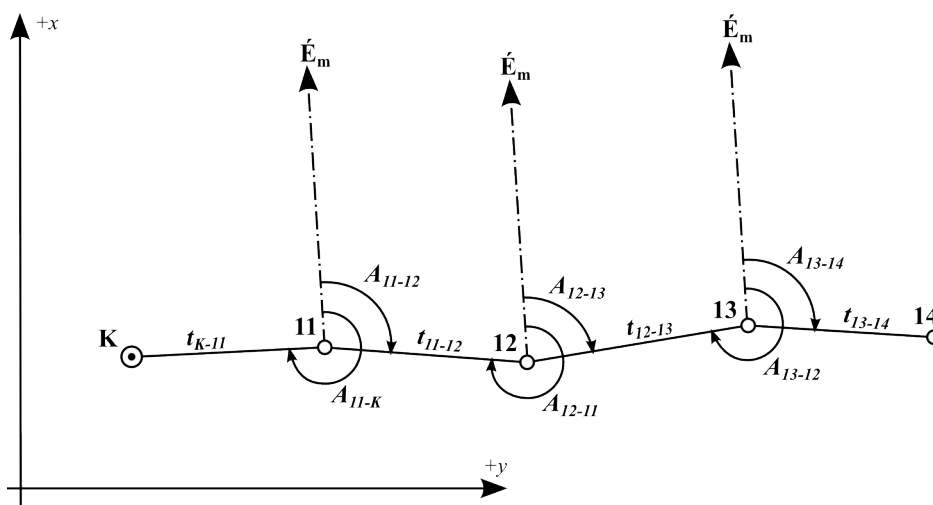
- Mindkét végén tájékozott (ismert a kezdő- és végpont, valamint tájékozó irányokat is mérünk rajtuk)

- Egyik végén tájékozott (ismert a kezdő- és végpont, de csak a kezdőponton tájékozunk)
- Beillesztett (ismert a kezdő és végpont, de egyik végén sem tájékozott)
- Szabad (csak a kezdőpont koordinátái ismertek, viszont tájékozó irányokat mérünk)

A barlangok elhelyezkedésénél és természeténél fogva, valamint az általánosan alkalmazott mágneses iránymérésű műszerek mérési sajátosságaiból adódóan, barlangi méréseink során a beillesztett és a szabad sokszögvonalt vezetést alkalmazzák. Továbbiakban ezt a két esetet tárgyalom a mágneses azimut mérésének módszerével.

Mindenek előtt érdemes megjegyezni, hogy a mindkét végén tájékozott sokszögvonalt mérési módszerénél a törésszögekre is van ellenőrzési mód, azaz számíthatjuk a szögzáróhibát. A többi eljárás esetében – a szabad sokszögvonalt kivételével – csak a koordináta- illetve a vonal-as záróhibát határozhatjuk meg.

1.2.5.3. A mágneses iránymérésű sokszögelés és feldolgozása



1.2.5.3a ábra, Mágneses iránymérésű sokszögvonalt

Ennél a módszernél a törésszögek helyett az egyes sokszögoldalok mágneses azimutját mérjük. Barlangi mérések további specialitása, hogy a pontok elhelyezését úgy oldják meg, hogy az ne akadályozza a barlangi közlekedést és fordítottan, azaz a barlangban való közlekedés ne érintse az alappontunkat, ezért a pontokon nem lehet műszerrel felállni. Ezzel is leszűkül a mérőeszközök köre. Az eljárást, ahogy a sokszögvonalt mérik huzagolásos módszernek nevezik. A módszer lényege, hogy két pont között egy zsinórt feszítenek ki, mely egy sokszögoldalt képvisel. Ezek után – általában valamilyen zsinórra akasztható műszerrel –

megméri az irányát (pl.: függőkompasszal), lejtőszögét (pl.: fokívvel) és a két pont ferde távolságát. A műszerek egyéb hibáinak kiküszöbölésére egyazon sokszögoldal adott mennyiségét többször is megméri.

Az töréspontok koordinátáinak meghatározásához ki kell számolni az egyes pontokról az azt követő pontra az irányszög értékeit. Ehhez meg kell határoznunk a mágneses tájékozó szöget (Θ) a már korábban ismertetett összefüggéssel.

$$\Theta = \mu - \Delta \quad (1.2.5.3a)$$

ahol μ meridiánkonvergencia, a Δ pedig a deklináció. Ezek ismeretében már kiszámíthatók az egyes irányszög értékek.

$$\begin{aligned} \delta_{K,1} &= A_{K,1} - \Theta \\ \delta_{1,2} &= A_{1,2} - \Theta \\ &\dots \\ \delta_{n,V} &= A_{n,V} - \Theta \end{aligned} \quad (1.2.5.3b)$$

Mint fentebb említettem, szögzáróhibát sajnos nem tudunk számolni, de ha a végpont ismert koordinátájú pont, akkor az előzetes koordináta értékekből számítható a vonalas záróhiba. A végpont előzetes koordinátái:

$$y'_V = y_K + \sum_{n=0}^n \Delta y'_{n,n+1} = y_K + \sum_{n=0}^n t_{n,n+1} \cdot \sin(\delta_{n,n+1}) \quad (1.2.5.3c)$$

$$x'_V = x_K + \sum_{n=0}^n \Delta x'_{n,n+1} = x_K + \sum_{n=0}^n t_{n,n+1} \cdot \cos(\delta_{n,n+1}) \quad (1.2.5.3d)$$

ahol y_K és x_K a kezdőpont koordinátái, $\Delta y'$ és $\Delta x'$ a töréspontok előzetes koordináta különbségei, t a sokszögoldal vízszintes vetületi hosszai, δ pedig az irányszögek értékei.

Majd számíthatók a koordináta záróhibák

$$\Delta y_Z = y_V - y'_V \quad (1.2.5.3e)$$

$$\Delta x_Z = x_V - x'_V \quad (1.2.5.3f)$$

illetve a vonalas záróhiba

$$d = \sqrt{\Delta y_Z^2 + \Delta x_Z^2} \quad (1.2.5.3g)$$

Ha ez a szám meghalad egy előre meghatározott értéket, akkor ki kell deríteni a hiba okát, esetleg a mérést meg kell ismételni. Ha viszont hibahatáron belül vagyunk, akkor a kapott koordináta záróhibákat szétosztjuk az egyes pontok között, méghozzá a számításukhoz használt sokszögoldal y -, illetve x - irányú vetületének hosszával arányosan. Ezután számítjuk a javított koordináta különbségeket

$$\Delta y_{n,n+1} = \Delta y'_{n,n+1} + dy_{n,n+1} \quad (1.2.5.3h)$$

$$\Delta x_{n,n+1} = \Delta x'_{n,n+1} + dx_{n,n+1} \quad (1.2.5.3i)$$

ahol a dy és dx az egyes pontokra eső javítások.

Majd meghatározzuk az egyes töréspontok közelítő kiegyenlítéssel kapott koordináta értékeit

$$y_{n+1} = y_n + \Delta y_{n,n+1} \quad (1.2.5.3j)$$

$$x_{n+1} = x_n + \Delta x_{n,n+1} \quad (1.2.5.3k)$$

Csomópontok koordinátáinak meghatározása

Csomópontokat a sokszögvonalak kereszteződésében létesítünk. Egy-egy csomópont akár 3-4 sokszögvonallal is csatlakozhat. Ezen pontokat úgy kell kezelni mintha az adott sokszögvonallal kezdő- vagy végpontjai lennének. Azon sokszögvonalkat, melyeknek végpontjaként csomópont szerepel szabad sokszögvonalként számítjuk. Így sokszögvonalként kapunk egy-egy koordinátapárt a csomópontunknak. Majd számítjuk a vonal záróhibát, mely ha egy meghatározott értéket nem halad meg, akkor a csomópont koordinátáit a sokszögvonalkénti koordináták súlyozott számtani közepeként számíthatjuk. A súlyokat általában a sokszögvonalak hosszával fordított arányban állapítjuk meg.

A mágneses iránymérésű sokszögelés pontossága

Méréseinkben állandóan jelen vannak a véletlen hibák. Barlangi méréseink során ezen hibák a sokszögvonallalunk kisebb elcsavarodását okozhatják. Az alkalmazott iránymérő műszer középhibája (μ_i) és az egyes sokszögoldalak átlagos hossza (t), illetve a töréspontok számából (n) meghatározható az elcsavarodás véletlen hiba által okozott várható, maximális középhibája. Azaz

$$\mu_{\text{össz}} = \sqrt{n} \cdot t \cdot \frac{\mu_i}{p} \quad (1.2.5.3l)$$

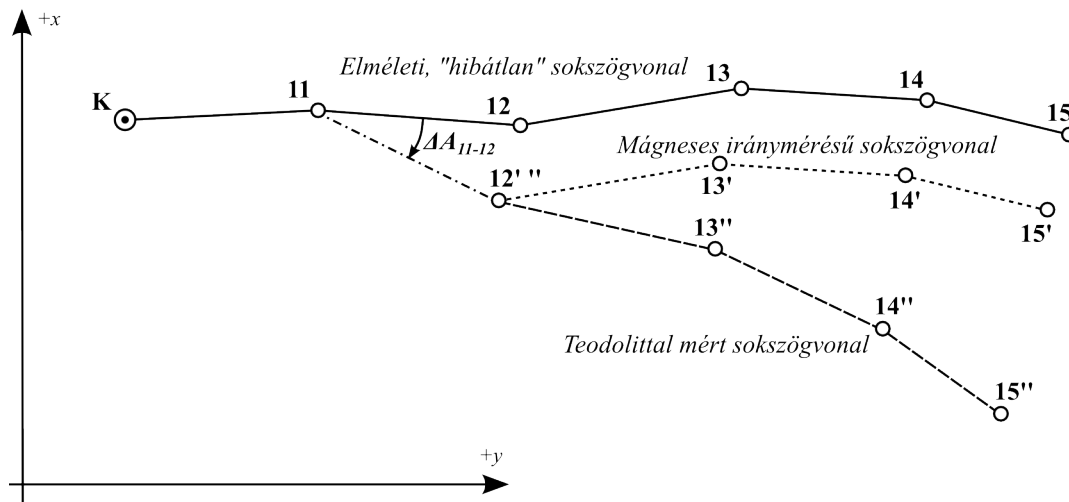
valamint a sokszögvonallal teljes hosszának függvényében

$$\mu_{\text{össz}} = \sqrt{\frac{1}{n}} \cdot L \cdot \frac{\mu_i}{p} \quad (1.2.5.3m)$$

ahol L a sokszögoldal teljes hossza, p pedig 1 egység a műszer középhibájának mértékegységéből radiánban kifejezve.

A képletekből levonható azon következtetés, hogy a középhiba mértéke annál kisebb, minél rövidebb sokszögoldalakat alkalmazunk.

A mágneses iránymérésű sokszögvonalak további jellegzetessége, hogy az egyes sokszögoldalok irányszögét a többitől függetlenül határozzuk meg, így az egyes oldalakon elkövetett iránymérési hibák nem befolyásolják az utána következő irányértékeket. Tulajdonképpen az oldalak iránya megmarad, csak bizonyos mértékkel eltolódik. Ellenben a teodolittal mért sokszögvonallal, ahol az iránymérési hibák összeadódnak. Az 1.2.5.3b ábra jól szemlélteti, hogy mekkora különbséget okoz a két eszközzel való mérés között egy drasztikusabb irányhiba.



1.2.5.3b ábra, A ΔA_{11-12} irányhiba okozta elcsavarodás teodolit és mágneses iránymérésű műszer esetében

1.2.5.4. Az alappontok magasságának meghatározása

A sokszögeléshez szükséges vízszintes távolságok meghatározására magassági-, illetve hajlásszöget is mérünk. Ezen szögértékeket természetesen a pontok közötti magasságkülönbségek meghatározására is felhasználjuk. A magasságkülönbségeket a korábban már bemutatott képlet alapján számoljuk

$$\Delta m = t_f \cdot \sin(\alpha) \quad (1.2.2h)$$

ahol t_f a ferde távolság, α pedig a hajlásszög.

A sokszögpontok magasságának meghatározásához a fenti vízszintes koordináta számításoknál alkalmazott elv alapján, szintén közelítő kiegyenlítéssel jutunk el. Azaz először meghatározzuk az ismert magasságú végpont előzetes magassági értékét, majd meghatározzuk a magassági záróhiba nagyságát. Ha a hiba meghalad egy bizonyos értéket, akkor a hiba okát fel kell deríteni, illetve a esetlegesen a mérést meg kell ismételni. Ha viszont értékhatáron belül van a hiba, értékét az egyes sokszögoldalok hosszának arányában elosztjuk. Az így kapott, javított magasságkülönbségekkel már számíthatók a pontok végleges abszolút magassági értékei.

1.2.6. A részletes felmérés

Miután a szükséges alapponthálózatot sikeresen létesítettük, hozzáfoghatunk a részletpontok meghatározásához. A barlangok ábrázolását többnyire három képsíkra vetítetten oldják meg, ezért a részletes felmérések is ezen vetületek figyelembe vételével készülnek. Azaz a részletpontokat úgy kell megválasztani, hogy eleget tegyenek a barlang hossz tengelyével párhuzamosan elhelyezkedő két vetületi képsíkon (alaprajz és hosszmetset), valamint a keresztshelvényeken való, megfelelő részletességű ábrázolásnak.

A részletpontok bemérésével párhuzamosan készül egy helyszínrajz. Természetesen a helyszínrajz előkészületeket is igényel, azaz a felmérési alapponthálózat pontjait és az azokat összekötő alapvonalakat a részletes mérés megkezdése előtt méretarány helyesen felszerkesztjük. Ez a helyszínrajz alapját fogja képezni. Általában nagyobb méretarányban készül, mint a belőle levezetett tisztázati rajzok, térképek. Az alaprajz és a hosszmetset vetületi síkjában külön-külön készülnek helyszínrajzok. A keresztshelvények spontán kerülnek felvételre.

A vízszintes (alaprajzi) és a függőleges vetületi síkban fel kell venni a barlang legszélesebb kontúrját. Ehhez néhány jellegzetes pont (kiszögelések, jelleghatárok alakjelző pontjai stb.) bemérése szükséges, melyek segítségével és szemrevételezéssel berajzolható a barlang kontúrvonal. A barlang egyéb terepi objektumai (letörések, aknák, omladék, tó, formakincs stb.) is felvételre kerülnek. Ezek többnyire az alaprajzi térképet gazdagítják, de a jelentősebbeket a hosszmetseten is szerepeltetni kell.

Kicsit eltér az előzőektől a keresztshelvények felvétele. E shelvényeket a barlangjárat tengelyvonalára merőleges síkban szokás felvenni. Ezen síkkal gyakorlatilag a barlangból kimetszünk egy körvonalat, mely az adott helyen a barlang kontúrvonalának pontjait jelöli. Ha a keresztshelvényeket sűrűn vesszük fel, akkor később nagyon jól alkalmazhatók a barlang térláttatós ábrázolásához. Sajnos sokszor nincs lehetőség, illetve idő a térláttatós rajzhoz szükséges shelvények felvételére, így csak a fontosabb, illetve jellegzetesebb helyeken szokás mérni.

A részletpontok bemérésének elvégzéséhez is többféle módszer adódik. A legtöbb részletpontot eredményező módszer a távérzékeléses eljárással készült felmérés. Ez lehet lézerszkennerek, illetve valamilyen fotogrammetriai eszköz. Mint korábban említettem ezen módszerek elég költségesek és körülményesek, így ritkán, illetve nagyobb költségvetésű projektek kapcsán alkalmazzák. A legelterjedtebb alkalmazások valamilyen távolság és iránymérési eljárás alapján alapszanak. Ilyen eljárások a

- a derékszögű,
- a poláris,
- valamint az előmetszéses és az ívmetszéses részletmérés.

A választott eljárás nagyban függ az alappontok elhelyezkedésétől is. Barlangfelméréskor többnyire az első két módszert alkalmazzák. Bárhogy is választunk, a lényeg az, hogy a részletes felmérés a legközelebbi alappont(ok)ról, illetve alapvonalról történjék.

A részletes felmérés rendkívül aprólékos munka. Ha a hagyományos elveket követjük, akkor némi művészi készséggel is rendelkezünk kell, hisz a barlang rajzolata már a terepen elkészül. Az irodában már csak a helyszínrajz letisztázására van lehetőség, ezért a terepen általában több minden kerül felvételezésre, nehogy kimaradjon valami, illetve ne az emlékezetünkre kelljen hagyatkozni.

1.2.7. A barlangi felmérés eszközei

A barlangban távolságokat és szögeket mérünk. Ezen mennyiségek meghatározásához speciális mérőeszközökre van szükség. A specialitás elsősorban nem a különlegességükre értendő, inkább a környezetre, amiben a mérést végezzük. Általában nehézkes és költséges egy-egy finom mechanikai műszert levinni, illetve barlangi körülmények között használni, ezért többnyire valamivel egyszerűbbeket használnak.

Távolságmérő eszközök

A távolság mérés egyik használatos eszköze a mérőszalag. Ezek általában acélból vagy műanyagból készültek, hosszuk 20, 30 vagy akár 50 méteres is lehet. 1 mm a legkisebb beosztás rajtuk, így a fél milliméteres leolvasás is elvégezhető. A szalagok a használatuk következtében, illetve hőmérséklet hatására megnyúlhatnak, ezért a megfelelő pontosság elérése érdekében időnként komparálni kell őket. Elsősorban mérőszalagot használnak alappontok meghatározásához.

Sűrűn alkalmazott eszközök még a lézeres és az ultrahangos távolság mérők. Ezen eszközök a kibocsátott lézerfény illetve ultrahang visszaverődésének idejét mérik, ami alatt a mérendő távolságot megteszik, és amelyből a kiszámolják a megfelelő hosszt. A lézeres távmérő mérési pontossága 1,5 és 3 mm közötti, míg az ultrahangos távmérő esetén a távolság 2%-a körüli. Ez utóbbi láthatóan nemigen alkalmas alappontok meghatározására. A lézeres

távolságmérő esetében is sok a bizonytalansági tényező, ezért alappontok meghatározására ez sem javasolt. A mérés eredményességét befolyásolja a páratartalom, mely ha igen magas, akár teljesen ellehetetleníti a mérést. Továbbá a mérőeszközzel csak világos (fehér) objektumok irányozhatók meg, mert a sötétebbekről nem megfelelően verődik vissza a fény. Hosszabb távolságok mérésekor a kézben tartás miatt nehézkes az irányzás. Részletpontok mérésére, illetve kisebb pontossági igény esetén rendkívül jól és gyorsan alkalmazható. [Hegedűs-Szabó 2009]

Iránymérés eszközei

Barlangi felmérések többségénél mágneses tájékozású iránymérő műszereket használnak. Mint fentebb kiderült, ezen mérőeszközökkel a rövid sokszögoldal alkalmazása nyújtja a legkisebb hibát. Hazai viszonylatban nincs nagyon lehetőség hosszú, akár 50-100 méteres sokszögoldal kialakítására, így indokolt ezen műszerek létjogosultsága. További fontos körülmény, mely már szintén említve volt, hogy barlangjaink természetéből fakadóan nehézkes azon műszerek alkalmazása, melyekhez műszerállvány szükségeltetik. Ha mégis lehetőség van műszerek alkalmazására, akkor a mágneses azimutot mérő busszola-teodolitok kerülnek előtérbe. A teodolitok sajátossága, hogy magassági szöget is lehet velük mérni, így szinte egyszerre elvégezhető a vízszintes- és magassági szögmérés. A busszola-teodolitok vízszintes körön való leolvasási élessége 1', míg a magassági szögé 20'.

A legtöbbet alkalmazott iránymérő eszközök a függőkompassz, a geológus kompassz és a Suunto irányszögmérő. Ezek közül a függőkompassz a legpontosabb, ezért az alappontmeghatározás elengedhetetlen műszere. Leolvasási pontossága 0,1-0,3°. A másik két műszer esetében ez 0,5-1°. [Hegedűs-Szabó 2009]

Ezen eszközök használata rendkívül nagy odafigyelést és koncentrációt igényel. Bármilyen egyszerű is legyen a használatuk, ezen egyszerűségüknél fogva sokrétű a hibázási lehetőség, különösen ha figyelembe vesszük az extrém körülményeket.

További fontos tényező, hogy a fenti műszerek igen érzékenyek a mágneses mezőkre. Ezért mágneses vihar esetében, valamint olyan környezetben ahol sok a mágnesezhető, illetve mágnesezett tárgy, ezen műszerek használata nem javasolt.

A mágneses azimut méréséből adódóan, ha csak nem helyi koordináta rendszert alkalmazunk, akkor a mért eredményeket mindenképpen korrigálni kell a deklináció, és esetleg a meridiánkonvergencia adott helyre eső értékével.

Lejtőszöget mérő műszerek

Ritka eset, hogy a mérendő pontok egy vízszintes síkon helyezkednek el, ezért a pontok közötti vízszintes távolság és a magasságkülönbség meghatározásához magassági- illetve lejtőszöget mérünk. Mint fentebb említettem a teodolit típusú műszerekkel a magassági szögek mérése egy időben elvégezhető a vízszintes irányméréssel. Ha ilyen műszert nem alkalmazhatunk, akkor a lejtőszöget a fokívvel, a geológus kompasszal, illetve a Suunto típusú lejtőszögmérővel végezhetjük el. A legpontosabb eredményt a fokív szolgáltatja, itt akár $0,1^\circ$ pontosságú leolvasás is elérhető. Alappontmeghatározás esetén ezen eszköz használata az indokolt. A másik két műszer általában csak részletpontok meghatározására alkalmas, pontosságuk $0,3-1^\circ$ között határozható meg. [Hegedűs-Szabó 2009]

Ezen műszerek használata is nagy odafigyelést igényel, az esetleges durva hibák elkerülése miatt.

2. Összehasonlító elemzés

Az elemzés során a Vár-barlang korábbi felméréseinek térképeit vetem össze a Burken Kft. által, 2010-2011-ben készült, nagy pontosságú lézer-szkenneres felmérés eredményeivel. A felmérés az alábbi területekre terjedt ki: a Bécsi kapu tér alatti barlangrendszer, a Táncsics Mihály utca két kiterjedt barlangpincéje, valamint a Nagylabirintus Országház utca 9. szám alatti termétől a korábban, 2011 nyaráig a Labirintus Kft. által üzemeltetett részig (ez utóbbi már nem szerepel benne). Az összehasonlító elemzés a geometriai és tartalmi különbségek feltárására és azok okainak megállapítására terjed ki.

A geometriai szempontú vizsgálat során elsősorban olyan különbségek felkutatása a cél, amelyek az adott kor alkalmazott, de speciális körülményekhez igazított módszerekkel (szpeleometriai) készült felmérések hibáiból, valamint az emberi tényező okozta eltérésekből (durva hiba) fakad. A tartalmi vizsgálat pedig az ábrázolt objektumok meglétének, illetve egyes térképlapokon való hiányának, valamint az üregek, barlangrendszerek térképen leolvasható alaki, minőségi változásának felkutatására terjed ki.

Sajnos a korábbi felmérések mérési adatai nem ismertek, így az összehasonlító elemzés az ezen felmérésekből levezetett térképekre szorítkozik. A térképek viszont csak alaprajzosan ábrázolják a barlangrendszereket és üregeket, ezért az elemzéshez elegendő volt a referenciaként szolgáló új felmérés adataiból levezetett, az egyes barlangokra vonatkozó, 2 dimenziós, alaprajzos, digitális térkép. A felmért barlangokról ezen térképeket a Burken Kft. a vizsgálat elvégzéséhez a rendelkezésemre bocsátotta. Továbbiakban ezen alaptérképek képezik az összehasonlító elemzések alapját, azaz a referencia barlangtérképeket.

A régi felmérések térképeit a Természetvédelmi Hivatal Nemzeti Parki és Tájvédelmi Főosztály barlangnyilvántartási rendszere, valamint Zádor Judit és Szabó Balázs kutató- és gyűjtőmunkájuk eredményeként előkerült térképi anyagok szolgáltatták. Ezen térképek szinte már mind digitalizáltak, azaz az eredeti papír alapú térkép szkennelt, raszteres formátumaként állt rendelkezésre.

2.1. Térképi alapanyagok

2.1.1. A referencia térkép

A Burken Kft. által alkalmazott felmérési technika következtében elmondható, hogy nemcsak maga a felmérés, de a belőle levezetett digitális térkép is a legpontosabb és

legrészletesebb, ami valaha készült a barlangról. Az összehasonlító elemzés elvégzéséhez kapott digitális térkép híven tükrözi ezen megállapításokat.

A térkép vektoros adatszerkezetű, mely CAD alapú szoftverrel készült, EOVI vetületi rendszerben. Az adatállományt dxf formátumban, strukturált rétegszerkezettel kaptam. Egy rétegre az azonos terepi objektumokat jelölő térképi elemek voltak besorolva. Így minden különböző kategóriájú elem külön rétegen volt megtalálható. A térkép több olyan objektumot is tartalmazott, melyek a többi térképpel való összehasonlító elemzéshez nem szükségesek, ezért ezen elemeket teljesen mellőztem. Tulajdonképpen csak azon kategóriájú objektumok ábrázolására volt szükség, melyek a vizsgálat tárgyát képező régi térképeken is megtalálhatóak voltak. Ennek következtében az alábbi objektumok (térképi rétegek) kerültek bele a referencia-térképbe: a barlang járószintjének és az egyes barlangszakaszok legszélesebb kontúrja, továbbá a lépcsők, ajtók, „szellőzők”, kutak és a kürtők.

A digitális térkép pontossága és részletessége meghaladta az elvárt szintet. Ezen tulajdonságainak köszönhetően az egyes térképi objektumok túl sok csomópontból álltak, melyek megnehezítették a velük való munkát. Ezért a vektoros térképi állományt generalizálni kellett. Erről egy a későbbi fejezetben részletesebben írok.

2.1.2. A korábbi felmérések térképei

Az elemzéshez 9 olyan térkép került felhasználásra, melyek korábbi felmérések eredményeit tükrözik és részben vagy egészben összevethetők az újonnan felmért területekkel. Ezen térképeket két nagy csoportba lehet sorolni. Az első csoportba azon térképek tartoznak, melyek a II. világháború előtt készültek, amikor is még a mai nagy összefüggő barlangrendszerek különálló kis barlangüregeket alkottak. A második csoportba pedig azon térképek kerültek, melyek már összefüggő barlangrendszerként ábrázolják az egyes barlangokat. Ezen csoportba található térképek elkészítése a II. világháború utánra datálható.

A vizsgálat tárgyát képező térképek többsége csak a Nagylabirintus nevű barlangrendszert ábrázolják, illetve egy a közelmúltban készülhetett térkép csak a Bécsi kapu tér alatt húzódó barlangrendszert mutatja be. Sajnos az új felmérésben szereplő Táncsics Mihály utca alatti barlangpincékről egy térkép sem készült korábban, mely a vizsgálatra alkalmas lenne.

A II. világháború előtti térképek

- *Schubert 1885-ös áttekintő térképe* (1.melléklet): Az első ismert barlangfelmérést Schubert Ignác végezte az 1880-as évek első felében. A felmérésről 1885-ben készült egy áttekintő „vázrajz”, mely az 1882 és 1884 között felvett sziklapincék elhelyezkedését mutatja be. Sajnos csak ez az egyetlen térkép található meg, mely a felmérés eredményét összefoglalóan bemutatja, így e térkép képezi a Schubert -féle felmérés tárgyát.

A Fővárosi Levéltárban található eredeti térkép ugyan színes, de az elemzéshez sajnos csak egy fekete-fehér másolat állt rendelkezésre. A „vázrajz” becsült méretaránya 1:1440. Érdekes a térkép tájolása is. Feltételezhetően az eredetileg használt Dél-Nyugati tájékoztató koordináta rendszert (+X tengely délre, a +Y tengely nyugatra mutat) körülbelül -50 fokkal elforgatták, hogy a lapon hosszanti irányban elférjen az ábrázolni kívánt terület.

A térkép a tartalmi és a jelentős méretarány különbsége miatt geometriai összevetésre nemigen alkalmas. A tartalmi vizsgálat is csak korlátozottan végezhető el, mert a barlangüregek ábrázolása kissé hiányos és vázlatos.

- *Szontagh 12-es szelvénye 1908-ból* (2.melléklet): Schubert felmérését Szontagh Tamás is felhasználta az Alagút víztelenítési munkálatainak segítésére. Azt nem tudni, hogy a korábbi felmérést egy az egyben átvette vagy valamelyest átdolgozta, illetve kiegészítette volna. Annyi bizonyos – egy 1:2000-es méretarányú áttekintő térkép alapján – hogy nagyszabású munkájához a Várnegyed 22 részletes térképszelvényre osztotta. Az áttekintő térkép az Alagutat és annak környezetét, illetve az ott elhelyezkedő várbéli üregek egy részét ábrázolja. A szelvények közül csak a 12-es számú került elő ezidáig. A szelvény 3 hektárnyi területet fed le, bemutván a Szentháromság utca alatti, illetve annak környezetében elhelyezkedő pincéket, barlangokat. A jobb alsó sarkában lévő pecsét arról tanúskodik, hogy 1938 környékén a Budapesti Légoltalmi Műszaki Hivatal a tulajdonában volt, feltételezhetően a többi szelvényvel együtt. A méretarány hibásan van feltüntetve, azaz nem 1:720, hanem körülbelül 1:250 mérték határozható meg.
- *1927-es tanácsi térkép* (3.melléklet): Ez a térkép a felszín alatti vízáramlás irányait és

azok mérési pontjait mutatja be. Az alapját a „Székesfővárosi Tanács III. ügyosztálya által 1927 június hóban kiadott térképe” képezi. Feltételezhető, hogy a tanácsi alaptérkép a Szontagh szelvények egy újabb reprodukciója. A térkép 1:1440-es méretarányban mutatja be az akkor ismert (Schubert által) Várnegyed alatti pincebarlangokat. Tulajdonképpen ez a térkép nyújtja a legteljesebb áttekintést az átépítések előtti időkből, bár a barlangüregek ábrázolása kissé vázlatos.

A II. világháború utáni térképek

- *Polgári védelem 1951-es térképe* (4.melléklet): A II. világháború utáni időszak első előkerült térképe 1951-ből származik. Erre a térképre rányomták, hogy „Titkos”. Feltételezhetően a polgári védelmi szervek rendelték meg a Várnegyed barlangjainak újbóli felmérését. Ez annál is inkább fontos lehetett, mert ez a térkép mutatja be először a nagy átépítések, összeköttetések utáni állapotokat. Tulajdonképpen egy megvalósulási térképként is felfogható. Méretaránya 1:720. Sajnos a térkép sok helyen rosszul olvasható, pedig rengeteg információt tartalmazna a felmérésről. Ilyen például a sokszögvonala hálózat és azok pontjai. A térkép szélén táblázat mutatja az egyes pontok tengerszint feletti magassági adatait, sajnos az XY vetületi koordinátákat nem. A másik probléma a fentebb említett olvashatóság, mert e pontok számai sok helyen nem kivehetőek, illetve az elmosódottság miatt a tartalmi összehasonlítás is csak részben végezhető el.
- *Polgári védelem 1960-as években készült térképe* (5.-6.melléklet): Talán kijelenthető, hogy a Nagylabirintus eddigi legrészletesebb és talán legpontosabb felmérésének térképe, mely az idő során fennmaradt. A térkép hat szelvényből rakódik össze. Az egyes szelvények illesztő vonalak mentén illeszthetőek egymáshoz. Csak a barlangot ábrázolja, a felszínről nem tartalmaz információt. Néhány helyen a közterület nevek fel vannak tüntetve, de minden felszíni síkrajzi elem nélkülözve van. Valószínűleg ezt is a polgári védelmi szervek rendelték és titkosították. Nagyméretarányú térkép, körülbelül 1:380. A térkép segítségével az egyes objektumok (pl.: kutak), illetve feltöltött, leválasztott barlangtermek nagyon jól felkutathatóak. Ezen tulajdonságai által került be az összehasonlítandó térképek soraiba, valamint az egyéb kutatások terén alapként szolgálhat. A térképszelvények összeillesztésre kerültek, és két részben lettek beszkenelve („A” és „B”).

- *FŐMTERV 1984-es térképe (7.-8.melléklet):* Az 1980-as évek elején a Várnegyed területén, sok helyen útbeszakadások, berogyások keletkeztek, melynek következtében a Fővárosi Mélyépítési Tervező Vállalat részletes tanulmányt készített a területről, illetve az itt elhelyezkedő barlangpincékről. Ennek következményeként készült 4 „rajzmelléklet”. Az egész Várnegyedet 2 szelvényre bontva ábrázolja, két tematikában. Mivel az 1. és 2. számú rajzmellékleten elsősorban a közművezetékek elhelyezkedését mutatja, illetve csak 3. és 4. számú rajzmellékleten kerül előtérbe a barlang ábrázolása, ezért csak ez utóbbi kettő képezi a vizsgálat tárgyát. A vizsgált térképek elég részletesek, jelölve a barlangfal erősítéseket, kutakat, szellőzőket, valamint a teremszámolásokat. Néhány helyen megjegyzéseket is találunk az egyes termek állagára vonatkozóan.
- *Bécsi kapu tér 1990-es években készült térképe (9.melléklet):* Ez az egyetlen olyan térkép, ami a Bécsi kapu tér alatti üregrendszert a legnagyobb részletességgel ábrázolja. Sajnos se dátum, se más, a térképre vonatkozó információ (pl. méretarány) nem található rajta. Feltételezhető, hogy a közelmúltban készülhetett ('90-es évek). A térképre egyéb, a barlang állagára vonatkozó információ is felkerült. Bár koordináták nem találhatóak, mégis az egyes helyeken a főte és a talpazat abszolút magassága megírásra került. Továbbá teremszámolásokat is felfedezhetünk. Jó alapot nyújt a tartalmi összevetésre.

2.2. A vizsgálat módszerei

Az egész összehasonlító vizsgálat egy igen egyszerű eljárásról alapszik. Kihasználva, hogy a referencia barlangtérkép vektoros adatformátumú és szinte teljesen vonalas elemek alkotják, a vizsgálat tárgyát képező raszteres térképeket egyszerűen a referencia térkép alá kell illeszteni, és a különbségek máris regisztrálhatók. Az összeillesztésén viszont nagy hangsúly van. A tartalmi különbségek felderítéséhez, nem különösebben fontos, hogy a térképek egymáshoz illesztése milyen minőségben történik. Viszont a geometriai különbségek vizsgálatához fontos, hogy az illesztés során az eredeti „térképlap” milyen torzulásokat szenved a transzformációk sorozatában. Az összeillesztéshez a vizsgált a térképeket a referencia-térkép vetületében értelmezett koordinátákkal kellett ellátni, azaz georeferálni

kellett.

Az összehasonlító elemzés elvégzéséhez elengedhetetlen az összeillesztett térképek megfelelő megjelenítése. Erre a célra a Quantum GIS tűnt a legmegfelelőbbnek a rendelkezésre álló szoftverek közül. Az elemzések elkészítéséhez, azaz ahhoz, hogy megfelelően kezelhetők és megjeleníthetők legyenek, némi előkészítő munkát igényeltek a térképek.

2.2.1. A térképek előkészítése

2.2.1.1. A referencia barlangtérkép előkészítése

A referencia barlangtérkép dxf formátumban állt rendelkezésre. A Quantum GIS csak a shape fájlokat és a GRASS állományait tudja kezelni, ezért át kellett konvertálni azokat. Sajnos a közvetlen konvertálás, illetve a rendszerbe való importálás nem volt megoldható, mert bár a Quantum GIS-nek van dxf importáló modulja, de a több rétegből álló dxf állományokat nem tudja megfelelően kezelni, valamint a QCAD képességei is szerények voltak ahhoz, hogy a megfelelő adatformátumot kinyerjem belőle.

A GRASS dxf konvertáló moduljával megoldhatóvá vált a probléma. Tehát az adatokat először beimportáljuk GRASS rendszerébe, majd ezen állományok már a Quantum GIS-ben is megnyithatók, valamint megfelelően kezelhetők. Sajnos ezen út sem volt zökkenőmentes. Néhány ponton már úgy tűnt, hogy csorbát szenved azon elképzelésem, hogy az egész munkát szabad felhasználású szoftverekkel készítsem el.

A dxf állomány rétegneveiben voltak ékezetes betűk, melyeket a GRASS nem ismer fel, így az importálás sem volt elvégezhető. Ezt persze könnyű volt orvosolni, a QCAD-ban egyszerűen át kellett írni a rétegneveket. A másik probléma az volt, hogy az összetett geometriai elemeket nem ismerte fel a GRASS. Hogy pontosan milyen elemek voltak ezek, azt sajnos nem igen tudtam megállapítani, feltehetően a Microstation által előállítható speciális, összetett objektumok lehettek. Többségében a kürtöket ábrázoló térképi objektumok között lehetett ilyeneket találni. Mint a bevezetőben írtam a QCAD tulajdonképpen a dxf fájl megjelenítésére volt igazán alkalmas. Sajnos sok olyan funkcióját nem tudtam igénybe venni, amik normál körülmények között elérhetőek lettek volna. Így a fent említett problémás objektumokat sem tudtam kezelni, más vektoros állománnyá sem tudtam átalakítani. Szerencsére raszteres formátumba sikerült kiexportálnom. Ezen raszteres állományok viszont nem tartalmaztak georeferencia adatokat, így a többi, elemzendő térképpel együtt ezeket is

georeferálni kellett, majd utána vektorizálni a szükséges objektumokat. Ezen műveletek már a Quantum GIS-ben történtek.

A sikeresen beimportált vektoros adatok túl részletesek voltak, illetve túlságosan sok csomópontból (node) és néhol – az egyébként összefüggő vonalas elemekből álló objektumok – egészen apró részekre feldarabolt vonalszakaszokból álltak. Ezen szerkezetű állománnyal való munka igen csak leterheli a gépet, valamint a később nyomtatásra kerülő térkép vektorgrafikus szoftverrel való kezelését gyakorlatilag ellehetetleníti, annak ellenére, hogy a monitoron való megjelenítésük teljesen megfelelő volt. Így a node-k számát le kellett csökkenteni, valamint az egybe tartozó vonaldarabokat össze kellett vonni. Ezen műveletek félautomatikus módon működtek. Sajnos sok helyen bele kellett nyúlni, valamint teljes egészében felügyelni kellett a folyamatot.

A GRASS-ban letisztázott vektoros adatok már gond nélkül megjeleníthetőek voltak a Quantum GIS számára. Ezen állományokat a teljesség kedvéért shape formátumba konvertáltam. Ezekhez kerültek a raszteres állományokból vektorizált objektumok is, mellyel elkészült az új felmérés szelektált elemeiből álló, koordináta helyes, digitális térképe, mely az alábbi objektum csoportokat tartalmazta: a barlang járósíntje, a barlang legszélesebb kontúrja, lépcsők, ajtók, kürtők és kutak.

Tulajdonképpen a referencia-térkép az összehasonlító elemzés elvégzésére alkalmassá vált. Ezen térkép alá kerültek megjelenítésre a vizsgálat tárgyát képező régi térképek, melyeket georeferálni kellett.

2.2.1.2. A vizsgálat tárgyát képező régi térképek előkészítése, georeferálása

Az összes vizsgálandó térképet szkennelt, raszteres formátumban sikerült megszerezniem. Tulajdonképpen másképp nem is juthattam volna hozzájuk. Ez azt a problémát vetheti fel, hogy nem ismerem a szkennelés körülményeit, így csak bízhatok benne, hogy a művelet során nem szenvedtek jelentős torzulást. Sajnos az 1960-as polgári védelmi térkép „b” részének baloldali, rövid oldala láthatóan torzult a szkennelés során. Szerencsére csak kis részét érintette a hasznos résznek.

Egyetlen előkészületi munkát igényeltek a térképek, a referencia térképhez való illesztést. Az eljárást mely a megfelelő illeszkedést lehetővé tette georeferálásnak hívjuk.

A georeferálás tulajdonképpen azt jelenti, hogy a szkennelt térképek képpontjaihoz georeferencia adatokat, azaz vetületi koordinátákat rendelünk. Kezdetben a szkennelt,

raszteres térképek képpontjainak csak a „lapra” vonatkozó síkkoordináta rendszerben értelmezett, úgynevezett pixelkoordinátái vannak. Ezen pixelkoordináták egy a „térképlapra” érvényes síkkoordináta-rendszert határoznak meg. Általában a kép bal felső sarka az origó. Egy képpont pixelkoordinátáit úgy kapjuk meg, hogy megnézzük hány pixel távolságra van az origótól. Minden pixel 1-1 növekményt jelent a kezdőponttól.

Egy szkennelt térkép georeferálása után a térkép egyes képpontjainak nem csak pixel-, hanem vetületi koordinátái is lesznek. Ahhoz, hogy ezen megfeleltetés létrejöjjön illesztőpontokat (GCP; Ground Control Point) kell meghatározni. Minden illesztőpontnak megadjuk a képi pixelkoordinátáit, valamint térképi vetületi koordinátáit. Majd a programunk, mely a georeferálást végzi, ezen illesztőpontokhoz próbálja a lehető legjobban illeszteni a vetületi koordináta rendszert. Tulajdonképpen egy egyenközű négyzetháló kerül illesztésre, melyet – attól függően, hogy milyen eljárással történik – különböző transzformációk érik a jobb illeszkedés reményében. Az illesztés minőségének eredményéről az egyes illesztőpontokon mért eltérések, hibák informálnak minket.

A megfelelően pozicionált háló hozzárendelődik a raszteres képünkhöz is, így elértük, hogy képünknek minden képpontjához vetületi koordináta is tartozzék. De, mivel maga a négyzetháló – mely a vetületi koordináta-rendszerünket jelképezi – torzul a transzformációknak köszönhetően, ezért azt vissza kell transzformálni, hogy az eredeti vetületi koordináta hálót megkapjuk. Persze nem csak maga a háló, hanem a hozzárendelt raszteres kép is vele transzformálódik. Ez utóbbi műveletet rektifikációnak hívjuk.

Hogy milyen transzformációk kerülnek alkalmazásra, az a választható eljárásoktól függ. A legnépszerűbb eljárás a polinomiális illesztés. Ennek három típusa ismeretes: a lineáris, másodfokú és harmadfokú illesztés. A szkennelt térképek esetén a lineáris eljárás a leggyakrabban alkalmazott. Ezen esetben csak lineáris transzformációkkal (eltolás, kicsinyítés, nagyítás, forgatás) kerül illesztésre a négyzetháló. Fontos tulajdonsága, hogy a rektifikáció után a raszteres képen lévő egyenesek egyenesek maradnak, valamint a párhuzamosság is megőrződik. A másik két polinomiális eljárás ugyan jobb illeszkedést eredményez, de az illesztőpontok közötti hibák is nagyobbak lesznek, valamint az előző eljárás egyenesekre és párhuzamosokra vonatkozó tételei itt nem érvényesek.

Fontos, hogy az illesztőpontok helyét miként választjuk meg. A legjobb megoldás, ha a szkennelt térképünkön megtalálható a vetületi koordináta-rendszer egy-egy vonala, vagy azok metszéspontja (örkeresztek). Ez esetben ezek jó illesztőpontokként szolgálnak. A következő lehetőség, ha a földrajzi fókuszát ábrázolja a térkép. Itt is a metszéspontokat definiálhatjuk illesztőpontként. Illetve még egy pontos megoldás, ha a térképlapunk

szelvényezett és ismerjük a szelvényezését, akkor a térképkeret sarkai szintén megfelelőek illesztőpontnak.

Ha térképünk a fenti elemek egyikét sem tartalmazza, akkor a jól azonosítható terepi objektumok is szolgálhatnak illesztőpontként. A hozzájuk tartozó koordinátákat pedig valamilyen adatbázisból, vagy terepi méréssel meghatározhatjuk. Megjegyzendő, hogy ezen megoldás adja a legrosszabb eredményt, mert a szkennelt térképünkön ábrázolt objektum pontosságát befolyásolja a térképi generalizálás, valamint az elnagyolt, vázlatos rajzolás is.

További fontos momentum, hogy a georeferálás a térképünk vetületében történjen. Ha mégis más vetületi rendszerbe szeretnénk transzformálni a térképünket, mint amiben készült, akkor a rektifikáció során megadható a cél vetület is.

A vizsgálandó térképek egyike sem tartalmazott vetületi illetve földrajzi koordináta értékeket, valamint jól azonosítható alappontokat sem, melyek számadataiból következtetni lehetne a térképek vetületére. Mivel a térképek nagy méretarányúak, valamint a térképezett terület (és egyben a vizsgált terület is) befér egy 600m sugarú körbe, így a vetület megállapítása nem volt fontos. Viszont az illesztő pontok definiálása szempontjából sajnos nem szerencsés a fenti térképi elemek hiánya. Így a kevésbé jó megoldásnak számító terepi objektumok szolgáltak illesztőpontokként. Ezen objektumok többnyire épületsarkokat jelentett.

Fontos volt, hogy illesztőpontként felszíni objektumokat válasszak, azaz ha lehet semmiképpen se a barlang valamely részét. Mivel az egyes térképeken a felszíni objektumok a teljes térképlapot kitöltötték így jobban szétszórhatóak voltak az illesztőpontok a teljes lapra vonatkozóan, melynek következtében az egyes pontoknál jelentkező kisebb hibák jobban eloszlottak a térképlapon. Továbbá nem elhanyagolható tény, hogy a barlangot a felszíni hálózathoz (mely a felszíni objektumok alapja is) viszonyítva mérték be, valamint szerkesztették fel a térképre. Így a barlang ábrázolás, illetve felmérés geometriai eltéréseinek, hibáinak megtalálásához és vizsgálatához a felszíni hálózat jó illeszkedése volt szükséges.

Két térkép esetében nem volt megoldható a felszínhez való illesztés. Ezek a Szontagh 12-es szelvénye és az 1960-as polgári védelem térképe. Mind a két térkép esetében a barlang jól azonosítható részei jelentették az illesztőpontok helyét.

A georeferálás, valamint a rektifikáció eredményeként előállt térképlapoknál fontos volt, hogy olyan transzformációs eljárást válasszak, ami a térképlap, azaz a térképet hordozó papír esetleges alakváltozásaiból származó torzulásokat megszüntesse, és csak tisztán a térkép felmérésből, valamint szerkesztéséből származó hibák maradjanak meg. Ezen eljárásnak a fentebb bemutatott lineáris polinomiális illesztés felelt meg a legjobban.

Mivel a referencia barlangtérkép EOV koordináta rendszerben van, így a vizsgált régi térképeket is EOV rendszerbe rektifikáltam. A felszíni objektumokhoz rendelt illesztőpontok vetületi koordinátáit a FŐMTERV Zrt. digitális földmérési alaptérképeiről leolvasható koordináta értékek szolgáltatták.

Sajnos, egyes térképeken a síkrajzi elemek pontossága nem kielégítő, ami feltételezhetően inkább elrajzolásból, illetve a túlzott generalizálásból származik, mintsem a felméréskor keletkező hibákból. Persze ez utóbbiak sem zárhatóak ki. Mindezt azért fontos kiemelni, mert a barlangrajzok vizsgálatakor megállapított torzulások okozója egyes esetekben a felszínrajz pontatlansága is lehet. Bár úgy gondolom, hogy a georeferálás során bemért illesztőpontok elhelyezkedése olyan illeszkedést eredményezett, ami a felszínrajz egy-egy szegmensére jutó jelentős elcsavarodásait kellően kiegyenlítette. Ennek megfelelően az ábrázolt barlangok – a felmérési és elrajzolási hibát leszámítva – jól illeszkednek a referencia barlangtérképhez.

2.3. A térképek geometriai vizsgálata

Az ábrázolt barlang geometriai hibáit a barlang felmérések során vezetett sokszögvonalon keletkezett mérési hibák képezik, melyek az egyes sokszögoldalok irányának vagy hosszának hibás meghatározásából erednek. Egyetlen ponton mért hibás irányérték, vagy egy távolság pontatlan meghatározása hosszú barlangszakaszok elcsavarodását okozhatja a hiba terjedés törvényeinek megfelelően. Ha barlangban vezetett sokszögvonala a megfelelő helyeken csatlakozik a feltételezhetően pontos, felszíni alapponthálózatához és a kiegyenlítő számítások is helyesek, akkor az előbb említett mérési hibák kiegyenlítődnek.

Természetesen a mérésekből nem zárhatóak ki az emberi tényezők sem, melyek többnyire figyelmetlenségből, hibás műszer leolvasásból, esetleg a környezetnek nem megfelelően megválasztott mérőeszköz alkalmazásából eredhet. Ezen durva hibák semmilyen számításal nem korrigálhatók.

A részletfelmérésből származó hibát szinte minden teremnél lehet találni. Az új felmérés egyik fő erőssége a részletpontok pontosságában és mennyiségében rejlik. Különösen ez utóbbi jelentős, hisz a barlang belső felületének minden négyzetcentimétere bemérésre került, több millió részletpont meghatározásával. Míg a korábbi, hagyományos módszerekkel mért barlangok esetében egy-egy barlangterem maximum 10-20 részletponton lett bemérve. A pontok közötti rész interpolálással, szemrevételezéssel került berajzolásra.

Ezen technikai különbségek kisebb-nagyobb eltéréseket okozhatnak az egyes barlangtermek ábrázolásában.

A Schubert-féle felmérés 1885-ös áttekintő térképe

A felszíni objektumok jól azonosíthatóak, amely megkönnyíti a georeferáláshoz használt illesztőpontok bemérését. A térkép barlangrajza viszont jelentős tartalmi különbségeket mutat a referencia barlang térképéhez képest. Ez a geometriai hibák felkutatását nem teszi lehetővé.

A térkép georeferálása

A térkép georeferálásához 16 illesztőpont került felhasználásra. Az illesztőpontokon mért legnagyobb eltérés 2 m, míg az átlagos hiba 130 cm-nek adódott. Ezen értékek elfogadhatóak. A legnagyobb eltérések a Szentháromság utca körül találhatóak, itt mérhető a 2 méteres eltérés is. Sajnos a vizsgálat szempontjából ez a terület a legfontosabb, mivel csak itt tartalmaz barlangpincéket, melyek a referenciával is összevethetőek. Viszont a térkép jelentős részein a felszíni objektumok jól illeszkednek, ezért nem volna indokolt csak a vizsgált rész pontos illesztése.

Szontagh 12-es szelvénye

A térkép kis lefedettsége miatt, csak a Szentháromság utca alatti barlangpincékre terjed ki a vizsgálat. Nagy méretaránya jó összevetést tesz lehetővé, ami a kornak megfelelő állapotok miatt elsősorban tartalmi vonatkozású. A geometriai hibák tekintetében olyan elemek vizsgálata az ésszerű, melyek már akkor is azon a helyen kellett, hogy legyenek, mint ma. Ilyenek az egyes lépcsőfeljárók, kutak (kürtők), illetve egy-egy jellegzetes oszlop.

A térkép georeferálása

A térkép georeferálásához 12 illesztőpont szükségeltett. Az átlagos 63 cm, míg a legnagyobb hiba 88 cm lett. Ezek az értékek a méretarányt (1:380) is figyelembe véve elég magasaknak mondhatók. Az illesztőpontok elsősorban kutak (kürtők) helyét jelölik, mint jellegzetes, jól azonosítható objektumok. Ugyan a térkép felszíni síkrajzi elemeket is

tartalmaz, mégis ilyen kis területen, ilyen nagy méretarányban indokoltabbnak láttam a barlang egyes elemeihez való illesztést. Tulajdonképpen az illesztésül szolgáló barlangi objektumok egyértelműbb azonosítást tesznek lehetővé, valamint a térkép témáját tekintve, feltételezhető, hogy a barlangok pontosabb és részletesebb kidolgozásban részesültek, mint a felszíni elemek.

Az ábrázolt barlang geometriai hibái

Tulajdonképpen az illesztőpontoknál keletkező eltérések tökéletesen mutatják a barlang felmérésének pontosságát. Bár elszórtan, de több helyen is mérhetőek az 50 cm-t meghaladó eltérések. Ezeket a mérés vagy a lapra való felszerkesztés pontatlansága okozhatja.

Az 1927-es tanácsi térkép

Mivel a térkép a nagy átépítések, terem-összekötések előtti állapotokat mutatja, valamint relatíve kis méretarányú (1:1440), ezért elsősorban tartalmi összevetésre alkalmas, illetve olyan formai különbségeket mutatna, hogy a geodéziai vizsgálat csak a nagyobb eltérések kiszűrését tenné lehetővé. Mivel a termek különállóak, így csak az elhelyezkedésükben lehetséges hibát találni.

Kiemelendő, hogy ez az egyetlen térkép, melyen mind a három, újonnan felmért barlang (Bécsi-kapu, Táncsics utca alatti üregek, valamint a Nagylabirintus) együttesen, korabeli formájában megtalálható a térképen.

A térkép georeferálása

A térkép georeferálásához 32 illesztőpont került bemérésre. A pontokon 224 cm átlagos hiba mutatkozik. A nagyobb eltérések az ábrázolt terület délkeleti felén találhatók. Itt mérhető a legnagyobb eltérés is, mely az illesztőpontok esetében 452 cm maximális hibát jelent. Ezen értékek ebben a méretarányban is már jelentősnek mondhatók.

A felszíni elemek illeszkedésének nagy értékű hibái ellenére, a barlangok jól illeszkednek a referencia barlang megfelelő termeihez. Ez a felszíni hibák jó eloszlásáról tanúskodik. Ha eltérés mutatkozik is, az a méretarányra illetve a kissé vázlatos ábrázolásra fogható.

Az 1951-es polgári védelmi térkép

A térkép georeferálása

Ez az egyetlen térkép, amely tartalmaz alappontokat, mérési vonalakat, sokszögpontokat, mind felszíni mind barlangi szinten. Viszont a térkép rossz minősége miatt sok helyen nehezen vagy egyáltalán nem olvasható. Ha néhány pontnak olvasható is a száma, koordinátáik sajnos nem ismertek. Néhány azonosítható a referenciaként szolgáló digitális alaptérképről, de sok közülük jelentős, 1 méternél nagyobb eltolódásban van. Így ezen pontokat nem használtam a térkép georeferálása során, azaz maradtak a jól azonosítható épület sarkok.

A 11 bemért pont átlagos hibája 68 cm, míg a legnagyobb eltérés 102 cm volt. Ezen értékek a méretarányhoz képest nagynak mondhatók.

Az ábrázolt barlang geometriai hibái

Bár a térképlap relatíve jól illeszkedik az felszínrajzi referenciához, a barlang ábrázolásában jelentős eltéréseket lehet felfedezni.

A térképen megfigyelhető mérési sokszögvonalakon jól látszik, hogy ahol lehetett a belső, barlangban vezetett sokszögvonal csatlakozott a felszíni hálózathoz. Ilyen csatlakozások vannak az Országház utca néhány pincéjéből, a Lovas utca felőli bejáratnál, valamint az északi és déli futárfolyosók végződésénél. Érdekes, hogy a nyugati fekvésű csatlakozási pontoknál a barlang tökéletes illeszkedésű, míg a keleti felére esők jelentős, több méteres elcsúszásban vannak. Mivel a felszínrajz ez utóbbi helyeken relatíve jól illeszkedik, valószínűsíthető, hogy a hiba forrása nem a felszíni hálózatból ered. Ebből viszont az következik, hogy a barlangban vezetett sokszögvonal kiegyenlítési számításai nem voltak megfelelőek, azaz a hibák eloszlása nem optimális az ábrázolt mérési vonalakhoz képest. Sajnos a sokszögvonal mérési jegyzőkönyve, illetve egyéb a mérésre vonatkozó dokumentum sem található, így a hiba pontos oka nem felderíthető.

Az első látványos iránymérési hiba a 37-es számozású folyosó irányának meghatározásakor keletkezett. Az eltérés értéke több mint 7° . Ennek köszönhetően a „nagykör” keleti fele, valamint a déli futárfolyosó északi irányú 4-5 méteres eltolódásban van. A nyugati félen is van némi eltolódás, mértéke 1 méter körüli. Sajnos a fentebb említett okok miatt is, a kiegyenlítési számításban nem bízhatunk, így az eltérések forrása nem állapítható

meg, még csak kis bizonyossággal sem.

Másik jelentős hiba, mely szintén északi irányú eltérést mutat, a 206-os és 167-es termek között mérhető, ide sorolható az északi futárfolyosó eltérése is. Hogy pontosan melyik irányból keletkezett a hiba, az sajnos nem állapítható meg. Lehet a 168-as terem (folyosó) hosszának elmérése, de akár a 205 és 206-os termek közötti folyosó irányának és hosszának elmérése is. Az viszont érdekes, hogy bárhonnán is származzon a hiba, a két végponton (206 és 167) valamilyen okból kiegyenlítődnek. Mindez lehet a véletlen műve is, de itt is érvényesülni látszik, a hibás kiegyenlítési eljárás.

Egy harmadik geometriai elcsavarodás is látható, mely csak kisebb terület befolyásol. Az elcsavarodás kezdete a 161-es és 7-es terem közötti folyosó közel 8°-os irány hibájától számítható, egészen a 10-es terem „nagykörbe” való becsatlakozásáig. Az érintett termeket helyenként több, mint 4 méterrel eltolta.

Az 1960-as polgári védelmi térkép

Bár a térkép eredetileg 6 részből áll, a digitalizálás, azaz a szkennelés mégis két részben történt. Az A3-as és B3-as külön (továbbiakban „a”), valamint az A1-2 és B1-2 szelvények (továbbiakban „b”) is külön összeillesztve lettek digitalizálva. Ennek következtében az „a” és „b” térkép csatlakozásánál, a „b” térkép 8-as 9-es termei torzultak a szkennelés során.

Ezen térképek a tartalmi összehasonlításban nyújtanak kiemelkedő segítséget. A térképlap sajnos nem tartalmaz semmilyen felszíni objektumot, ezért az illesztése sem volt megoldható a korábbi térképeknél alkalmazott eljárásoknak megfelelően.

A térképlapok georeferálása

Az illesztőpontok jól azonosítható barlangi objektumokhoz (kiszögellések, kutak) rendelődtek. Az „a” térkép esetében 12 illesztőpont lett használva, melyek átlagos hibája 37 cm, míg a legnagyobb eltérés 79,5 cm-nek adódott. A „b” térképnél 13 pont segítségével történt az illesztés, 41 cm-es átlagos és 86 cm-es maximális hibával. Ezen értékek elég jónak értékelhetők, figyelembe véve az akkori mérési módszerek pontosságát.

Az ábrázolt barlang geometriai hibái

A barlang rajza, az illesztési eljárásnak köszönhetően jól illeszkedik a referenciához. Viszont pont ezen okból a felfedezhető hibák torzultak, terjedésük nem megállapítható.

Az „a” térképen három kisebb sokszögvonala elcsavarodást okozó hiba látható, melyek az illesztési módszernek köszönhetően látszólag nem terjedtek tovább. Ilyen hely a 172-ből a 173-ba vezető folyosó, a 168-as, valamint a 166-ból 165-be vezető folyosó irányhibája.

A „b” térképen a futárfolyosóban, a 145-ös és 37-es folyosóban láthatók eltérések. Ez utóbbi jelentősnek mondható 1m-es eltolódást mutat. Érdekessége, hogy látszólag nem iránymérés okozta a hibát, mert a folyosó teljes hosszában párhuzamosan van eltolódva a referenciától, miközben a két végén a termek jó helyzetűeknek tűnnek. A 145-ös folyosó alakja különbséget mutat, melyből egyértelműen megállapítható, hogy hibás mérés következménye.

A fentieken felül olyan hibák is találhatóak, melyek az egyes részletpont mérésekkor keletkeztek. Ezek egy-egy oszlop, támfal, kút vagy kürtő akár 1,5 m-es ábrázolási hibáját is okozta.

Az 1984-es FŐMTERV térképek

A térképlapokon ábrázolt barlangok közül csak a Nagylabirintus barlangrendszere vehető össze a referencia térképek közül. A Bécsi-kapu valamint a Táncsics Mihály utca alatti részeket nem ábrázolja a térkép. A rendelkezésre álló négy (két pár) térképből 3. és 4. számú rajzmellékletek lettek georeferálva. Ezen térképlapokon a barlang rajza jobban látszódik.

A két térkép külön-külön került beillesztésre, mert a szelvények átfedésénél jelentős rajzi különbségek találhatóak, amik az összeillesztésüket ellehetetlenítik.

Elmondható, hogy a barlangok rajza jól illeszkedik a referenciához. Ez annak a következménye is lehet, hogy a felszínrajz azokon a helyeken mutatja a legkisebb eltéréseket, ahol feltételezhetően a barlang felmérésekor alkalmazott sokszögvonala a felszíni hálózathoz csatlakozik. Így feltételezhető, hogy a felszíni eltérések nincsenek hatással a barlang térképi rajzára, azaz csak olyan hibák terhelik, amik valószínűsíthetően a barlang felmérésekor, illetve térképre szerkesztésekor keletkeztek.

Mint majd a későbbi részletes vizsgálatból is kiderül, a Szentháromság utca alatti barlangszakasz elcsavarodása a referenciához viszonyítva, a két szelvényen ellentétes irányú hibát mutat. Ha a két térkép szerkesztésekor a nagyból a kicsi felé elvet alkalmazták, azaz

először felvették a felszíni objektumokat, valamint a barlangi bejárásokat (melyek a lenti sokszögvonallal és a felszíni mérési hálózattal való kapcsolatot jelenti), és ezek után szerkesztették meg a barlangot a kiegyenlített sokszögvonallal folyamatos felvételével, akkor a két térkép felszínrajzában hatalmas elrajzolások vannak. De sokkal inkább feltételezhető az az eset, ami ugyanezen elvet követi, csak a barlangfelmérés után az Országház utca felől érkező sokszögvonallal nem vették bele a teljes barlang kiegyenlítő számításaiba. Tehát ahogy külön térképre is szerkesztették, külön is számoltak vele, így a barlangrendszer Országház utca alatti egybefüggő barlangszakaszai felmérés technikai szempontból külön rendszert képeznek, valamint a csatlakozó rész „lebeg”, azaz szabad sokszögvonallal véget képez. Ha a barlangtérkép egy lapra készült volna, biztos fény derült volna a hibára, de így az rejtve maradt.

A 3. számú rajzmelléklet georeferálása

Az illesztést igen nehéz volt elvégezni, mert a térképlapon elég sok és nagy mértékű a felszíni objektumok geometriai hibája. Úgy gondolom, hogy ezek elsősorban a vázlatos rajz pontatlanságából, elrajzolásából adódnak. Természetesen a mérési hibákból fakadó torzulás sem zárható ki. A rendelkezésre álló ismeretanyagból sajnos nem állapíthatóak meg a hibák valódi okai.

A georeferáláshoz 25 illesztőpont került bemérésre, melyből csak 13 pont volt, ami a transzformáció optimalizálásában részt vett.

A bekapcsolt illesztőpontok maximális értéke meghaladja a 2 métert, valamint 1,44 m átlagos hiba határozható meg. A térkép méretarányát figyelembe véve rendkívül magas értékek, amelyek jelentősen korlátozzák a térkép használhatóságát.

A legnagyobb eltérések a Táncsics és Fortuna utca közötti tömbnél (~2-2,5m), a Szentháromság térnél (~2m), Úri és Lant utca sarok környezetében (~2m), valamint a Szentháromság utca Nagylabirintus feletti részén (~1,5) mérhetőek. A vizsgálandó barlangok környezetében, többségében átlag alatti az elcsúszás.

A 4. számú rajzmelléklet georeferálása

Ezen térképlap illesztése valamelyest jobban sikerült. A számadatok is ezt bizonyítják, hiszen az illesztőpontokon mért legnagyobb eltérés sem haladja meg a 2 métert, valamint az 1,27 m átlagos hiba is kisebb az előző térképlapon mértéknél. De még ezen értékek is elég

magasak.

A legnagyobb eltérést a Szentháromság utcai rész mutatja, ahol 4-5 méteres különbség is mérhető. A térkép többi részének illesztése elfogadhatónak mondható, itt-ott 1-2 méteres, lokális eltérésekkel.

Az ábrázolt barlang geometriai hibái

A felszíni elemek eltolódásához képest a barlang elég jól illeszkedik a referenciához, mely a transzformációs eljárás következtében a felszíni hibák jó eloszlásáról tanúskodik.

Az ábrázolt barlang látható elcsavarodásai mind mérési hibából erednek. Látható, hogy a hibás iránymérésű sokszögoldal követő szakaszok iránya megegyezik a referencia térképével, azaz az elmérés következtében a hibás oldal utáni szakaszok csak eltolódtak, de párhuzamosak maradtak a jó iránnyal. Ezen jelenségből arra lehet következtetni, hogy a barlangot mágneses iránymérésű eszközzel mérték fel.

A 3. számú rajzmellékleten három jelentős mérési hiba fedezhető fel.

- Az egyik durva mérési hiba a 206-os terem drasztikus elcsavarodását, valamint az utána következő termek (207,208) jelentős, 14-15 méteres eltolódását okozta. Egyértelműen látszik, hogy a 206-os teremben lévő sokszögoldal irányának meghatározásakor keletkezett a hiba.

Ha jól megnézzük a 206-os és a 205-ös terem rajzát, valamint összevetjük a referenciával, némi formai különbség is adódik. A két terem valahogy nem különül el egymástól. Sőt az így ábrázolt terem iránya megegyezik a 205-ös terem irányultságával. Így arra tudok következtetni, hogy nem elmérték a 206-os termet, hanem a 205-öt nem tüntették fel, de mérési adatait a 206-osra vonatkoztatták.

- Már a 206-os terem előtt is észrevehető egy közel 2 méteres elcsavarodás, mely a 171-es teremtől a 204-es teremig fokozatosan emelkedve mérhető. Persze ezen eltérés okát nem csak, vagy egyáltalán nem az iránymérés hibája, hanem a hossz mérés pontatlansága is okozhatja.
- A másik jelentős eltérést az északi futárfolyosó (175-182) elcsavarodása képezi. Mértéke a 173-as teremből kiindulva, 120 méter után az első jelentős törésnél 5m.

- A harmadik látványos eltérés a fentebb már említett Szentháromság utca alatti barlangszakaszok elcsavarodása. A feltételezhetően iránymérési hiba a 8-as teremből indul ki, melyre – úgy tűnik – a 9-es teremből való irányzás hibája hozzáadódik. Mértéke 1,4 m körüli.

A két térképszelvény közös része (147-160) a 3. számú szelvényen helyeként 4 m elcsavarodást mutat, ami azt jelenti, hogy a 9-es terem felől jelentkező torzulásra újabb mérési hibák rakódnak. Ezek eredője a 4. számú rajzmellékletéről jobban megállapíthatóak.

- Ezen térképszelvényen jól látható, hogy a 145-ös folyosó eltolódása, és alakhi hibája okozza részben a 151-es és tőle nyugatra és északra lévő termek eltolódását. Mértéke a 156-159 termeknél helyenként meghaladja a másfél métert. Mint fentebb jeleztem, ezen eltérés ellentétes irányú a másik térképszelvényen mértnél. Érdekes, hogy ugyanezen terület 150, 149-es terme jól illeszkedik a referenciához. Valószínűleg ellentétes hibák kiegyenlítődése történt.
- A 11-es folyosó elcsúszása egyrészt az előzőkre vezethető vissza, másrészt a 12-es teremből valamilyen mérési hiba következménye lehet. Nem mellékes, hogy a folyosó alakja is más.
- Megemlítendő, hogy a 26-os terem több mint 2 méterrel eltolódott, valamint az alakja is más. Feltételezem, hogy a 24-es és 25-ös termet összekötő folyosó eltolódását ugyanezen mérési hiba okozta.
- Több mint 1 méteres eldeformálódás fedezhető fel a 43, 44, 46 és 59-es termeknél, illetve az oszlopok elcsúszásában.
- További területeken is észrevehetőek kisebb-nagyobb eltérések. Ezek feltételezhetően nem a mérési sokszögvonala esetleges hibáiból eredhetnek, hanem a részletmérésekkor keletkezettek.

Bécsi kapu tér alatti barlangrendszer térképe

A térkép georeferálása

A térképen elég jó részletességgel szerepelnek a felszíni objektumok is, ezért itt is a fenti elveknek megfelelően az épület sarkok lettek az illesztőpontok helyei. A georeferáláshoz 7 pont került bemérésre. Az átlagos hibájuk 26,7 cm, míg a legnagyobb eltérés 29 cm-nek adódott. A méretarányt is figyelembe véve elfogadható értékek.

Az ábrázolt barlang geometriai hibái

A térkép jó illeszkedésének köszönhetően a barlang rajzolata egyes helyeken jól illeszkedik a referenciához. A többi helyen egy-egy elmérés, illetve átépítésből eredő különbségek láthatóak.

A Központi teremből (I. terem) nyíló háromágú vágat kissé el van csavarodva, így a nyugati vágat végpontján 1,5 méteres különbség mérhető. A barlang több helyen formai átalakításokon ment keresztül, ami egyes részeken nem teszi lehetővé a pontos mérési hiba meghatározását. Ilyen az V. terem eltolódása is, amit valószínűleg a déli II. vágat elcsavarodása okoz. Az eltérés mértéke az 1 métert is meghaladja.

2.4. A térképek tartalmi összevetése

A térképek georeferálása nem csak a geometriai eltérések felderítését, hanem az egyes térképek és az új, 2010-es felmérés referencia térképe közti tartalmi különbségek megtalálását is segítette. Tartalmi különbség egyes térképi objektumok meglétét illetve hiányát jelenti, valamint olyan, a barlang rajzolatában látható alak eltéréseket, amelyek biztosan kizárják, hogy az adott különbség a felmérés, vagy a rajzolás pontatlanságából eredne. Ilyen különbségeket okoz egyes termek átalakítása, esetleg feltöltése, kutak, kürtők beépítése, elfedése, egyes feljárók elfalazása.

A tartalmi összevetés előfeltétele volt, hogy ami az új felmérésű 2D barlangtérképen nem található meg semmilyen térképi elem megjelenési formájaként, az valószínűleg a terepen sem lelhető meg. Persze ezen feltétel az első terepbejáráskor már érvényét veszítette, hisz több olyan kürtőt is találni, ami semmilyen formában nincs jelölve. Így a tartalmi

vizsgálat nem csak a régi térképekkel való összevetésre korlátozódik, hanem a valós helyzet és az új térkép különbségeinek felderítésére is. Ezek olyan terepi objektumok felkutatását jelentik, melyek már a felmérés pillanatában is látszóhattak és hozzáférhetőek voltak, abban a formában, amiben ma is megtalálhatók. Ezek hiánya kiegészítő méréseket igényelne. Ezt az is indokolja, hogy a felmérés óta olyan átalakítások, felújítások történtek, amik az új térképen már nem szerepelnek. Ezen hiányosságok miatt az új térképek részben elavultnak nevezhetők.

A tartalmi összevetést a Nagylabirintus két részben való elemzése kezdi. Az első részben azon térképek kerültek elő, melyeken a barlang már közel a mai formátumát mutatja, azaz a nagy átalakítások, terem összevonások utáni időkből származnak. Ezek az 1951-ből és 1960-ból származó polgári védelmi térképek, valamint a FŐMTERV 1984-ben készült 3. és 4. számú rajzmellékletei. Az utána való részben került sor a II. világháború előtti térképek vizsgálatára. Ezen két rész elkülönítésére azért volt szükség, mert a világháború előtti és utáni térképek között jelentős tartalmi különbségek vannak, valamint az azonos időszakba eső térképeket együttesen lehetett kezelni. Ez különösen igaz a világháború előtti térképekre, melyek feltételezhetően erős „rokonsági” viszonyban vannak.

Egy kisebb részt képvisel a Bécsi kapu tér alatti barlangrendszer ábrázoló térképek összevetése. Ezen barlang csak az 1927-es, illetve az 1990-es években készült részletes térképeken lett ábrázolva, de ez utóbbin teljes részletességgel. A Táncsics Mihály utcai barlangokról sajnos nem készültek részletes térképek. Csak az 1951-ből és az 1927-ből származó térképeknél lelhetőek fel a barlang egyes „maradványai”.

2.4.1. A Nagylabirintust ábrázoló térképek tartalmi összehasonlítása

A II. világháború utáni térképek

Ezen térképek közös jellemzője, hogy a Nagylabirintus már összefüggő barlangrendszerként van ábrázolva. A különbségeket az időközben végzett falazások, megerősítések, részbeni átépítések képezik, melyek következményeként, a korábban fellelhető kürtők, kutak, feljárók, esetleg termek, teremrészek mára már eltűntek.

A tartalmi különbségeket az *Tartalmi különbségek* táblázat tartalmazza. Az egyes eltérések termenként kerültek részletezésre, valamint külön sorszámot is kaptak, melyek a táblázat első oszlopát adják. A térképeken ezen sorszám alapján lehet azonosítani a jelölt hibákat. A második oszlop az érintett terem számát mutatja, ahol a hiba található. A harmadik

oszlopban az adott teremben lévő eltérések tárgyát képező objektum megnevezése olvasható. Például kürtő, kút, terem stb. A „mellékterem” megnevezés azt jelenti hogy a jelzett teremből (teremszámozás oszlop) nyíló másik, ismeretlen teremre vonatkoznak a sor adatai. A további oszlopokban pedig az adott objektum egyes térképekre vonatkozó megjegyzései találhatóak. Az utolsó oszlopban a helyszíneléskor tapasztaltak rövid leírása látható.

Olyan különbségek lettek jelölve, melyek csak az új felméréstől különböznek. Azaz ami a referencia térképen rajta van, de más térképeken nincs, illetve a helyszínelés alkalmával a valóságnak megfelelt az ott ábrázoltaknak, akkor azon eltéréseket nem jelöltem. Ilyen különbség pl. a 157-es teremben látható kút, amely egyik vizsgált térképen sem lett ábrázolva. Továbbá azon eltérések sem lettek jelölve, melyek csak a vizsgált térképek között jelentenének különbséget.

Ezek következtében összesen 37 tartalmi különbség található a referenciaként szolgáló új felmérés és a II. világháború utáni felmérések térképi megjelenítése között. Összesen 21 olyan kürtőt azonosítottam, mely a referencia térképen nincsen rajta, ebből 11 a terepen is megtalálható, általában beépítve és szellőző csővel kibélelve. A többi, a különféle átalakítások áldozata lett, a terepen sem található.

A másik nagy különbséget mutató objektumok a feljárók. 11 olyan feljáró van, ami ma már falazással vagy vasajtóval le van zárva, ezért nem lett felmérve, de a régebbi térképeken feltüntetik.

Találhatók olyan termek, melyeket 1951 óta kissé átépítettek, vagy teljesen „leválasztódtak” a barlangrendszeréről. Ezen termeket részben vagy egészben eltömedékelték, illetve felfalazták. A legdrasztikusabb példa a 27-es terem teljes feltöltése. A terem eltűnésével, mintegy 160 négyzetméternyi terület került ki a barlangrendszerből.

Érdekes eset a 142-es terem. Ez a terem 2010-ben nem került felmérésre, mert a Sziklakórház felé vezető folyosón még e terem előtt volt egy lezárt ajtó. Ezt az ajtót persze azóta átépítették, azaz a kérdéses terem utánra került, így helyszíneléskor megtekinthetővé vált. Az érdekesség az, hogy a FŐMTERV-es térképen nyoma sincs a teremnek, pedig a folyosó, amiből nyílik teljes egészében megvan. Az 1960-as polgári védelmi térképen már feltüntetik (innen a teremszámozás is:142). Viszont az 1951-es térképen kiderül, hogy eredetileg nem az előbbieken említett folyosóról nyílt a terem, hanem a 141-es teremből. A hiányzó terem meglétét bizonyítja az 1927-es tanácsi alaptérkép is, de persze itt különálló teremként. Az 1908-as Szontagh 12-es szelvényén még az is látszik, hogy egy kút is csatlakozott a terembe.

Egy másik érdekes helyszín az északi futárfolyosó két mellékterme, melyből az egyik

igazából egy körfolyosónak látszik. Ezen körfolyosónak ma már nyoma sincs. A másik terem meg teljesen átépült, illetve részben eltömedékeltek. A FŐMTERV térképén még megjegyzés is található a tömedékelésről. Az 1951-es térképen látszódik, hogy körülbelül egy 90 négyzetméteres alapterületű rész lett feltöltve. Ezen rész még az 1927-es térképen is fel van tüntetve, mely bizonyítja, hogy nem egy jelentéktelen teremről van szó.

Korábban a Labirintus Kft. által üzemeltetett rész az új felmérésű barlangrendszerből 6 helyen volt átjárható, ebből 4 átjáró befalazásra került.

A II. világháború előtti térképek

Valószínűsíthető, hogy Szontagh térképszelvényei, az 1880-as években készült, Schubert Ignác-féle felmérés egy-egy levezetett térképe. Ennek ellenére a 12-es szelvény és az 1885-ös áttekintő térkép összehasonlításakor jelentős tartalmi különbségek mutatkoznak. Mindez arra enged következtetni, hogy Schubert felmérését jelentősen kiegészítette, vagy maga az áttekintő térkép nem pontos, túl vázlatos. Az 1927-es tanácsi alaptérkép viszont vázlatos rajza ellenére is jól illeszkedik a Szontagh 12-es szelvényéhez. Sajnos, Schubert Ignác felmérésének részletlapjai nélkül nem pontosíthatók, illetve korrigálhatók az előbbi feltevések. Olyan mérvű különbség van Schubert áttekintő térképén szereplő barlangpincék és a referencia barlangtérkép barlangszakaszai között, hogy nem igazán fedezhető fel a két ábrázolt barlang kapcsolata.

A többi térkép nagyon jól összehasonlítható a referenciával. Ezekben a térképeken is különálló barlangpincék láthatóak. Az új felméréssel való összevetésük során az egyes termek eredeti méretére, esetleges eltömedékelésére lehet következtetni.

Az alábbiakban a főbb eltérések kerülnek felsorolásra, amelyek az említett II. világháború előtti térképeken fedezhetőek fel. A zárójelbe írt római számok az előző fejezetben bemutatott *Tartalmi különbségek* táblázat egy-egy soraira utalnak, valamint a felvetett eltérések térképi jelölését és azonosítását segíti elő.

- A 208-as terem két feljárójából (I.) az egyik nagyon jól látszik az 1927-es térképen.
- Szintén ezen térképről jól látható rész a 203-as terem (III.) részbeni lefalazása.
- A 186-os teremből nyíló 186a terem szintén jól látszódik (VIII.). Az 1927-es térkép még egy kutat is jelöl. Érdekes, hogy a FŐMTERV térképe részben jelöli ezt a termet, viszont az előtte készültek egyike sem ábrázolja.
- Az északi futárfolyosó melléktermei már az előző fejezetben említve voltak (IX.)

- A Szontagh 12-es szelvénye alapján a 16-os terem jelentős méretcsökkenést szenvedett az átépítések során (XXXIII.). Egy kürtő is a falazás áldozata lett.
- A 17-es teremben is a falazás mögé került egy kürtő, illetve egy feljáró (XXXII.)
- A 158-as, 20-as és 23-as termekben egy-egy kürtő található, melyek szintén befalazásra kerültek, illetve szellőző csővel lettek bélelve (XV., XXVIII., XXX.)
- Az előző fejezetben említett 142-es terem a kúttal együtt szintén jól látszódik a 12-es szelvényes Szontagh térképen (XVIII.)
- A 27-es terem eredeti formája is jól megtekinthető a Szontagh térképen. (XXVI.)

2.4.2. A Bécsi kapu tér alatti barlangrendszer térképi ábrázolásainak tartalmi összehasonlítása

A Bécsi kapu tér alatt húzódó barlangrendszeréről sajnos kevés térképi anyag került elő, így az időbeni változások kevésbé követhetők nyomon. Legrégebbi térképi ábrázolása az 1927-es tanácsi térképen lelhető meg. Jól látható, hogy az I. terem vágatai itt még nem voltak meg. Viszont nyugati irányban a barlang nagyobb kiterjedésű volt. Ezen rész már az 1990-es évekből származó térképen is jól látható, hogy már akkor falazással le volt választva.

Az V. terem kiterjedése nagyobb az új felmérésen, viszont az I. terem itt jelentősen kisebb. Ezek valószínűleg a barlang illetve a felszín veszélyelhárítási munkálatainak következménye.

3. A térképmelléletek

A térképmelléletek a vizsgálat tárgyát képező régi felmérések térképeinek és az új, 2010-2011-es felmérés digitális térképének összehasonlító elemzésének nyomtatott térképi megjelenítése. A térképek célja, hogy szemléltesse a vizsgálat tárgyát képező térképek referencia térképhez való illesztésének pontosságát, valamint a geometriai és tartalmi különbségeket. Ezen célból minden egyes vizsgált, régi térképről készült egy különálló összehasonlító térkép, azaz összesen 9 darab térképlap.

Az egyes térképmelléletek főcímében szereplő térképek képezik a vizsgálat tárgyát. Minden térképmelléklet egy fő- és egy melléktérképből áll. A főtérkép mutatja a vizsgálat tárgyát képező térkép összehasonlítását a célterületre fókuszálva, míg a melléktérkép a vizsgálat tárgyát képező térkép georeferálásáról nyújt információkat.

A 9 összehasonlító térkép mellé készült egy áttekintő térképlap is, amely az új 2010-2011-es felmérés bemutatása.

3.1. Az összehasonlító térképek elkészítése

A főtérkép

A fentiek alapján a főtérkép célja, hogy a vizsgált, régi barlangtérképeken ábrázolt barlang rajza összevetésre kerüljön az új felmérésből levezetett, adott területre eső barlangtérképpel, valamint az összehasonlító elemzésben tett megállapítások is kiemelésre, bemutatásra kerüljenek.

Minden főtérképhez, azonos tartalmi elemekkel és jelkulccsal készült egy-egy alaptérkép, mely a 2010-2011-es felmérés digitális térképéből lett levezetve. Tulajdonképpen a barlang alaprajzi bemutatásáról van szó a barlang kontúrjával (járószint és legszélesebb kontúrja), lépcsőkkel, kutakkal és kürtőkkel. Az egyes barlangszakaszok azonosítását segítve feltüntetésre kerültek a hivatalos teremszámozások is. Mindezeket kiegészíti az 1:500-as méretarányú digitális alaptérkép épített felszíni objektumainak (házak, járdák, lépcsők stb.) kontúrja, valamint a házsámok és a közterületek nevei.

Az alaptérkép a QGIS nyomtatási kép szerkesztőjének és az Inkscape vektorgrafikus program segítségével készült. A QGIS nyomtatási kép szerkesztője ugyan sok funkcióval el van látva, melyekkel egy adott térkép minimálisan kartografálható, de sajnos szolgáltatásai

számomra nem voltak kielégítőek. Így a szerkesztőben csak a térkép kivágatát és tájolását határoztam meg a kívánt méretarányban, a megfelelő papírmérettel. Majd ezt exportáltam egy svg fájlba, amelyet az Inkscape-el megnyithattam és szerkeszthettem. Az Inkscape hasonló funkciókkal rendelkezik, mint a jól ismert CorelDraw vagy Freehand, így itt már nem okozott gondot a térkép megformálása. Azaz a QGIS-ből importált térképi elemeket elláttam a megfelelő jelkulccsal, valamint kiegészítettem a még hiányzó névrajzi elemekkel (teremszámozások, házsámok, közterület nevek).

Az alaptérkép elkészülte után került sor a vizsgálat tárgyát képező, régi barlangtérkép raszteres állományának háttérként való beillesztésére a formálódó térképlapon. Fontos volt, hogy a GIS-ben jól illeszkedő, georeferált térképi elemek ugyanolyan jól illeszkedjenek egymáshoz egy másfajta, grafikus programban is, ahol csak rajzi koordinátákkal lehet dolgozni. Ezért a régi térképek raszteres állománya a QGIS-ben együtt lett megformázva az alaptérképpel. Ezután a két állomány útja különvált, mivel a raszteres állományt, külön csak raszteres formátumban lehet exportálni, valamint ezen állományon egyéb munkafolyamatokat is el kellett végezni.

A régi térképeken sok olyan információ is volt, ami az ábrázolás szempontjából fölöslegesek, bizonyos esetekben pedig teljesen zavaróak voltak. Ilyenek voltak a teremszámozások, házsámok, utcanevek, melyek az alaptérképen helyesen már fel lettek tüntetve. Továbbá olyan színezések, hibák, foltok is találhatóak voltak a térképlapokon, melyek zavarták a térkép olvasását, valamint esztétikailag sem illettek bele. Minden fölösleges és zavaró objektumot kiretusáltam a térképlapokról, valamint élénkítéssel, kontrasztosítással kiemelttem a lényeges térképi elemeket.

A fenti korrekciók elvégzése után a régi térkép beillesztésre került az alaptérkép mögé. Ezekután lehetővé vált, hogy a térkép kinyomtatásával, papíron is szemlélhetőek legyenek az egyes különbségek. A különbségek felfedezésének könnyítésére, feltüntetésre kerültek az összehasonlító elemzés eredményei, megállapításai. Ezen tematikát vörös jelkulcsi elemekkel illusztráltam, mely az Inkscape-ben készült, kézi felvételezéssel.

A geometriai szempontú vizsgálat eredményeit mozgásvektorokkal ábrázoltam. A nyilak a referencia barlang alaprajzától való átlagos eltérések irányát mutatják, melyek mértékét számszerűleg is feltüntettem. Az egyenes nyilak egyenes irányú eltolást, míg az íves nyilak forgást (irányhibát) illusztrálnak.

A főbb tartalmi különbségeket vörös, szaggatott vonallal lehatárolva emeltem ki. Minden jelöléshez tartozik egy római szám, mely kulcs a *Tartalmi különbségek* című táblázat megfelelő sorához.

A melléktérkép

A térképmellékletek részét képező melléktérképek a vizsgálat tárgyát képező „térképlap” georeferálásáról informál. Pontosabban mondva a georeferáláshoz használt illesztőpontok elhelyezkedését és azok helyén mutatkozó hibákat (eltéréseket) mutatja meg.

A QGIS georeferáló moduljának van egy olyan szolgáltatása, mellyel jelentést lehet készíteni a georeferálás eredményeiről. Ez a jelentés egy térképből és egy hozzá tartozó táblázatból áll, melyet pdf formátumban rögzíthetünk. Ezen dokumentumból készültek el a melléktérképek és a hozzájuk tartozó táblázatok.

A melléktérképek alaptérképét a vizsgált térkép eredeti, vágatlan, szkennelt, raszteres állománya képezi. Ezzel megtekinthető a vizsgált teljes „térképlap”. Ezen alapon lettek feltüntetve az illesztőpontok. Minden ponthoz tartozik egy helyvektor (nyíl), melynek iránya a pont térképi X és Y koordinátáin mutatkozó eltérések eredőjének irányát, hossza pedig az eltérés abszolút mértékét adja.

A melléktérképhez tartozó táblázat az egyes illesztőpontok EOY vetületi koordinátáit, valamint a melléktérképen is ábrázolásra került eltérések X és Y összetevőinek számszerű meghatározását tünteti fel. Az „Abszolút eltérés” a két koordináta páron mutatkozó eltérések eredője.

Összegzés

Úgy gondolom, hogy az összehasonlító elemzés eredményes volt. A tartalmi összevetés jól mutatja, hogy a Vár-barlang milyen mérvű változásokon ment keresztül az elmúlt 100 évben és hogy ezek a változások miként viszonyulnak a barlangrendszer mai külalakjához. A felderített geometriai különbségekből láthatjuk, hogy barlangi méréseinket milyen hibák terhelhetik, és hogy azok milyen hatással lehetnek a további barlangszakaszok ábrázolására.

A geometriai hibák nagy meglepetést okoztak számomra. Meglepő, hogy egy kiépített, jól térképezhető barlang esetében ilyen nagy mérvű hibák terhelik az egyes felméréseket. A mérések körülményei, eszközei és elvárt pontossági mérőszámai nem ismertek, de feltételezhető, hogy az eltéréseket szinte minden esetben durva hiba okozta. Ez azt jelenti, hogy a hiba forrása valamilyen emberi tényezőre vezethető vissza.

A fenti eredményeket látva, úgy gondolom, hogy a nagy múlttal és sok térképpel rendelkező barlangok esetében is érdemes lenne elvégezni hasonló összevetéseket. Minden bizonnyal érdekes megállapításokhoz jutnánk.

A korábbi barlangtérképezéssel kapcsolatos előadások hallgatásakor és a dolgozatomhoz olvasott szakirodalmak gyűjtésekor azt tapasztaltam, hogy a hazai barlangtérképezésnek nincs megfelelő tudományos intézményi háttere. A szakirodalmak többsége kiegészítésre és pontosításra szorul. Mindezek ellenére tiszteletre méltó, hogy különösebb térképészeti, geodéziai előképzettség nélkül és önerőből készülnek jó minőségű, igényes térképek is. Feladatomban érzem, hogy a jövőben szakmai tudásommal segítsen a tudományos intézményi háttér megteremtését, még több minőségi térkép elkészültét, valamint a speleológia térinformatika eszköztáraival és lehetőségeivel való megismertetését.

Sikernek könyvelem el, hogy az összehasonlító elemzést és a térképmellékletek elkészítését sikerült szabad felhasználású programok használatával kivitelezni. Ezek után bátran kijelenthetem, hogy általános célú barlangtérképezési (és nem csak arra) munkálatokhoz biztosan jó eredménnyel használhatók ezek a programok. Apróbb fejlesztésekkel még speciálisabb esetekben is igénybe vehetők.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Zádor Juditnak és Szabó Balázsnak, hogy a tudományos kutató munkájuk során fellelt térképeket elérhetővé tették a számomra, valamint hasznos és érdekes információkkal láttak el a Vár-barlang történetét illetően. Továbbá köszönöm a Természetvédelmi Hivatal Nemzeti Parki és Tájvédelmi Főosztály dolgozóinak, hogy a Barlangnyilvántartásban megtalálható térképeket a rendelkezésemre bocsájtották.

Köszönöm a Burken Kft.-nek, hogy a lézerszkenneres felmérésből levezetett digitális alaptérképet az összehasonlító elemzéshez felhasználhattam. Köszönöm a FŐMTERV Zrt.-nek a vizsgálat területére eső digitális földmérési alaptérkép állományait.

Köszönöm témavezetőmnek, Török Zsoltnak, hogy szakmai gondolataival és tapasztalataival segítette szakdolgozatom elkészültét.

Külön köszönet illeti Leél-Őssy Szabolcsot, aki néhány évvel ezelőtt megismertetett a barlangok misztikus és csodálatos világával, bevezetett a speleológia tudományába, valamint nyomon követte és egyengette szakdolgozatom elkészültét. Nélküle nem jöhetett volna létre.

Irodalomjegyzék

- Bácsatyai László (2002):** Geodézia erdő- és környezetmérnököknek – *MTA FFK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron, Egyetemi jegyzet*
(http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/emk/efelt/docftt/03_Oktatas/02_Jegyzetek/Bacsatyai_2003_Geodezia.pdf)
- Bácsatyai László (2009):** Kiegyenlítő számítás – *Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron, Egyetemi jegyzet*
(http://www.geo.info.hu/geodezia/dokumentumok/geodkiegy/kiegyenlito_szamitasok_jegyzet_2011.pdf)
- Csepregi Szabolcs – Tarsoly Péter (2008):** Hibaelmélet – *NymE-GEO, Székesfehérvár, Elektronikus jegyzet* (http://www.geo.info.hu/portal2007/images/stories/geod-publikacio/csepregi-tarsoly_hibaelmlet.pdf)
- Dékány Csaba (1963):** Barlangi mérés technika II. rész: A barlangfelmérés módszerei – *Karszt és barlang 1963/I., p. 11-15.*
- Elek István (2011):** Adatbázisok, térképek, információs rendszerek – *ELTE Eötvös Kiadó, Budapest*
- Hegedűs András – Szabó Zoltán (2009):** A barlangok felmérése – *jegyzet*
- Dr. Kadic Ottokár (1942):** A Budavári barlangpincék, a Várhegyi barlang és a Barlangtani Gyűjtemény ismertetése – *Barlangvilág 1942/XII. (3.-4. füzet), p. 49-75.*
- Kárpát József (1985):** Barlangtérképezési ismeretek – *Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat, Budapest*
- Kárpát József (2002):** Barlangtérképezési ismeretek – *Barlangi túravezetői ismeretek jegyzet, p. 171-179.*
- Martinovichné Buczkó Emmi (1966):** A barlangmérés módszerei és műszerei – *Karszt és barlang 1966/I., p. 13-20.*
- Mednyánszky Miklós (2008):** A Budai Vár alatti barlang- és pincerendszer – *Magyar Építőipar 2008/2., p. 61-66.*
- Tímár Gábor (2008):** GEOREFERENCIA, Térképi vetületek és geodéziai dátumok szabatos használata a térinformatikában – *ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest, Elektronikus jegyzet* (<http://sas2.elte.hu/tg/georeferencia.htm>)
- Tóth József (1960):** Szpeleokartográfia egységesítésének problémái – *Karszt- és Barlangkutató Tájékoztató, 1960 szept.-okt., p. 401-407*

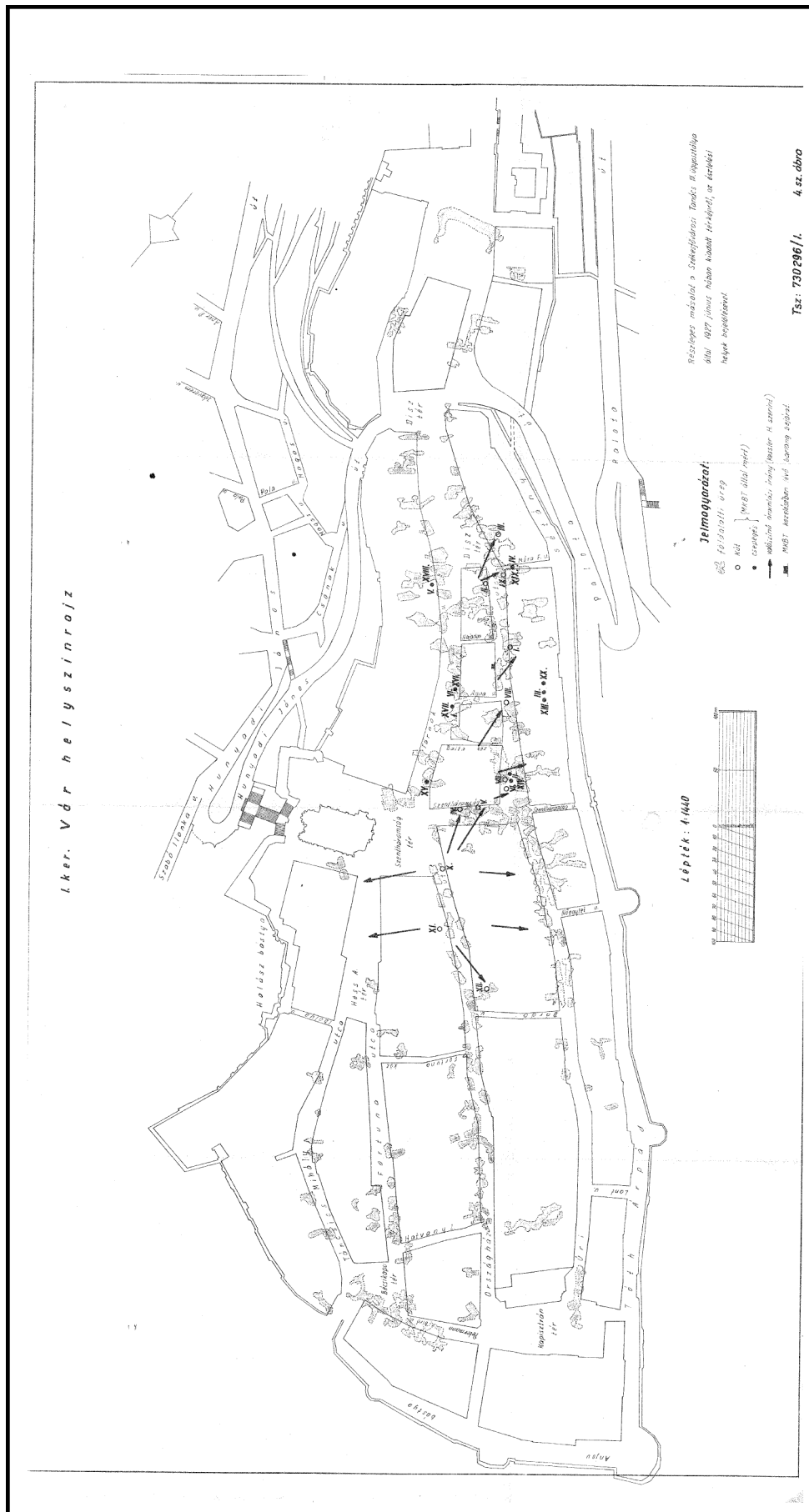
Mellékletek

- 1. melléklet: *Schubert Ignác 1885-ös áttekintő térképe***
- 2. melléklet: *Szontagh Tamás 12-es szelvénye (1908)***
- 3. melléklet: *Az 1927-es tanácsi térkép***
- 4. melléklet: *A polgári védelem 1951-es térképe***
- 5. melléklet: *A polgári védelem 1960-as években készült térképe (A rész)***
- 6. melléklet: *A polgári védelem 1960-as években készült térképe (B rész)***
- 7. melléklet: *FŐMTERV 3. „rajzmelléklete” (1984)***
- 8. melléklet: *FŐMTERV 4. „rajzmelléklete” (1984)***
- 9. melléklet: *A Bécsi kapu tér (1990)***

**2. melléklet,
Szontagh Tamás 12-es szelvénye (1908)**



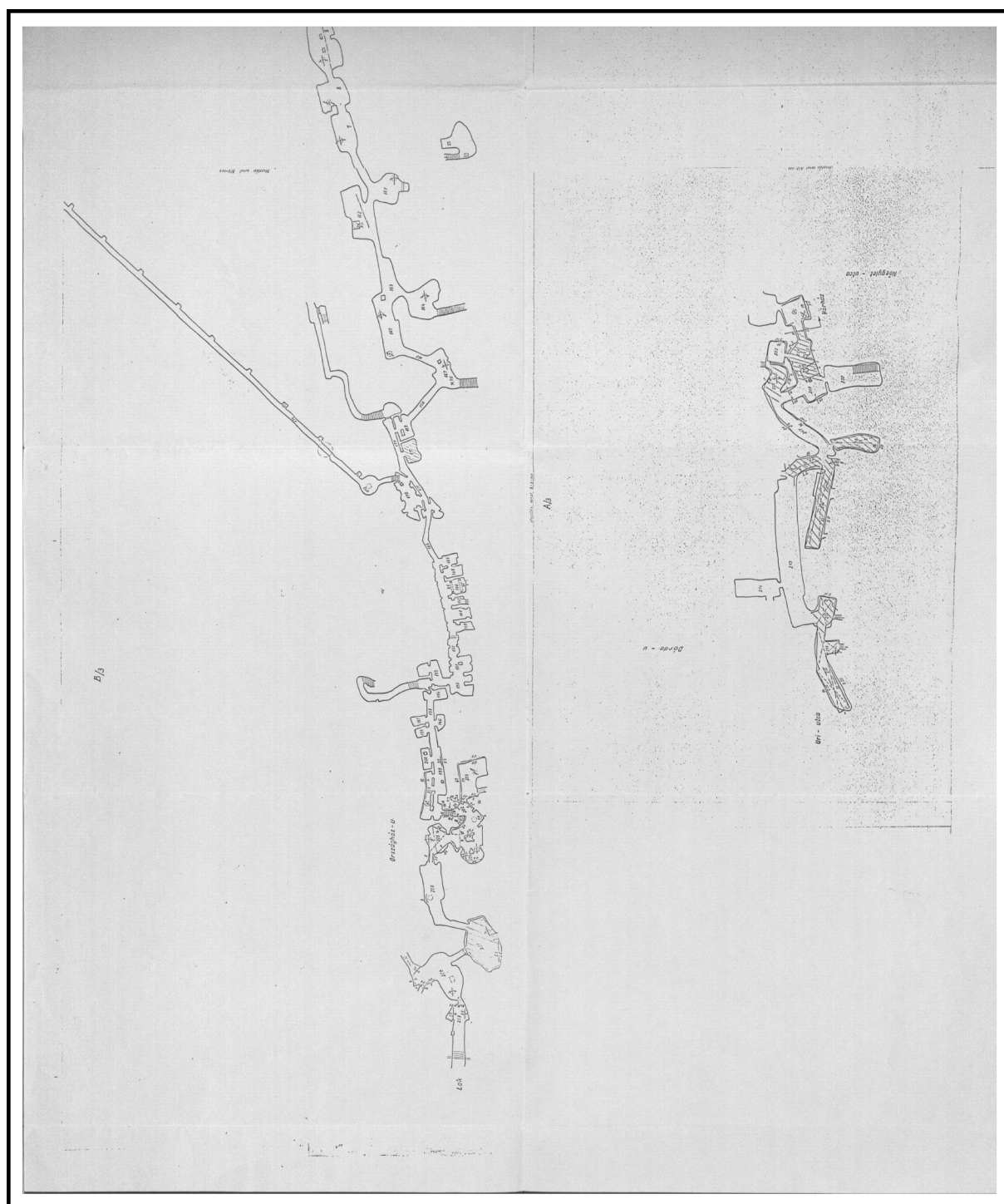
3. melléklet,
Az 1927-es tanácsi térkép



4. melléklet,
A polgári védelem 1951-es térképe



5. melléklet,
A polgári védelem 1960-as években készült térképe (A rész)



Tartalmi különbségek

Hiba sorszám	Terem-számozás	A különbség tárgya	BURKEN	FŐMTERV		1960		1951	Helyszínelési megjegyzések
				3	4	A	B		
I.	208	terem; két feljáró;kút	terem átalakítva; a két feljáró nincs felmérve; kút nincs felmérve	egy feljáró ábrázolva; kút ábrázolva	-	feljárók ábrázolva; a kút nem látszik	-	az egyik feljáró ábrázolva; a kút nem látszik	a feljárók elfalazva; kútnak nyoma sincs
II.	205	terem; kürtő	terem átépítve; a kürtő nincs felmérve	a terem nem azonosítható	-	kürtő ábrázolva	-	kürtő nem látszik	kürtő részben beépítve, szellőző cső van benne
III.	203	terem; feljáró	terem átépítve; feljáró nincs felmérve	terem és feljáró ábrázolva	-	terem és feljáró ábrázolva	-	a házak alatt egy kis terem nyílik a 203-ból	falazások látszanak
IV.	201	kürtő	nincs felmérve	a kürtő nincs ábrázolva	-	kürtő ábrázolva	-	kürtő nem látszik	részben elfalazva
V.	194	feljáró	részben felmérve	teljesen ábrázolva	-	teljesen ábrázolva	-	teljesen ábrázolva	ajtóval elzárva
VI.	187	feljáró	részben felmérve	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	-	nem megállapítható	elfalazva
VII.	186	feljáró	elfalazva	ábrázolva	-	ábrázolva	-	nem megállapítható	elfalazva
VIII.	186a	terem	nincs felmérve	ábrázolva	-	nincs ábrázolva	-	nincs ábrázolva	?
IX.	182-175 (északi futár folyosó)	melléktér; körfolyosó	egyik átépítve; körfolyosó nincs felmérve	átépített terem elnagyoltan ábrázolva; körfolyosó ábrázolva	-	nincsenek a kivágaton	-	eltömedékelés előtti barlangterem is látható; körfolyosó ábrázolva	átépítés; körfolyosó nem látható
X.	173	kürtő	nincs ábrázolva	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	-	ábrázolva	részben beépítve, benne szellőző cső
XI.	169	kút; feljáró	kút ábrázolva; feljáró részben felmérve	kút nincs ábrázolva; feljáró teljesen ábrázolva	-	kút nincs ábrázolva; feljáró teljesen ábrázolva	-	kút nincs ábrázolva; feljáró teljesen ábrázolva	a kút látható; feljáró lefalazva
XII.	165	kürtő	nincs felmérve	ábrázolva	-	ábrázolva	-	nincs ábrázolva	a kürtő látható
XIII.	164	kürtő	nincs felmérve	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	-	nem látszik	a kürtő körbe falazva
XIV.	162	kürtő	nincs felmérve	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	-	nincs ábrázolva	a kürtő körbe falazva
XV.	158	kürtő	nincs felmérve	kútként ábrázolva	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	a kürtő látható, szellőzőként
XVI.	155	feljáró	nincs felmérve	ábrázolva	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	falazás látszik
XVII.	150	kút	nincs felmérve	ábrázolva („fedett”)	ábrázolva („fedett”)	-	nem látszik	nem látszik	le van fedve
XVIII.	141	melléktér	nincs felmérve;	-	nincs ábrázolva	-	részben ábrázolva (142-es teremszám), de nincs összefüggés a 141-es teremmel	teljesen ábrázolva	141-ből lefalazva, de a 1960-as térképnek megfelelően megtalálható a terem;
XIX.	138	Kürtő (2)	nincs felmérve	-	1 kürtő ábrázolva	-	1 kürtő ábrázolva	nem látszik	valószínűleg elfalazva
XX.	134	kürtők (3)	nincs felmérve	-	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	nem látszik	szellőző csövek
XXI.	131	kürtő	nincs felmérve	-	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	nem látszik	?
XXII.	41	kürtő	nincs felmérve	-	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	nem látszik	szellőzőként
XXIII.	39-38	„Labirintus”	nincs felmérve	-	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	falazással lezárva
XXIV.	35	terem	részben felmérve	-	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	falazással leválasztva
XXV.	30	kürtő	nincs felmérve	-	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	valószínűleg elfalazva
XXVI.	27	terem	nincs felmérve	-	ábrázolva részben elfalazva	-	teljesen ábrázolva	teljesen ábrázolva	elfalazás látszódik (eltömedékelve)
XXVII.	24	feljáró	nincs felmérve	-	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	elfalazva
XXVIII.	23	kürtő	nincs felmérve	-	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	elfalazva
XXIX.	22	terem	teljesen felmérve	-	csak részben ábrázolva ; nem volt megközelíthető	-	teljesen ábrázolva	teljesen ábrázolva	20-as teremből kis ablakon keresztül megtekinthető; 18-as terem felől megközelíthető
XXX.	20	kürtő	nincs felmérve	-	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	szellőző cső
XXXI.	18	melléktér	teljesen felmérve	-	nincs ábrázolva	-	teljesen ábrázolva	teljesen ábrázolva	régi 19-es terem
XXXII.	17	kürtő	nincs felmérve	-	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	elfalazva
XXXIII.	16	terem	részben felmérve	-	részben ábrázolva	-	teljesen ábrázolva	teljesen ábrázolva	átépítve
XXXIV.	12	kürtő	nincs felmérve	-	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	szellőző cső
XXXV.	11	kürtő	nincs felmérve	-	ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva (kissé rossz helyen)	befalazva
XXXVI.	10	feljáró; kürtő	nincsenek felmérve	nincsenek ábrázolva	-	-	feljáró és kürtő ábrázolva	Feljáró; +1 kürtő	az egész átépítve; feljáró elfalazva; kürtőt nem találni
XXXVII.	9	kürtő	nincs felmérve	nincs ábrázolva	-	ábrázolva	ábrázolva	ábrázolva	elfalazva