

## BARLANGI MÉRÉSTECHNIKA (II. rész)

### A BARLANGFELMÉRÉS MÓDSZEREI

A barlangkutatás minden ága részére nélkülözhetetlen a megbízható térkép. Egy barlangrendszer felmérése sok munkát és szakszerű előkészítést kíván.

A felmérést előre meg kell tervezni. Gondosan mérlegelni kell a választható mérési eljárások szabotosságát, illetve munkaigényét. A térkép *célja* határozza meg a megengedhető hibát. A sokszögvonalnál és a részletfelvételnél megengedhető hibát külön-külön, de egymással összhangban kell mérlegelni. A vizsgálatnak ki kell terjednie

1. az irányszögmérés,
2. a hosszúságmérés,
3. a magasságmérés

pontosságára. Ezeket a felmérés célja határozza meg. A legnagyobb pontosságot általában valamilyen új barlangi műszaki létesítmény tervezése és építése kívánja. Például új táró behajtása, áttörés, járda-építés stb.

A hiba soha sem ismert, de az alkalmazott műszer és mérési eljárás alapján következtetni lehet a hiba nagyságrendjére, meghatározható annak valószínű középértéke.

#### 1. A sokszögvonali mérése

A legnagyobb pontosságot a *sokszögmérés* kívánja, mert a részletes felvétel erre épül fel. A sarokpontok kijelölésénél már figyelembe kell venni a szelvénymérés szempontjait. Célszerű minden töréspontot állandósítani. A mérés három mérési elemre oszlik. E három rész mérés, -- úgymint irányszög, oldalhossz és magasságkülönbség -- középhibájának egymással összhangban kell lennie. Két eljárás között választhatunk:

1. teodolittal végzett szögmérés, amelynek az egyes töréspontokon elkövetett szögmérési hibák halmozódnak és az egy ponton elkövetett szögmérési hiba annál nagyobb hatással van a végpontra vonatkozó mérési eredményre, minél messzebb van a kérdéses ponttól a végpont;
2. delejtűs műszerrel (busszola-teodolit, függőkompassz, tájoló) végzett irányszögmérés, amelynek az alappontok helyzetében adódó -- az irányszögek mérési hibája miatt fellépő -- hibák ugyan összegeződnek, de az egy oldalnál elkövetett hiba hatása csak az illető oldal hosszával arányos.

A két eljárás hibájának nagyságrendjét az 1. ábra szemlélteti. Ez a különböző iránymérés középhibát adó delejtűs műszerekkel és 20' szögmérési középhibát adó teodolittal mért sokszögvonalak végpontján jelentkező, ún. *elcsavarodási hibák* összehasonlítása. Ha lehetséges a barlangban nagyobb (L) átlagos oldalhosszúságú sokszögvonali kialakítása, akkor az a teodolittal végzett szögmérésre előnyös. Az ábra erre a körülményre is felvilágosítást nyújt.

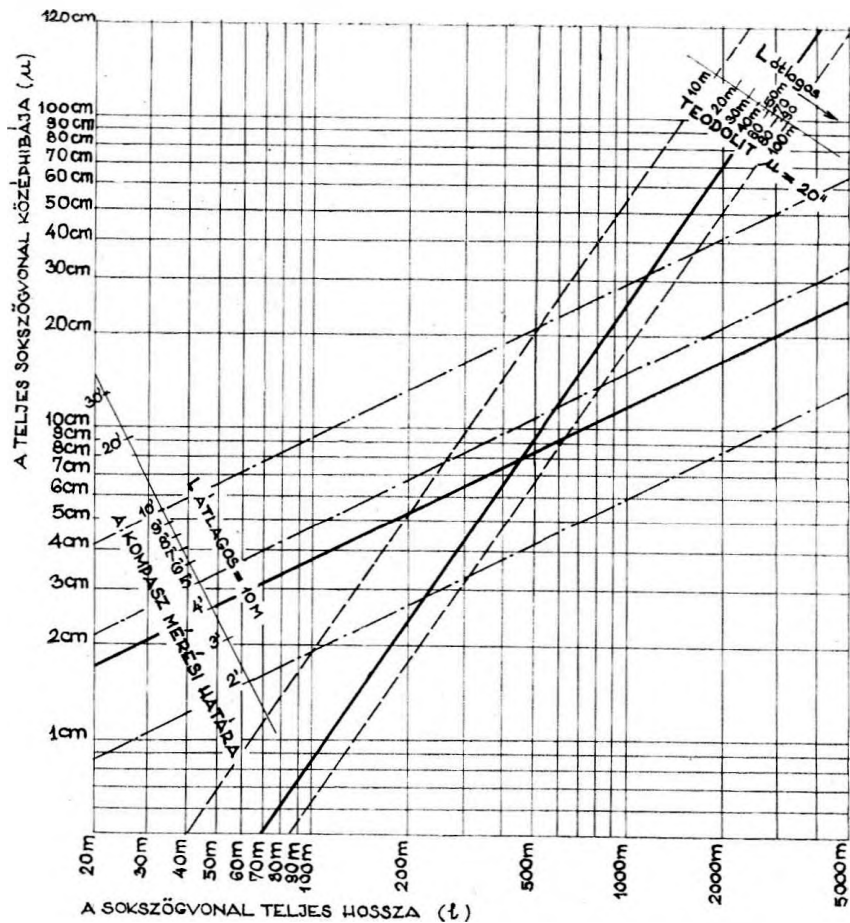
A föld mágneses erőtere irányának állandó tájékozásul való felhasználásakor figyelembe kell venni annak változásait. A mágneses irány az idő és a földrajzi hely függvényében változik. Átlagos napi ingadozásra a 2. ábra nyújt tájékoztatást.

Magyarországon a Geofizikai Intézet tihanyi megfigyelő állomása jegyzi a *mágneses északi irány ingadozását*. Az irányérték változása egy órai időközben 2-3 ívpercet is elérhet. Ezért az irányszögek mérésénél a mérés időpontját a jegyzőkönyvben mindenkor rögzíteni kell. Utólag beszerzett adatokkal az irányszögek mérési eredményei megjavíthatók.

A függőkompasszal végzett iránymérés középhibája a tű két végén végzett leolvasással és a műszer átfektetésével, valamint a mágneses elhajlás napi ingadozásának figyelembe vételével kb. 4'-re tehető, feltéve, ha a mérést mágneses zavarok (vastartalmú kőzet, erős egyenáramú vezeték, vas karbidlámpa közelsége stb.) nem terhelik. Busszola-teodolittal 2'-es középhiba is elérhető.

Ez a mérési pontosság csak igen gondosan gyártott és kezelt műszerrel érhető el. A túrható földi mágneses erőter forgatónyomatóka a pillanatnyi kitéréssel arányos, az ellene ható csapsurlódás nyomatóka pedig állandó értékű. Ezért a mágnesű kitérés után egyre csökkenő lengéseket végezve megnyugszik, nem mutatva pontosan a mágnesmező pillanatnyi irányát. Az eltérés lehetséges legnagyobb értékére a végzett lengések számából lehet következtetni. MILLER megfigyelése szerint kb. 30 lengés végzése esetén lehet biztosan következtetni arra, hogy a beállási hiba 5' alatt maradt.\*

\* A legújabb kifejlesztett pörgettyűs földmérő műszerek barlangi alkalmazása a jövőben lehetőséget nyújt az irányszögmérés szabotosságának növelésére.



1. ábra. Sokszögvonala középhibájának terjedése a sokszögvonala teljes hosszúságának függvényében, a Jordán-féle képlet alapján. Harmadik változóként a 20''-es teodolitnál az átlagos oldalhossz, a mágnesitűs műszereknél 10 m-es állandó oldalhossz mellett a mérőképesség van feltüntetve.

A sokszögvonala sarokpontjainak térbeli távolságát célszerű ellenőrzött *acélszalaggal* mérni. Durva hibák elkerülése érdekében nem hagyható el a mérés megismétlése. Általában a hosszmerést úgy végezzük, hogy a mérőszalagot a két pont mellett kifeszítjük, s mindkét pont mellett a szalagot leolvassuk. A két leolvasás különbsége adja a pontok térbeli távolságát. Megismételt méréskor a szalag más szakaszát feszítjük ki a pontok között.

A hosszmerés teljes középhibája több részből tevődik össze. Megkülönböztethető egy véletlen — főleg leolvasásból adódó — hiba és egy szabályos, a mért távolságtól függő hiba. Ez utóbbit elsősorban a szalag mérés közbeni hőmérsékletváltozása és „belógása” okozza. A hőmérsékletváltozásból és „belógásból” származó hiba számítással meghatározható, s számított értékével a mérési eredményünket megjavíthatjuk.

A magasságmérés — a pontossági követelménynek megfelelően — elvégezhető szintezéssel, hajlászalaggal vagy légnomásméréssel.

A szintezés eszközeit és műszereit a sajátos viszonyok figyelembevételével kell megválasztanunk. Változtatható magasságú állvány és léca, nagy fényerejű, kis nagyítású távcső használata célszerű.

Egyes barlangi alakzatokban a szintezés megoldhatatlan (kürtő, szifon stb.). Ilyenkor függőzések, lépcsőmérés, hajlászalag, tömlős-vízmérték vagy összefüggő, nyugodt karsztvíz-szint valamelyiké mindig lehetővé teszi a magasság továbbvitelét. (3. ábra.)

Hajlászalaggal is meghatározható a sokszögpontok magassága. A sokszög töréspontjai között kifeszített mérőszinorra tetszőleges helyen függesztett fokív nem mutatja pontosan a sokszögoldal mértékváltozását.

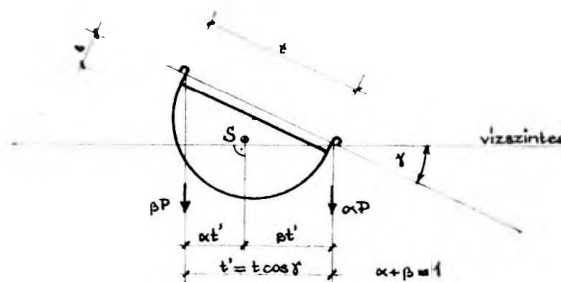
A fokív könnyű kiképzésével és a mérőszinorra vagy huzal megfeszítésével a nem megfelelő helyes függesztésből származó hiba csökken, de nem szűnik meg.

A kifeszített mérőszinorra csak egyetlen hely van, ahová a fokívet helyezve az a helyes hajlászalagot

mutatja. Könnyű mérőszinór és viszonylag nehéz fokív használatakor ez a hely ott van, ahol a fokív által ketté osztott mérőszinór két résztávolsága úgy aránylik egymáshoz, mint a fokív két horgán a szinórra átadódó súlyerő.

Az 4. sz. ábra szerint néhány  $\gamma$  szögérték felvételével és a súlypont (S) kikeresésével szerkeszthető egy ellenőrző ábra. Az ábrán  $t$  a horgok közti külső távolság és  $S$  a fokív súlypontjának távolsága a mérőhuzaltól. Az egyes műszertípusoknál mások a  $t/s$  viszonyok, ezért minden fokívnek külön kell megszerkeszteni a saját ellenőrző ábráját. A 5. ábra 2 példát mutat az ellenőrző vonalra.\*

Az egyik változás maga a mérendő mennyiség, ezért a mérés az ellenőrző vonal elkészítése után is csak fokozatos közelítéssel hajtható végre. NB! Az első mérést közepén kezdve a fokívet mindig felfelé kell csúsztatni.



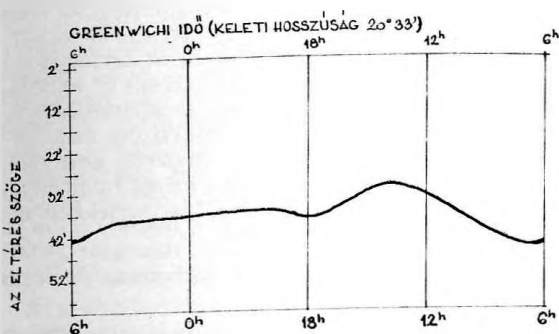
4. ábra. A fokív két horgán átadódó erők megoszlása a fokív helyzetétől függ.

aneroid rendszerű műszernél is 3-4 m körül van. Alkalmazása zombolyoknál kerül előtérbe. Gazdaságos, mert gyors és kevés előkészítést kíván.

## II. A részletes felvétel

A részletes felvétel módszere kanyargós fejlődés útján jutott el a mai legkorszerűbb eljárásához, a szelvényfényképezéséhez. A fényképezéshez szükséges megvilágított szelvények előállítására többféle eljárás és műszer alakult ki. Ilyen a féltér megvilágítása, fénypont végigvezetése, vagy fénysugár körbevetítése. Mindegyiknél biztosítani kell azt, hogy a felvételen meghatározható legyen a méretarány, a két főirány és azt, hogy a torzított kép visszaalakítható legyen.

Az így nyert alakhú szelvénykép még mindig „lebeg” a térben. Ezért mérni kell a szelvények dőlését és a csapásirányát. Célszerűen szerkesztett fényvetítő készülék beépített műszerei ezt azonnal mutatják. Ezenkívül a szelvényt még be kell kapcsolni a barlangban végigvezetett sokszögvonalba,

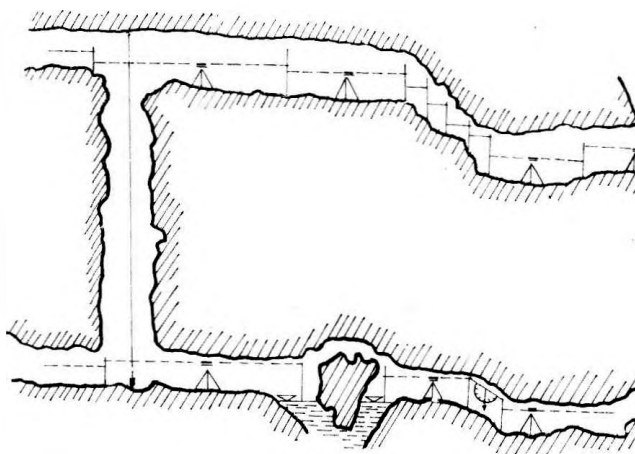


2. ábra. A földi mágnesmező átlagos napi ingadozása.

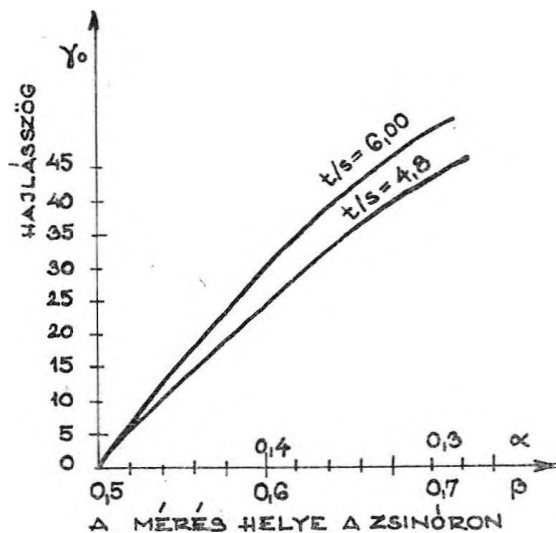
A viszonylagos magasság légnymó m á s m é r ő v e l is meghatározható. A mérés elve és végrehajtása a barlangban nem különbözik a felszínen szokásos módszertől. A magasságmérés hibáját a mérés közben megváltozó légköri tényezők növelik. Barlangban a légköri tényezők igen kiegyenlítettek, a tavaszi-őszi huzatváltás idején állandóknak tekinthetők. Ezt a nagy előnyt kihasználva a légnymás méréssel is igen megbízható eredmény érhető el. Oda-vissza mérésnél a kiegyenlítendő hiba igen kicsi és a hőmérséklet változásból eredő javítás is elmarad.

A telített páratartalom miatt a levegő térfogatsúlya kisebb, ezért a műszerállandók (beosztási együttható, 1 mm-re eső magasságkülönbség, kezdő hiba) meghatározása, a hitelesítés barlangi viszonyok között végzendő el. Az elérhető középhiba már

3. ábra. Magassági rendszerek összhangolásának néhány lehetősége.



\* Ez az elméleti úton keresett érték jó egyezést mutat a tapasztalati képletekkel. JUNGE 8-10 %-os felcsúztatást javasol, MILLER von HAUENFELS kísérletei szerint pedig  $\gamma < 15^\circ$  esetén  $0,004 h^{***} \gamma^{10}$  és  $\gamma^{3/4} 15^\circ$  esetén  $0,003 h^{***} \gamma^{10}$  távolságra kell a fokívet a középtől elhelyezni.



5. ábra. A hajlásmérés segédeszköze: két különböző fokiv ellenőrző ábrája.

hogy helyzete teljesen határozott legyen. A határozottság feltétele az, hogy a szelvényképen ismertté váljék a sokszögvonal dőféspontja és a dőféspont távolsága a sarokponttól. A dőféspont kijelölésének természetes módja, hogy a szelvény síkon áthaladó sokszögvonalra kifeszített zsinórt a síkban megvilágítva, a pontot a fényképezőgép rögzíti.

Előfordul azonban, hogy a dőféspont előállításánál nem lehetséges, vagy igen bonyolulttá válik. Ha a sokszög ugróállással van mérve, a vesztett pontok nincsenek állandósítva. Ez esetben a szelvény síkjától különböző helyen levő sokszög sarokpontot kell a szelvényre ráfényképezni. A fényképezőgép mellől egyszerű tájolóval megmérve a sarokpontot és fényképezőgépet összekötő egyenes irányszögét és hajlását, a kiértékelésnél mértani összefüggések alapján számítható a dőféspont helye. A sarokpont kivilágítása (számozva) a szelvény fényképezésénél egyébként is célszerű.

Részletes felmérésre a tachimetralás is alkalmas. Alkalmazását valamilyen mérnöki létesítmény teszi indokolttá nagyméretű barlangban, mert pontos és kétségtelenül a leggyorsabb. Mérési területe azonban a barlang talapzatára korlátozódik.

### III. Különleges módszerek

Előfordul, hogy a barlangmérés szokásos módszerei nem vezetnek kellően megbízható eredményre. Ha a sokszögmérés levezetett középhibája nagyobbra adódik, mint amennyit valamilyen különleges követelmény megenged, akkor más eszközhöz kell folyamodni. Megoldást a geofizika kínál sajátos módszereivel és műszereivel.

A magnetométerrel a mágneses tér függőleges összetevője igen nagy pontossággal mérhető. Segítségével egy felszíni és egy barlangi pont között mértani kapcsolatot lehet létesíteni, így a sokszögvonal megbízhatósága emelkedik. A mérés elvének igazolása, a módszer kiválasztása és a számítás a geofizika területére tartozik. A mérés lényege az, hogy az egyik ponton létesített mágneses tér hat a másik ponton elhelyezett magnetométerre. A hatás mértéke a két pont távolságával arányos. A térerő csökkenése igen erős, és ez korlátozza a mágneses mérés hatósugarát.

A mérés elrendezésénél a felszíni és barlangi viszonyokat is figyelembe kell venni. Két lehetőség kínálkozik:

1. Mágnes a barlangban, műszer a felszínen. Pl. Béke-barlang, 1953. Könnyű terepen.
2. Mágnes a felszínen, műszer a barlangban. Pl. Vass Imre-barlang, 1958. Nehéz terepen.

A végrehajtásnál természetesen csak fokozatos közelítéssel lehet kikeresni a felszíni pontot, ahol a legnagyobb térerőt jelzi a műszer. Ennek a környezetében sok mérést kell végezni az összetartozó helyszínrajzi, magassági (tachiméterrel) és térerősségi (magnetométerrel) értékek meghatározására. A pontok segítségével a helyszínrajzon megszerkeszthető a térerő eloszlási függvényesereg, amelynek alakja középpontjára vonatkozik a mérés eredménye. Az így megállapított pont csak kis mértékben tér el a műszerrel kikeresett ponttól.

A mérés sikerét csak jól szervezett műszaki előkészítés biztosíthatja:

- a várható körülményeknek megfelelő mágnes tervezése és legyártása,
- energiaszükséglet számítása és üzembiztosítás, üzemzavarmentes biztosítása,
- távbeszélő vagy rövidhullámú összekötött biztosítása,
- kísérleti mérések tapasztalatainak felhasználása.

A rendkívüli körülmények miatt a különleges módszerek közé tartozik a vizes járatok felmérése. A műszer bejuttatása a szifonon keresztül lehegesztett műanyagcsákokban oldható meg. A mérési jegyzőkönyvet elő kell készíteni, nehogy a fáradtságos munka eredményét elmossa a víz. Bevált megoldás a vízmentes borítóban másoló- és pauszpapír egymásra helyezésével készített jegyzőkönyv. Ilyen viszonyok között a mérés szabotossága tekintetében nagy engedelményeket kell tenni. Hosszabb járatok esetén is kielégítő a tájolóval és zsineggel való mérés, vázlat-készítéssel egybekötve.

A barlangmérésben az újabb időben a még feltáratlan barlangok bemérési lehetőségeit kutatja. Kísérletek történtek talajrengetés, elektromos ellenállásmérés és izotópsugárzás felhasználásával. Az eredmények azonban még nem kielégítőek.

Az előzőekben ismertetett fényképező eljárás zomboly szelvényezésre is alkalmazható. A távkapcsolású megvilágító és

fényképező egységet egymással mereven kapcsolva két huzalon kell lefüggeszteni az elforgás megelőzésére. A szelvény tájolására célszerű a beépített mágnesű állását optikai úton a fényképre vinni. Külön feladat még az értékes műszerek megővése a hulló kövek ártalmától.

#### IV. Adattárolás, térképkészítés

A barlang felmérési adatait a *jegyzőkönyvek* tartalmazzák. Ezekhez kapcsolódnak az irodai munkával végzett *számítások* (kiegyenlítések, javítások, átszámítások) és a megszerkesztett sokszögvonala. Erre a térbeli vázra épül fel az a szelvény-sorozat, amely méretét és alakját folyamatosan és jellegzetesen változtatja, hűen az ábrázolt barlanghoz. Az adattárolás legyen egyértelmű és világos, hogy a mérés megismételhető, a számítás ellenőrizhető maradjon mindenkor.

A mérési adatok feldolgozásának eredménye a barlangot ábrázoló *térkép*. A barlang váza egy térben húzódó vonal, és a térképnek a váz mentén sorakozó szelvényeket is szemléletesen kell ábrázolnia. Ezért az egységes vetületi rendszer és az ábrázolási mód kialakítása nem egyértelmű feladat. Egyelőre minden ezirányú kísérlet a barlangrendszerek sokrétűsége miatt erőltetett. A lényeg a szemléletesség. Egy bizonyos barlang jellegétől és a készülő térkép céljától függően kell kiválasztani az adott esetben a legelőnyösebb ábrázolási módot. Ennek meghatározása a térképező joga, amelynek korlátozása a térkép használhatóságát rontaná.

A gyakorlati igények megkövetelik a térképek pontossági *osztályozását*. Az osztályozás alapja egyedül a valószínű teljes középhiba lehet. Ez különbözik a felmérő műszer szerinti osztályozástól, mert tartalmazza a fölös mérések által lehetséges kiegyenlítések megbízhatóságnövelő hatását.

Egyetlen térképen nem lehet mindazt áttekinthetően jelölni, ami a kutatót és a látogatót érdekli. A teljes kutatottsági fokkal nyilvántartott barlangokról *szaktérképeket* kell készíteni tájékoztató, idegenforgalmi, felmérési, időjárási, földtani, barlangi alaktani, vízrajzi, ősrégészeti, élettani, műszaki stb. szempontból. A jelkulcs rendszer egységesítése már kialakulóban van (1953. Párizs, 1958. Bari). Egyelőre azonban még a térkép nélkülözhetetlen része a *jelmagyarázat*.

Befejezésül a Vass Imre-barlangban végzett mérési munka *teljesítményére* vonatkozó adatainkat közlöm tájékoztatásul. Az adatok nem tartalmazzák az elméleti számításokat, és a jegyzőkönyvek feldolgozására fordított időket.

1. Sarokpontok kijelölése és állandósítása: 2 fővel 3–4 pont/óra.
2. Sokszögoldalok távolságának és irányszögének mérése acélszalaggal, illetve függőkompasszal: 4 fővel kb. 20 oldal/6 órás műszak.
3. Egyszeri szintezés: 3 fővel nehéz szakaszon kb. 60 fm/6 órás műszak, könnyű szakaszon kb. 250 fm/6 órás műszak.

4. A szelvényezés teljesítménye rendkívül változó, kb. 0,5 – 10 szelvény óránként.
5. Mágneses mérések:
  - a) szervezési munka 3 fő 1 héti
  - b) műszaki előkészítés 15 fő 3 napig
  - c) mérés a helyszínen 9 fő 12 óra

#### I R O D A L O M

1. DÉKÁNY Cs.: A Vass Imre -barlang geodéziai felmérése. Karszt- és Barlangkutató. Évkönyv. I. évf., Bp., 1959.
2. FIALOVSKÝ L.: A sokszögelés kiegyenlítésének módszerei. MTA Közleményei, 31. köt. Bp., 1962.
3. KONRÁD Ó.: Az aggtelek-jósvafői „Baradla” cseppkő-barlang felmérése. — Geodéziai Közöny, 1935.
4. OLTAY K.: Geodézia. Bp., 1954.
5. TÁRCZY—HORNOCH A.: Bányamérés. — Karszt és Barlangkutató Tájékoztató, 1957. júl. — dec.
6. TÓTH J.: A barlangok felméréséről. — Karszt és Barlangkutató Tájékoztató, 1957. júl. — dec.
7. Bussolen—Theodolit TO — ismertető.
8. DÉKÁNY Cs.: Barlangok újrendszertől szelvényezése fotogrammetrikus úton — A IV. Országos Diákköri Konferencia Tudományos Ülésszakának előadásai. Miskolc, 1960.
9. KOPPENWALLNER, F.: Lichtschnitt—Profilmessung in Stollen — Geologie und Bauwesen, Wien, 1959.
10. LACMAN, O.: Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht topographischen Gebieten. Leipzig, 1950.
11. MAUCHA L. — TÓTH J.: Fotogrammetrikus módszer a barlangok keresztjelvényezésére. Karszt és Barlangkutató. Évkönyv. III. évf., Budapest, 1962.
12. BARTA Gv.: Mágneses mérések a Béke-barlang bejáratának kitűzésére. Geofizikai Közl. 1953. 2.
13. MAUCHA L.: Az ÉKME Jósvafői Kutatóállomásának 1959/60. évi munkája. Karszt- és Barlangkutató Tájékoztató. 1960. jún.
14. STOMFAI R.: Mágneses mérések a Vass Imre Barlang új bejáratának kitűzéséhez. Karszt- és Barlangkutató. Évkönyv. I. évf. Bp., 1959.
15. PAPP F.: Aufstellung von Indexzahlen unterirdischer Hohlräume. Karszt- és Barlangkutató. Évkönyv. III. évf. Bp., 1962.
16. KOSA A.: Új barlangtérképlelek ismertetése. Karszt- és Barlangkutató Tájékoztató, 1960. ápr.—máj.
17. TÓTH J.: A speleokartográfia egységesítéséről. Karszt- és Barlangkutató Tájékoztató, 1960. okt.
18. TÓTH J.: Barlangtérképeink pontossági kategorizálása. Karszt- és Barlangkutató Tájékoztató, 1960. dec.

#### Die Höhlenvermessungs-Verfahren von Csaba Dékány

Verfasser schildert zusammenfassend die verschiedenen in der Speleologie gebräuchlichen Vermessungsverfahren und Instrumente. Er bestimmt, innerhalb welcher Fehlergrenzen die Winkel-, Längen- und Höhenmessungen bei den verschiedenen speziellen Zwecken der Vermessungen anzunehmen sind. Er gibt nützliche Ratschläge zur Korrigierung bzw. Eliminierung der Fehler. Er behandelt auch die photogrammetrischen Aufnahmen und die magnetometrischen Situationsbestimmungen.

#### Методика съёмки пещер Чаба Дейканы

Автор статьи резюмирует разные методы и приборы, применяемые при съёмке пещер. Он излагает допускаемые пределы погрешности определения азимута, длины и высоты при составлении карт, предназначенных для разных целей. Даются полезные инструкции по устранению погрешностей. Излагаются также вопросы фотограмметрической съёмки и установления местонахождения магнитометрическим способом.