

**BARLANGBEJÁRATOK MAGASSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA  
BAROMETRIKUS MAGASSÁGMÉRÉSSEL**

**DETERMINATION OF HEIGHTS OF CAVE ENTRANCES USING  
BAROMETRICAL HEIGHT MEASUREMENTS**

TARSOLY PÉTER – BEKK TÍMEA

Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar  
Geoinformatikai Intézet

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

*Abstract: With the application of barometric altimetry the altitude differences of relatively neighbouring points can be determinate, if we measure the air pressure and the medium temperature of the air simultaneously on the single points under atmospheric conditions which can be considered as identical one. By the test measurements we used four different measuring and calculation methods in the Velence Hills in the Elder Valley: the Babinet-, ICAO-, Väisälä-, and Laplace-methods. The perfect considered altitude of the reference point originated from TPS and DGNS measurements. Based on the investigations we can declare that the most accurate and precise value of heights was determinate using the Babinet-method. The accuracy of heights was 1.90 meter (90% probability), and the reliability  $\pm 0.88$  meter. The accuracy and precision of heights, using the ICAO-, Väisälä- and Laplace-methods were the same: the accuracy was 2.92 meter (90% probability), the precision  $\pm 1.35$  meter. The less accurate and precise value was the navigational value: the accuracy was 3.63 meter (90% probability), the precision  $\pm 1.69$  meter. If we formulate the condition, that the accuracy of heights of cave entrances must be under one meter (submeter accuracy), than the Babinet-method contents this only on 50% probability, the ICAO-, Väisälä- and Laplace-methods, or the navigation value can not content this condition.*

*Keywords: height of cave passage, barometric altimetry, reference point, DGNS measurement*

## **Bevezetés**

A magassági felmérések feladata általában a Föld felületén, az alatt vagy felett található természetes és mesterséges alakzatok alakjelző pontjai egy kiválasztott alapfelülettől, rendszerint a tengerszinttől mért magasságának a meghatározása. A mai földmérő mérnöki gyakorlatban elterjedt módszerek a szintezés, trigonometriai magasságmérés és a GNSS-technikával történő magasság meghatározás, ám korábbi időszakokban, különösen egyes speciális feladatoknál hangsúlyos szerepet kaptak a közelítő magasságmérési eljárások és a barometrikus magasságmérés is. A barlangbejáratok magasságának ismerete kulcsfontosságú a barlangok térbeli és hosszszínen történő ábrázolása szempontjából. A technológia mai állása mellett ennek három módszere van: a szintezés, trigonometriai magasságmérés és GNSS-vevő

alkalmazása. Az első két módszer nehézségük és technológiai sajátosságaik miatt nem terjedt el a barlangfelmérés gyakorlatában, de megjegyezzük, hogy ahol lehetséges, ott érdemes alkalmazni azokat pontosságuk és megbízhatóságuk miatt. A GNSS-felmérés gyors és hatékony, a meghatározott magasság pontossága és megbízhatósága azonban nagymértékben függ az alkalmazott mérőműszertől és technológiától. Amennyiben geodéziai vagy térinformatikai célú vevőt használunk úgy a kapott magasság megfelelően pontos és megbízható lesz (szubméteres, dekaméteres vagy centiméteres). Amennyiben navigációs célú vevőt használunk a felméréshez, úgy a kapott koordináták (síkráji koordináták és magasság) pontossága  $\pm 10$  méter lesz általában, amely nem elégíti ki a barlangbejáratok koordinátáinak meghatározásával kapcsolatosan megfogalmazódott pontossági követelményeket (szubméteres pontosság). A pontosság javítható SBAS-korrekciók (Satellite Based Augmentation System) vételével, és ilyen módon elérhető a koordináták szubméteres pontossága is. A kapott magasság értékét befolyásolja még az is, hogy a vevő használ-e geoid modellt vagy sem. A navigációs vevők általában nem használnak ilyet, vagy ha igen, akkor csak egy globális geoid modellt, amely lokálisan nem illeszkedik jól Magyarország vagy egy kisebb tájegység területéhez. A lokális geoid modellek használata megoldást jelentene, azonban ezek igen drágák és/vagy nehezen hozzáférhetők.

Az említett előzmények után merült fel a kérdés, ha egy egyszerű GNSS-vevővel EGNOS-korrekciók (European Geostationary Navigation Overlay Service) vétele mellett tudunk szubméteres síkráji koordinátákat meghatározni egy barlangbejáratnak, akkor hogyan lehetne a magassági összetevő pontosságán javítani, meghatározását más módon kiváltani. Ekkor merült fel a barometrikus magasságmeghatározás alkalmazásának lehetősége.

### **A barometrikus magasságmérés elve és képletei**

A légnyomás – melyet egyszerű műszerekkel bárhol könnyen mérhetünk – a magasság függvényében is változik, tehát a légnyomás mért értékéből a magasságra következtetni lehet. A légnyomás függvénye a tengerszint feletti magasságnak, a levegő sűrűségi állapotának és a levegőben lévő áramlások hatásának. A két utóbbi tényező változása okozza azt, hogy a légnyomás értéke ugyanazon magasságban is változó. Ha az abszolút magasságot akaránk meghatározni, akkor nem lenne elegendő a légnyomás ismerete, hanem ismernünk kellene a levegő pillanatnyi sűrűségét, a benne lévő áramlásokat és azok hatását is. Az utóbbiak szükséges pontossággal nem állapíthatók meg, ezért a légnyomás értékeiből csak aránylag közelfekvő pontok ma-

gasságkülönbségei határozhatók meg. Ha tehát két aránylag közelfekvő helyen, vagyis azonosnak vehető viszonyok mellett egyidejűleg mérjük a légnyomást és a levegő közepes hőmérsékletét, akkor a mért értékekből ki lehet számítani a két hely magasságkülönbségét (SÁRDY, 1968).

A mérnöki gyakorlatban a magasságkülönbség számítására használható egyik képlet a Laplace-féle képlet (SÁRDY, 1968):

$$\Delta m = k \cdot (1 + \alpha \cdot t) \cdot \lg \frac{B_A}{B_F} \quad (1)$$

Az (1)-es képletben  $k$  a barométeres állandó,  $\alpha$  a levegő tágulási együtthatója,  $t$  a levegő mérés alatti átlagos hőmérséklete,  $B_A$  és  $B_F$  az egyidejű légnyomás az alsó és felső állomáson HPa-ban. A  $k$  értéke Magyarországon 18469, az  $\alpha$  értéke 0,003665, tehát a képlet:

$$\Delta m = 18469 \cdot (1 + 0,003665 \cdot t) \cdot \lg \frac{B_A}{B_F} \quad (2)$$

Ha a meghatározandó pontok magasságkülönbsége 1000 méternél kisebb, akkor a magasságmérés képlete sorbafejtéssel és a magasabbrendű tagok elhanyagolásával egyszerűsíthető. Az így levezethető képlet a Babinet-féle képlet (JORDAN, 1880, 1896):

$$\Delta m = (\Delta m) \cdot (B_A - B_F) \quad (3)$$

ahol  $(\Delta m)$  az egy higany milliméter légnyomásnak megfelelő magasságkülönbség, amely felbontható egy levegő hőmérsékletétől függő és független tényezőre.

$$(\Delta m) = (\Delta m_0) + (\Delta m_t) \quad (4)$$

Magyarországon  $(\Delta m_0)$  és  $(\Delta m_t)$  értéke (SÁRDY, 1968):

$$(\Delta m_0) = \frac{16042}{B_A + B_F} \text{ és } (\Delta m_t) = \frac{58,79}{B_A + B_F} \cdot t \quad (5)$$

ahol  $t$  a levegő középhőmérséklete, tehát:

$$t = \frac{t_A + t_F}{2} \quad (6)$$

A Babinet-féle képletben szereplő  $B_A$  és  $B_F$  értékek a légnyomás nagyságát jelentik HPa-ban és nem a barométereken tett leolvasásokat. Ezeket redukciókkal kell ellátnunk ahhoz, hogy belőlük a légnyomás felhasználható értékeit megkapjuk. A leolvasásokat általában meg kell javítani a hőmérséklet, az indexhiba és a beosztás hibája miatt (SÁRDY, 1968). A barométeren tett leolvasás megjavítására a következő képletet használhatjuk:

$$B = B' + \delta_i + \delta_t \cdot (t - 20^\circ) + \delta_b \cdot (760 - B') \quad (7)$$

ahol  $B'$  a barométeren tett leolvasás,  $\delta_i$  az indexhiba,  $\delta_t$  a barométer hőmérsékleti állandója,  $\delta_b$  a barométer beosztási állandója és  $t$  a műszerhőmérséklet. Az indexhiba a mutató nem helyes felélékeléséből származik, a barométer hőmérsékleti állandója a barométer és külső környezet közötti hőmérsékleti eltérésekből származik, a beosztási állandó pedig a műszer beosztásának az osztáshibájából. Mindezeket az értékeket csak a hagyományosnak tekintett

higany és rugós szerkezetű barométerek esetében kellett figyelembe venni, digitális barométerek esetében nem. A magasságmeghatározáshoz felhasználható az ICAO (International Civil Aviation Organisation) által ajánlott összefüggés is (LERCH, 1968):

$$\Delta h(p_0, T_0, h) = \frac{T_0}{-\gamma} \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{p}{p_0} \frac{-g_0 \cdot M_L}{R \cdot \gamma}} \right) \quad (8)$$

ahol

$T_0$  a referenciaállomáson mért hőmérséklet °C-ban,

$\gamma = -0.0065 \text{K/m}$  a hőmérsékleti gradiens,

$p$  a meghatározandó ponton mért légnyomás HPa mértékegységben,

$p_0$  a referenciaállomáson mért légnyomás HPa mértékegységben,

$g_0 = 9.80665 \text{m/s}^2$  a nehézségi gyorsulás,

$M_L = 28.964425 \text{g/mol}$  a száraz levegő közepes molekula súlya,

$R = 8.314 \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$  az általános gáz állandó.

A képlet egyszerűsítések után a következő formába írható át:

$$\Delta h = \frac{273.15 + T_0}{0.0065} \cdot \left( 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right) \quad (9)$$

Az ipari és környezetvédelmi felhasználás céljára mérőeszközöket gyártó nagy múltú finn Väisälä-cég az alábbi összefüggést javasolja a magasság számítására (RANTA-AHO, 2003):

$$\Delta h = \left( \frac{R}{g} \right) \cdot \left( \frac{T_0 + T}{2} \right) \cdot \ln \left( \frac{p_0}{p} \right) \quad (10)$$

ahol

$T_0$  a referenciaállomáson mért hőmérséklet °K-ben,

$T$  a meghatározandó ponton mért hőmérséklet °K-ben,

$p$  a meghatározandó ponton mért légnyomás HPa mértékegységben,

$p_0$  a referenciaállomáson mért légnyomás HPa mértékegységben,

$R = 287.05 \text{J/Kg}^\circ\text{K}$  az általános gáz állandó,

$g = 9.80665 \text{m/s}^2$  a nehézségi gyorsulás.

Az ICAO-képletben és a Väisälä-képletben a nehézségi gyorsulás átlagos értéke szerepel. A vizsgálat munkaterületén a Velencei-hegységben, a Bodza-völgyben ettől némileg eltérő érték számítható ( $9.79180 \text{m/s}^2$ ), ez azonban csak centiméteres eltérést okoz a számított magasságkülönbségben. Mindez megengedhető közelítést jelent, mert a barlangbejáratok magasságát csak szubméteres pontossággal keressük. Kutatásunk során a Laplace-képlet (2), a Babinet-képlet (3), az ICAO-által ajánlott képlet (9) és a Väisälä-képlet (10) felhasználásával is elvégeztük a barlangbejáratok magasságának számítását. A digitális barométeren tett leolvasásokat a légnyomás értékével vettük egyezőnek, redukciókat nem alkalmaztunk.

## A barometrikus magasságmérés végrehajtása és feldolgozása

A barométerrel a mérést csak olyan időben szabad végrehajtani, amikor hirtelen bekövetkező légnyomásváltozások nem valószínűek. A Babinet-képlet alkalmazásakor barlangbejáratok esetében a mérést oda-vissza értelemben kell végrehajtani. Ha  $A$  és  $F$  a meghatározandó magasság két pontja, akkor először a légnyomást és a levegő hőmérsékletét meghatározzuk az  $A$  ponton, azaz valami  $\tau_A$  időpontban kapjuk  $B_A$  és  $t_A$  értékeket. Ezután elmegyünk az  $F$  pontra, s ott  $\tau_F$  időpontban megállapítjuk  $B_F$  és  $t_F$  értékeket. Most visszamegyünk az  $A$  pontra, s újból meghatározzuk  $\tau_A''$  időpontban  $B_{A''}$  és  $t_{A''}$  értékeket. Törekedni kell arra, hogy  $\tau_F - \tau_A$  közel egyenlő legyen  $\tau_{A''} - \tau_F$ -el. Ebben az esetben a  $B_A$  és  $B_{A''}$  számtani közepeléséből számított  $B_A$  érték, továbbá a  $t_A$  és  $t_{A''}$  számtani közepeléséből számított  $t_A$  érték egyidejű értéknek vehető  $B_F$  és  $t_F$  értékekkel. A leolvasások ismeretében a 3-as képlet felhasználásával számítható az  $F$  pontnak az  $A$  pontra vonatkozó magasságkülönbsége. Amennyiben ismerjük  $A$  pont tengerszint feletti magasságát, úgy számítható  $F$  pont tengerszint feletti magassága is.

A Laplace-képlet alkalmazása során valamely  $\tau_A$  időpontban mérni kell a referenciaponton a  $B_A$  légnyomás és  $t_A$  hőmérséklet értékét, majd pedig a meghatározandó ponton  $\tau_F$  időpontban a  $B_F$  légnyomás és  $t_F$  hőmérséklet értékét.

Az ICAO-képlet alkalmazása során elegendő valamely  $\tau_A$  időpontban mérni a referenciaponton a  $p_0$  légnyomás és a  $T_0$  hőmérséklet értékét, majd pedig a meghatározandó ponton  $\tau_F$  időpontban a  $p$  légnyomás értékét.

A Väisälä-képlet alkalmazása során valamely  $\tau_A$  időpontban mérni kell a referenciaponton a  $p_0$  légnyomás és a  $T_0$  hőmérséklet értékét, majd pedig a meghatározandó ponton  $\tau_F$  időpontban a  $p$  légnyomás és  $T$  hőmérséklet értékét.

A tesztmérések mintaterülete a Velencei-hegység volt, a Pákozd közigazgatási területén található Bodza-völgy. Referenciamagassággal rendelkező pontnak (a képletekben  $A$ -val jelölt pontnak) a Bárcaházi-barlangot választottuk, amelynek magassága DGNSS-mérésből és mérőállomással végzett felmérésből származott (TARSOLY 2014a). Meghatározandó pontoknak (a képletekben  $F$ -el jelölt pont), amelyek az összehasonlításhoz adott magassággal is rendelkeztek a Diétás-, és a Cserkupacsos-barlangokat választottuk. Az említett két barlang hibátlannak tekintett magassága DGNSS-mérésből származott olyan módon, hogy a terepen meghatározott WGS84 rendszerű koordinátákat első lépésben az EUREF Permanent Network honlapján található transzformációs programmal számítottuk át az ETRS89 rendszerbe, majd az így kapott koordinátákat az EHT2 program segítségével

transzformáltuk át EOVB-ba illetve a Balti-tenger szint feletti magasságra (TARSOLY 2013, 2014b). A Diétás-barlang Bárcaházi-barlangtól mért távolsága 160 méter, a Cserkupacsos-barlangé pedig 433 méter. A mérések végrehajtásához egy szabatos, kis tehetetlenségű, analóg, tizedfokos beosztású hőmérőt használtunk fel, amelyet mindig árnyékos helyen akasztottunk fel olyan módon, hogy a levegő szabadon áramoljon a higanytartály körül. A légnyomás értékeket egy Garmin Etrex Vista kézi GPS-vevőbe épített digitális barométerrel határoztuk meg 0.1 HPa élesen. A vevőben egy mikromechanikai eljárásokkal készült barométer modul található (*Owner's Manual Garmin Etrex Vista*, 2005). Az eszköz legfontosabb eleme egy szilíciumból készített mikromechanikai membrán, amelyre nyúlásmérő ellenállásokat (piezorezisztorokat) integrálnak. Ezek Wheatstone-hídba vannak kapcsolva (teljes hidas kapcsolás), a híd tápfeszültsége 3V-os, 32 kHz-es négyszögjel. A híd kimenő jele erősítés után analóg-digitális átalakítóra, majd onnan a digitális interfészre (mikrokontrollerre) kerül. A kimeneti jel 3 vezetőkes soros rendszeren keresztül kerül további felhasználásra. A szilícium membrán 1x1 mm-es méretű, és 10  $\mu\text{m}$  vastagságú. Működés közben az atmoszférikus nyomás deformálja a membránt: 1 m magasságkülönbség 0,1 mbar nyomáskülönbséget, ez pedig 150 nm membrán deformációt okoz.

A mérés megkezdése előtt a Bárcaházi-barlangnál mindig elvégeztük a magasság kalibrálását is, azaz a mért légnyomás érték mellé rögzítettük a hibátlanak tekintett tengerszint feletti magasságot is. A Babinet-képlet alkalmazása esetén a tiszta mérési idő 50 perc volt két meghatározandó barlangbejárat vonatkozásában és 30 percre rövidült az ICAO-képlet, a Laplace-képlet és a Väisälä-képlet alkalmazása esetén. A méréseket összesen 15 alkalommal végeztük 2014 decembere és 2015 novembere között.

### **Az eredmények értékelése és elemzése**

A kapott eredmények esetén vizsgáltuk az eredmények pontosságát és az adatsorok megbízhatóságát is leíró statisztikák segítségével.

Az *I. táblázat* az egyes mérési és számítási módszerekkel meghatározott magasságok középhibáját mutatja be a mérési sorozat várható értékére és egyetlen mérési eredményre vonatkozóan. A gyakorlati felhasználás szempontjából egyetlen mérési hiba középhibájának van jelentősége. Mérési sorozatban végzett mérés esetén a középhiba értéke az ismétlésszám négyzetgyökének függvényében csökken (TARSOLY 2015), így a táblázatban a mérési sorozatra közölt adatok az általunk végzett 15-ös mérési sorozatra vonatkoznak.

1. táblázat

Table I.

Középhiba értékek a Diétás és Cserkupacsos-barlangra számított értékek közepelésével mérési sorozatra és egyetlen mérési eredményre vonatkozóan

RMSE values for the Dietetic- and Turkey Oak-caves ( single measured value, whole measuring series)

Magasság-meghatározási módok	Középhiba a mérési sorozat várható értékére [m]	Középhiba egyetlen mérési eredményre [m]
Babinet-képlet	$\pm 0.23$	$\pm 0.88$
ICAO-képlet	$\pm 0.35$	$\pm 1.37$
Väisälä-képlet	$\pm 0.35$	$\pm 1.35$
Laplace-képlet	$\pm 0.35$	$\pm 1.36$
Navigációs-érték	$\pm 0.44$	$\pm 1.69$

Az I. táblázat eredményeit elemezve elmondhatjuk, hogy a legmegbízhatóbb értéket a Babinet-módszer szerint végzett méréssel és számítással lehet elérni, ekkor egyetlen mért magasság középhibája  $\pm 0.88$  méter lesz. Az ICAO-, Väisälä- és Laplace-módszer szerint számított magasságok megbízhatósága kisebb, itt a középhiba érték egységesen  $\pm 1.35$  méternek tekinthető, ami mintegy 1.5-szörös szorzót jelent a Babinet-megoldáshoz képest. A legnagyobb középhibája (a Babinet-megoldáshoz képest mintegy kétszeres szorzó), és ezzel együtt a legkisebb megbízhatósága a navigációs értéknek van ( $\pm 1.69$  méter).

A barometrikus magasságmérés megbízhatóságának megítélése a szakirodalom szerint nem egységes. Gondosan végzett mérés esetén 200 méter magasságkülönbségig (SÁRDY 1968)  $\mu_{\Delta m} = \pm 1.7$  métert ír az egyik szakirodalom, míg a másik 500 méter magasságkülönbségig (SÁRKÖZY 1984) a középhiba értékét  $\pm 0.3$ - $1.0$  méter közé teszi. A Babinet-módszer szerint végzett magasság meghatározás értéke a SÁRKÖZY (1984) által meghatározott intervallumba esik, az ICAO-, Väisälä- és Laplace-módszer szerint meghatározott magasságok pedig inkább a SÁRDY (1968) által meghatározott értékkel tekinthetők egyezőnek.

A pontosság a valódi hiba abszolút értéke. Értékének ismerete arról tájékoztat, hogy a legvalószínűbb érték és a hibátlannak tekintett érték mennyire tekinthetők azonosnak. A hibátlan értéket csak becsülni tudjuk, ezért a pontosság értéke is csak becsült mérőszámnak tekinthető. A pontosság becsülésére két értéket használtunk (II. táblázat): a referenciaértékhez képest számított átlagos eltérést és a legnagyobb és legkisebb eltérés által meghatározott tartományt.

II. táblázat

Table II.

Pontossági mérőszámok a Cserkupacsos- és Diétás-barlangokra számított értékek közepelésével  
Accuracy values for the Dietetic- and Turkey Oak-caves

Magasság- meghatározási módok	Átlagos eltérés a referenciaértékhez képest [m]	A legnagyobb és legkisebb eltérés által meghatározott tartomány [m]
Babinet-képlet	0.82	1.83
ICAO-képlet	1.28	3.11
Väisälä-képlet	1.27	3.12
Laplace-képlet	1.26	3.08
Navigációs-érték	1.50	4.62

A II. táblázatban összefoglalt eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a legpontosabb eredményt a Babinet-módszer alkalmazásával érhetjük el, ekkor az adatok átlagos eltérése a referenciaértéktől 0.82 méter, és a legnagyobb és legkisebb eltérések által meghatározott intervallum 1.83 méter. Az ICAO-, Väisälä- és Laplace-módszer segítségével számított magasságértékek pontossága azonosnak tekinthető: a referenciaértéktől számított átlagos eltérés 1.27 méternek tekinthető (másfélszeres szorzó a Babinet-módszerhez képest), a legnagyobb és legkisebb eltérések által meghatározott intervallum pedig 3.10 méterrel vehető azonosnak (1.7-szeres szorzó a Babinet-módszerhez képest). A legkevesbé pontos eredményt a navigációs érték mutatja, az átlagos eltérés a referenciaértéktől 1.50 méter (1.8-szeres szorzó a Babinet-módszerhez képest), a legnagyobb és legkisebb eltérések által meghatározott intervallum pedig 4.62 méter (2.5-szörös szorzó a Babinet-módszerhez képest).

A pontosság becslésére a II. táblázatban összefoglalt értékeknél sokkal megfoghatóbb, egyben árnyaltabb megoldást ad, ha a pontosságot egy intervallumon belül becsljük, és minden intervallumhoz valamilyen valószínűségi szintet rendelünk hozzá. A CMAS (Circular Map Accuracy Standard) módszert eredetileg a topográfiai és földrajzi térképek adatai pontosságának az ellenőrzésére alakították ki (MALING 1989), azonban megfelelő újragondolás után alapelemei használhatók a barometrikus magasságmérés pontosságának a becslésére is.

Tekintsük a helymeghatározás azon esetét, amikor a célunk a  $\Delta m$  magasságkülönbség meghatározása. A CMAS-módszer alkalmazásának előfeltétele, hogy ismerjük a magasságkülönbség középphibáját ( $\mu_{\Delta m}$ ), és feltételezzük, hogy méréseinket csak véletlen jellegű hibák terhelik. Képzeljük el a terepen a hibátlanak tekintett magasságú ponthelyet, a helyi függőleges mentén pedig olyan közös origójú hibaszakaszokat (intervallumokat), melyek méretei eltérő valószínűségi szinteken jellemzik a pontosságot. A való-



színűség, hogy a mért ponthely valamely szakaszon belülré fog esni, arányos a szakasz hosszával.

Egy magasságkülönbség meghatározása esetén legyen a  $\Delta m$  magasságkülönbség középhibája  $\mu_{\Delta m}$  tetszőleges képlettel számítva a Diétás-, és Cserkupacsos-barlangoknál kapott középhiba értékek átlagolását követően. A középhiba ismeretében (*I. táblázat*) számíthatók a CMAS-módszer további paraméterei (*III. táblázat*), azaz a hibaszakaszok hosszai. A gyakorlati felhasználás szempontjából a 90%-os valószínűségi szintnek van jelentősége (CMAS-paraméter).

*III. táblázat*  
*Table III.*

*A CMAS-módszer paramétereinek értékei*  
*Parameters and values of the CMAS-method*

	CSE [m]	CPE [m]	MSPE [m]	CMAS [m]	$3.5 \mu_{\Delta m}$ [m]
Valószínűség [%]	39	50	63	90	99
Származtatás	$1.0 \mu_{\Delta m}$	$1.1774 \mu_{\Delta m}$	$1.4142 \mu_{\Delta m}$	$2.1460 \mu_{\Delta m}$	$3.5 \mu_{\Delta m}$
Magasság-meghatározási módok pontossága [m]					
Babinet-képlet	0.88	1.04	1.25	1.90	3.10
ICAO-képlet	1.37	1.61	1.93	2.93	4.78
Väisälä-képlet	1.35	1.60	1.92	2.91	4.74
Laplace-képlet	1.36	1.60	1.92	2.92	4.76
Navigációs-érték	1.69	1.99	2.39	3.63	5.91

A *III. táblázat* adatait elemezve elmondhatjuk, hogy 90%-os valószínűségi szinten a Babinet-módszerrel számított magasságkülönbség pontossága 1.90 méternek tekinthető. Amennyiben a referenciapont magasságát hibátlanak tekintjük, úgy ez az érték egyben a számított magasság pontossága is lesz. Az ICAO-, Väisälä- és Laplace-módszer segítségével számított magasságértékek pontossága azonosnak tekinthető, ez az érték 90%-os valószínűségi szinten 2.92 méter (másfélszeres pontosság csökkenés a Babinet-megoldáshoz képest). A legkevésbé pontosnak a navigációs érték pontossága tekinthető, ez az érték 90%-os valószínűségi szinten 3.63 méter (kétszeres pontosság csökkenés a Babinet-megoldáshoz képest). A *II. táblázat* adatai alapján meghatározott pontossági mérőszámok az egyes mérési és számítási módszerek esetében összevetve a *III. táblázat* adataival azt mutatják, hogy a *II. táblázatban* megadott adatok csak 39%-os valószínűségi szinten teljesülnek.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Barometrikus magasságmérés alkalmazásával aránylag közelfekvő pontok magasságkülönbségei határozhatók meg, ha azonosnak vehető légköri vi-

szonyok mellett egyidejűleg mérjük a légnyomást és a levegő közepes hőmérsékletét az egyes pontokon. A tesztmérések során a Babinet-, ICAO-, Väisälä- és Laplace-féle mérési és számítási módszerek alkalmazásának lehetőségét vizsgáltuk a Velencei-hegységben a Bodza-völgyben kiválasztott mintaterületen. A referenciapontok hibátlannak tekintett magassága mérőállomásos mérésből és DGNSS-mérésből származott. A vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a legpontosabb és legmegbízhatóbb magasság értékeket a Babinet-módszer segítségével lehet elérni. A magyarázat abban rejlik, hogy ennél a megoldásnál kétszer van mérés a referenciaponton, és így az esetlegesen a hőmérsékletben és légnyomásban beálló minimális változás is figyelembe vehető korrekcióként. A Babinet-módszerrel meghatározott magasság értékek pontossága 90%-os valószínűségi szinten 1.90 méter, megbízhatóságuk pedig  $\pm 0.88$  méter. Az ICAO-, Väisälä- és Laplace-módszer segítségével számított magasságértékek pontossága és megbízhatósága azonosnak tekinthető. A említett módszerekkel számított magasságértékek pontossága 90%-os valószínűségi szinten 2.92 méter, megbízhatóságuk  $\pm 1.35$  méter. A pontosság és megbízhatóság értékekben a Babinet-módszerhez képest mintegy 1.5-szeres csökkenés figyelhető meg. A legkevésbé pontos és megbízható eredmények a navigációs értékek, a pontosság 90%-os valószínűségi szinten 3.63 méter, a megbízhatósága pedig  $\pm 1.69$  méter. Ennél a módszernél a pontosság és a megbízhatóság a Babinet-módszerhez képest a mintegy a felére csökken. Amennyiben a barlangbejáratok magassági értékével kapcsolatosan azt a feltételt fogalmazzuk meg, hogy a meghatározott magasság értékének szubméteres pontosságúnak kell lennie, úgy a Babinet-módszer mindezt csak 50%-os valószínűségi szinten elégíti ki, az ICAO-, Väisälä- és Laplace-módszer, illetve a navigációs magasság felhasználásával ezt a feltételt nem lehet kielégíteni.

## **IRODALOM**

- JORDAN W.* (1880): Handbuch 2, Kap. XII (mit weiterer Literatur). Über die verschiedenen Aneroidkonstruktionen vgl. L. Löwenherz, Bericht über die wiss – Instr. auf der Nerliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879, Berlin, 122 p.
- JORDAN W.* (1896): Barometrische Höhentafeln, 2. – Aufl., Stuttgart 1886; desgl. für Tiefland und grosse Höhen, Hannover
- LERCH E.* (2003): Height adjustment of altimeters – FlyTech Ag., 20 p
- MALING, D.H.* (1989): Measurements from maps – Pergamon Press, Oxford University, 577 p.

- Owner's Manual and Reference Guide – Garmin Etrex Vista (2005), Garmin International Inc., 1200 East 151st Street Olathe, KS 66062, U.S.A., 84 p.
- RANTA-AHO T.* (2003): The hydrostatic equation and simple calculation of height – Väisälä Oyj, Helsinki, 1 p.
- SÁRDY A.* (1968): Geodéziai alapismeretek III., Tankönyvkiadó, Budapest, 215 p.
- SÁRKÖZY F.* (1984): Geodézia – Tankönyvkiadó, Budapest, 797 p.
- TARSOLY P.* (2013): Újabb barlangok a Velencei-hegységben (Cserkupa-csos-barlang és Siklóbőrös-sziklaeresz) – MKBT Vulkánszpeleológiai Kollektívájának évkönyve, Isztimér, pp. 132-139.
- TARSOLY P.* (2014a): A Pákozdvár alatti üreg nyomában a térinformatika segítségével – Térinformatika 2014, OE-AMK, Székesfehérvár, ISBN:978-615-5460-27-2, pp. 143-154
- TARSOLY P.* (2014b): A Diétás-barlang feltárása – MKBT Vulkánszpeleológiai Kollektívájának évkönyve, Isztimér pp. 23-27.
- TARSOLY P.* (2015): Geodézia II. – kézirat, OE-AMK, Székesfehérvár, 177 p.