

## **A valós idejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározás a barlangkataszterben**

**Tarsoly Péter**

Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, Geomatikai Intézet

Lektorálta: Dr. Busics György (NymE) és Dr. Borza Tibor (FÖMI)

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

*A GNSS technológiák mára széles körben elterjedtek, pontosságuk a dekaméterestől a milliméteresig terjed. A felhasználók általában reális pontossági mérőszámot is elvárnak a helymeghatározó adatok mellé, ez azonban összetett feladat. Beletartozik a GNSS-mérésre való alkalmasság vizsgálata, a felhasznált alaprendszerek és kiegészítő rendszerek, az alkalmazott mérési és feldolgozási technológiák, beállítások hatásának ismerete. A rendszer-elemek változása miatt ezeknek a GNSS-mérés minőségére gyakorolt hatását indokolt minél jobban ismerni. Jelenleg a barlangkataszterben utófeldolgozós technológiát alkalmaznak a FÖMI-KGO referenciaállomásaihoz valamint a Geotrade Kft. által üzemeltetett permanens állomásokhoz képest. Kutatásomban az GPS- és EGNOS-rendszerekre alapuló, valós idejű térinformatikai célú műholdas helymeghatározás (DGPS) alkalmazási lehetőségeit és pontosságát vizsgáltam meg a barlangkataszter, mint lehetséges felhasználási terület szempontjából, és a tesztmérések adatait minősítettem a CMAS-módszer segítségével a WGS84 (3D) és az EOY (2D+1D) rendszerben. A vizsgálati mérésekből bizonyítást nyert, hogy 90%-os valószínűségi szinten 10 fokos magassági kitarakási szög és minimum 500-szoros ismételt mérés automatikus átlagszámítása esetén az EGNOS-korrekciókra épülő DGPS-technikával vízszintes (2D) értelemben  $\pm 0.9$  méteres és magassági értelemben pedig  $\pm 1.5$  méteres pontosság érhető el.*

### **BEVEZETÉS**

A jelenlegi barlangkataszter utófeldolgozós technológiát használ, melynek lényege, hogy a terepen csak nyers mérési adatokat rögzítenek, és azokat a mérés befejezése után, irodában, valamely referenciaállomás vagy permanens állomás mért adatainak a felhasználásával kiértékelik. Ügyelve arra, hogy a permanens állomás és a vektor végpontja közötti távolság a megfelelő korláton (50-60 km) belül maradjon, még kódérés felhasználásával is elérhető a deciméteres pontosság. A megoldás azonban három kérdést is felvet: szükség van-e arra, hogy a barlangok bejáratait deciméter élességgel ismerjük, és milyen romlást eredményez a számított koordináták pontosságában a vektorhossz kritikus távolság fölé növelése? Figyelembe véve az időráfordítást, megbízhatóságot,

gazdaságosságot és műszerigényt, az utófeldolgozós vagy a valós idejű technológia felel-e meg jobban a barlangkataszter céljainak?

A bejáratok koordinátáit nem szükséges ismerni deciméteres élességgel, sok esetben nem is lehetséges a bejárat azonosítása csak méter élesen. A koordinátát tehát elegendő ismernünk méteres pontossággal; ez a meghatározási pontosság elegendő a bejárat újbóli terepi felleléséhez. Ezt a pontosságot biztosítja az utófeldolgozás még 50-60 kilométert meghaladó vektorhossz esetén is, azonban műszer- és számítás igénye, a ráfordított idő és a gazdaságosság tekintetében kedvezőtlenebb, mint a valós idejű meghatározás. Az optimális megoldás azonban az utófeldolgozós és valós idejű technológiák együttes alkalmazásában rejlik, de jelenleg nem minden pont koordinátáját lehet valós idejű technológia felhasználásával meghatározni. A DGPS-technika egyik alkalmazási lehetősége Magyarországon az ingyenes EGNOS-jelek vétele, azonban létezik másik lehetőség is, a hazai aktív hálózat DGPS internetes szolgáltatása. Kutatásomban csak az EGNOS-jelek vételével megvalósuló DGPS-technikát vizsgáltam meg.

## A VIZSGÁLATI MÉRÉSEK FOLYAMATÁNAK BEMUTATÁSA

A vizsgálati mérések végrehajtására a Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Karának tetején elhelyezett középső betonpilléren került sor ideális, kitarakás-mentes mérési környezetben. A méréseket bő egy év időtávlatában végeztem (2009.08.11. és 2010.09.03. között) egy TDS Recon kézisámítógépre szerelt Hemisphere Crescent vevő (csak GPS és EGNOS holdak jelének vétele) segítségével különböző évszakokban, napszakokban és időjárási körülmények között, hogy véletlenszerűvé tegyem a troposzféra, ionoszféra és műholdkonstelláció hatásának mértékét. A kísérletek során vizsgáltam a különböző beállítási lehetőségeket, úgy mint a hagyományos navigációs üzemmódot (abszolút GPS-mérés=SPP=EGNOS0), EGNOS korrekciók vételét, a mérések ismétlésszámát (1-10-100-500-1000-szeres mérési ismétlésszám, az átlagolást a műszer végezte) és a különböző észszerűségi keretek között mozgó kitarakási szögeket (5-10-15-20 fok). Egy mérésnek egyetlen epochányi, azaz körülbelül 1 másodpercnyi mérést neveztem. A vizsgált időszakban 747 darab koordináta-hármaszt határoztam meg a WGS84 (X, Y, Z) rendszerben. Az EGNOS-korrekciók vétele mellett lényegében az ITRF2000 rendszerben kapunk koordinátákat, azonban a WGS84 és ITRF2000 között meglévő mintegy 5 centiméteres eltéréstől a barlangkataszter gyakorlati felhasználási szempontjai miatt eltekintettem. A barlangbejáratok 3D objektumok, azonban a földfelszínen lévő bejárat ábrázolásához elegendők a vízszintes koordináták is. A vízszintes és magassági koordináták között meglévő pontosság különbség indokoltá tette tehát, hogy a vizsgálatokat a WGS84 (3D) rendszer mellett EOVB-ban (2D+1D) is elvégezzem.

Az összehasonlítás alapját képező referencia-koordinátát egy Leica 500-as típusú geodéziai célú vevővel, statikus méréssel határoztam meg. A statikus méréssel ETRS89 rendszerben nyert koordinátákat az *EUREF Permanent Network* honlapján található ingyenesen használható programmal számítottam át a WGS84-es rendszerbe. A statikus mérés természetesen szigorú értelemben nem tekinthető hibátlannak - hiszen a fázismérésnek ugyanúgy megvannak a hibái, mint a kódérésnek - azonban a vizsgálatom szempontjából a centiméteres pontossággal jellemezhető geodéziai célú helymeghatározás hibátlannak tekinthető a méteres pontossággal jellemezhető valós

idejű, térinformatikai célú műholdas helymeghatározáshoz képest. A mérési jegyzőkönyvben (saját Excel táblában a kutatás céljára kialakított jegyzőkönyvben) a koordináták mellett számos más, a mérési körülményeket jellemző paramétert is tároltam, amelyek segítségével lehetőség nyílt a mérések megbízhatóságát befolyásoló tényezők jobb megértésére. A mérési jegyzőkönyv elemei vázlatosan a következők voltak:

1. A mérés sorszáma, helyszíne és időpontja, a pillér WGS84 koordinátái a referenciamérésből
2. Hagyományos navigációs üzemmódhoz (abszolút GPS-mérés), EGNOS korrekciók vételéhez, 1-10-100-500-1000-szeres ismétlésszámhoz, 5-10-15-20 fokos magassági kitararási szöghöz tartozó koordináták, azok különbségei a referencia-koordinátához képest, továbbá a 3D lineáris eltérések a referencia-értékhez képest
3. A vevő által kijelzett PDOP-érték, középhibák (HRMS, VRMS), jel/zajviszony-átlag, észlelt műholdak száma

## A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ELŐFELDOLGOZÁSA

A mérési eredmények előfeldolgozása segítséget nyújthat a megbízhatósági mérőszámok becslésében, valamint azoknak az intervallum-határoknak a lehatárolásában, amelyek közé szélső esetekben ezen értékek eshetnek. A tényleges feldolgozás megkezdése előtt nincs lehetőség arra, hogy „valódi” megbízhatósági mérőszámokkal dolgozzunk, azonban az X, Y, Z, és 3D lineáris eltérés statisztikájának és hisztogramjának elemzése képet adhat arról a folyamatról, amely meghatározza a DGPS-technika által szolgáltatott adatok felhasználhatóságának tartományát.

Az előfeldolgozás folyamatához tartozik a  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ , és 3D lineáris eltérések középhibáinak meghatározása is, azonban ezek az adatok önmagukban szemlélve nem nyújtanak szemléletes képet a pontosságról. Ahhoz, hogy a későbbi vizsgálatokhoz megfelelő adatok álljanak a rendelkezésünkre leíró statisztikákat és hisztogram elemzéseket érdemes végezni.

A leíró statisztika célja egy adatsor lehető legteljesebb elemzése a matematikai statisztika módszereivel. Bizonyos mérőszámok (legvalószínűbb érték, adatsor középhibája stb.) megállapítására a geodéziából ismert első kiegyenlítési csoport is lehetőséget nyújtana, azonban az egyszerűség, könnyebb áttekinthetőség és érthetőség kedvéért ezen elemzésekhez a Microsoft Excel beépített elemző funkcióját használtam. Az alább felsorolt statisztikai mérőszámokat mind az X, Y, Z, és 3D lineáris eltérés esetében kiszámítottam:

1. Számtani közép
2. Standard hiba
3. Medián
4. Középhiba
5. Variancia
6. Terjedelem

Ezeket az adatokat egyenként meghatároztam az egyes beállítási módokhoz és kitararási szögekhez kapcsolódóan, azonban a mérési folyamat egységes jellemzéséhez a különböző kitararási szögekhez kapott eredményeket végül összevontam, és így olyan statisztikákat számítottam, amelyek egységes képet nyújtanak a térinformatikai célú műholdas helymeghatározási eljárásokról.

A mérési eredmények további előzetes elemzéséhez tartozott még az adatsorok hisztogramokon történő megjelenítése és elemzése is. A hisztogram egy rendezett minta előre kitűzött változó-tartományába eső elemek számát vagy gyakoriságát ábrázolja. A hisztogram hasábjainak szélessége a változó-tartományt, magassága az (abszolút vagy relatív) gyakoriságot ábrázolja. A hisztogramok tehát alkalmasak arra, hogy megvizsgáljuk, hogy a mért koordináták, koordináta-különbségek és 3D lineáris eltérések a legkisebb és legnagyobb értékek által kijelölt intervallum-határokon belül milyen eloszlást mutatnak. Mindebből következtetéseket lehet levonni arra vonatkozóan, hogy a mérések pontossága milyen értéktartományokon belül fog mozogni, mennyi lesz a becült értéke a középhibának, azaz jellemezni tudjuk az egyes mérésekhez kapott eredményeket. Az egységes jellemzéshez a különböző kitarakási szögekhez és beállítási módokhoz kapott eredményeket itt is összevontam, vízszintes értéktengelynek pedig a 0.5 méteres beosztást választottam.

A leíró statisztikákból és a hisztogram-elemzésekből levonható következtetéseket és a legfontosabb jelzőszámokat az 1. táblázat tartalmazza:

1. táblázat Az előfeldolgozás legfontosabb eredményei

	Abszolút GPS	EGNOS 1x	EGNOS 10x	EGNOS 100x	EGNOS 500x	EGNOS 1000x
<b>Intervallumhatárok (m)</b>						
$\Delta X$	-0.5-6.5	-1.5-5.5	-2.0-4.5	-1.5-4.5	0.5-2.0	0.5-2.0
$\Delta Y$	-1.0-3.0	-1.0-2.5	-1.0-2.5	-1.0-2.0	0.0-1.0	0.5-1.5
$\Delta Z$	-6.0-6.0	-4.5-4.5	-4.0-4.0	-2.0-3.0	-1.5-1.5	-1.0-2.0
<b>3D</b>	1.0-12.0	1.0-16.5	0.5-17.0	0.5-7.0	1.0-2.0	1.0-2.5
<b>A leíró statisztikákból számított középhibák (m)</b>						
<b>X</b>	±2.5	±2.3	±2.3	±1.6	±0.4	±0.5
<b>Y</b>	±1.6	±1.2	±1.2	±0.7	±0.3	±0.2
<b>Z</b>	±3.2	±2.7	±2.7	±2.2	±0.8	±0.6
<b>3D</b>	±2.3	±2.3	±2.2	±1.5	±0.4	±0.4
<b>Várható pontosság (m)</b>						
	±5.0	±4.0	±3.5	±3.0	±2.0	±1.5

## A DGPS-TECHNIKA PONTOSSÁGÁNAK VIZSGÁLATA WGS84-BEN A CMAS-MÓDSZERREL

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

A CMAS- (Circular Map Accuracy Standard) módszert eredetileg a topográfiai és földrajzi térképek adatai helyzeti pontosságának az ellenőrzésére alakították ki (Maling, 1989), azonban megfelelő újragondolás után alapelemei használhatók a műholdas helymeghatározás pontosságának a becslésében is (Tarsoly, 2009). A módszer által használt paramétereknek nem ismert magyar nyelvű fordítása, ezért a továbbiakban az angol megfelelő betűszavaival fogok hivatkozni rájuk.

Tekintsük a helymeghatározás azon esetét, amikor a célunk az  $x$ ,  $y$  síkkoordináta meghatározása. A CMAS-módszer alkalmazásának előfeltétele, hogy ismerjük az egyes koordináta-összetevők középpontjait ( $\mu_x$ ,  $\mu_y$ ). Ha feltételezzük, hogy véletlen jellegű hibák, azaz a mérések során sikerült valamennyi szabályos hiba-összetevőt kiküszöbölni, akkor lényegében a két középpont egy ellipszis alakú függvényt fog meghatározni. Képzeljük el a terepen a hibátlannak tekintett ponthelyet, a helyi vízszintes síkjában pedig olyan koncentrikus ellipsziseket, melyek kis- és nagy tengelyeinek méretei eltérő valószínűségi szinteken jellemzik a pontosságot. A valószínűség, hogy a mért ponthely valamely ellipszisen belülre fog esni, arányos az ellipszis kis- és nagy tengelyeinek méretével. Ha a két koordináta középpontja egyenlő, vagy egyenlőnek tekinthető, akkor az ellipszisek körre válnak, amelyet sokkal egyszerűbb kezelni matematikailag. Ebben az esetben a hibátlannak tekintett ponthely körül a helyi vízszintes síkjában különböző valószínűségi szinthez tartozó, különböző sugarú koncentrikus körökkel fogjuk tudni jellemezni a pontosságot.

A módszer barlangkataszterbeli alkalmazásához azonban figyelembe kell venni bizonyos megkötéseket is. Mivel a barlangbejáratok 3D objektumok, ezért a CMAS-módszer által használt mérőszámokat már nem síkban, hanem térben kell értelmezni. Ekkor a különböző valószínűségi szintekhez hiba-ellipsoidok fognak tartozni, azonos középpontok esetén pedig hibagömbök. A valóságban az előfeldolgozások eredményeiből látható, hogy az  $X$ ,  $Y$  és  $Z$  koordináták középpontjai mintegy 1.5 méteres intervallumon belüli szórást mutatnak. A barlangkataszter szempontjából ez a ~1.5 méter középpont eltérés nem tekinthető relevánsnak, így lehetővé válik, hogy a pontosságot a nehezen kezelhető ellipsoiddal szemben egy gömbön belül értelmezzük. Mindez azonban a módszer jelentős egyszerűsítését és egyben alkalmazhatósági korlát bevezetését is jelenti (Tarsoly, 2007). A kapott koordináta középpontok nem tekinthetők csak véletlen hibáknak, azonban a barlangkataszter által elvárt nem szabatos helymeghatározásban mindettől el lehet tekinteni. A fenti megfontolásokból látszik, hogy a CMAS-módszer alkalmazása a barlangkataszterben nem tekinthető precíz

megoldásnak, más célú meghatározásokban való alkalmazása csak alapos megfontolás után lehetséges.

Egy vektor meghatározása esetén legyenek a WGS84 X, Y és Z irányú összetevők középpontjai  $\mu_X$ ,  $\mu_Y$ ,  $\mu_Z$ , továbbá tételezzük fel, hogy a három mennyiség legyen egyenlő egymással ( $\mu_X = \mu_Y = \mu_Z$ ). A vektor középpontja (térbeli ponthiba), és a CMAS-módszer alapparamétere ( $\sigma_C$ ), azaz a közepes térbeli ponthiba ekkor:

$$(1)$$

A  $\sigma_C$  paraméter ismeretében számíthatók a CMAS-módszer paraméterei (2. táblázat), azaz lényegében a koncentrikus gömbök sugarai:

2. táblázat A CMAS-módszer paraméterei

Név	Rövidítés	Valószínűség (%)	Származtatás
Circular standard error	$\sigma_C$	0.39	$1.0 \sigma_C$
Circular probable error	CPE or CEP	0.50	$1.1774 \sigma_C$
Circular mean square positional error	MSPE	0.63	$1.4142 \sigma_C$
Circular map accuracy standard	CMAS	0.90	$2.1460 \sigma_C$
Three-five sigma error	$3.5 \sigma$	0.99	$3.5 \sigma_C$

A 2. táblázatban látható paramétereket figyelembe véve, az előfeldolgozás során számított középpontok bevonásával az egyes mérési módszerekhez és kitakarási szögekhez az alábbi paraméterek számíthatók (3. táblázat).

A 3. táblázatban látható mérőszámok jól jellemzik a DGPS-technika pontosságát, azonban nem szabad elfelejtenünk, hogy ezek a számok csak becslést adnak, szélsőségesnek tekinthető mérési környezetben (kevés számú műhold, zavaró objektumok stb.) lényegesen rosszabb pontossággal kell számolnunk. A kitakarási szögek figyelembe vétele azt sugallja, hogy az 5-10 fokos magassági kitakarás nyújtja a legjobb megoldást. Fedett terepen a többutas terjedés hatása fokozottan érvényesül különösen az 5 fokos kitakarási szög alkalmazása mellett, így a barlangkataszterbeli gyakorlati felhasználás szempontjából a 10 fokos kitakarási szöget lehet az optimális választásnak tekinteni. A 15 és 20 fokos magassági kitakarási szög alkalmazása esetén a pontosság értékek már jelentős romlást mutatnak az 5 és 10 fokos kitakarási szöghöz képest, azonban meg kell jegyeznünk, hogy mérlegelve a vevő körüli kitakarás jellegét és elhelyezkedését a 15 fokos magassági kitakarás alkalmazása is indokolt lehet (Tarsoly, 2003).

**3. táblázat A CMAS-módszer alkalmazása EGNOS0 (abszolút GPS-mérés), EGNOS1x és EGNOS 10x mérések esetén (P(%)=valószínűség) a WGS84 rendszerben**

		Értékek (m)				
		5	10	15	20	
P(%)		3D	3D	3D	3D	E G N O S ( 0 )
CSE	39	2.3	2.2	2.4	3.2	
CPE	50	2.7	2.6	2.8	3.7	
MSPE	63	3.3	3.1	3.4	4.5	
CMAS	90	5.0	4.7	5.1	6.8	
3.5 $\sigma$	99	8.1	7.7	8.3	11.0	

  

		Értékek (m)				
		5	10	15	20	
P(%)		3D	3D	3D	3D	E G N O S 1 x
CSE	39	1.6	1.7	2.3	2.8	
CPE	50	1.9	2.0	2.7	3.3	
MSPE	63	2.3	2.4	3.2	3.9	
CMAS	90	3.5	3.7	4.9	6.0	
3.5 $\sigma$	99	5.7	6.0	8.0	9.8	

  

		Értékek (m)				
		5	10	15	20	
P(%)		3D	3D	3D	3D	E G N O S 1 0 x
CSE	39	1.5	1.6	2.2	3.0	
CPE	50	1.8	1.9	2.6	3.5	
MSPE	63	2.2	2.3	3.1	4.2	
CMAS	90	3.3	3.5	4.8	6.4	
3.5 $\sigma$	99	5.3	5.7	7.8	10.4	

  

Mérési időtartam (1s=kb.1 epocha)	
1s	10s

A táblázatból megállapítható, hogy a mérési ismétlésszám növelése kedvezően befolyásolja a pontosság alakulását. A további vizsgálatokat már csak az optimálisnak tekintett 10 fokos kitarakási szög mellett végeztem, 100-500-1000-szeres ismétlésszám mellett, és a CMAS-módszer paramétereinek a levezetéséhez közel 100 mérési alkalom eredményeit használtam fel. Az eredményeket a 4. táblázat tartalmazza.

A 100-as és 500-as ismétlésszám között egyértelműen megfigyelhető a pontosság javulása, a megbízhatósági mérőszámok megközelítően a harmadrészükre csökkentek. Az 500-as és 1000-es ismétlésszám között már nem figyelhető meg lényeges javulás (megközelítőleg csak 10%-os), ami azt jelenti, hogy az ismétlésszám növelésének ésszerűségi határa 500 körül húzódik. A mérési időtartam 15-20 perccel megnő az 500-as és 1000-es ismétlésszám között, ugyanakkor a több ráfordított idő nem térül meg a középhibák tekintetében.



4. táblázat A CMAS-módszer alkalmazása EGNOS100x, EGNOS500x és EGNOS 1000x mérések esetén a WGS84 rendszerben

Értékek (m)			
		10	
	Valószínűség (%)	3D	
CSE	39	1.6	EGNOS 100x
CPE	50	1.9	
MSPE	63	2.3	
CMAS	90	3.4	
3.5 $\sigma$	99	5.6	
Értékek (m)			
		10	
	Valószínűség (%)	3D	
CSE	39	0.5	EGNOS 500x
CPE	50	0.6	
MSPE	63	0.7	
CMAS	90	1.1	
3.5 $\sigma$	99	1.8	
Értékek (m)			
		10	
	Valószínűség (%)	3D	
CSE	39	0.5	EGNOS 1000x
CPE	50	0.6	
MSPE	63	0.7	
CMAS	90	1.0	
3.5 $\sigma$	99	1.7	
Mérési időtartam (1s=kb.1 epocha)			
3.5 perc	10-15 perc	30 perc	

## A DGPS-TECHNIKA PONTOSSÁGÁNAK VIZSGÁLATA EOVBAN A CMAS-MÓDSZERREL

A gyakorlati felhasználás számára a WGS84 koordináták vizsgálata kevésbé szemléletes, mert egy geocentrikus koordináta-rendszerben adottak. Érthetőbb információt szolgáltat a síkkordináták vizsgálata, ezen kívül az EOVBAN történő vizsgálatot a gyakorlati életben való általános elterjedtsége is indokolja. Az EOVBAN történő vizsgálathoz azonban több tényezőt is figyelembe kell venni.

A mért koordinátáim a WGS84 rendszerében adottak, így ezeket át kellett számolnom EOVBAN. Első lépésben az *EUREF Permanent Network* honlapján található transzformációs programmal átszámítottam a koordinátákat ETRS89 rendszerbe. Az így kapott koordinátákat az EHT<sup>2</sup> program segítségével transzformáltam át EOVBAN. Az EOVBAN-koordináták lényegében 2D+1D értékeként értelmezhetők, tehát a síkkordináták (y, x) és a magasság különböző vonatkoztatási rendszerben adottak. Ennek megfelelően a CMAS-paraméterek vizsgálatát is szét kell bontani 2D-re és 1D-re. Két dimenzióban a hibátlannak tekintett ponthely körül a pontosságot hibakörök fogják szemléltetni, amennyiben az y és x irányú koordináta-összetevők középpontjait azonosnak tekintjük. A valóságban az előfeldolgozások eredményeiből látható, hogy az y, x koordináták középpontjai mintegy 1.5 méteres intervallumon belüli szórást mutatnak. A barlangkataszter szempontjából ez a középpont eltérés nem tekinthető mértékadónak, így lehetővé válik, hogy a pontosságot a nehezen kezelhető ellipszissel szemben egy körön belül értelmezzük. Egy dimenzióban a pontosságot az álláspont függőlegesére illesztett hibaszakasz fogja jelképezni. A magassági érték különálló vizsgálatát az is indokolja, hogy a GPS-méréseken alapuló magasságmeghatározás egy nagyságrenddel megbízhatatlanabb, mint a síkban értelmezett koordinátáké. A későbbi következtetések szempontjából tehát szükséges ismerni, hogy az egyes összetevő tényezők hogyan befolyásolják a kapott végeredményeket.

Az EOVBAN-koordinátákra végzett feldolgozások eredményét abszolút GPS-mérés, továbbá EGNOS1-10-100x beállítási mód esetén a különböző kitakarási szögekhez az 5. táblázat tartalmazza.

A gyakorlati életben a 90%-os valószínűségi szint vizsgálatának van jelentősége, így a táblázat ezen értékeinek az összehasonlítását végeztem el részletesebben. Abszolút GPS-mérés esetén a 2D pontosság 5-10-15 fokos kitakarási szögek esetén kis mértékű, de határozott javulást mutat, míg a 20 fokos kitakarási szög esetén a korábbiakhoz képest egyértelműen romlik. Az 1D meghatározások pontossága az 5 fokos kitakarás mellett a legjobb, és folyamatosan romlik a kitakarási szög növekedésével. Abszolút-GPS mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan  $\pm 4.5$  méter, az 1D meghatározásé pedig  $\pm 7.0$  méter.

EGNOS1x beállítás esetén a 2D meghatározások pontossága a kitakarási szög növelésével egyértelmű romlást mutat. Az 1D meghatározások esetén ugyanez a tendencia figyelhető meg. Nem szabad azonban azt a következtetést levonni ebből, hogy az 5 fokos kitakarás adja a legmegbízhatóbb megoldást, hiszen a vizsgálati méréseket ideális, kitakarás-mentes környezetben végeztem; ezzel szemben a barlangmérések terepi körülményei egészen mások. A megfelelő kitakarási szög megválasztása fontos feladat, azonban csak az álláspont körüli kitakarás mérlegelésével lehetséges, és mindenkor a mérést végző személy felelőssége. EGNOS1x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan  $\pm 3.0$  méter, az 1D meghatározásé pedig  $\pm 6.5$  méter.

EGNOS10x beállítás esetén a 2D és 1D meghatározások pontossága azonos tendenciát mutat az EGNOS1x beállításhoz, tehát romlik a kitakarási szögek növekedésével. EGNOS10x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan  $\pm 3.0$  méter, az 1D meghatározásé pedig  $\pm 6.5$  méter, tehát nem mutat javulást az EGNOS1x beállításhoz képest.

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

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

A korábbi vizsgálatok során kiderült, hogy a barlangkataszterben végzett mérések szempontjából a 10 fokos magassági kitakarási szög választása jelenti az optimális megoldást, így az EGNOS100-500-1000x mérési beállítások esetén már csak ezt a kitakarási szög értéket vizsgáltam. Az eredményeket a 6. táblázat tartalmazza.

EGNOS100x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan  $\pm 2.4$  méter, az 1D meghatározásé pedig  $\pm 4.9$  méter, tehát lényeges javulást az EGNOS10x beállításhoz képest csak a magasságok meghatározása mutat. EGNOS500x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan  $\pm 0.9$  méter, az 1D meghatározásé pedig  $\pm 1.5$  méter, tehát a pontosság javulása számottevő mind a két érték esetében. EGNOS1000x mérés esetén a 2D meghatározás pontossága 90%-os valószínűségi szinten várhatóan  $\pm 0.8$  méter, az 1D meghatározásé pedig  $\pm 1.4$  méter. A pontosság javulása az EGNOS500x beállításhoz képest mindösszesen 10%-os a 2D értékek esetében és 12%-os a magasságok esetében. Mindezen értékek megerősítik azt, hogy a DGPS-technika által meghatározott koordináták pontossága egyértelműen javulást mutat az ismétlésszám függvényében,

és az ismétlésszám ésszerűségi határa valahol 500 körül húzódik. Az adatok vizsgálatából az is kitűnik, hogy a magassági meghatározás pontossága lényegesen rosszabb a síkkoordinátákénál. Az összesített értékek vizsgálatából megállapítható, hogy a magassági értékek pontosságánál a síkkoordinátákhoz képest mintegy 1.5-es szorzótényezővel lehet számolni.

**6. táblázat** A CMAS-módszer alkalmazása EGNOS100x, EGNOS500x és EGNOS 1000x mérések esetén az EOVRendszerben

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

A gyakorlati életben a DGPS-vevőknél a WGS84-es rendszerben meghatározott koordináták közvetlenül kerülnek átszámításra valamilyen transzformációs eljárással (VITEL, lokális transzformáció stb.) az EOVS rendszerbe. Az általam használt vevővel lehetőség volt a terepen meghatározott WGS84 koordinátákat a VITEL2009-es transzformációs program segítségével közvetlenül EOVS-ba átszámítani. A valós időben kapott EOVS koordináták azonban csak kvázi-EOVS koordinátáknak tekinthetők, hiszen a VITEL2009, az ETRS89 és EOVS rendszerek közötti átszámítást teszi lehetővé. A WGS84 és ETRS89 rendszerek közötti eltérést ez a megoldás nem veszi figyelembe. A barlangkataszter céljára legalkalmasabbnak tekintett beállítási mód (EGNOS500x, 10 fokos magassági kitarítás) használatával terepen nyert kvázi EOVS és az irodában számított helyes EOVS koordináták összehasonlításának eredményét a 7. táblázat tartalmazza:

## 7. táblázat Eltérések a kvázi EOV és a helyes EOV rendszer között

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

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

**A DGPS-TECHNIKA ALKALMAZÁSA A BARLANGKATASZTERBEN**

A CMAS-módszer alkalmazásával levezetett megbízhatósági mérőszámok ismeretében látható, hogy a DGPS-technika alkalmas lehet megfelelő feltételek teljesülése mellett a barlangkataszter céljaira. Gyakorlati megfontolásokból a 90%-os valószínűségi szinthez tartozó értékeket ajánlott figyelembe venni.

A mai, modern térinformatikai célú műholdas helymeghatározó eszközök az esetek ~90%-ában alkalmasak valós időben az 1 méter alatti pontosságú pozíció meghatározásra ingyenes EGNOS korrekcióval, amennyiben az alábbi feltételek teljesülnek:

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

A DGPS-technikának a barlangkataszter szempontjából két alkalmazási területe lehetséges. Az egyik a bejáratok koordinátájának meghatározása, a másik pedig a barlangbejárat helyszínrajzok elkészítéséhez szükséges mérések végrehajtása.

A bejárat koordináták meghatározása csak a korlátok mérlegelése és a fentebb említett szempontok betartása mellett lehetséges. A pontosságot tárgyaló fejezetben bemutatott 2-3-4-5. táblázatok segítik terepen a munkát az objektív, hasznos döntések meghozásában. A táblázatok lényegében gyűjtőtáblázatok, amelyekben található mérőszámokat a terepi körülményekhez igazítva el tudjuk dönteni, hogy a bejáratot meg lehet-e határozni a kívánt megbízhatósággal valós időben vagy sem.

A DGPS-technika alkalmas a bejárat környezetét bemutató helyszínrajzok elkészítéséhez szükséges mérések elvégzéséhez is. Az Országos Barlangnyilvántartás (OBNY) nem írja elő a barlangkataszter számára az ilyen célú helyszínrajzok készítését, azonban meglétük nagymértékben könnyítheti a barlangok nyilvántartását, terepi felkeresését.

A barlangok - különösen a kisbarlangok - bejáratai a terepen nehezen lelhetők fel; a megadott, és akár *Internetről* letölthető koordináták valamint a közepes (1:20 000-60 000) méretarányú turistatérképek jelölései a generalizálás és a nem kellő részletesség miatt sokszor nem bizonyulnak elegendőnek a bejárat megtalálásához. Szükséges lehet olyan térképek/helyszínrajzok létrehozása, amelyek kellően részletesen mutatják a barlang bejáratának közvetlen környezetét, az ott található sziklaformációkat, növényeket, a mellettük elhaladó utakat és nyiladékokat, a bejáratától látható jelentős tereptárgyakat stb. A DGPS-technika által biztosított méteres – ideális esetekben néhány deciméteres – megbízhatóság elegendő ahhoz, hogy a bejárat körül fellelhető tereptárgyakat bemérjük. Természetesen ebben az esetben sem hagyhatók figyelmen kívül az alkalmazás feltételeire megállapított szempontok, továbbá a táblázatokban összefoglalt megbízhatósági mérőszámok.

### **DGPS-TECHNIKA A VELENCEI-HEGYSÉG BARLANGKATASZTERÉBEN**

A Velencei-hegység hazánk legkisebb és egyben egyik legöregebb közephegysége. Alapköze gránit, amely csak kis mértékben hajlamos az üregedésre. A hegységben jelenleg 26 barlang ismert. A 2010-es évben a hegységben nyolc új barlangot fedeztem fel, és az új barlangok bejáratának meghatározása mellett elvégeztem egyben a hegységből már korábbról ismert bejáratok újbóli bemérését is. A Velencei-hegység barlangjai nem-karsztos kőzetbe mélyednek és jellemzően kis kiterjedésűek, így nyilvántartásukat elsődlegesen a Vulkánszpeleológiai Kollektíva (VK) vezeti (csak síkbeli koordináták). A VK honlapján megadott koordináták esetében sajnos semmilyen metaadat nincsen feltüntetve a koordináták származásáról, pedig a felhasználhatóság szempontjából hasznos információt közvetítené, ha meg lenne adva, hogy ki, mikor, milyen műszerrel és módszerrel, milyen pontossággal határozta meg a koordinátákat.

A hegység keleti peremén és középső részén lévő barlangok esetében a VK és az általam mért értékek 3-5 méteren belüli egyezést mutatnak. Ez az eltérés származhat akár a bejáratok nehéz beazonosíthatóságából is. A korábbi tesztmérések során bebizonyosodott, hogy a vevő által kijelzett középhibák (HRMS, VRMS) jól fedik a valóságos értékeket, így ezen értékeket figyelembe véve elmondható, hogy a részben fedett terep ellenére a koordinátákat  $\pm 1.5$  méteres síkbeli, és  $\pm 3.0$  méteres magassági megbízhatósággal sikerült meghatároznom. A hegység nyugati részén lévő barlangok nyílt terepen helyezkednek el, tehát bemérésüket a DGPS-technikával semmi nem korlátozta. A VK nyilvántartásában szereplő értékektől meglepően több száz méterre eltérő koordinátákat határoztam meg (6. táblázat). A vevő által kijelzett megbízhatósági mérőszámokat figyelembe véve a síkbeli pontosság ezen barlangoknál átlagosan  $\pm 0.9$  méter volt, a magassági pontosság pedig  $\pm 1.5$  méter. Később topográfiai térképre feltéve az adatokat egyértelműen bebizonyosodott, hogy a VK nyilvántartásában lévő koordináták hibásak voltak. Az Országos Barlangnyilvántartásban a Velencei-hegység barlangjai közül mindösszesen 3 darab szerepel (Pirofillit-bánya barlangja, Hasadék-barlang, Zsivány-barlang), melyeknek koordinátáit



utófeldolgozással, kódmeréssel határozták meg. Összevetve a három meghatározás eredményeit (OBNY, VK, saját) a következő megállapításokat lehet tenni:

- a hegység középső és keleti részén lévő barlangok 3-5 méteren belüli koordináta-egyezést mutatnak (a meglévő eltérésnek oka lehet a bejáratok különböző beazonosítása is)
- a nyugati részen lévő barlangok esetében a saját és az OBNY által nyilvántartott koordináták továbbra is jó egyezést mutatnak (2-3 méter), azonban mind az OBNY, mind a saját értékeim jelentősen eltérnek a VK által nyilvántartott koordinátáktól.

A DGPS-technika barlangkataszterbeli létjogosultságának a megállapításához további tesztmérésekre és esettanulmányokra van szükség, azonban az eddig elvégzett vizsgálatokból is látható, hogy a valós idejű meghatározásnak egyre hangsúlyosabb szerep fog jutni a felmérési munkák bármely területén.

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

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

## IRODALOM

1. *Maling, D.H.*: Measurements from maps, Pergamon Press, Oxford University, 577, 1989
2. *Tarsoly P.*: GPS alkalmazása barlangbejáratok helyének meghatározására, OTDK Konferencia különdíj, Debrecen, 54 oldal, 2003
3. *Tarsoly P.*: Barlangok Információs Rendszere. In: Földméréstől a geoinformatikáig. 45 éves a GEO., ISBN:978-693-06-2036-9, NyME-GEO, Székesfehérvár, 295-303, 2007
4. *Tarsoly, P.*: Digital topographical maps-positional accuracy (How CMAS-method works in the practise). Proceeding of 7th FIG Regional Conference, Hanoi, Vietnam, Oct. 19-22. 2009. CD.p 11

**A szerző elérési adatai:**

Tarsoly Péter  
Nyugat-magyarországi Egyetem  
Geoinformatikai Kar  
8000 Székesfehérvár  
Pirosalma u. 1-3.  
Tel. +36 22 516 563  
Email: [tp@geo.info.hu](mailto:tp@geo.info.hu)  
Honlap: [www.geo.info.hu](http://www.geo.info.hu)