

Műholdas geodéziai vonatkoztatási rendszerünk (ETRS89) felújítása

Dr. Borza Tibor- dr. Kenyeres Ambrus- Virág Gábor
Földmérési és Távérzékelési Intézet, Koszmos Geodéziai Obszervatórium

Bevezetés

Egy eddig példa nélküli lépésre szánta el magát az állami földmérés: az OGPSH 1997-ben bevezetett koordinátáit 2007 október 24-én egy pontosított koordinátarendszerrel váltja fel. A néhány cm-es változtatás sokak szerint csak gondot és zavart okoz, de az aktív GNSS hálózat, amely határainkon kívüli állomásokra is támaszkodik, megköveteli az áttérést a régióban egységesen használt, mm pontosságú koordinátarendszerre.

Ebben az írásban arra vállalkoztunk, hogy eligazítást adjunk a 3D vonatkoztatási rendszerek útvesztőiben, és bemutassuk a hazai megoldásokat. A felhasználót természetesen az érdekli, mit jelent az áttérés számára, ezért erre egy külön fejezetet szenteltünk, majd bemutatjuk azokat a transzformációs eljárásokat, amelyek ugyancsak módosultak a rendszer pontosítása következtében.

Az ETRS89 vonatkoztatási rendszer

A műholdas geodéziai hálózataink (OGPSH, GNSSnet.hu) vonatkoztatási rendszere az ETRS89. Egyszerű definíciója ellenére korrekt alkalmazása alaposabb háttérismereteket igényel ezért lényegi elemeit a következőkben röviden összefoglaljuk.

A GPS technika terjedésével az 1980-as évek végére szükségessé vált a Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer (ITRS) mellett egy európai, térbeli háromdimenziós geodéziai célú vonatkoztatási rendszer definiálása is, ahol a koordináták időbeli változatlansága volt a cél. Mint ismeretes az ITRS-ben, illetve annak az egymást követő gyakorlati megvalósítását jelentő ITRF¹ rendszerekben (yy jelenti a publikálás évét) a földi pontok koordinátái a lemeztektónikai mozgások miatt folyamatosan változnak. Ez az európai kontinensen az eurázsiai kőzetlemez mozgása miatt hozzávetőlegesen 2.5 cm/év ÉK-i irányú elmozdulást és koordinátaváltozást jelent. A kőzetlemezek mozgását a gömbön egy adott forgási pólus körüli adott szögsebességgel végzett forgással írhatjuk le, amit kezdetben geofizikai mérések alapján határoztak meg. A legelfogadottabb modell a legutóbbi időig az ún. NUVEL1A-NNR [1] volt. A koordináták modellezhető változását elkerülendő az ETRS89 az 1989-es kezdő epochában definíció szerint megegyezett az akkor érvényes ITRF89 rendszerrel, attól kezdve viszont az ETRS89 együtt mozog Euráziával. A gyakorlatban ez úgy valósítható meg, hogy az aktuális mérési epochából az aktuális ITRF¹ rendszerben meghatározott koordinátáinkat pl. a NUVEL1A-NNR modell alapján visszatranszformáljuk, azaz visszaforgatjuk az 1989.0 epochába.

1 Az ITRF megoldások és a geodéziai gyakorlatban ismertebb WGS84 dátum napjainkban már analóg vonatkoztatási rendszerek, közöttük cm-es nagyságrendű eltérések vannak. A WGS84 dátumát a GPS rendszer fenntartója határozta meg, amely kezdetben még jóval pontatlanabb volt az ITRF-nél.

$$X^E(t) = X'_{YY}(t) + T_{YY} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R}3 & \dot{R}2 \\ \dot{R}3 & 0 & -\dot{R}1 \\ -\dot{R}2 & \dot{R}1 & 0 \end{pmatrix} * X'_{YY}(t)(t-1989.0) \quad (1)$$

ahol X^E ill. X' jelöli az ETRS89 ill. ITRFyy rendszerű (X,Y,Z) koordinátahámasokat,

T_{YY} : a 7-paraméteres transzfomáció eltolási paraméterei
 $R1, R2, R3$: forgatási paraméterek (milli-ívmásodperc/év)
 t : a mérések epochája

Az eljárás részletes leírása a megfelelő paraméter értékekkel a [2] cikkben található meg. A helyzet napjainkban annyiban vált összetettebbé, hogy az ITRF2000 vonatkoztatási rendszer meghatározásától kezdődően a hosszú távú műholdas mérések a NUVEL1A modellnél pontosabb leírását tudták adni a lemezmozgásoknak, így a visszatranszfomáció már ezekkel a modellekkel történik. Tudni kell, hogy mindegyik lemeztektonikai modell csak a vízszintes, 2D mozgások leírását tartalmazza.

A európai vonatkoztatási rendszer elnevezésére általánosan, sokszor pongyolán használt ETRS89 fogalom még egy kis pontosításra szorul. Mint ahogyan az általános ITRS definíció egyes gyakorlati megvalósításait ITRFyy-ként jelöljük úgy az elvi ETRS89 rendszer megvalósításai az ETRFyy (yy itt is a referenciaévet jelenti) elnevezést kapják. Egy példa: a 2002 július 31-én végzett GPS méréseket az akkor érvényes ITRF2000 rendszerben kellett feldolgoznunk, azt ETRS89-be transzfomálva tehát ETRF2000 koordinátákat kapunk. Az egyes ETRFyy változatok elvileg analóg megoldásokat adnak, a mérési és feldolgozási hibák miatt közöttük cm-alatti eltérések várhatók. A teljesség kedvéért meg kell adnunk a mérés epocháját is (esetünkben tehát ETRF2000 epocha 2002.5), hiszen az ETRS89 transzfomációval csak a regionális modell-mozgást vettük figyelembe, a pont esetleges sajátmozgását viszont nem. Ez utóbbi általában nem ismert (nincs elegendően hosszú mérési sorunk a meghatározására), a kontinensen ez a legtöbb esetben (kivéve a tektonikusan aktív területeket) 1 mm-es nagyságrendű, geodéziai értelemben elhanyagolható. E kissé részletesebb bevezetésre a vonatkoztatási rendszerünk felújításánál jelentkező fogalmak és rövidítések tényleges megértése miatt volt szükség.

Az ETRS89 első meghatározása Magyarországon

Az ETRS89 rendszert definiáló (nyugat-)európai hálózatot 1989-ben hozták létre, amihez elsőként Magyarország és az akkori Csehszlovákia csatlakozott 1991-ben az EUREF CSH'91 mérési kampány keretében [3]. A kampányban 5 hazai (PENC, CSAN, CSAR, TARP, SOPR) 5 csehszlovák és csak néhány már ismert EUREF ponton történt 12 órás mérés. A feldolgozáshoz még nem volt precíz IGS (International GNSS Service) pálya, csak a kevés követőállomásra alapozott és bizonytalanul definiált rendszerű CIGNET (Cooperative International Geodetic Network) pálya állt rendelkezésre. Az új EUREF állomások koordinátáit Graz és Wettzel állomások rögzítésével egyenlítettük ki.

Az 5 EUREF állomás rögzítésével határoztuk meg ezután a 24 pontos GPS kerethálózatunkat és a későbbiekben e 24 ismert pontot használtuk az 1153 pontból álló OGPSH hálózat kiegyenlítéséhez. E két sűrítési lépésen keresztül kaptak tehát ETRS89 rendszerű (az előző fejezetben bevezetett jelölésrendszer

szerint ETRS89/ETRF89, 1991.8 epochájú) koordinátákat az OGPSH pontjai majd a GNSSnet.hu állomásai. Mind az OGPSH kiegyenlítése, mind a későbbi mozgásvizsgálati kampányok a hálózat kiváló belső konzisztenciáját mutatták, ugyanakkor a FÖMI Államhatárügyi Osztályán végzett, határokon átmenő mérési kampányai több cm-es ellentmondásokat tártak fel a hazai és a szomszédos országok ETRS89 megoldásai között, összességében utalva a saját rendszerünk hibás térbeli elhelyezésére.

Az OGPSH vonatkoztatási rendszerének pontosítására, az akkori aktív hálózati pontok integrálására 2002-ben az OGPSH keretpontokon és 2003-ban a Mozgásvizsgálati pontokon végzett 3x24 órás GPS mérési kampányok feldolgozásával került sor. Bár a kampány eredményeit az EUREF Technikai Munkacsoportja (TWG) elfogadta a tényleges hivatalos bevezetésre mégsem került sor, mert voltak bizonyos félelmeink, amiatt hogy a dm alatti nagyságrendű változtatás a felhasználók között óhatatlanul tévesztéseket, kavarodást okoz. Az aktív hálózat egyre gyorsabb kiépülésével, a hálózati RTK szolgáltatáshoz szükséges nemzetközi adatcsere miatt azonban a váltás elkerülhetetlenné vált.

Az ETRS89 koordináták újra meghatározása

Az új referencia koordináták bevezetését a 2005-re előrejelzett új globális vonatkoztatási rendszer, az ITRF2005, és az ezzel párhuzamosan bevezetni tervezett, a GNSS műholdak és földi antennák fáziscentrum változásait (PCV) ún. abszolút kalibrációval² meghatározott modellek hivatalos megjelenéséhez időzítettük. Ezzel kívántuk elkerülni, hogy a megújított koordinátákat nem sokkal megjelenésük után esetleg újra változtatni kelljen. Az ITRF2005 megjelenése kb. egy évet késett, 2006 november elejére, az 1400. ún. GPS hétre időzítették. A PCV modellek '*rendszer váltása*' miatt nem volt célszerű a 2002-2003-as mérési kampány eredményeit átvenni, ezért egy teljesen új mérést kellett végrehajtanunk. Az új hálózati méréseket gazdaságossági okból a 2007-ben esedékessé váló, kiterjesztett mozgásvizsgálati kampány keretében végeztük el. A terepi mérések 2007 június 18-24 között történtek, a 23 OGPSH keretponton (a 24. Ballószög időközben elpusztult) két fázisban, pontonként legalább 3x24 órát mértünk.

2 A korábban alkalmazott ún. relatív kalibráció egy adott referencia antennatípushoz (Dorne Margolin) képesti fáziscentrum változást írja le. Az abszolút kalibrációnál nincs referencia antenna, egy robotkarral tetszőlegesen mozgatva az antennát homogén pontosságú modell határozható meg.



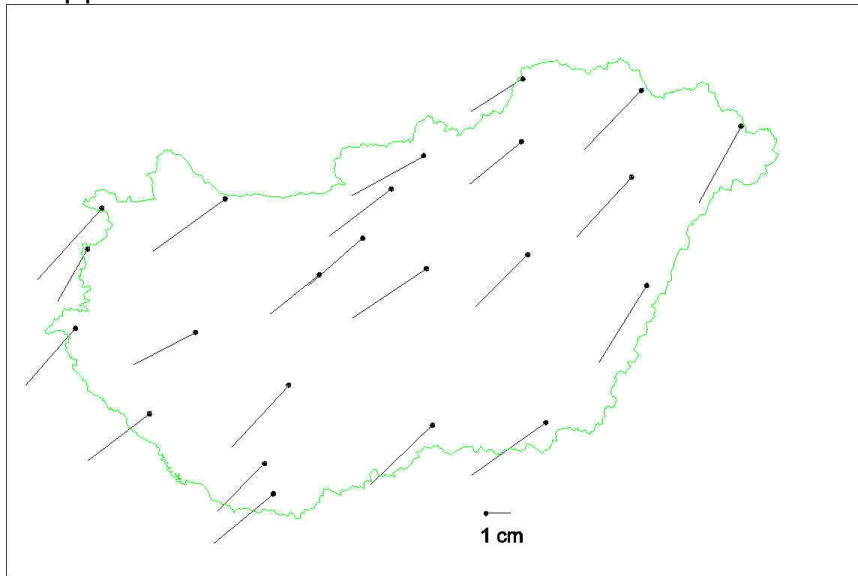
1.ábra A GPS feldolgozásba bevont EPN és GNSSnet.hu állomások

A mérési anyagból az ETRS89 koordinátákat a következő lépésekben vezettük le:

1. A FÖMI KGO-ban működő EUREF GNSS Analízis Központban az ITRF2005 vonatkoztatási rendszerben ismert koordinátákat vezettünk le valamennyi aktív hálózati pontra. Ehhez 65 db EPN és GNSSnet.hu állomás 8 heti mérési anyagát (1425-32 GPS hetek, azaz 2007 április 29 – június 23) használtuk fel, ahol 9 db olyan ITRS/EPN állomást használtunk referencia állomásként, amelyek nem mutattak koordináta ugrást a 1400. GPS heti váltásnál.
2. Elvégeztük a 23 kerethálózati pont és a fenti 65 állomás 1423. heti méréseinek együttes feldolgozását, itt az előző feldolgozási lépésből kiválasztott 11 EPN/ GNSSnet.hu állomásnak az akkor meghatározott koordinátái biztosították az ITRF2005 vonatkoztatási rendszert.
3. A GNSSnet.hu állomások esetében bonyolította a helyzetet, hogy a kampányt megelőző és követő időszakban számos állomáson műszer- és antennacsere történt (ekkor kerültek elhelyezésre az új Leica GPS/GLONASS kombinált vevők. Ezekre az állomásokra a kampányidőszak után a 1455-56 GPS hetek méréseinek feldolgozásával határoztunk meg koordinátákat, a fenti 11 referenciaállomás segítségével. Magától értetődően e 11 állomás egyikén sem történt hardver csere.
4. A 23 pontos OGPSH kerethálózat és a GNSSnet.hu állomások egységes, ITRF2005 rendszerbeli koordinátáit az ismert (1) transzfomációs összefüggéssel kellett volna meghatározni. Időközben azonban az EUREF-en belüli vizsgálatok alapján kiderült, hogy az ITRF2005-ből levezethető ETRF2005 koordináták cm-es nagyságrendű ugrást jelentenek pl. a korábban érvényes és ismert ETRF2000 koordinátákhoz képest, az ETRS89-nek a geodéziai felhasználók által elvárható folytonossága nem biztosítható. Ezért az EUREF TWG azt a döntést hozta, hogy az egyébként

matematikailag korrekt ITRF2005-ETRF2005 transzfomációt egy olyan módosított transzfomációval kell kiváltani, amely biztosítja az ETRS89 koordináták cm-en belüli folytonosságát. Mi ezt a módosított transzfomációt alkalmaztuk, ezért gyakorlatilag az új, frissített megoldásunk nem ETRS89/ETRF2005, hanem ETRS89/ETRF2000 2007.4 epochájú megoldás. Felújított vonatkoztatási rendszerünk így összehasonlítható a szomszédos államok korábban meghatározott ETRS89 megoldásaival.

5. Az új rendszerben is ismert 23 db keretpont alapján elvégeztük az 1153 OGPSH alappont átranzsfomálását az ETRF2005 rendszerbe.



2. ábra: A 2007-es és 1991-es rendszer vízszintes komponenseinek eltérései a keretpontokban.

Az OGPSH kerethálózatának 23 pontja alapján végzett transzfomáció eredményének, azaz a két rendszer eltéréseinek vízszintes komponenseit a 2. ábrán láthatjuk. Megjegyezzük, hogy a transzfomáció (a két rendszer egymásra illesztése) maradékhibáinak átlaga 3-4 mm, ami igazolja, hogy az 1991. évi meghatározások hibái is alatta maradtak az 1 cm-nek.

Az 1991 és 2007 rendszerek közötti Bursa-Wolf transzfomációs paraméterek:

TRANSLATION IN X (M)	.122
TRANSLATION IN Y (M)	.286
TRANSLATION IN Z (M)	-.183
SCALE FACTOR (PPM)	-.01024
ROTATION AROUND Z (ARCSEC)	.00330
ROTATION AROUND Y (ARCSEC)	.00713
ROTATION AROUND X (ARCSEC)	-.00892

A fenti paramétersor alkalmas arra, hogy az átállás előtt meghatározott felmérési alappontokat átszámítsuk a pontosított rendszerbe, miáltal továbbra is felhasználhatjuk őket a további meghatározásainkhoz. Ezzel kapcsolatban a transzfomáció ellenőrzésére ajánljuk felvenni az átszámítandó pontok közé az alább, mindkét rendszerben közölt PENC referenciapontot.

Az új OGPSH adatbázis és újdonságai

Az OGPSH pontleírásai 1997-ben, digitális formában készültek el. Állami átvételi eljárás keretében, az OGPSH részletes vizsgálatnak lett alávetve, a feltárt hibák kijavítása után a teljes adatbázis állami alapadattá lett nyilvánítva. Bár az adatbázis elektronikus adathordozón rendelkezésre állt, a pontok forgalmazása általában papír formájában történt. Ez alól kivétel volt néhány felhasználó, akik az egész adatbázist megvásárolták.

Mivel valamennyi OGPSH pont 3D koordinátája megváltozott, új pontleírásokat kellett készíteni. Itt jegyezzük meg, hogy ezek a pontleírások csak addig lesznek forgalomban, ameddig a FÖMI Adat és Térképtári Osztályán (ATO) beüzemelésre nem kerül az egységes alappont nyilvántartás, amelyben az OGPSH pontok is helyet kapnak.

Milyen változásokat találunk az új pontleírásokon (3.ábra)?

1. A pontleírás fejlécében az OGPSH PONTLEÍRÁS 2007 olvasható
2. Az X,Y,Z koordináták ETRF05, az ellipszoidi koordináták ETRF05/WGS-84 feliratúak.
3. Az ellipszoidi koordinátákat 5 tizedesre adtuk meg a korábbi 4 tizedes helyett.
4. A koordináták számainál vastagított betűket alkalmaztunk, és középre rendeztük.

Az új pontleírások tárolása már kizárólag digitális formában az ATO szerverén történik. A földhivatalok a TAKARNET hálózaton keresztül férhetnek az adatokhoz.

A hagyományos alappontokra támaszkodó meghatározások száma csökkenő tendenciát mutat, szemben a GNSS infrastruktúrára támaszkodó valós idejű meghatározásokkal, ahol jelentős felfutás tapasztalható. Mivel a hazai GNSS infrastruktúra fejlesztése alapszinten országosnak mondható, [4], az áttérés egyetlen korlátja, az RTK technológia alkalmazására képes műholdas berendezések hiánya. A műszer eladások száma évről-évre növekedik, ezért az áttérés töretlenül halad előre.

A valós idejű technológiához nem kellene alappontok, csupán a mintegy 30 db permanens GNSS állomás, amelyre a szolgáltatás támaszkodik. Ezek az állomások természetesen részei az OGPSH ponthálózatának, bár több tekintetben speciálisak. A permanens állomások, mint referenciapontok állami alapadatként is funkcionálnak, de a felhasználóknak nem kell megvásárolniuk, önálló pontként nincs hagyományos értelemben vett értékük, hiszen nem lehet felállni rajtuk, nem lehet mérésre használni őket. Értékük beolvad az állomásokon végzett RINEX mérésekbe, vagy a valós idejű korrekciókba, ill. a virtuális állomások virtuális méréseibe.

A referenciapontok az ország geometriai rendjének fizikai megjelenítői. A pontok használati joga, a földnyilvántartási tulajdoni lapokra bejegyzésre kerül.

GPS ALAPPONT PONTLEÍRÁSA			
A pont EOVSzáma: penc		Település: Penc	
Kiválasztotta: Borza-Novák, 1989.		A pont jellege: Kényszerközp. pillér	
Pontvédelem: Őrpontrendszer		Spec. info.:EUREF, és OGPSH keretpont	
EUREF89	X= 4052449,856	Y= 1417680,892	Z= 4701406,931
EUREF89 WGS-84	$\varphi = 47-47-22.5605$	$\lambda = 19-16-53.4868$	h= 291.792
EOV	y= 667539.24	x= 271786.72	H _{GPS} = 248.21

OGPSH PONTLEÍRÁS 2007			
A hálózat pontosított elhelyezésével az ETRS89/ETRF05 vonatkozási rendszerben			
A pont EOVSzáma: PENC		Település: Penc	
Kiválasztotta: Borza-Novák, 1989.		A pont jellege: Kényszerközp. pillér	
Pontvédelem: Őrpontrendszer		Spec. info.:EUREF, és OGPSH keretpont	
ETRF05	X = 4052449.797	Y = 1417680.898	Z = 4701406.901
ETRF05 WGS-84	$\varphi = 47-47-22.56117$	$\lambda = 19-16-53.48808$	h = 291.733
EOV	y= 667539.24	x= 271786.72	H_{GPS}= 248.21

3.ábra: Az eredeti és a javított pontleírás numerikus része.

Mennyiben érinti a pontosítás a felhasználókat?

1. Az OGPSH/ETRF92 koordinátákat utólagos felhasználásra továbbiakban is zavartalanul használhatja az, aki a munkaterületével nem lépi át az országhatárt. Sőt, ha a referencia-állomások átállás előtti (OGPSH/ETRF92) koordinátaival számol, akkor támaszkodhat a GNSS Szolgáltató Központ átállás utáni méréseire is.

2. Az átállás után szolgáltatott valós idejű mérésekhez, nem használhatók az eddig használt transzformációs eljárások. Ez alól értelemszerűen kivételt képeznek azok a megoldások, amelyekbe inputként kell bevinni a mindkét rendszerben ismert alappontokat.
3. A FÖMI-KGO által fejlesztett és térítésmentesen letölthető EHT² transzformáció módosított verziója az EHT2007, (a szoftver kezdőlapján OGPSH2007 felirattal), amellyel a 2007.10.24 után GNSS technikával mért és meghatározott koordinátákat lehet EOVS rendszerbe transzformálni. Az EHT2007 térítésmentesen letölthető a GNSSnet.hu (GPSnet.hu) honlapról. A korábbi EHT² szoftvert az átállás után, utólagos feldolgozásra akkor lehet használni, ha szigorúan az OGPSH/ETRF92 rendszerbeli alappontokkal dolgozunk.
4. A valós idejű műszerekbe telepített VITEL transzformáció adatbázisát is le kell cserélni, mert az átállás időpontjától az új adatbázis érvényes. A VITEL licencekkel rendelkező RTK műszerekhez az új adatsort a FÖMI térítésmentesen átadta azoknak a műszerforgalmazóknak, akikkel a korábbi verzióra volt megállapodása. A szoftver frissítést a műszerforgalmazók végzik el. Az új verzióra 2007.10.25-től kell átállítani a vevőberendezést. Ettől kezdve a korábbi verzióra nincs szükség.
5. A rendszer pontosítása során az OGPSH pontok magassági komponense nem változik, és nincs hatással a pontok EOVS koordinátaira sem. A magasságok pontosítására az országos GPS/szintezési hálózat méréseinek befejezése után legkorábban 2010-ben kerül sor.
6. Az OGPSH/ETRF05 bevezetésével, a szomszédos országokkal fennálló néhány cm-es koordináta eltérések megszűnnek.

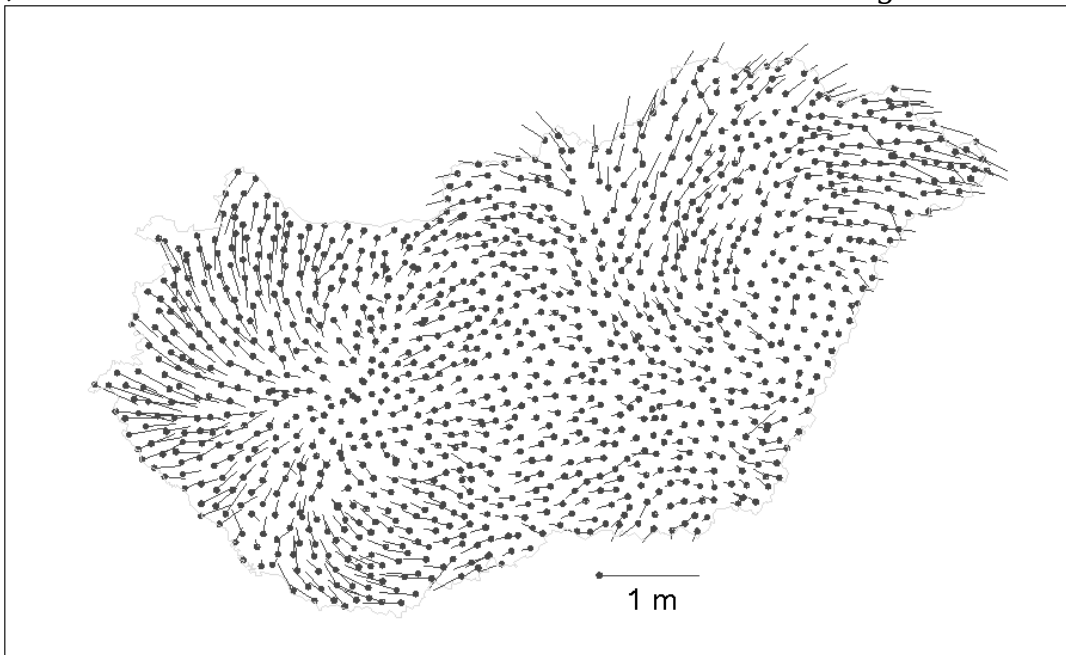
OGPSH és GNSSnet.hu / EOVS transzformáció (EHT és VITEL) leírása, frissítése

A földmérési és térképezési feladatokat legtöbbször a klasszikus módszerekkel meghatározott vonatkozási rendszerben végezzük el. Ez a vonatkozási rendszer általában lokális elhelyezésű, melyet valamilyen módon illesztenek a geoid felületéhez az adott ország környezetében. Hazánkban a polgári geodéziai munkákat általában a lokális elhelyezésű HD72 (Hungarian Datum 1972) vonatkozási rendszerhez kapcsolódó Egységes Országos Vetületi Rendszerben (EOVS) végezzük el [5]. A GPS mérések eredményei viszont a korábbiakban ismertetett geocentrikus elhelyezésű vonatkoztatási rendszerben adóttak.

A két vonatkoztatási rendszer között közvetlen (zárt alakban megadható) összefüggések nincsenek, közöttük kapcsolatot csak a közös (mindkét rendszerben ismert) pontok koordinátái között felírható transzformációs egyenletek adnak. A klasszikus térbeli Helmert transzformáció hét paramétereit kiegyenlítéssel, a legkisebb négyzetek módszerével határozhatjuk meg, ha van legalább három, nem egy egyenesen fekvő, közös pontunk [6]. Magyarországon az OGPSH közel 1200 pontja teremt kapcsolatot a két rendszer között.

Ha az OGPSH összes pontja alapján meghatározzuk a transzformációs paramétereket (országos transzformáció) és megvizsgáljuk a transzformáció maradék ellentmondásainak vízszintes komponenseit (4. ábra), látható, hogy ennek nagysága több helyen meghaladja még a fél métert is [7]. A magassági

értelmű ellentmondások is meghaladják a fél métert az ország jelentős területén. Tehát geodéziai célokra az országos transzformáció nem elég pontos, általános térinformatikai alkalmazásokra viszont elegendő.



4. ábra. Országos transzformáció maradék ellentmondásainak vízszintes komponense

Az országot régiókra oszthatjuk (például megyék szerint) és minden régióra külön paraméterkészletet határozzunk meg, akkor a transzformáció maradék ellentmondásai 10 centiméter körül alakulnak. Ez az átszámítási pontosság bizonyos geodéziai feladatokra már elégséges, de nem mindegyikre. Hátránya viszont ennek a módszernek, hogy a régiók határvonala mentén eltérő koordinátákat kapunk, ha egy pont GPS koordinátáit mindkét szomszédos régió paramétereivel számítjuk át. Három régió találkozásánál lévő pontra, már három különböző koordináta számítható.

Lokális transzformációt alkalmazva a transzformációhoz szükséges közös pontokat a meghatározandó pont szűk környezetéből válasszuk ki. Ezt a szűk környezetet az OGPSH pontsűrűségére tekintettel, az új pont körül 20 vagy 25 km-es körön belül határozhatjuk meg. Ezzel a módszerrel néhány centiméteres átszámítási pontosság érhető el annak függvényében, hogy az adott térségben milyen az összhang az EOVS és az OGPSH között [7]. Ez a pontosság a legtöbb geodéziai feladat esetén megfelelő.

Az OGPSH létrehozása után gyakori probléma volt a felhasználóknak a transzformáció helyes végrehajtása. Léteztek transzformációs programok, de ezekkel megbízhatóan átszámítani csak kellő gyakorlat és egyéb adatok megadása után lehetett. Egyes szoftverek transzformációs paramétereket kértek, másokhoz közös pontok koordinátáit kellett megadni.

A transzformációs paraméterek megadása és nem elég körültekintő alkalmazása, súlyos átszámítási hibákhoz vezethet. Leggyakoribb ilyen jellegű hiba a transzformálási irány felcserélése, melynek következtében kb. 1,5 méter átszámítási hiba adódik. A másik nagyon gyakori tévedés abból adódik, hogy a transzformációs modellekben kétféleképpen értelmezik a pozitív forgatási irányt (ha a koordináta rendszer egyik tengelyével szembe nézünk, az első értelmezés szerint az óramutató járásával megegyező irány a pozitív, a másik értelmezés az óramutató járásával ellentétes irányt tekinti pozitívnak),

az ebből adódó hiba kb. 70 m.

Azon szoftverekhez, melyek a közös pontok koordinátáit kérték, minden egyes munkaterülethez meg kellett vásárolni a közös pontok koordinátáit, mely szintén körülményes volt és hátráltatta a GPS technika elterjedését.

Az ilyen jellegű transzformálási hibák kiküszöbölésére a Földmérési és Távérzékelési Intézet Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumában kifejlesztettünk egy szoftvert, mely a GPS-szel meghatározott pontok koordinátáit átszámítja az EOVS rendszerbe. Ezen program elsősorban az utófeldolgozáshoz (post processing) készült. A szoftver ingyenesen letölthető a <http://www.gnssnet.hu> oldalról. A következőkben a szoftver legfontosabb jellegzetességeit mutatjuk be.

(EHT)² szoftver

Az (EHT)² program (EUREF EOVS Hivatalos Helyi Térbeli Transzformáció) létrehozásának elsődleges célja az átszámítás során előforduló hibák teljes kiküszöbölése. Az átszámítást egységes elvek szerint lehessen végrehajtani, amely megkönnyíti az eredmények utólagos ellenőrzését (pl. állami átvétel, földhivatali átvétel).

Az (EHT)² program az Országos GPS Hálózat rendszerében meghatározott pontok koordinátáit számítja át az Egységes Országos Vetületi rendszerbe. Az átszámítást az OGPSH pontjai alapján lokális transzformációval hajtja végre az **elérhető legnagyobb pontossággal**. Nagyobb átszámítási pontosság egy adott munkaterületen, csak további GPS és/vagy hagyományos mérések elvégzése után érhető el (alappontsűrítés).

A program telepítése egyszerű, használata könnyen elsajátítható. Hardver igényei minimálisak. Adatbevitel bevitele történhet fájlból vagy közvetlenül billentyűzetről. A GPS koordinátákat megadhatjuk térbeli derékszögű koordinátákkal és megadhatjuk ellipszoidi földrajzi koordinátákkal is három féle formátumban. Egy fájlban belül többféle formátumban is lehetnek a koordináták. A program automatikusan felismeri az adatok formátumát. Az egyszerűen átszámítandó pontok száma nincs korlátozva.

A szoftver a transzformációhoz szükséges közös pontokat minden egyes átszámítandó ponthoz automatikusan, optimálisan és egyedileg választja ki. A transzformációhoz minimum négy maximum nyolc pontot választ ki az új pont 25 km-es környezetében. Nyolcnál kevesebb pont a 25 km-es környezetben az ország területén nem fordul elő.

A transzformáció eredményei kétféle fájlba menthetők el. Az egyik egy koordináta jegyzék az átszámított pontokról, mely a koordináták további felhasználását teszi lehetővé. A másik egy részletes transzformációs output lista, mely nem tartalmazza a transzformációs paramétereket, viszont feltünteti a transzformáció ellentmondásait. Az ellentmondások középpontja mutatja a transzformáció pontosságát, mely egyben jellemzője a két koordinátarendszer kapcsolatának az adott térségben.

A program használatához nem kell beszerezni. (megvásárolni) a transzformációhoz szükséges OGPSH pontok koordinátáit, ezeket a program részei kódolt formában tartalmazzák.

A programnak két verziója érhető el, az egyikkel az OGPSH 1991 rendszerre vonatkozó adatokat lehet átszámítani, míg a másik a finomított 2007-es rendszer adatainak transzformálására szolgál. A szoftver kezdőoldalán látható, hogy OGPSH 1991 vagy OGPSH 2007 adatainak átszámítására szolgáló verzióról van szó, továbbá a részletes eredménylistán is látható az OGPSH 1991 vagy OGPSH 2007 felirat.

VITEL eljárás

Az (EHT)² szoftver elsősorban GPS mérések utófeldolgozásához készült, melynek beépítése a terepi vevőberendezésekbe a valós idejű alkalmazásokhoz egyelőre nem lehetséges. A vevőberendezésekbe olyan eljárást kell beépíteni, mely igazodik a gyártó műszereiben már régebben kialakított program- és adatstruktúrákhoz. A különböző gyártók által használt struktúrák általában nem kompatibilisek egymással. Ezen feladatok elvégzésére készült a VITEL (Valós Idejű GNSS Helymeghatározásnál Használatos Terepi Transzformációs ELjárás). A VITEL-lel szemben támasztott legfontosabb követelmények, hogy pontossága hasonló legyen az (EHT)² program pontosságához és a transzformációhoz használt pontok „titkossága” fennmaradjon.

Az eljárás lépései:

1. A meghatározott GPS koordinátákból egy országos transzformációs paraméter készlettel és az EOVS vetületi egyenletekkel előzetes EOVS koordinátákat számolunk (y_0, x_0, H_0).
2. Egy 5x5 km-es rácsháló sarokpontjaira kiszámított (dy_i, dx_i, dH_i) korrekciók alapján interpolálással kapjuk az előzetes koordináták helyére vonatkozó aktuális korrekciókat (dy, dx, dH).
3. Az aktuális korrekciókat hozzáadva az előzetes koordinátákhoz, kapjuk meg az új pontok végleges koordinátáit.

A módszer minimálisra szorítja le a számítási feladatokat. A rácspontok adatbázisán kívül csak egy országos transzformáció hét darab paraméterére van szükségünk. A rácsháló pontjaihoz tartozó korrekciókat az (EHT)² program segítségével állítottuk elő. Az (EHT)² programmal illetve a VITEL eljárással átszámított koordináták között az eltérés mind vízszintes, mind magassági értelemben néhány milliméter.

A VITEL eljárás nem ingyenes, a terepi vevőberendezésekbe való beépítésért meghatározott összegű licenccímet kell fizetni. A licenccsám egy adott gyári számú műszerhez van rendelve.

A referencia rendszer finomítása miatt 2007. szeptemberben egy új adatbázist hoztunk létre, melynek adatai a valós idejű felhasználáskor 2007. október 25-e után lesznek használhatók.

Összefoglalás

A néhány cm-es változást tartalmazó rendszerpontosítás bevezetésével járó lehetséges kellemetlenségeket mi is érzékeljük, ezért halogattuk a javított rendszer bevezetését 2002-től egészen a jelenig. Öröndetes, hogy egyre több földmérő tér át a leghatékonyabb helymeghatározásra, az RTK technikára, mert ezzel párhuzamosan a pontleírásokra támaszkodó hagyományos meghatározások száma csökken, így a váltásból adódó zavarok is várhatóan egyre ritkábban jelentkeznek. A valós idejű meghatározásoknál (RTK) csupán egy dologra kell figyelnie a felhasználónak. Le kell cserélnie a transzformációs eljárását, mégpedig a váltás időpontjában. A váltásról értesítettünk minden - a GNSS Szolgáltató Központban regisztrált - felhasználót, a fontos információ több hónappal korábban már olvasható volt a honlapunkon, és jelen írást is elsősorban erre a célra szántuk. Bízunk benne, hogy a tőlünk független okok miatt elkerülhetetlenné vált rendszerpontosítás minél kevesebb gondot okoz a földmérés és térinformatika képviselőinek.

Summary

Modification and improvement of the Hungarian ETRS89 realization

Hungary joined the EUREF's ETRS89 reference system in 1991. As we realized some years later the network solution - due to the weaknesses of the original GPS campaign - was biased with some cm shift. In order to correct the bias and establish an up-to-date ETRS89 realization a new solution, benefiting from the extensive use of permanent stations (EPN and GNSSnet.hu) and the absolute phase center variation (PCV) models has been prepared and being introduced in 24 October 2007. The new solution, called ETRS89/ETRF2000 is now in full agreement with the ETRS89 realizations of the neighboring countries. In connection with the reference coordinate changes the transformation softwares - providing the connection between ETRS889 and our national geodetic system (EOV) - have been updated and made available for the users. This paper describes the procedures we followed and help the users to understand the changes and correctly use their tools after 24 October 2007.

Irodalom

- [1] De Mets C. - Gordon R.G. - Argus D.F. - Stein S.: Effect of recent revisions of the magnetic reversal timescale on estimates of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.* 21(20), 2191-2194, 1994.
- [2] Boucher, C. - Altamimi, Z.: Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF campaign. Version 7: 17-8-2007. Available at the IERS website (lareg.ensg.ign.fr/EUREF)
- [3] Seeger, H. - Schlüter, W. - Talich, M. - Kenyeres, A. - Arslan, E. - Neumaier, P. - Habrich, H. : Results of the EUREF CS/H´91 GPS Campaign. *Proceedings of the 4th IAG/EUREF Subcommittee Symposia, 8-11 June 1994, Warsaw, Poland. Veröffentlichungen der Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung der BAW, Heft Nr. 54, pp.87-90*
- [4] Borza T., Galambos I., Horváth T., Kenyeres A.: Célegyenesben a hazai GNSS kiegészítő rendszer építése. *Geodézia és Kartográfia*, 2007/6, pp. 13-22.
- [5] Mihály Sz.: A magyarországi geodéziai vonatkoztatási rendszerek leíró katalógusa. *Geodézia és Kartográfia* 1994/4, 198-203.
- [6] Krakiwsky E. - Thomson D.: Mathematical Models for the Combination of Terrestrial and Satellite Networks. *The Canadian Surveyor*, 1974/28, 5 December 1974, 606-615
- [7] Virág G.: Az Egységes Országos Vízsíntes Alaphálózat vizsgálata az OGPSH tükrében. *Geodézia és Kartográfia* 1999/5, 22-29.