

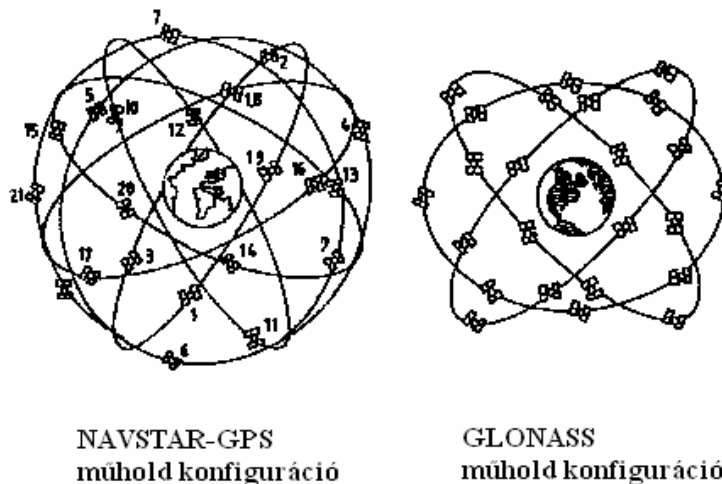
GLONASS ÉS GALILEO, HELYZETKÉP ÉS JÖVŐ

Dr. Havasi István, tanszékvezető egyetemi docens
Miskolci Egyetem Geodéziai és Bányamérési Tanszék
E-mail: gbmhi@gold.uni-miskolc.hu

Összefoglalás: Jelen tanulmányban a globális műholdas helymeghatározás alaprendszereivel foglalkozom, közülük is nagyobb figyelmet szentelek a szakmai berkekben kevésbé ismert GLONASS- nak és a megvalósulási fázisban lévő GALILEO- nak. A két rendszer megismerését, fejlődésük követését -tekintettel a jelenlegi és jövőbeli bányamérési alkalmazhatóságukra is- fontosnak tartom nemcsak azoknak, akik a műholdas helymeghatározást ma már valamilyen szinten a napi gyakorlatban is használják, hanem azok számára is, akik ezzel a mérési technikával majd csak a közeljövőben „fertőződnek” meg.

Bevezetés

A 3D helymeghatározást lehetővé tevő műholdas rendszerek alkalmazásának széleskörű terjedése világszerte forradalmi változásokat hozott nemcsak a geodéziai, földmérési tevékenységben, hanem egy teljesen új alternatív mérési technikát kínált a bányamérés számára is. Napjainkban a már megvalósult szatelita alaprendszerek közül a két legismertebb talán a NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System, a továbbiakban csak GPS) és a GLONASS (GLOBAL NAVigation Satellite System, röviden GLONASS). Az első rendszert az USA, a másodikat, pedig a SZU fejlesztette ki a 70 -es évek első felétől kezdődően elsősorban navigációs feladatok megoldására, főleg katonai felhasználók számára. A két rendszer műhold konfigurációját az 1. ábra szemlélteti.

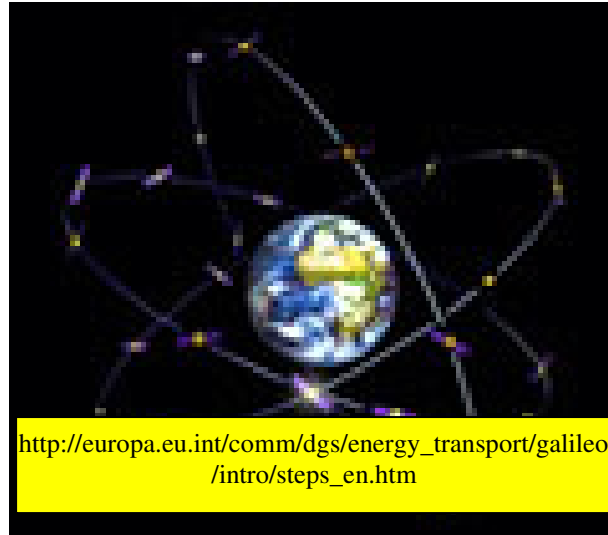


1. ábra. A GPS és GLONASS rendszerek műholdas alakzatai

A GPS- ről általánosságban elmondható, hogy a rendszer ma már rendkívül széles körben ismert, és a jelenlegi kutatási, polgári és katonai alkalmazásokat tekintve, az egyik legmeghatározóbb mérési technikává nőtte ki magát. A GPS fejlődése töretlen, jövője fényesnek tűnik. Az orosz GLONASS, a másik már említett navigációs műholdas rendszer, a GPS- szel ellentétben kevésbé ismert, fejlődéstörténetében számos nehézség volt, van és talán még lesz is. A

jövőkép, a GPS- szel összehasonlítva, bizonytalanabbnak tűnik, bár az orosz vezetés, a jelenlegi, köztes állapotú rendszer további fejlesztését deklarálta támogatja.

A már említett két rendszer mellett folyik az Európai Unió új, *nem katonai célú* műholdas helymeghatározó rendszerének, a Galileo- nak a kialakítása is. A Galileo üzembe állítása 2008-tól várható, több műszaki paramétere a GPS- hez igen hasonló. A rendszer műhold konfigurációja a 2. ábrán látható.



2. ábra. A Galileo rendszer műholdas alakzata

A továbbiakban –a tanulmány címéhez igazodva- először a már működő, de a felhasználók körében szinte ismeretlen GLONASS rendszert ismertetem részletesen, majd pedig a megvalósítás előtt álló Galileo- t mutatom be, kiemelve a rendszer fejlesztésének főbb céljait, és a különböző alkalmazásokra gyakorolt várható hatását. A már szóba hozott műholdas helymeghatározó alaprendszerek, és az azokra épülő kiegészítő rendszerek igen széleskörű bányamérési alkalmazási lehetőségeivel, –tekintettel a tanulmány terjedelmi kívánalmaira- most nem kívánok foglalkozni. Úgy gondolom, hogy a témakörben egy önálló tanulmány –a konkrét példák kapcsán kikérve a bányamérő szakcsoport a kérdéskörben jártas, gyakorlati tapasztalatokkal bíró szakemberei aktív támogatását is- egy későbbi bányamérő továbbképző és tapasztalatcsere rendezvényen kerülhet majd ismertetésre. A GLONASS és a kiépülő Galileo rendszerek, a bennük rejlő lehetőségek megismerését – a korábbiakon túl – még az is indokolja a bányászásban, hogy az esetek többségében a GPS- t sajátos környezetben (kevés, vagy egyáltalán nem elegendő műholdszám mellett) kellene alkalmazni, így az önmagában nem, csak a meglévő GLONASS, illetve a majdani Galileo műholdakkal együtt lesz képes a kívánt mérési feladat megoldását majd biztosítani.

A GLONASS globális műholdas helymeghatározó alaprendszer

A rendszer fejlődéstörténete

A második világháború végétől dinamikus fejlődésnek induló rádió navigáció első eredményei között a földi, tengerpart közeli rendszerek említhetők meg. Az ilyen rendszerek közül jól ismert a LORAN (LONg RANGE Navigation). A technikai versenyben természetesen az akkori Szovjetunió sem kívánt alulmaradni, és a háborút követően 'Csajka' (sirály) néven saját rendszert hozott létre, amelynek földi állomásai a Balti tengerhez kapcsolódtak. Az első mű-

holdas rádionavigációs rendszert az USA hozta létre TRANSIT (Navy Navigation Satellite System, rövidítve NNSS) néven tengerészeti navigáció céljából, annak ellenére, hogy a Szovjetunió valamivel korábban indította el Krikett nevű testvérrendszerének fejlesztését. A globális lefedettséget biztosító amerikai GPS rendszer fejlesztése 1973- tól kezdődött el. Erre a technikai kihívásra, és a hadsereg felől jelentkező igényekre reagálva, 1976-ban a SZU egy dekrétumot adott ki a GLONASS létesítésére.

Az orosz névnek teljesen megfelelő angol elnevezésből "GLObal NAVigation Satellite System" képzett mozaikszó adja a jól ismert rövidítést arra a globális műholdas navigációs rendszerre, amelynek fejlesztését a korábbi Szovjetunió a 70-es évek második felétől kezdődően indította meg. A GPS- szel ellentétben a GLONASS- ról korábban nagyon kevés információ látott napvilágot, amely minden bizonnyal a rendszer elsődleges katonai navigációs felhasználásával volt összefüggésbe hozható. 1988-tól azonban a SZU, a meghirdetett olyan új politikai jelszavak tükrében, mint pl.: a 'nyilvánosság' fokozatosan elkezdte a rendszerrel kapcsolatos információk kifelé történő szolgáltatását, majd később a GLONASS- t nemzetközi használatra is felkínálta. Ennek eredményeképpen, a SZU és az USA között egy olyan egyezmény jött létre, amelyben a felek egyrészt kifejezték szándékukat a két műholdas rendszer közös használatára a polgári repülők navigálásában, másrészt pedig, támogatták olyan integrált vevők kifejlesztését, amelyek a két műhold konfiguráció kombinált használatát tették lehetővé. 1995 után a piacon meg is jelentek az első GPS+GLONASS vevők.

Az első GLONASS fellövés, az első GPS műhold úrpályára állítását követően mintegy négy évvel később, 1982. október 12-én volt. A további fellövések eredményeképpen az első műholdakat újabbak követték, amelynek köszönhetően a tervezett műhold konfiguráció első fázisa 1993-ban (két pályasíkon 7-7 aktív műhold), második fázisa –a teljes 24 műholdas alakzat- 1995-ben jött létre. Az 1996. januárjában megvalósult műholdas alrendszer azonban magában hordozta a korábbi műszaki, politikai és gazdasági nehézségeket (pl.: a műholdak rövid élettartama, a Varsói Szerződés megszűnése, a SZU szétesése, Oroszország belső politikai és gazdasági problémái), amelyek hatása erőteljesen megmutatkozott az elmúlt évek GLONASS fejlesztéseiben. A 95-ös 24 műholdas alakzat műholdjai –a hasonló GPS műholdakkal összevetve- viszonylag rövid átlagos élettartammal rendelkeztek, ezért számuk fokozatosan csökkent. Pótlásukra, 1998-2002 évek között, összesen 4 fellövésből 12 műholdat állítottak pályára. Az előzőek következményeképpen a 2002. év végén csak 7 működő és 4 beüzemelés előtt álló műholdból épült fel a műholdas alrendszer. A kedvezőtlen hatások ellenére a rendszer érdekében az Orosz Kormány több pozitív politikai döntést is hozott. 1993. februárjában egyrészt kiállt amellett, hogy a GLONASS- t tudományos és társadalmi-gazdasági célokra kívánja alkalmazni, ugyanakkor kiemelte annak jelentőségét Oroszország védelme érdekében is. Emellett felkínálta a GLONASS- t nemzetközi navigációs rendszerként, külföldi pénzügyi támogatók megnyerését is remélve a jövőbeli fejlesztés céljából. Oroszország 1999. augusztusában elfogadott egy törvényt is, amely minden veszélyes eszközt hordozó jármű számára egy fedélzeti GLONASS (+GPS) vevő alkalmazását rendelte el. Ez az utóbbi szabályozás is megerősítette az orosz vezetés GLONASS rendszer fejlesztése és üzemeltetése iránti elkötelezettségét.

A GLONASS rendszer felépítése és jelenlegi státusza

A GLONASS rendszert –a GPS- hez hasonlóan- a tervezők már a rendszerterv készítése kapcsán egyaránt katonai és polgári alkalmazásra szánták. A két műholdas rendszer egymáshoz teljesen hasonlóan a műholdak, a követőállomások és a felhasználók alrendszereiből épül fel. A műholdak alrendszere (űr szegmens) műhold konfigurációja a tervek szerint 24 db. egyidejűleg működő műholdból fog állni. A GLONASS műholdakat három darab egymáshoz képest 110°-os pályasíkokon egyenletes kiosztásban (45-os szélességi növekmény figyelembe

vétele mellett) helyezték pályára. Ami a szomszédos pályasíkok műholdjainak kölcsönös helyzetét illeti, ott a rendszer megalkotói 15°-os szélességi növekményt vettek számításba. Tanulmányozva a fellövéseket megfigyelhető volt egy bizonyos mértékű időeltolás a fellövés és az egyes műholdaknak a Föld forgási iránya szerint növekvő, 1-3 számozású pályasíkokon belüli 1-8, 9-16 és 17-24 pályahelyzetük elfoglalásának időpontjai között.

Az első GLONASS műholdat 1982. október 12-én lőtték fel, a továbbiakat pedig, évente két alkalommal. A műholdak pályára állítását a Bajkonur Űrközpontból (Kazahsztán) protonrakétákkal (SL-12) hajtották végre [7]. Egyidejűleg három műholdat lőttek fel először 200 km-es körpályára (a kezdeti fellövéseknél próba és lézeres távmérő műholdak is voltak), majd pedig 19100 km-es névleges kör alakú pályára, ahol az egyes műholdak pozicionálását már a saját meghajtó rakéták végezték el. A 3. ábrán bemutatott orosz műhold 1400 kg tömegű, élettartama általában 2 év, de a legtöbb esetben még ennél is kevesebb volt. A 2002. év végéig 31 GLONASS fellövés volt, köztük 2 sikertelen is. Az oroszok 1997-ig 71, azóta 12, összesen 83 db GLONASS műholdat küldtek az űrbe, de a programba beleértendő még a 8 próba és a 2 Etalon lézeres távmérő műhold pályára állítása is. A fellövések további részletezése megtalálható az 1. táblázatban.



3. ábra. GLONASS űrjármű

Annak ellenére, hogy 1992 végére már 50 db. műholdat fellőttek (köztük a már említett két sikertelen fellövés is), a rövid élettartamok miatt az üzemelő műholdak száma mégis csak 12 db. volt. Összehasonlításképpen megemlíthető, hogy az amerikai Blokk I GPS műholdak között volt olyan műhold, amely a tervezett 5 éves élettartam helyett 11 évig üzemelt.

1996. januárjától –a tervezett fellövések elmaradása miatt- a teljes műhold konfiguráció műholdjainak száma rohamosan csökkenni kezdett. 1998. augusztusában már csak 14 működő, egy karbantartás alatti és egy tartalék műhold képezte a műholdas alrendszert [5]. Az ezt követő négy évben igaz ugyan, hogy volt négy újabb fellövés (legutóbb 2002. decemberében), de ezeknek a műholdaknak a beüzemelésével sem fordult meg az aktív műholdszámot jellemző csökkenő trend. 2003. július 16-án a GLONASS műholdas alakzat státusza a következőképpen alakult. Összesen 8 műhold volt működőképes, ebben az évben 3 műhold vált használhatatlanná az 1. pályasíkon. A működő műholdak az 1. és 3. pályasíkokon (2 illetve 6db) helyezkedtek el. A 2. pályasík, az 1993-as állapothoz hasonlóan, teljesen üres volt.

A GLONASS, a GPS-hez hasonlóan egyútas távmérési rendszert jelent. A rendszer egyes műholdjai két kóddal modulált vivőhullámot sugároznak polgári és katonai felhasználásra. Az

egyes műholdaknál nem állandó, hanem egymáshoz képest ismert értékkel eltolt frekvenciákat alkalmaznak. A GLONASS ICD specifikálja a frekvencia tervet és a tervezett változtatásokat. A két L-sávú hordozóhullámon- a GPS- hez hasonló módon- megtalálhatók az ekvivalens polgári és katonai kódok valamint az 50 bit/s modulációs sebességű navigációs üzenet is. Az üzenet a műholdak pályaelemei mellett, órákorrekciókat és további fontos kiegészítő információkat tartalmaz. A GLONASS esetében ezért egy frekvencia felosztású többszörös hozzáférésű rendszerről (FDMA) szokás beszélni, ellentétben a GPS- szel, ahol kód felosztás a meghatározó jelző (CDMA). A GLONASS jelek frekvencia aránya: 9/7 (részletesebb bemutatásukat szintén az 1. táblázatban közlöm). A GPS és GLONASS közeli frekvencia-tartományai lehetővé tették kombinált antennák és közös 'preamplifier' -ek egyetlen vevőben történő használatát. Az összes műhold ugyanazt a kódot használja. A két kódfrekvencia a megfelelő GPS kódfrekvenciák felével egyezik meg. Érdekesség az is, hogy a polgári felhasználás kapcsán pontosságcsökkentést, azaz korlátozott hozzáférést (SA) nem vezettek be. Sőt, a polgári kód mellett, a katonai kód is hozzáférhető, bár annak használatát az orosz hatóságok nem javasolják. A GLONASS jelek idő és frekvencia értéket a műholdak három cézium atomórájának egyike szolgáltatja, amely 5 MHz- en üzemel. A GLONASS rendszeridőt az UTC (SU)-hoz viszonyítják, a GPS időt az amerikai UTC- hez. Mindkettő különbözik a nemzetközi UTC- től. Ez az eltérés a GPS- nél 10^{-9} sec., a GLONASS- nál 10^{-6} sec. nagyságrendű [7].

Az követő állomások alrendszerének ellenőrző központja Moszkva. A korábbi SZU területén található a globális helymeghatározó rendszer kis számú földi megfigyelő és parancstovábbító állomásai. Mivel azok elhelyezkedése a volt Szovjetunió területére korlátozódik, ezért a követő állomások vonatkozásában globális lefedettségről egyáltalán nem beszélhetünk. A földi ellenőrző rendszer lézeres távmérő állomásokkal is kiegészül. A követő állomások a mérési elő-feldolgozott adatokat az ellenőrző központba küldik további feldolgozásra, ahol megtörténik a pálya- és óraadatok, valamint azok korrekcióinak meghatározása. Ezt követően a rendszer ellenőrző központja a számított eredményeket visszaküldi a követő- és parancstovábbító állomásokra, hogy azok frissítsék a műholdak fedélzetén lévő adatokat.

A felhasználói alrendszer vonatkozásában elsősorban a vevőkről kell beszélni, bár a szakképzett kezelőt is ide kell érteni. A műholdas rendszer 1989-1995 közötti 'első' kiépítési időszakában GLONASS vevők gyártását szinte kizárólag a korábbi Szovjetunió végezte. A nemzetközi gyakorlat számára a vevők nem voltak hozzáférhetőek, így azok a GPS vevőknek nem jelentettek konkurenciát. 1995-ben, amikor a teljes műholdas alakzat viszonylag rövid ideig létrejött, és e nevezetes évet közvetlenül megelőző időszakban, a rendszer iránt fokozódott a nemzetközi érdeklődés. Ennek eredményeképpen egyes nemzetközi kutató intézetek mellett több egyetem is tervezett és épített GLONASS 'prototípus' vevőket, melyeket a rendszer megismerését célzó tapasztalatszerzés céljára fejlesztettek. Találkozhattunk közös orosz-amerikai ún. prototípus vevő elképzelésekkel is, amelyben már körvonalazódtak a mindkét műholdrendszer műholdjeleinek vételére egyaránt alkalmas vevőkre vonatkozó elgondolások. Jelentős eredménynek számított a már piacon is beszerezhető Ashtech cég által gyártott GG-Surveyor egyfrekvenciás GPS+GLONASS vevő megjelenése, amely mérőeszköz úttörőnek tekinthető a két már említett műholdrendszer integrált vételére alkalmas műholdvevők sorában. A legyártott GLONASS és a kombinált vevők száma napjainkban világszerte biztosan tízezres nagyságrendű, de azok száma nagyságrendekkel alatta marad az üzemeltetett GPS vevőkkel szemben.

Várható GLONASS fejlesztések a jövőben

Az 1. táblázat adataiból is kiderül, hogy az elmúlt hat év során végrehajtott négy fellövés 12 műholdat juttatott az űrbe. Ezek még régi típusú műholdak voltak. Az Orosz Kormány korábban már elfogadta azt a pénzügyi csomagot, amely garanciát jelenthet a tervezett GLONASS-

M (7 éves élettartam), majd 2004-, 2005- től a GLONASS-K (10 éves élettartam) típusú műholdak fellövésére [8]. A működőképes, újbóli teljes konfigurációt 2007- re prognosztizálják, amely M és többségében K-típusú, a korábbiaknál lényegesen kisebb tömegű műholdakat foglalna majd magába. Az új rendszertől egyrészt a pontosság többszörös fokozódását remélik és a műholdak méretének minimalizálásával pedig, a fellövési költségek csökkentését kívánják elérni. A GPS- hez hasonlóan az L2 vivőhullámon is tervezik a C/A-kód használatát. Az oroszok tervei szerint 2010-re az űrben a GLONASS-K műholdak száma 18 lesz.

A GLONASS és a NAVSTAR-GPS összehasonlítása

A két műholdas helymeghatározó rendszer fontos adatainak összefoglaló jellegű összehasonlítását az [1], [2], [3], [4], [6], [13] és [15] szakirodalmak alapján az 1. táblázat tartalmazza:

1. táblázat: A GLONASS és a NAVSTAR-GPS jellemzői

PARAMÉTEREK	GLONASS	NAVSTAR-GPS
	a műholdak alrendszere	
műholdak száma	21+3 (kiépült 1996. január) 21+1 tartalék (1997. július) 14+1 karb.+1 tart. (1998. 08.) 7+4 beüzem. előtt (2002. 12.) 8 működő (2003. 07.) <u>10 működő (2004. 05.)</u>	21+3 jelenleg: több mint 24 28 (2003. 02.) <u>31 (2004. 05.)</u>
pályasíkok száma és a műholdak fellövésének kronológiája	3 <u>Blokk I:</u> 10 db. (1982-1985) átlag élettartam: 14 hónap <u>Blokk IIa:</u> 6 db. (1985-86) átlag élettartam: 17 hónap <u>Blokk IIb:</u> 6(+6)db (1987-88) kettő sikertelen fellövés (+6) átlag élettartam: 22 hónap <u>Blokk IIv:</u> 31db.(1988-95) 1. fázis: 10(+2)db.(1988-90) kettő geod. ref. mh. (+2) 2. fázis: 24db (1995-re) <u>További fellövések:</u> 9 db (1995); 12db (1998-2002) <u>GLONASS-M műholdak</u> (2003-tervezett élettartam: 5-7 év) <u>GLONASS-K műholdak</u> (2005-új C/A kód bevezetése)	6 <u>Blokk I:</u> 11db. (1978-1985) tervezett élettartam: 4,5 év (93-ban még 4 db. üzemelt) <u>Blokk II:</u> (1989-98), teljes alakzat (SA és A-S bevezetése) tervezett élettartam: 7,3 év <u>Blokk IIA:</u> (1990-néhányukon retroreflektor <u>Blokk IIR:</u> (1997-2002) 7,8 év tervezett élettartam, feljavított kommunikációs képesség, egymás követése, <u>Blokk IIR-M:</u> (2004-től, kiegészítés, C/A kóddal az L2-ön is, új katonai M kód) Blokk IIF: (2005-2010), 11 év tervezett élettartam, L5-tel) <u>Blokk III:</u> (2030-ig) jelenleg tervezés alatt, az M kód fejlesztése (jelszint növelés, irányított sugárzás adott területre), DGPS korrekciók sugárzása?
pályamagasság	19130 km	20180 km
a pályasík hajlása	64,8°	55°
a pálya periódusideje	11 óra 15perc	11 óra 58 perc

a rendszer pályaelemei	9 db paraméter (pozíció, sebesség, gyorsulás az ECEF derékszögű rendszerben)	Kepler-féle pályaelemek és interpolációs együtthatók
geodéziai alaprendszer (dátum)	Korábban: SGS 85 (Szovjet Geodéziai Rendszer) Jelenleg: PZ-90	WGS 84 (Világ Geodéziai Rendszer)
rendszeridő	GLONASS rendszeridő, UTC (SU), cézium atomórák	GPS rendszeridő, UTC (USNO) cézium, rubídium atomórák
a teljes információátvitel hossza	<u>2,5 perc</u> (navigációs főkeret) A főkeret 5 db. 30 sec. hosszú keretből épül fel. 1 keret 15 sorból áll (alkeret). 1 sor (binális sorozat) hossza: 2 sec.	<u>12,5 perc</u> (egy főegység 25 egységből áll, 1 egység 5 alegységből áll és az átviteli ideje: 30 sec., 1 alegység 10 szóból áll, a teljes hossza 6 sec., egy szó 30 bit és az átviteli idő: 0,6 sec.. A teljes alapüzenet: 1500 bit (1 egység).
műholdjelek	alapfrekvencia: 5 MHz Eredeti: kb.: 1993-ig L1: $1602 + k \times 0,5625$ /MHz/ L2: $1246 + k \times 0,4375$ /MHz/ k = 0, 1, 2,...,24 /0→tesztre/ <u>Módosítás: 1993-1998</u> k = 0,1,..., 12,22, 23,24 új műholdakra: k = -7 → -1 <u>1998-2005</u> → k = -7,...,12 <u>2005 után</u> → k = -7,...,6 /5,6 műszaki célokra/	<u>alapfrekvencia: 10,23 MHz</u> L1: 1575,42 MHz (≈19,05 cm) L2: 1227,60 MHz (≈24,45 cm) ■ két új polgári frekvencia L2: +C/A kód, 12db műhold L5:1176,45 MHz (2005-től) 12 új Blokk IIF műhold L1 és L2-ön is új M katonai kód
kódok	az összes műholdra ugyanaz L1: C/A-kód és P-kód L2: P-kód	az egyes műholdakra eltérő L1: C/A-kód és P-kód L2: P-kód
a követőállomások alrendszere		
folyamatos megfigyelés és ellenőrzés	<u>Moszkva</u> és a korábbi SU területén eloszló követő és parancstovábbító hálózat: Szentpétervár, Tyernopol (Ukrajna), Jenyiszejszk, Komszomolszk-na Amure (adatfeltöltés: 2 nap)	5 követő állomás (Colorado Springs, Kwajalein, Ascension, Diego Garcia, Hawaii) Colorado Springs vezérlő központ is
rendszeridő ellenőrzés	Moszkva	Colorado Springs

Átszámítási összefüggések a WGS 84 és a PZ 90 között:

1. *Pratap Misra és munkatársai* /Lincoln Laboratórium, Lexington/

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{WGS84}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2,5\text{m} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -1,9 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 1,9 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}}$$

/Az y tengely menti eltolás és a z tengely körüli forgatás statisztikailag szignifikáns./

1. *Yuri A. Bazlov és munkatársai* /Orosz Védelmi Minisztérium 29.sz. kutatóintézete/:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{WGS84}} = \begin{bmatrix} -1,1 \\ -0,3 \\ -0,9 \end{bmatrix} + (1 - 0,12 \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -0,82 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0,82 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}}$$

/A transzformáció pontossága 3σ valószínűségi szinten jobb, mint 1m. Ez ma a legjobb rendelkezésre álló transzformáció Oroszországra és a környező területekre/

a felhasználói alrendszer	
műholdvevők	<p>- <u>GLONASS vevők a korábbi SZU-ban</u> /Oroszország, Ukrajna, Belorusszia tervező irodái és üzemei/</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <u>I. generációs vevők</u> nagy és nehéz egységek, 2-4 csatorna ■ <u>II. generációs vevők</u> digitális jelfeldolgozás, könnyebb, kompaktabb vevők <p><u>Shkiper-N vevő</u> (digitális feldolgozás, 5,6,12 csatorna)</p> <p>- <u>polgári alkalmazásra: GPS/GLONASS vételi képesség</u></p> <p>- <u>geodéziai pontosságú vevő:</u> REPER /6 csat., L1, 5 kg/ -mindkét rendszer vételére alkalmas <u>prototípus vevők</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <u>GPS/GLONASS vevők piaci gyártása</u> Ashtech GG Surveyor (egyfrekvenciás, 48 db. műhold észlelésére) ■ <u>Fontosabb kombinált vevő gyártók:</u> korábbi SZU vállalatok; 'NAVIS' Tervező Iroda (Moszkva); 'KOTLIN cég (Szentpétervár); Ashtech, 3S Navigation (USA), Daimler-Benz, Aerospace, JAVAD Positioning Systems
	<p>GPS-vevők (antenna + jelfeldolgozóegység)</p> <p>A vevők széles skálája nemcsak katonai, hanem polgári felhasználásra is.</p> <p><u>Típusok: - navigációs (C/A-kódú vevők</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -katonai (P-kód) -térinformatikai (GIS) <p>-geodéziai (a vivőhullámok és a kódok kombinálása: -L1, C/A-kód, L2 -L1, C/A-kód, L2 P-kód, vagy az elmúlt években Y-kód a P-kód helyett A-S idején (P-kód titkosítása)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 2000. május 2-től az S/A hivatalos megszüntetése ■ új civil (L2c) és katonai kódok (M), második polgári vivőhullám (L5) bevezetése várható

A Galileo globális műholdas helymeghatározó alaprendszer

A GNSS rendszer értelmezése

Az elmúlt évek szakirodalma már egyre gyakrabban említi a GNSS rendszer elnevezést. Vajon miről is van itt szó? A GNSS rövidítést a globális navigációs műholdrendszerekre ma már leginkább átfogó értelemben használják, lefedve ezzel a kifejezéssel egyrészt a már meglévő, és a tervezett alaprendszereket (NAVSTAR GPS, GLONASS, Galileo) továbbá a rájuk épülő ún. kiegészítő rendszereket is [10]. Maguk a kiegészítő rendszerek lehetnek műholdalapúak (Satellite Based Augmentation Service, SBAS), vagy földi telepítésűek (Ground Based Augmentation Systems, GBAS). A velük elérni kívánt cél a műholdas alaprendszer pontosságának, integritásának fokozása. A globális navigáció kapcsán, az SBAS, differenciális korrekciók, és integritásadatok folyamatos sugárzását végzi, megnövelve így a rendszer szolgáltatásait igénybe vevő felhasználók helymeghatározási pontosságát, a megbízható működtetésből adódó felhasználói biztonságérzetet. Egyes rendszerek ingyenesen biztosítják a már említett szolgáltatásokat, mint a WAAS (USA), EGNOS (Európa), MSAS (Japán Távol Kelet), más magánvállalkozásban működtetett rendszerek (pl.: OmniStar), pedig fizetés ellenében egy méteres, vagy annál valamivel kedvezőbb pontosságú pozicionálást nyújtanak a felhasználóknak. A regionális alkalmazások támogatására az egyes országok földi telepítésű aktív GPS hálózatokat létesítettek, illetve létesítenek. Magyarországon is kiépítés alatt áll egy ilyen 12 állomásból álló hálózat, amelynek bővítése, európai projektből finanszírozva, 15 kelet-közép európai országgal együttműködve, egy ún. EUPOS rendszer keretében, kb. 40 állomásból álló hálózat formájában, valósulna meg a következő években [10].

A műholdas helymeghatározás, ezen belül is a navigációs célú alkalmazás világszerte dinamikusan fejlődik. Kitűnő példa erre az is, hogy Japán köz- és magánszervezetek egy új GPS-t kiegészítő, integrált kommunikációs és helymeghatározó rendszert fejlesztenek a mobil felhasználók részére QZSS néven. Az igény megértéséhez érdemes néhány adatot közölni Japán GPS piacáról. Manapság ez az ország a világ éllovasai között van a GPS technika polgári célú alkalmazásaiban, az eladott eszközök számában és a kínált szolgáltatásokban. Nézzünk erre néhány számszerűsített adatot is [11]! Japán lakossága közel 120 millió. Évente, mintegy 2 millió GPS-szel felszerelt autónavigációs-egységet adnak el, amely darabszám az 1993-2000 évek között összesen 9620000-t tett ki. Az éves eladás jelenleg 2,7 millió. Mobil telefont 70 millió japán használ, 45 millió az éves eladás és 3,8 millió a GPS vevővel egybeépített rádiótelefonok száma. A fejlett kiegészítő rendszert elsősorban a biztonságos, különböző közlekedési formákat lefedő navigációs célú alkalmazások igénylik

Az EGNOS és a Galileo

A 90-es évek második felében az európai döntéshozó szervezetek felismerve a műholdas navigáció stratégiai jelentőségét, a benne rejlő igen jelentős gazdasági haszon kiaknázása végett döntöttek arról, hogy a kérdéskörben a versenyképesség megőrzése végett egyrészt folyamatosan fejlődni, másrészt önálló sodni kell. Ez a gyakorlatban egy kétütemes fejlesztési stratégiát jelent. Az első ütemben az EGNOS műholdalapú kiegészítő rendszer épül ki 2004. közepére, majd 2008-ra a Galileo műholdas alaprendszer kialakítása történik meg. Mit kell tudnunk magáról az EGNOS-ról? Az EGNOS az amerikai GPS-t és az orosz GLONASS-t kiegészítő műholdas rendszer, feladata korrekciós adatok szolgáltatása az európai, és annak közvetlen környezetében lévő földrajzi régiók felhasználói felé, ezáltal 5 m alá szorítva a pozicionálás pontosságát, szemben az abszolút GPS pontmeghatározás 7-15 m-es megbízhatóságával. Az EGNOS műholdas alrendszere három geostacionárius műholdból áll: az AOR

(15,5°W), nyugaton az Atlanti-óceán keleti része fölött, az IOR (65,5°E), keleten az Indiai-óceán fölött -mindkettő Inmarsat hold- és közöttük az Artemis (21,5°E) kommunikációs hold (tulajdonos: ESA) [9], [16]. A földi irányító rendszer 34 megfigyelő állomásból és négy ellenőrző központból áll. Az ellenőrző központok végzik el a differenciális korrekciók és integritás adatok meghatározását, amelyeket aztán feljuttatnak a műholdakra, hogy azok visszasugározzák a javításokat a rendszer által lefedett régióra. Az EGNOS a korrekciós jeleket a GPS L1 frekvencián küldi le a jelek vételére alkalmas vevőkkel dolgozó felhasználók felé. Ma már több forgalmazó kínál olyan vevőket, amelyek az európai EGNOS és amerikai WAAS korrekciókat egyaránt képesek kezelni. Az EGNOS- t leginkább a kritikus biztonságot igénylő szállítási alkalmazásoknál, mint a légi, tengerészeti szektorok fogják használni. A jelenlegi kevésbé megbízható kísérleti jelekről az áttérés a rendeltetésszerű üzemre 2004. júliusától várható.

A Galileo az első olyan globális műholdas helymeghatározó és navigációs alaprendszer lesz, amelyet *speciálisan polgári felhasználási célokra* az Európai Unió (EU) és az Európai Űrhajózási Ügynökség (ESA) közös vállalkozás keretében hoz létre. Talán mondhatjuk azt, hogy ez az európai kezdeményezés, amely sikeres megvalósulását követően, egy igen korszerű ún. második generációs alaprendszert eredményez majd, ezáltal már a kialakítás során is egészséges versenyre ösztönözve a jelenleg üzemelő társrendszereket. Ezt a versenyt jól tükrözi a társrendszerek modernizációs folyamata is. A működő alaprendszerektől (pl.: amerikai GPS) való technikai függetlenségből, a bővülő kínálat útján, a felhasználói közösség kamatoztathat majd leginkább, természetesen az együttműködés kölcsönös előnyeiből az egyes fejlesztők egyaránt részesedhetnek. A műholdas globális helymeghatározó rendszerek a mindennapi életben már ma is vitathatatlan szerepet játszanak, jelentőségük a társadalmi és ipari fejlődésre a jövőben egyre inkább meghatározó lesz. Különösebb előrelátást nem igényel, hogy az ember megjósolja azt, hogy a jövő irányítási rendszereinek a rádió navigáció az egyik legfontosabb része lesz. Számos olyan szektor van (pl.: közlekedés), amely már ma is függ ettől a technikától, akkor is, ha a lehetőségek tárhaza még csak részben van kihasználva. Egyes elemzők a műholdas navigációt a karóra, mint egykori találmány jelentőségével vetik össze, hangsúlyozva azt, hogy a jövőben senki sem lesz képes pontos hely és idő ismerete nélkül létezni [16]. Az EU ezért is fontosnak tartja a *független műholdas alakzat* feletti ellenőrzést. Nem akar függni olyan rendszerektől és technológiáktól, amelyeket katonai célra, és Európán-kívüli alkalmazásokra fejlesztettek ki.

A Galileo program stratégiai fontosságú Európa számára, mivel hasonló forradalmi változásokat hoz majd a társadalomnak, mint azt az elmúlt években a mobil telefon tette, előidézve a kapcsolódó szolgáltatások egy új generációjának fejlődését. A közúti és vasúti közlekedésben, például, lehetővé teszi majd az útidők előrejelzését. Az automatikus járműirányító rendszerek segítséget fognak jelenteni a közúti dugók és balesetek számának csökkentésében. Bár az előnyök kapcsán leggyakrabban a különféle légi, tengeri szárazföldi közlekedési formákat emlegetik, de nem elhanyagolhatók azok a mezőgazdaságban, halászatban, hon-és polgárvédelemben, a kereső és mentő szolgálatokban, az építőiparban, telekommunikációban, stb.. A Galileo műholdak speciális fedélzeti jellemzői olyan új szolgáltatási kategóriákat is fognak támogatni, mint a közlekedési, kereskedelmi vagy feljavított kutatási és mentési funkciók. A kritikus alkalmazásoknál (pl.: polgári repülés, veszélyes anyagot szállító eszközök navigálása, stb.) a Galileo és a GPS két független jelforrású alaprendszert jelent, így lehetővé válhat a hagyományos infrastruktúra helyettesítése kizárólag műholdalapú hely-és időméréssel.

A Galileo rendszer tervezésekor többek között a következő szempontokat vették figyelembe: fejlesztési és működtetési költségek minimalizálását; felhasználói és piaci igények, trendek; együttműködtethetőség a már üzemelő alaprendszerekkel, elsősorban az amerikai GPS-szel. Ami a költségeket illeti, azok 3,2-3,4 milliárd eurót tesznek ki, amely összeg a mesterséges holdak fellövését és a földi kiszolgáló hálózat kiépítését biztosítja. A beruházás költsége

más európai projekteknek nagyjából megfelel, és az összevethető a jelenleg Londonban épülő 'Heathrow Airport' 5. terminálja, vagy 150 km modern autópálya létrehozásának költségével [16]. A Galileo projekt két meghatározó költségviselője az EU és az ESA, de a magánszektor befektetéseire is számítanak. A programhoz, a [14] szerint, szerződéssel több más Európán kívüli ország is csatlakozott, így például Kína (2003) és Izrael (2004).

A szakirodalom [9] és [10] szerint Galileo műholdas alrendszerét három közepes földtávolságú pályasíkon egyenletesen elosztva 30 mesterséges hold alkotja majd. A pályasíkok hajlása az Egyenlítőhöz képest 56° , egy-egy pályasíkon 9-9 műhold és egy-egy tartalék helyezkedne el. Ez a műholdas alakzat a magasabb földrajzi szélességű helyeken –így Európa északi részén- jobb lefedettséget biztosítana, mint amilyen ma az amerikai GPS mesterséges holdakkal megvalósul. A műholdak keringési magassága 23616 km, keringési ideje 14 óra, súlya 650 kg lenne, a tervezett élettartam elérné a 20 évet is. Az egyes mesterséges holdak fedélzetén két atomóra biztosítaná a szükséges frekvenciaetalont. Az egyik rubídium, a másik a műholdfedélzetén először megjelenő hidrogén mézer óra lenne. Az Európában készülő órákat az első kísérleti műholdakon fogják tesztelni. A Galileo rendszeridőt a nemzetközi atomidőhöz fogják illeszteni. Az első két kísérleti műhold legyártására 2003-ban már a szerződéseket is aláírták. Az egyik kísérleti műhold feladata az lesz majd, hogy Galileo jeleket sugározzon az egyik tervezett pályahelyről a lefoglalt frekvenciák tesztelése végett. A másik műhold egy esetleges sikertelen fellövés kockázatának minimalizálására, és a szállított technológia képviselőjére szolgál majd. A fellövést szojuz hordozó rakétával Bajkonurból tervezik. A műholdak tíz különböző jelet fognak sugározni a következő négy L-sávú frekvencián: 1176,45 MHz, 1207,14 MHz, 1278,75MHz, és 1572,42 MHz. Jól látszik az, hogy két Galileo jel frekvenciája megegyezik majd az amerikai GPS rendszer L1 és majdani L5 jelének frekvenciájával. A Galileo jelek által biztosított szolgáltatás két szint szerint osztályozható: alapszint és korlátozott hozzáférésű szolgáltatási szint [12]. Az alapszint -mint az amerikai GPS- nél- itt is ingyenes lesz, de a rendszer üzemeltetői jobb minőségű és megbízhatóbb szolgáltatást ígérnek az általános felhasználói alkalmazásoknál. A másik értéknövelt kereskedelmi és professzionális szolgáltatási szint használatáért természetesen fizetni kell majd, és csak az arra jogosult felhasználók vehetik azt igénybe. Ennél nyilvánvaló kiváló működtetést kell biztosítani. A korlátozás szintje egyes felhasználók esetében olyan magas fokú kell, hogy legyen, hogy a szolgáltatás zavarása semmiképpen ne fordulhasson elő. A rendszer gazdaságosságához az ezért való bevétel is jelentősen hozzájárulást jelent majd.

A Galilio rendszer tervezett földi kiszolgáló infrastruktúrája a követőállomások alrendszer mellett bővül majd egy az előzőtől elkülönült integritás-megfigyelő infrastruktúrával. A követőállomások alrendszerének legfontosabb feladata a műholdas konstelláció folyamatos ellenőrzése, azaz a műholdpályák meghatározása és az időszinkronizáció biztosítása és a navigációs üzenetek előállítása lesz. Mindezt a [9] alapján 15 automatikus vevőállomással, egy irányító központtal és 4 adattovábbító (telemetrikus) állomás létesítése, majd üzemeltetése útján kívánják a működtetők biztosítani. A rendszer integritásának ellenőrzéséért önálló megfigyelő hálózat, európai integritás központ és 3 adóállomás felel majd. A rendszer integritásának képessége navigációs célú GPS alkalmazásoknál kulcskérdés. A felhasználókat ugyanis megfelelő időn belül (néhány másodperc) figyelmeztetést kell kapnia a műholdas rendszer (egy-egy műholdak) meghibásodásáról (tény és időpont), azok pontossági mérőszámairól. Ennek az igen fontos szolgáltatásnak a hiánya az, amely nem teszi lehetővé az amerikai GPS rendszer teljes körű használatát az olyan a kritikus navigációs területeken, mint a polgári légiirányítás. A követőállomások alrendszer megfelelő kapcsolatokat (interfészeket) épít ki majd a különböző szolgáltató központokkal, hogy értéknövelt globális kereskedelmi, keresési-mentési szolgáltatásokat biztosítson. Újításnak számít az is, hogy Galilio műholdak fedélzetére Cospas - Sarsat rendszerrel kompatibilis adó-vevő berendezéseket szerelnének fel, amelyek egyrészt a jelenlegi pozicionálás pontosságát –a jelenlegi műholdas rendszerrel összevetve- több nagy-

ságrénddel fokozná, másrészt pedig, az L-sávú jeladók alkalmasak lennének arra, hogy a bajbajutott visszaigazolást kapjon, hogy a küldött jeleit vették, és hogy a mentése megindult.

A felhasználói alrendszer legfontosabb eleme maga a vevő. Már arról volt szó, hogy a Galileo az amerikai GPS rendszerrel kompatibilis lesz. Az is ismert, hogy amerikai és orosz műholdas alrendszerek vételére –az előzőekhez képest nagyobb különbségek ellenére- is készültek ún. GPS+GLONASS vevők. Nyilvánvaló, az is hogy az alrendszerek együttes használatával megemelkedett műholdszám az egyes mérési módszerek alkalmazásakor számos előnnyel jár együtt. Ennek kapcsán említhetők meg a következők: fedett területeken való alkalmazás (városi kanyonok, erdős területek, parkolók); a fázis-többértelműség hatékonyabb feloldása, a rendelkezésre álló frekvenciák számának növekedése, stb.. Az elmondottakból következik, hogy a potenciális gyártók a Galileo vevők tervezésekor olyan kombinált műholdvevőkben gondolkodnak, amelyek majd képesek lesznek mindhárom alrendszer sugárzott jeleinek vételére. Ebből az is következik, hogy új feldolgozó szoftverekre is szükség lesz. A versenyhelyzet miatt nem nehéz megjósolni azt sem, hogy az üzemelő két alrendszer modernizációja hosszabb távon előrevetíti azok kapcsán is a kombinált vevők iránti igényt.

A felhasználók számára a már jól ismert alkalmazások mellett, számos értéknövelt szolgáltatást is kínál majd a Galileo. Az alkalmazási területek a [16] alapján többek között lefedik majd a közlekedést (közúti, vasúti, légi, vízi) és teherszállítást; az energetikát; a telekommunikációt; a mezőgazdaságot; a halászatot; környezetvédelmet, építőipart; a szabadidős tevékenységeket; a honvédelemmel, polgárvédelemmel, biztonsággal és személyvédelemmel kapcsolatos feladatokat és végül, de nem utolsósorban a bányászatot is.

Felhasznált irodalom

- [1] G. Seeber: Satellite Geodesy
Berlin-New York, 1993
- [2] N. L. Johnson: Glonass Spacecraft
GPS WORLD, 1994. november
- [3] W. Martin-F. van Diggelen: GPS+GLONASS technology, Into the Next Generation of Global Positioning
Tools GIM 1997/4 (p. 73-75)
- [4] R. B. Langley: GLONASS-Review and Update
GPS-World, 1997. július
- [5] D. Walsh-P. Daly: Precise Positioning Using GLONASS
GIM 1998/4 (p. 32-35)
- [6] Y. A. Bazlov-V. F. Galazin-B.L. Kaplan-V.G. Maksimov-V.P. Rogozin: GLONASS to GPS
GPS WORLD 1999. január (p. 54-58)
- [7] J. Börjesson: GLONASS Contributions to Space Geodesy
Thesis for the degree of licentiate of engineering
Chalmers University of Technology, Göteborg, 2000.
- [8] A. Yasuda: Current Status of Global Positioning Systems GPS, GLONASS and GALILEO
GIM 2002. február (p. 69-71)
- [9] Borza T. - Frey S.: Az európai műholdas helymeghatározás és várható hatása a geodéziára
Geodézia és Kartográfia, 2003/12, pp. 16-19.
- [10] Ádám J. és szerzőtársai: Műholdas helymeghatározás
Tankönyv, Műegyetemi kiadó, 2004.
- [11] I.G Petrovski - Makoto Ishii- és szerzőtársaik: QZSS – Japán új integrált helymeghatározó szolgálata mobil felhasználóknak
GPS-World, 2003. június
- [12] J. Benedicto-D. Lugwig: Bemutatva a Galileót- Javasolt felépítés és szolgáltatások az új európai műholdas helymeghatározó rendszerre
GPS World, 2001. szeptember
- [13] <http://www.rssi.ru/SFCSIC/english.html>
- [14] http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/Info_hom.cgi?en
- [15] <http://www.friends-partners.org/partners/mwade/craft/glonass.htm>
- [16] http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/gal_en.html