

Új jövőbeli alaprendszerek a GNSS piaci versenyében – helyzetkép a Galileoról és a Kompaszról

DR. HAVASI ISTVÁN tanszékvezető egyetemi docens, Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézet
Geodéziai és Bányamérészeti Tanszék



A tanulmány célja a Galileo és a Kompas alaprendszerek jellemzőinek, aktuális státuszának bemutatása volt. Ami a Galileo-t illeti, arról kiderült az, hogy korábban annak az előre jelzett fejlesztése – főképp pénzügyi okok miatt – jelentősen lelassult. Ígéretes volt azonban a közelmúlt, és biztatóak a közeljövőre vonatkozó tervek, amelyekről 2020-ra a műholdas alrendszer globális lefedettsége már reális célnak látszik.

Tudjuk, hogy a Kompas létrehozása a kínai nemzeti stratégia fő célkitűzéseinek egyike. Fejlettségét tekintve jelenleg talán a harmadik helyen áll az alaprendszerek között, szoros versenyben a vele most együttesen tárgyalt európai Galileo rendszerrel. A Kompas jövője – ahogy az előzőekből az kiderült – fényesnek tűnik, és 2020-ra e rendszer teljes lefedettsége is remélhetőleg meg fog valósulni.

A közelmúlt szakmai és egyéb eseményei a Galileo – NAVSTAR GPS, a Kompas – GLONASS korábrinál szorosabb együttműködését vetítik elő.

Bevezetés

A címbeli GNSS rövidítés a globális navigációs műholdas rendszerek angol fordítása (Global Navigation Satellite System) kezdőbetűiből képzett mozaikszó, amelybe az érintett szakmai körök mind az alaprendszereket, mind pedig az azok mellett, adott régióban működtetett kiegészítő rendszereket is beleértik.

Ma már biztosan kijelenthető az is, hogy a műholdas navigáció a mindennapi élet szerves részévé vált, alkalmazási területe, a technológiát felhasználók köre folyamatosan bővül, a GNSS rendszerek dinamikusan fejlődnek. Ismeretes, hogy ennek az alapját döntően a műholdas alaprendszerek biztosítják. Ezek kettő legismertebb, és napjainkban teljes kiépítettségben működő képviselője az amerikai NAVSTAR GPS (31 db működő űrjármű, amelyek közül 12 IIR, 7 IIR-M és 12 IIF típusú műhold) és a szovjet-orosz GLONASS (24 db működő, 1 db beüzemelés alatt álló és 1 db teszt hold). E rendszerek részletes bemutatásával jelen tanulmány nem kíván foglalkozni.

Az amerikai GPS rendszer modernizációjával kapcsolatban mégis érdemes megemlíteni a következőket: (1) a műholdas szolgáltatás jelenleg 31 db GPS II típusú holdra támaszkodik; (2) legyártották, és terv szerint 2018 decemberében fellövik majd az első új GPS IIIA típusú űrjárművet (gondos tervezés, 15 éves élettartam, L1C új polgári jel, nagyobb pontosság, többszörösére feljavított blokkolás elleni képesség). 2023-ig 10 db ilyen IIIA típusú műhold pályára állítását kívánják megvalósítani. 2025-2034 között pedig 22 db GPS IIIF jelű hold fellövésére kerülhet majd sor.

Ami pedig az orosz GLONASS rendszert illeti, a műholdas alakzatot második generációs M és 2 db K1 jelű (fellövésük 2011-ben és 2014 végén) műholdak építik fel. Az utóbbi, de a már feljavított holdakból további 9 db legyártása várható, és 2020-ig belőlük 11 db keringhet majd az űrben, miután 2018-ban sor került a 10 éves átlag-élettartamú első prototípus K2 jel-

zésű műhold pályára állítására. Harmadik generációs új, és kisebb súlyú (965 kg) K1 jelű hold első indítására szintén 2018-ban került sor. Ugyanakkor az idén, a már kész M jelű műholdakból, még 5 db fellövésre vár.

A műholdas navigáció piaci pozícióiért zajló versenybe a jövőt illetően – az imént említett kettő ma meghatározó rendszer mellé – hamarosan 24 műholdas alakzattal, 2020-as céldátummal, újabb kettő alaprendszer csatlakozik majd.

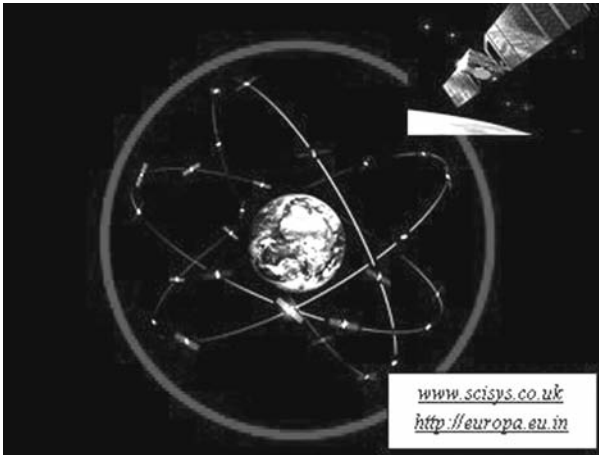
Ezek egyike az európai Galileo, amelynek kialakítása az elmúlt időszakban, lassabban zajlott ugyan, mint ahogy azt az illetékesek előre jelezték. Manapság, és a jövőt illetően, azonban ez a folyamat – köszönhetően a négyes műhold-fellövéseknek is – jelentősen gyorsul.

A másik pedig a kínai Kompas (Beidou-2, 3) lesz, amelynek vizsgálata e tanulmány további célja. A kínai műholdas alaprendszer kiépülése mindmáig rendkívül dinamikus. Igen gyakran olvashatunk az újabb és újabb navigációs holdak pályára állításáról; ez volt az egyik oka a Kompasra is irányuló témaválasztásnak. A másik ok pedig az volt, hogy a hazai szakirodalom ez idáig viszonylag kevés figyelmet szentelt a Kompasznak. Így a tanulmány e része e tekintetben hiánypótlónak is tekinthető.

A Galileo műholdas alaprendszer jellemzői

A Galileo az első olyan globális műholdas helymeghatározó és navigációs alaprendszer, amelyet speciális polgári felhasználási célokra az Európai Unió /EU/ és az Európai Űrhajózási Ügynökség (ESA) közös vállalkozás keretében hozott létre. Egy 20 milliárd euróra becsült költségű rendszerről van szó. Ez az alaprendszer Galileo Galilei olasz csillagászról kapta a nevét. Egy korszerű, jövőbeli, második generációs, nem katonai irányítású rendszer ismertetésére kerül most sor, amelynek a megvalósulása az évtized végéig biztosan eléri majd a globális lefedettség szintjét.

A Galileo műholdas alrendszerét három közepes földtávolságú pályasíkon elosztva 30 mesterséges hold alkotja majd. A pályasíkok hajlása az Egyenlítőhöz képest 56° , egy-egy pályasíkon pedig 8-8 műhold és 2-2 működőképes tartalék helyezkedne el (1. és 2. ábrák).



1. ábra: A Galileo tervezett műholdas konfigurációja (www.scisys.co.uk)



2. ábra: Galileo holdak indítása, 2015 (kép: ESA)

Ez a műholdas alakzat a nagyobb földrajzi szélességű helyeken – így Európa északi részén – jobb lefedettséget jelentene, mint amilyen ma az amerikai GPS mesterséges holdakkal megvalósul. A műholdak keringési magassága 23 222 km, keringési idejük 14 óra, súlyuk 675 kg, a tervezett élettartamuk pedig elérné a 12 évet is. Az egyes mesterséges holdak fedélzetén két atomóra biztosítja a szükséges frekvenciaatlont. Az egyik rubidium, a másik pedig a műholdfedélzetén először megjelenő hidrogén méter óra. Az Európában készülő órákat az első kísérleti műholdakon tesztelték. A Galileo rendszeridőt a nemzetközi atomidőhöz illesztik. A Galileo műholdak tíz különböző jelet fognak sugározni a következő négy L-sávú frekvencián: 1176,45 MHz, 1207,14 MHz, 1278,75 MHz és 1572,42 MHz. Jól látszik az, hogy két Galileo jel frekvenciája megegyezik majd az amerikai GPS rendszer L1 és az új F-típusú műholdak L5 jelének frekvenciájával. A Galileo jelek által biztosított szolgáltatás két szint szerint osztályozható: alapszint és

korlátozott hozzáféréstű szolgáltatási szint. 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, és azt csak az arra jogosult felhasználók vehetik majd igénybe.

A Galileo rendszer tervezett földi kiszolgáló infrastruktúrája a követőállomások (30-40) alrendszere mellett bővül majd egy, az előzőtől elkülönült integritás-megfigyelő infrastruktúrával. A követőállomások alrendszerének legfontosabb feladatai a műholdas konstelláció folyamatos ellenőrzése, azaz a műholdpályák meghatározása és az időszinkronizáció biztosítása, továbbá a navigációs üzenetek előállítás. Mindezt a működtetők 15 automatikus vevőállomással, egy irányító központtal és 4 adattovábbító (telemetrius) állomás létesítésével, majd üzemeltetésével biztosítják. A rendszer integritásának ellenőrzését önálló megfigyelő hálózat, európai integritás központ és 3 adóállomás végzi. A rendszer integritásának képessége ugyanis navigációs célú alkalmazásoknál kulcskérdés.

A felhasználói alrendszer legfontosabb eleme maga a vevő. A Galileo az amerikai GPS rendszerrel kompatibilis lesz. A Galileo vevők tervezésekor olyan kombinált műholdvevőkben gondolkoznak, amelyek képesek a 3 G kezdetű új alrendszer sugárzott jeleinek vételére. Ebből az is kiderül, hogy új feldolgozó szoftverekre is szükség van. A versenyhelyzet miatt nem nehéz megjósolni azt sem, hogy az üzemelő két alrendszer modernizációja hosszabb távon előrevetítette azok kapcsán is a kombinált vevők használata iránti fokozódó igényeket, amelyet a piac az utóbbi években vissza is igazolt.

A felhasználók számára a már jól ismert alkalmazások mellett, a Galileo számos értéknövelt szolgáltatást is kínál. Amint azt már említettük, az alkalmazási területek többek közt lefedik majd a közlekedést (közúti, vasúti, légi, vízi) és a 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, az olyan speciális szakterületeket is, mint a bányászat.

Ami pedig a Galileo fejlesztésének történetét illeti, arról is emlétsünk meg néhány dolgot. A rendszer kapcsán jól ismert, hogy az ún. *Kezdeti Kísérleti Működési Fázis* már több mint 10 éve lezajlott. Ennek része volt a tervezett pálya modellezése, a navigációs üzenet kialakítása és a fedélzeti órák tesztelése. Ezeket a feladatokat a felflött két teszthold a GIOVE-A, és a GIOVE-B volt hivatott teljesíteni. Az említett két hold rövid élettörténete és küldetése a következő volt:

2005. december 28-án reggel a kazahsztáni *Bajkonur* mellől egy Szojuz-Fregat rakétával sikeresen felflötték, és végleges pályájára állították a GIOVE-A

/magyarul Jupiter/ kísérleti Galileo műholdat. A GIOVE-A tehát megkezdhetette tervezett küldetését. Ez a Galileo navigációs jelek és a két fedélzeti rubídium atomóra tesztelése volt. Az űrjármű további feladata volt még a 23258 km magasságú, és az Egyenlítővel 56 fokos szöget bezáró, űrbéli körpálya mentén a fel-lepő sugárzás vizsgálata is.

2008. április 27-én – a tervezett időponthoz képest jelentős késéssel – pályára állították az oroszok a GIOVE B-t is. A hold kiemelt feladata volt a végleges űrjárművekre tervezett és precízebb helymeghatározást biztosító frekvencia etalonnak, a passzív hidrogén méter órának a tesztelése (addig az űrbe került legpontosabb atomóra).

(Mindkét tesztműholdat 2012 nyarán vonták ki a szolgálatból, küldetésüket – az illetékesek szerint – teljesítették.)

A további, már valódi szolgáltatást nyújtó műholdak pályára állítását az akkori időszak gazdasági nehézségei jelentősen késleltették. 2011. október 21-én aztán a francia-guyanai *Kourou* kilövőállomásról Szozjuz hordozórakétával fellőtték az első két „igazi” Galileo űrjárművet, amelyek már a végleges konstellációnak is részei lettek. A következő két hold indítására 2012. október 12-én került sor. 2012 elején a Galileo műholdas alrendszere 4 műholdat foglalt magába, 2 kísérleti és 2 funkcionális holdat. Az év végén pedig már csak az utóbbiból üzemelt 4 db, mivel időközben a két teszthold kivonásra került. 2014-re az illetékesek már 18 műholdat szerettek volna az űrben működtetni, ez azonban csak 2016-ban realizálódott. Az első már „igazi” nem tesztelésű ún. FOC (Full Operation Capacity) műholdakat (2 db) 2014. augusztus 21-én a dél-amerikai Guyana Űrközpontból indították az űrbe, közepes 23000 km magasságú Föld körüli pályára. Azóta – az előzővel együtt – összesen 22 db Galileo FOC műholdat lóttak fel, amelyek a 4 IOV holddal együtt alkotják a jelenlegi 26 műholdas formációt (1. táblázat).

2016. november 17-én Ariane 5 ES hordozórakéta segítségével már egyszerre nem kettő, hanem négy űrjárművet (715 kg/db) állítottak rendszerbe. A következő ugyanilyen fellövés 2017. december 12-én valósult meg. 2018. május elején pedig a kilövési helyszínre leszállítottak 2 fellövésre váró Galileo holdat, melyeket a hónap végén újabb kettő követett. Egyidejű felbocsátásuk (3. négy-műholdas indítás) 2018. július 25-én a tervek szerint meg is valósult. Ekkor a Galileo műholdas alakzat műholdjainak száma 26-ra nőtt, azaz meghaladta a teljes lefedettséget jelentő 24-es értéket.

Az eddigi 4 + 22 műhold gyártói mintegy 324 millió euró összegben nemrég újabb 8 hold előállítására írtak alá szerződést. 2020-ban és 2021-ben a fejlesztés alatt álló Ariane-6 rakéta ismét kettesével juttatja majd az űrbe a rendszerbe állítandó 4 Galileo holdat.

Az eddigi legyártott 26 és a megrendelt 8 műhold fellövése biztosítja majd a tervezett 30 műholdas konfigurációt és a még 4 tartalékot is. A fedélzeti atom-

1. táblázat: Az európai Galileo rendszer műholdjai (16 üzemelő, 2017. 11.)

Tesztműholdak (2 db)				
1.	GIOVE-A	2005. 12. 28.	MEO	kivonva
2.	GIOVE-B	2008. 04. 27.	MEO	kivonva
Kipróbálási fázis műholdjai (4 db) (IOV műholdak, Szozjuz hordozórakéta)				
1.	IOV-1	2011. 10. 21.	MEO	használható
2.	IOV-2	2011. 10. 21.	MEO	használható
3.	IOV-3	2012. 10. 12.	MEO	használható
4.	IOV-4	2012. 10. 12.	MEO	meghibásodott (2014-től)
„Végleges” műholdak (14 db) (FOC műholdak, Szozjuz-2 1b és Ariane 5 ES hordozórakéták)				
1.	FOC-1	2014. 08. 22.	MEO	csak tesztre
2.	FOC-2	2014. 08. 22.	MEO	csak tesztre
3.	FOC-3	2015. 03. 27.	MEO	használható
4.	FOC-4	2015. 03. 27.	MEO	nem használható (2017-12-08)
5.	FOC-5	2015. 09. 11.	MEO	használható
6.	FOC-6	2015. 09. 11.	MEO	használható
7.	FOC-8	2015. 12. 17.	MEO	használható
8.	FOC-9	2015. 12. 17.	MEO	használható
9.	FOC-10	2016. 05. 24.	MEO	használható
10.	FOC-11	2016. 05. 24.	MEO	használható
11.	FOC-7	2016. 11. 17.	MEO	használható
12.	FOC-12 Lisa	2016. 11. 17.	MEO	használható
13.	FOC-13	2016. 11. 17.	MEO	használható
14.	FOC-14	2016. 11. 17.	MEO	használható
15.	FOC-15	2017. 12. 12.	MEO	beüzemelés
16.	FOC-16	2017. 12. 12.	MEO	beüzemelés
17.	FOC-17	2017. 12. 12.	MEO	beüzemelés
18.	FOC-18	2017. 12. 12.	MEO	beüzemelés
19.	FOC-19	2018. 07. 25.	MEO	beüzemelés
20.	FOC-20	2018. 07. 25.	MEO	beüzemelés
21.	FOC-21	2018. 07. 25.	MEO	beüzemelés
22.	FOC-22	2018. 07. 25.	MEO	beüzemelés

órák működésére azonban azok gyártójának a jövőben még nagyobb figyelmet kell majd szentelnie, mivel meghibásodásuk a vártnál gyorsabb volt.

Az egyes holdakat az Európai Bizottság rajzversenyen nyertes különböző nemzetiségű gyerekekről is elnevezték. A 16. műhold a magyar díjazott neve után Lisa lett.

Az egyes FOC műholdak gyártója a német brémai OHB System. Azok fedélzeti navigációs berendezéseit pedig az angliai Guilfordban a Surrey Satellite Technology állítja elő.

A 24 műholdas alakzatot az illetékesek 2020-ig kívánják elérni. 2011 végéig kb. 3 milliárd eurót költöttek a Galileo rendszerre, amelyből 560 millió a fejlesztési, 2,4 milliárd pedig telepítési költségeket fedte le. 2014-2020 között pedig további 7,5 milliárd eurót szánnak az európai műholdas helymeghatározó rendszerre. Az egyes költségtételek felölelik a Galileo kiépítését, működtetését és az európai kiegészítő rend-

szert, az EGNOS-t is. 2012 elején az első navigációs jeleket a Róma közeli Fucino Ellenőrző Központ, mint üzemeltető észlelte.

Jelentős előrelépésnek számított az is, amikor a *Septentrio* cég kifejlesztette a legelső *Galileo vevőkártyát*. A belga *Septentrio* cég aktív résztvevője a Galileo programnak, így folyamatosan több kutatás-fejlesztési projektje is fut a GJU-nál (Galileo Joint Undertaking) és az ESA-nál (Európai Űrügynökség). Ennek megfelelően a *Septentrio* a legkiválóbb Galileo vevőket képes ma ajánlani a kereskedelmi forgalomban.

Az *Alcatel Espace* vezette Galileo koncessziós társaság és az EU megállapodtak a rendszer legfontosabb földi telepítési helyeiben is. Az egyezmény értelmében a koncesszió tulajdonosi központját Toulouse-ban (Franciaország), míg műveleti központját Londonban (Nagy-Britannia) alakították ki. A műholdak irányító központját (CCC – Constellation Control Center), illetve a két integritás-ellenőrző központ (PEC – Performance Evaluation Centres) egyikét Németországban építették ki. A második PEC-t, valamint a földi és űrszegenst együttesen felügyelő központot (MCC – Mission Control Center) Olaszországban helyezték üzembe. Spanyolország olyan élet- és vagyónbiztonsági szempontból kritikus alkalmazások számára (pl. kereskedelmi hajózás és közforgalmi repülés) nélkülözhetetlen létesítményeknek adott helyet, mint például egy második irányító központ. Amikor az elsődleges irányító központok (CCC és MCC) rendben működnek, ez az állomás a helyszíne az új hardverek, szoftverek és eljárások tesztelésének, illetve az MCC és CCC személyzetek ki- és továbbképzésének. A Galileo fellövés előtti műholdak tesztelését a hollandiai noordwijki ESTEC-nél (European Space Research Technology Centre) végzik.

2016. december 15-től, a hivatalos kezdeti szolgáltatás indulásától a 18 holdas lefedettség 4 látható műhold esetén 3 m-es horizontális, 5 m-es vertikális helyzeti és 1 milliárdod másodperces időmérési pontosságot képes szolgáltatni. Ugyanakkor elértek már 1 m-es helymeghatározási pontosságot is. Napjainkban mintegy 17 cég gyárt Galileo jelek vételére alkalmas áramköröket, főleg okostelefonok és autós navigációs rendszerek számára.

A Galileo jelenleg a következő háromféle szolgáltatást nyújtja: korlátozás nélküli nyílt (Open Service); titkosított jelekkel működő (Public Regulated Service), illetve keresési és mentési funkció (Search and Research Service). Közülük az első az okostelefonok és a járműnavigáció európai felhasználói számára teszi lehetővé a pozicionálást. Itt említhető meg az is, hogy 2018-tól az Európában forgalomba helyezett autókát gyárilag Galileo navigációval és e-segélyhívó rendszerrel kívánják felszerelni. A második a különösen megbízható szolgáltatás felhasználói speciális vevőkkel a kormányzati meghatalmazással bíró olyan szervek, mint pl. katasztrófavédelem, vámhivatalok, rendőrség, tűzoltóság stb. Az utolsó pedig a bajbajutott felhasználókat segíti. A cél, hogy a mentés mie-

előbbi megkezdése érdekében a riasztásról a hatóságok minél gyorsabban értesüljenek. Ez csökkenő riasztási időt (10 perc) és javuló lokalizálási pontosságot eredményez. A fejlesztők itt azt is ígérik, hogy a jövőben valahol (pl.: tengeren, hegyekben) segítséget kérő személy arról is értesülhet majd, ha a tartózkodási helyét már ismerik és a mentését is megkezdték.

A Galileo hely- és időmeghatározási pontossága, összevetve a másik három már említett alaprendszerrel, a legjobb. A pontos időnek olyan kritikus infrastruktúráknál lehet nagy jelentősége, mint a banki pénzügyi műveletek, telekommunikáció vagy az intelligens energiahálózatok.

2018 elején az európai alaprendszer jövőjének fejlesztése érdekében az illetékesek megkezdték a felkészülést a Galileo holdak második generációjának tervezésére.

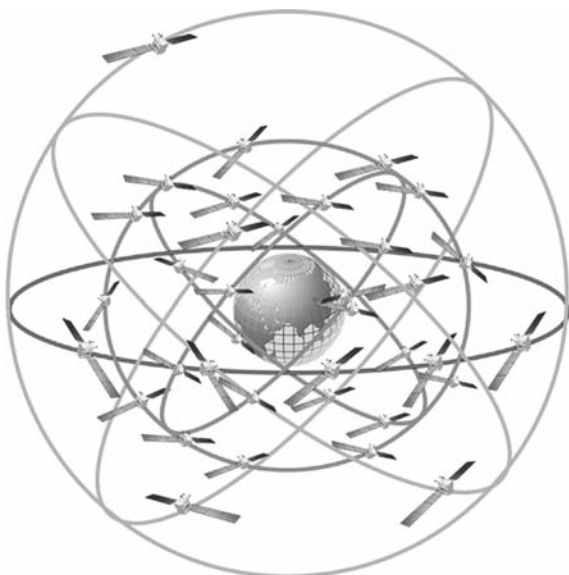
A Kompassz (BeiDou-2, 3, B-2, 3) globális navigációs műholdas alaprendszer

A 2000-es évek első évtizedének közepétől Kína az előző BeiDou-1, B-1 navigációs tesztrendszer (3 munka műhold + 1 tartalék) üzemeltetése mellett (2. táblázat) egy új, második generációs műholdas helymeghatározó rendszer kiépítését kezdte meg, amelyet először regionális (Kína és környezete), majd pedig globális (teljes Földre kiterjesztett) formában tervez megvalósítani. Ennek a rendszernek a neve: COMPASS (magyarul Kompassz, amelyet a továbbiakban én is így használom). Szokás a Kompasszt Beidou-2, 3 elnevezéssel is illetni. A Kompassz egy fejlesztés alatt álló rendszer, amely egyáltalán nem tekinthető a korábbi B-1 kiterjesztésének, amelynek a működési területe hosszúságban 70°K – 140°K és szélességben 5É – 55É volt.

2. táblázat: A Beidou-1 rendszer (1. fázis) műholdjai (4 db 1100 kg/db)

1.	B-1A	2000. 10. 30.	GEO 140°K	kivonva, 2011
2.	B-1B	2000. 12. 20.	GEO 80°K	kivonva, 2011
3.	B-1C	2003. 05. 24.	GEO 110,5°K	kivonva, 2012
4.	B-1D	2007. 02. 02.	GEO 86°K	kivonva, 2009

A tervek szerint ez a jövőbeli alaprendszer 35 műholdból állna, amelyek közül 5 geostacionárius pályán /továbbiakban GEO, 58,75K, 80K, 110,5K, 140K és 160K, 15 éves tervezett élettartam, 828 kg/, 3 dőlt geoszinkron pályán /IGSO, 55°-os dőlés az Egyenlítőhöz képest, 15 év, 828 kg/, 27 (3x9) pedig ún. közepes földi pályán (továbbiakban MEO, 12 év, 1615 kg) keringene (3. ábra). Az egyes indításokat Xichang-ból (XLSC) hajtják végre (4. ábra). A MEO holdak az Egyenlítőhöz képest 55°-os hajlású 21000 km-es körpályán mozognak, és keringési idejük kb. 12,5 óra. A Kompassz rendszer első hírnöke egy MEO hold volt. Ennek a műholdnak a feladata a Kompassz jelek frekvenciáinak érvényesítése, tesztelése volt. Ez a fellövés egyben jelzésértékű is volt, hiszen ezzel egyértelművé



3. ábra: Tervezett Kompass műholdas alakzat (www.glonass-tac.ru)



4. ábra: Kompass műhold indítása (www.insidegnss.com)

vált az, hogy az ázsiai ország ettől kezdve már egy saját, riválisaitól független, globális rendszer kiépítésén dolgozik.

Az Kompass műholdak – az addigi BeiDou-1 holdakkal /S-sáv/ ellentétben – már L-sávú jeleket küldenek. A BeiDou-2, 3 – igazodva az amerikai GPS-hez, az európai Galileo-hoz és az orosz GLONASS-hoz – olyan jelszerkezetet vezetett be, amely az előzőekben felsorolt navigációs alaprendszerekhez közeli, vagy azokkal teljesen megegyező frekvenciákat alkalmaz a kiépülő regionális/globális rendszerénél.

A kínai Kompass globális navigációs rendszer majd 10 szolgáltatást fog kínálni a felhasználóinak (a 2. és 3. fázisok együttes jelszerkezete alapján), közülük öt ingyenes (nyílt) és öt korlátozott (hatósági) lesz. Az egyes szolgáltatások nyolc hordozó frekvenciára épülnek, és azokon kétféle modulációs technikát alkalmaznak. Az egyik az ún. Quad Phase Skip Keying (QPSK, 2. fázis, 2012 vége), a másik pedig Binary Offset Carrier (BOC). 2020-ra (3. fázis), amikor várhatóan a globális lefedettségű rendszer kiépül majd a BeiDou jelek – főleg a BOC modulációs technikát alkalmazva – tovább közelednek majd az amerikai

GPS-hez és az európai Galileo-hoz. A Kompass 2. fázis frekvenciák (QPSK moduláció) 4 sávra vannak elhelyezve. Ezek az 1,561098 GHz (B1), az 1,589742 GHz (B1-2), az 1,207140 GHz (B2) és az 1,268520 GHz (B3), amelyek jellemzője az E1, E2 (1,559-1,592 GHz), E5B (1,164-1,215 GHz, E5a és E5b) és E6 (1,260-1,300 GHz) Galileo frekvenciákkal való átfedés. Ez a vevőtervezés szempontjából ugyan előnyös, viszont interferencia jelenségeket okozhat, főleg a Galileo nyílt szolgáltatású E1 és E2 sávjain. A harmadik fázis frekvenciái pedig a következők: 1575,420 MHz (B1, BOC), 1207,140 MHz (B2, BOC), 1268,520 MHz (B3, BOC) és 1176,450 MHz (L5, QPSK).

A BeiDou-2 rendszer első két teszt műholdját a 2010. év első felében még további kettő GEO hold követte (B2-G1 és B2-G3), és 2010. július 31-én a kínaiak sikeresen fellőtték az ötödik, egyben az első IGSO holdat (B2-IG1) is. 2010-ben még egy GEO (B2-G4) és egy IGSO hold (B2-IG2) is csatlakozott a rendszer műholdas alakzatához.

Kínai illetékesek szerint a nyolcadik B2-IG3 műhold fellövésével (2011. április 10.) a Kompass navigációs hálózat alapfunkciója megvalósult. A 2010-ben pályára állított előző öt holddal (3 GEO és 3 IGSO) együtt kiépült a navigációs rendszer alapformája, amely az elvégzett tesztek követően Kína legnagyobb részén képes volt a navigációs igényeket ellátni.

A tizedik kínai navigációs műholdat (B2-IG5) 2011. december 1-jén indították HM-3A típusú hordozórakétával Xichang-ból. Még december végén a kínai illetékesek bejelentették a B-2 hivatalos próbaüzemi státuszát, és a rendszer navigációs jeleinek pontos leírását bemutató dokumentum is napvilágot látott (BNSS ICD). Ez jellemzi a regionális szolgáltató rendszert (2012-es kiépülés), amelyet remélhetőleg majd 2020-ra globálissá fejlesztenek fel. A BNSS regionális rendszer nominális műholdas alrendszere 5 GEO és 9 nem GEO műholdat takart, amelyek utóbbi csoportja 5 IGSO és 4 MEO holdat foglal magába.

2012. február 24-én a kínaiak először az 5. GEO műholdat állították Egyenlítő fölötti geostacionárius pályára, majd pedig 2012. április 29-én egyetlen LM-3B rakétával egyszerre két MEO holdat juttattak fel az űrbe. Az akkori tényleges műholdas alakzat így a következő volt: 4 GEO; 5 IGSO és 3 MEO. Abban az évben még további 3 űrjárművet (szeptemberben egyszerre kettőt, októberben pedig egyet) lőttek fel. Az utóbbi hold pályára állításával lezárult a már regionálisnak nyilvánított rendszer műholdas alakzatának kiépítése, és 2012. december 27-től az É-D szélesség 55° és K hosszúság 70°-150° régióban megindult a folyamatos szolgáltatás.

A harmadik fázis (globális lefedettség) első új generációs kísérleti műholdjára mintegy 2,5 évet kellett várni, amely 2015. március 30-án egy IGSO hold (15 év) volt. Majd a globális konfiguráció kialakítása érdekében volt még egy kettős és egy szimpla teszt MEO műhold-fellövés (1014 kg, 12 év) 2015 júliusában és 2016 februárjában. Ezen kívül 2 IGSO holdat

(1db B3 és 1 db B2) is pályára állítottak 2015 szeptemberében és 2016 márciusában. Közülük az első B3 teszthold fedélzetén megjelent a kínai hidrogén mézer atomóra. A 2016. év utolsó navigációs indítása, egy GEO hold (8 év tervezett élettartam) volt, amely 2016. június 12-én került az űrbe. Az előző évben, 2017. november 5-én lóttek fel egyszerre kettő új, már végleges B3 MEO űrjárművet. Ezek fő jellemzői: az egymás közötti kommunikációs képesség, a pontosabb, és a további globális navigációs rendszerekkel való kompatibilis jelek sugárzása. A 2018. év első Beidou-3 indítása január 12-én két MEO hold (lézer reflektorral és kozmikus sugárzás regisztrálással) volt. E műholdakat eredetileg még 2017 végén lótték volna fel, a késleltetést a HM-3 hordozórakéta júniusi részleges kudarca okozta. Ezek a műholdak már új generációs platformra lettek kialakítva. Egy ilyen űrjármű starttömege 1014 kg, mérete 2,25x1,22x1 m, pályasíkjának hajlása 55,5° és pályamagassága kb. 21500 km. Változott – mint már arra korábban is utaltam – a polgári használatú navigációs hordozó hullámok frekvenciája és kódolása is, igazodva a NAVSTAR GPS és Galileo rendszerek hasonló célú jeleihez. A B-3 navigációs rendszer műholdas alakzata segítségével valós időben egy vevővel a várható vízszintes értelmű pontosság 6 m, a magassági pedig 10 m lesz. 2018. február 12-én újabb pár ilyen MEO műholdat lóttek fel, és a következő két űrjármű indítására 2018. március 29-én került sor. 2018. július 9-én egy B2 IGSO típusú, majd 2018. július 29-én és 2018. augusztus 25-én egy-egy újabb harmadik generációs MEO műholdpár került fel az űrbe. 2018-ban a következő hónapokban (szeptember, október és november) az illetékesek még 3 alkalommal az előzővel megegyező műholdpár indítását tervezik. 2018 végére a globális fázis új MEO holdjainak száma várhatóan 18 lesz. 2019-ben és 2020-ban a pályára B-3 állítandó műholdak száma a tervek szerint 11 (2 GEO, 3 IGSO és 6 MEO) lesz, azaz akkor már közel 30 új mesterséges égitest kering majd az űrben.

Ezek után pedig a 3. táblázatban tekintsük át hol is tart most a Kompassz műholdas alakzatának (31 db műhold) a kiépítettsége.

Ami a Beidou-2 holdakat illeti, azok robusztusabbak, mint elődeik voltak. Tervezett élettartamuk kb. 8 év.

A Kompassz I. fázisát (a kínai regionális rendszert), amely 14 műholdra lett tervezve, a fejlesztők 2012-re fejezték be, és azzal az ázsiai és csendes-óceáni régió lehetséges felhasználóit kívánják jelenleg is kiszolgálni. Ezt követően, a tervek szerint 2020-ra, alakítanak majd ki a már említett globális CNSS /Chinese Navigation Satellite System/ rendszert. Ez jelenti majd a teljes működésű kapacitást. A rendszer költsége kb. 62 milliárd amerikai dollárra becsülhető. Már 2012-ben is több száz kínai vállalkozás foglalkozott műholdvevők gyártásával, és specializálódik GNSS szolgáltatásokra. 2012-ben a globális műhold-alapú navigációs szolgáltatáshoz Kína hozzájárulása még kb. 25%-ra volt tehető.

3. táblázat: A Beidou-2,3 rendszer műholdjai (15 műkődő /6 GEO, 6 IGSO, 3 MEO/, 8 kivonva, 2018. 08.)

2. fázis /23 db/ (Kína és a környező régiók)				
1.	B2-M1	2007. 04. 13.	MEO	tesztelésre kivonva
2.	B2-G2	2009. 04. 14.	GEO	sodródó kivonva
3.*	B2-G1	2010. 01. 16.	GEO	használható
4.	B2-G3	2010. 06. 01.	GEO	használható
5.	B2-IG1	2010. 07. 31.	IGSO	használható
6.	B2-G4	2010. 10. 31.	GEO	használható
7.	B2-IG2	2010. 12. 17.	IGSO	használható
8.	B2-IG3	2011. 04. 09.	IGSO	használható
9.	B2-IG4	2011. 07. 26.	IGSO	használható
10.	B2-IG5	2011. 12. 01.	IGSO	használható
11.	B2-G5	2012. 02. 24.	GEO	használható
12.	B2-M3	2012. 04. 29.	MEO	használható
13.	B2-M4	2012. 04. 29.	MEO	használható
14.	B2-M5	2012. 09. 18.	MEO	kivonva 2014. 10. 21
15.	B2-M6	2012. 09. 18.	MEO	használható
16.	B2-G6	2012. 10. 25.	GEO	használható
22.	B2-IG6	2016. 03. 29	IGSO	használható
23.	B2-G7	2016. 06. 12.	GEO	használható
32.	B2-IG7	2018. 07. 09	IGSO	beüzemelés
3. fázis (globális lefedettség, teszt (5) + beüzemelés (12), 17 db, 15 MEO, 2 IGSO)				
5 db kísérleti/teszt műholdak				
17.	B3 I1-S	2015. 03. 30.	IGSO	teszt
18.	B3 M1-S	2015. 07. 25.	MEO	teszt
19.	B3 M2-S	2015. 07. 25.	MEO	teszt
20.	B3 I2-S	2015. 09. 29.	IGSO (H mézer)	teszt
21.	B3 M3-S	2016. 02. 01.	MEO	teszt
Végleges globális konstelláció				
24.	B3-M1	2017. 11. 05.	MEO	beüzemelés
25.	B3-M2	2017. 11. 05.	MEO	beüzemelés
26.	B3-M7	2018. 01. 12.	MEO	beüzemelés
27.	B3-M8	2018. 01. 12.	MEO	beüzemelés
28.	B3-M3	2018. 02. 12.	MEO	beüzemelés
29.	B3-M4	2018. 02. 12.	MEO	beüzemelés
30.	B3-M9	2018. 03. 29.	MEO	beüzemelés
31.	B3-M10	2018. 03. 29.	MEO	beüzemelés
33.	B3-M5	2018. 07. 29.	MEO	beüzemelés
34.	B3-M6	2018. 07. 29.	MEO	beüzemelés
35.	B3-M11	2018. 08. 25.	MEO	beüzemelés
37.	B3-M12	2018. 08. 25.	MEO	beüzemelés

2012 őszére a B-2 tesztek is lezárultak. Az így létrejött regionális fejlesztési fázis rendszerének pontossága 5-10 m-re javult. A B1 + GPS L1 jelekkel akár már 5 m-es pontosság is elérhető volt (2013-ig kb. 12000 vevő), sőt a B1/B2 és GPS L1/L2 jelek kombinált alkalmazásával mintegy 2 m-es abszolút pozícionálási pontosság is biztosítható volt.

A CNSS rendszer (5 GEO, 3 IGSO és 27 MEO hold) teljesen hasonló lesz majd a tanulmányban már említett többi alrendszerhez abban az értelemben, hogy az egyutas távmérést használja majd a passzív

földi vevő helyének meghatározásához. Az autonóm mérés várható pontossága kb. 10 m, az időmérés megbízhatósága szinkronizált órákkal szekundum lesz. Földi kiegészítő rendszer méréseire támaszkodva, valós idejű korrekciókkal a helymeghatározás megbízhatósága akár 1 m-re is javulhat. A második szintet (licenzes) a katonai és hatósági igények kielégítése jelenti majd, amelyeknél az előző adatokhoz képest az üzemeltetők jóval nagyobb pontosságot, kommunikációs lehetőséget és rendszer-státusz információkat is ígérnek. A titkosított katonai szolgáltatás helymeghatározási pontosságát 10 cm-ben adják meg, amelyet eddig csak a kínai és a pakisztáni hadseregnek kínáltak fel.

2015 óta 3 B2, 5 B3 kísérleti és 12 B3 végleges holdat lóttak fel. A teljes országot lefedő földi referenciaállomás hálózat gyorsan kiépült. A központi feldolgozó állomás felel a precíz pálya- és óraadatokért. Saját kínai geodéziai referenciarendszert és rendszeridőt használnak. Az új műholdaknak is és a földi kiegészítő szolgáltatásnak is köszönhetően főleg Kína sűrűn lakott keleti részein jelentősen nőtt a helymeghatározás pontossága, a főváros környezetében cm-es értékek is elérhetők voltak. A műholdas navigáció számára alkalmatlan olyan térségekben, amelyek mélyek, fedettek, beltéri vagy víz alattiak a fejlesztők technológiai kutatásokat indítottak.

A Beidou rendszer 2015-re vonatkozó felhasználásához kapcsolódóan a szakirodalomban közölt PP prezentáció alapján megemlítek néhány érdekes számot: BDS/GNSS navigációs chip/modul: több mint 24 millió; geodéziai pontosságú vevőegység: 120 000; navigációs antenna 4 millió; geodéziai pontosságú antenna: több mint 500 000; mobil kommunikációban használt műholdas navigációs egység: kb. 18 millió.

Köszönetnyilvánítás

„A tanulmány/kutatómunka az ME-FIKP természeti erőforrások optimalizálása korszerű anyagtechnológiákra alapozva: energetikával, vízzel, anyagfejlesztéssel és smart technológiákkal kapcsolatos kutatások részeként valósult meg.”

IRODALOM

- Frey Sándor*: Rövidcikk az Ūrvilág asztrológiai hírportálon, például
- Bővülő Beidou (2012.);
 - Kínai műholdak, navigáció és térképészet (2011)
 - Rohamosan terjed a Beidou (2016);
 - Két kínai navigációs műhold indult (2018);
 - Két Galileo műhold leszállítva (2018);
 - Új navigációs műholdpár Kínából (2018).
- Havasi István – Mezei Luca*: A Kompas (Beidou-2) kínai globális navigációs műholdas alaprendszer – kialakulás, helyzetkép és jövő, BKL/Bányászat, 2012/1 (12-17 o.).
- Havasi István*: GLONASS és Galileo, helyzetkép és jövő XLIII. Bányamérő Továbbképző és Tapasztalatcsere, Kiadvány, Dobogókő, (2004)
- Havasi István, Mészáros Melánia Fruzsina*: Bővülő GNSS, új jövőbeli alaprendszerek – helyzetkép a GALILEO-ról és a KOMPASZ-ról
- Ma Jiaqing*: The progress of Beidou navigation satellite system 59th. session of COPOUS, PP prezentáció, (2016. június 9.)
- <http://www.beidou.gov.cn>; <http://www.sinodefence.com>
- <http://www.globalsecurity.org>; <http://www.nasaspacefight.com>
- <http://www.wikipedia.org>; <http://www.gpsworld.com>
- <http://www.insidegnss.com>; http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/gal_en.html

DR. HAVASI ISTVÁN okl. bányamérnök, PhD 1985-ben szerzett bányamérnöki oklevelet a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen. 1985-1986 között a Miskolci Közlekedéscsopó Vállalatnál munkahelyi mérnöki feladatokat látott el. 1986-tól különböző egyetemi munkakörökben a Miskolci Egyetem Geodéziai és Bányaméréstani Tanszékén dolgozik, mint egyetemi docens, 2000-tól a tanszék vezetője. Több külföldi és hazai szakmai szervezet munkájában vesz részt. Elsősorban a mérnökgeodézia, a bányamérés és a műholdas helymeghatározás területén folytat rendszeres publikációs tevékenységet magyar és angol nyelven.

1990 óta a legsúlyosabb sújtólégrobbanás a Cseh Köztársaságban

Az állami Osztrawa-Karvinai bányák (OKD) lengyel határ közelében lévő CSM feketeköszén bányauzemében 2018. december 20-án (csütörtökön) délután sújtólégrobbanás történt. A szerencsétlenségnek 12 lengyel és egy cseh bányász esett áldozatul.

Az OKD szerint azonnal kiürítették a bányát és mentőcsapatot küldtek a 800 m mélyen fekvő területre. A mentők azonban 8 áldozatot meg sem tudtak közelíteni a tomboló tűz és a sűrű füst miatt. Az érintett területet elgátolták, elzárták a levegőtől és előre meg nem határozható időben tudják majd újra nyitni. A bánya vezetője szerint a telepített metánérzékelő hálózat semmit sem jelzett a robbanás előtt.

Andrzej Duda lengyel államfő a következő vasárnapot nemzeti gyásznaprá nyilvánította.

A helyszínt egymástól függetlenül meglátogatta *Mateusz Morawiecki* lengyel és *Andrej Babis* cseh miniszterelnök is, akik a bányavállalattal együtt az áldozatok családjainak és a túlélőknek is segítséget ígértek.

Reuters

PT