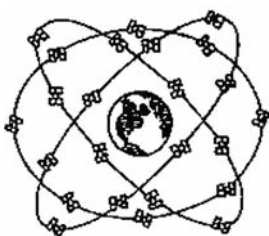


GLONASS – helyzetkép a műholdas helymeghatározás egyik már teljes kiépítésben működő alaprendszeréről

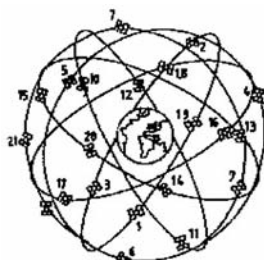
DR. HAVASI ISTVÁN int. tszv. egyetemi docens, Miskolci Egyetem Geodéziai és Bányamérési Tanszék



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 térinformatikai geometriai adatnyerés számára is. Napjainkban a már megvalósult/megvalósuló szatellit rendszerek közül a kettő legismertebb a NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System, a továbbiakban legtöbbször csak GPS) és a GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System). 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 műholdas konfigurációját az 1. ábra szemlélteti.



GLONASS
műhold-konfiguráció



NAVSTAR GPS
műhold-konfiguráció

1. ábra. A GLONASS és GPS rendszerek műholdas alakzatai

Az amerikai NAVSTAR GPS-ről általánosságban elmondható, hogy ez a rendszer a legismertebb a világon, és a jelenlegi kutatási, polgári és katonai alkalmazásokat tekintve, minden bizonnyal a legmeghatározóbb is. A GPS fejlődése töretlen (a rendszer folyamatos modernizációja most is zajlik), jövője pedig biztosnak látszik.

A GLONASS, a jelen tanulmányomban vizsgált 1991-től már orosz navigációs műholdas alaprendszer, a GPS-szel ellentétben, mint önálló rendszer elsősorban Oroszországban terjedt el, ugyanakkor annak GPS-szel való együttes alkalmazása világszerte jellemző. A műholdas navigációs rendszer fejlődéstörténetében számos nehézség volt, ezért annak élettörténetében a pozitív és negatív trendek egyaránt fellelhetők. Napjainkban a GLONASS is dinamikusan fejlődik, és a modernizációja is folyamatosan zajlik. Korábban a rendszer jövőképe – a GPS-szel összehasonlítva – igencsak bizonytalannak tűnt. A műholdas alakzat ismételt teljes kiépülése óta (2011. december 8.) a GLONASS már több éve megbízhatóan üzemel.

Ami pedig a jövőt illeti, a most említett kettő globális rendszer mellé 2020-tól újabb kettő kiépült alaprendszer (az európai Galileo és a kínai Kompassz) csatlakozása várható.

A műholdas navigáció kezdeti rendszerei a Szovjetunióban [8]

A SZU első katonai navigációs rendszere a Ciklon elnevezést kapta. A kifejlesztett rendszer elsődleges feladata a Szovjet Haditengerészet felszíni hajói és tengeralattjárói tartózkodási helyének meghatározása volt. Az első szovjet navigációs műhold fellövésére 1967-ben került sor. A Ciklon műholdak átlagos élettartama 1 év volt, és azokból 1978-ig 31 db-ot lőttek fel. A Doppler-elven működő rádió-navigációs rendszer műholdjai közel 1000 km-es Föld feletti alacsony pályákra (LEO – szatellitiek) kerültek. Pontosságát 1969-re már elérte a 100 m-t. A szovjet Ciklon, felépítését és működését illetően, az amerikai Transit rendszer „testvérének” volt tekinthető. Az első szovjet műholdas rendszer kiépítését és tesztelését az 1970-es évek elején végezték. A tesztelésre a Fekete-tengeri Flotta egy kiválasztott cirkálóját használták fel. A megfelelő működéshez legalább hat műholdra volt szükség. A 70-es évek közepétől a Ciklon holdak folyamatos lecserélésére megjelentek a Parusz nevű műholdak (2010 májusáig 99 db, fellövő hely: Pleszeck). 1976-ban a Szovjet Hadsereg a navigációs rendszert Ciklon-B jelzéssel rendszeresítette. Még ebben az évben a szovjet kereskedelmi flotta navigációs támogatására az illetékesek kidolgozták a rendszer Cikada névre keresztelt polgári verzióját is. Az elnevezés magyar megfelelője énekes kabóca. Ezt követően a hadihajókra telepített vevők egyidejűleg már mindkét rendszert tudták használni. A négyműholdas Cikada rendszert 1979-ben vezették be. A LEO holdak az Egyenlítő síkjához képest 83°-os pályára kerültek. Az egyes felhasználók minden 1,5-2 órában képesek voltak a műholdak egyike jeleinek észlelésére, és a pozíciójuk rögzítéséhez csupán kb. 4-6 perc időre volt szükségük. A mérési elv a műhold és a vevőegység közötti egyutas távmérés volt. A helymeghatározás pontosságának fokozása pedig a műholdpálya paraméterek feljavított pontosságú meghatározását és

előrejelzését igényelte. Később a rendszer műholdjait felszerelték segélykérő rádiójelek detektálására alkalmas vevőkkel is. Miután az egyes szatellitok vették az előbb említett jeleket, azokat speciális földi állomásokra sugározták vissza, ahol aztán a bajbajutott jármű (hajó, repülő stb.) helyét meghatározták. A most említett alkalmazás képezte az alapját a kialakított szovjet „Cospas” rendszernek, amely együtt az amerikai – francia – kanadai „Sarsat” rendszerrel egy integrált felkutatási és mentési szolgáltatás kiépülését is jelentette, és ezres nagyságrendű életet mentett meg. A Cikada rendszert és annak modernizált változatát (Cikada-M) a felhasználói közösség kb. 2008-ig használta, majd pedig fokozatosan áttért a szélesedő igényeket jobban kiszolgáló, bővebb és pontosabb alkalmazásokat kínáló GLONASS-ra.

A GLONASS műholdas alrendszer bemutatása

Az orosz GLONASS szintén egy *elsőgenerációs műholdas alrendszer*, amelynek élettörténete igen változatos volt. Az amerikai GPS-hez hasonlóan – amint azt már említettem – ez is egy modernizációs folyamaton esik át. A rendszert eredetileg katonai célokra szánták, és talán azt is mondhatjuk, hogy első kiépülésétől fogva másfél évtizedig (az újabb teljes konstelláció megvalósulásáig) „félgözzel” működött. Minthogy a GLONASS a GPS-hez képest kevésbé ismert, ezért vállalkoztam most annak bővebb ismertetésére [1], [2], [3], [5].

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 régebben nagyon kevés információ látott napvilágot, amely minden bizonnyal akkor 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 azt később nemzetközi használatra is felkínálta. Ennek eredményeképpen, a SZU és az USA között egy olyan egyezmény jött létre, amelyben a felek egyrészt kifejezték szándékukat a kettő műholdas rendszer közös használatára a polgári repülőgépek 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*. 2001-ben a rendszer újjáélesztése elsődleges kormány prioritást kapott, és anyagi támogatása jelentősen nőtt.

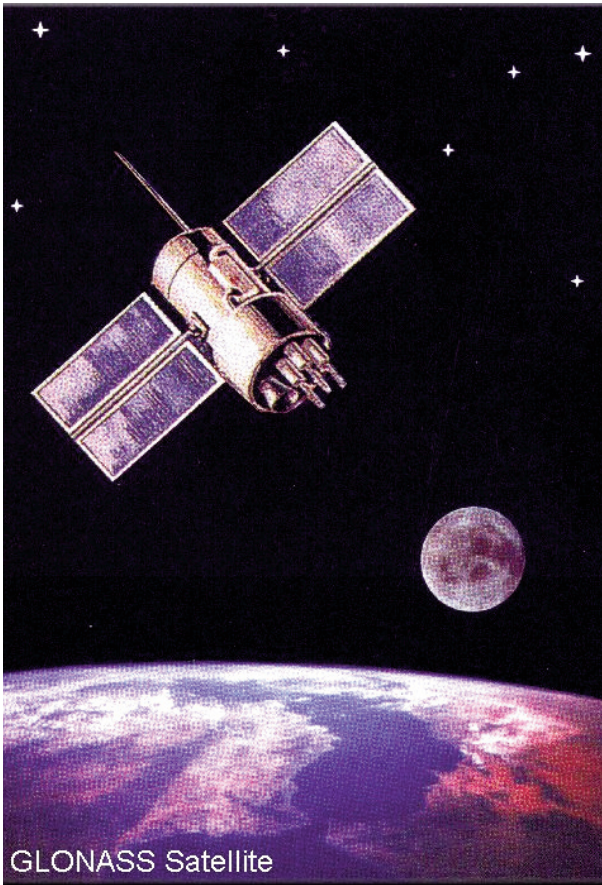
Az első GLONASS műhold indítására az első GPS műhold úrpályára állítását követően mintegy négy évvel később, 1982. október 12-én került sor. A további fellövések eredményeképpen az első szatellitoket újabbak követték. Ennek köszönhetően a tervezett

műhold-konfiguráció első fázisa 1993-ban (két pályasíkon 7-7 aktív műhold), második fázisa – a *teljes 24 műholdas alakzat* – 1995-ben létrejött. 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 azt követő évek GLONASS fejlesztéseiben. Az 1996-os 24 műholdas alakzat műholdjai – a hasonló GPS holdakkal összevetve – viszonylag rövid átlagos élettartammal rendelkeztek, ezért idővel számuk fokozatosan csökkent. Pótlásukra 1998-2002 évek között, összesen 4 fellövésből 12 műholdat állítottak pályára. Az előzőek következményeképpen a 2002. év végén a műholdas alrendszer csak 7 működő és 4 beüzemelés előtt álló műholdból épült fel. 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 majd alkalmazni, ugyanakkor kiemelte annak jelentőségét Oroszország védelme érdekében is. Emellett a GLONASS-t nemzetközi navigációs rendszerként ajánlotta fel, remélve a külföldi pénzügyi támogatók megnyerését is 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 rendszert – a GPS-hez hasonlóan – a tervezők már a rendszerterv készítése kapcsán egyaránt katonai és polgári alkalmazásra is szánták. Az orosz műholdas alrendszer – az amerikai GPS-hez teljesen hasonlóan – a műholdak, a követőállomások és a felhasználók alrendszereiből épül fel. A műholdak alrendszere (űrszergems) műhold-konfigurációja a tervek szerint 24 db egyidejűleg működő műholdból áll. A GLONASS műholdakat három darab egymáshoz képest 110°-os pályasíkon (az *Egyenlítő síkjához képest 64,8°-os hajlású*) egyenletes kiosztásban (45°-os szélességi növekmény figyelembevételével) helyezték pályára. Ez a kialakítás sarkvidéki területeken a GPS-nél jobb lefedettséget jelent. 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 irányára szerint növekvő, 1-3 számosságú pályasíkokon belüli 1-8, 9-16 és 17-24 pályahelyzetük elfoglalásának időpontjai között.

Amint azt már említettem, az első GLONASS műholdat 1982. október 12-én lötték fel, a továbbiakat pedig évente két alkalommal. A műholdak pályára állítását a Bajkonur Űrközpontból (Kazahsztán) PRO-

TON – rakétákkal (SL-12) hajtották végre. 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 2. ábra felső képén 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, 2003-ig 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.



2. ábra. GLONASS űrjárművek
http://gibs.leipzig.ifag.de/pictures/Glo_sat_1.jpg
 (K-műhold (fantáziakép, Roszkoszmosz)

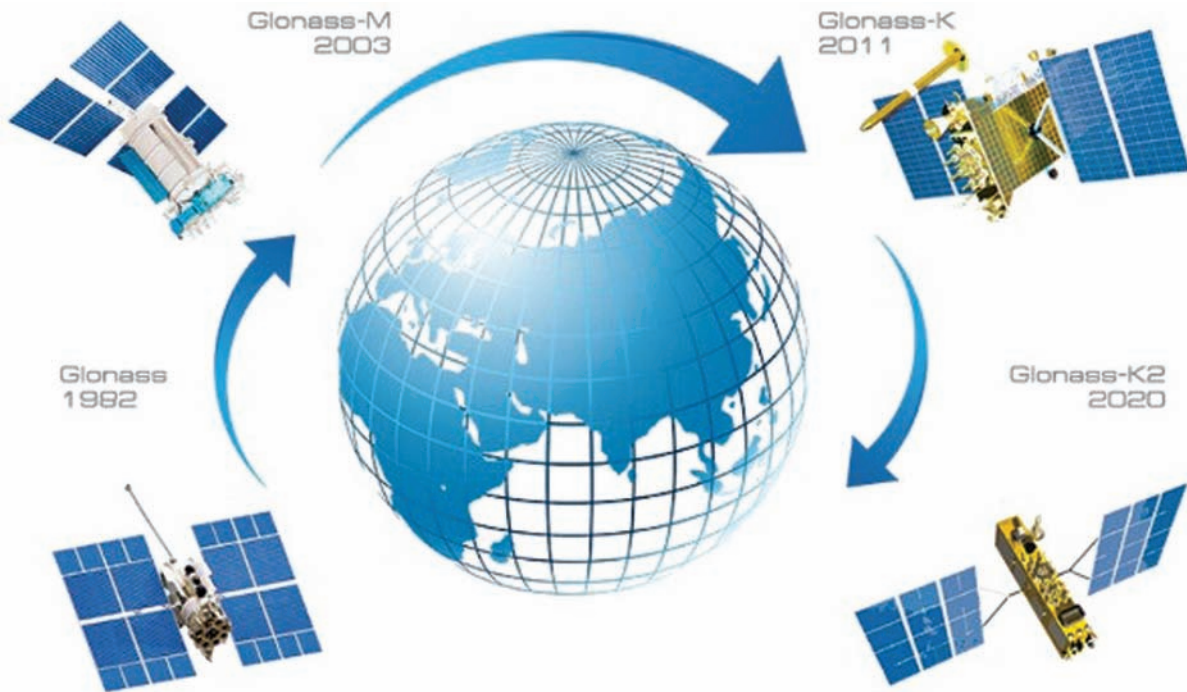
Annak ellenére, hogy az oroszok 1992 végére már 50 db GLONASS műholdat juttattak az űrbe (köztük a már említett két sikertelen fellövés műholdjait is), a rövid élettartamok miatt az üzemelő satelittek száma mégis csak 12 db volt. Összehasonlításképpen megemlíthető, hogy az amerikai Blokk I GPS műholdak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

1996 januárjától – a tervezett fellövések elmaradása miatt – a teljes műhold-konfiguráció holdjainak száma rohamosan csökkenni kezdett. 1998 augusztusában már csak 14 működő, egy karbantartás alatti és egy tartalék műhold képezte a műholdas alrendszer. Az ezt követő négy évben igaz ugyan, hogy volt négy újabb fellövés, 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 működőképességben, ebben az évben 3 hold vált használhatatlanná az I. pályasíkon. A működő műholdak az I. és 3. pályasíkokon (2 és 6 db) helyezkedtek el. A 2. pályasík, az 1993-as állapothoz hasonlóan, teljesen üres volt. 1997-2004 között mindössze 5 fellövés volt, amely 15 műholdat jelentett a rendszer számára. Ennek következtében a műhold-konstelláció 2002 végén 7 működő holdból, 2003 júliusában 8-ból és 2004 májusában 10-ből, 2006 januárjában pedig 13 működő satelitből állt. Az utolsó időpontban az I. pályasík tele volt, a II. teljesen üres volt, a III. pályasíkon pedig 5 műhold volt. Az első második generációs Uragan (Hurrikán) űrjárművet 2011-ben, az első „igazi” GLONASS-M műholdat pedig 2013-ban állították pályára, megnövelve a korábbi átlagos élettartamot 3-ról 7 évre.

Ezt követően az emelkedő tendencia folytatódott, amelyet a Galileo megjelenése és a piacért az alrendszer közötti rivalizálás is elősegített. A 2010. 08. 13-i műholdas alakzat a következő volt: 21 működő műhold + 2 tartalék (7 db /I. pályasík/; 6 db /II. pályasík/ és 8 db + 2 tartalék /III. pályasík/). Az előző bizakodáskeltő adatok már előrevetítették azt, hogy a GLONASS műholdas alakzata hamarosan ismét teljes lehet. Ezt az is igazolta, hogy 2010. szeptember 2-án a korábbi 6 db M típusú műholdat újabb 3 hold követte a világrűrbe. 2011. december 8-án pedig ismét létrejött a globális lefedettséget jelentő 24 holdas teljes alakzat, amelyet azóta lényegében az üzemeltetők többé-kevésbé fenn is tartanak. 2012 júniusában a műholdas konfigurációt 23 működő + 4 tartalék + 3 karbantartás alatti + 1 teszt műhold képezte. 2012 és 2020 között rendszeresen állítottak pályára további M típusú műholdakat, utoljára 2020. március 16-án (a generáció 50. holdját). Ezekből 2014-ben kettőt indítottak. 2013-ban volt egy startbaleset, és így három M-típusú műhold a Csendes-óceánba zuhant. 2015-ben egyetlen GLONASS fellövés sem volt. 2016. február 7-én és május 29-én egy-egy GLONASS-M műhold startolt, és ebből a típusból a rendszer frissítése végett raktáron még 8 db volt. A következő M típusú műholdat 2017.

szeptember 22-én lőtték fel Pleszeckből, egy 2006 decemberében rendszerbe állított kb. 11 éve működő műhold lecserélése végett. Ekkor 23 aktív műhold volt a rendszerben, amely az új érkezővel kiegészülve ismét biztosította a teljes aktív 24 holdas alakzatot. 2018. június 16-án és 2018. november 3-án ismét egy-egy műhold indult a használhatatlanná váló vagy kiöregedő holdak lecserélésére. A következő GLONASS start 2019. május 27-én volt, amelynek különlegessége a rakéta orrába belesapó villám volt, ugyanakkor az űrjárműben nem keletkezett kár. 2019. december 11-én pedig az illetékesek ismét egy M típusú holdat állítottak pályára [4].

2011. 02. 26-án megtörtént az első K típusú hold fellövése (K1 teszt), a második K1-et pedig 2014. 11. 30-án indították az űrbe. A 3. ábra az egyes műhold-típusokat, és azok rendszerbeállítását szemlélteti. A jövőben a kisebb tömegű GLONASS-K holdak (2. ábra alsó képe) Pleszeckből akár párosával (Szojuz-2-1a rakétákkal, Fregat végfokozattal), akár Bajkonurból hatosával (Proton-K rakétákkal, Briz-M végfokozattal) is pályára állíthatók lesznek. Eddig 140 GLONASS műholdat (ebből 87 /-6/ db Blokk I.) juttattak az űrbe. A jelenleg működő konstellációt az 1. táblázat mutatja [4].



3. ábra: A GLONASS holdak fejlődéstörténete (<https://www.nasaspaceflight.com>)

1. táblázat: GLONASS konstelláció /2020. 05./, [6]

Pozíció								
2020.05.10.	1	2	3	4	5	6	7	8
I. pályásik 8 működő	X /2009. 12.14./	X /2013. 14.26./	X /2011. 11.04./	X /2019. 12.11./	X /2018. 06.16./	X /2009. 12.14./	X /2011. 11.04./	X /2011. 11.04./
II. pályásik 8 működő 1 tartalék	X /2014. 12.01./	X /2007. 12.25./	X /2016. 05.29./	X /2019. 05.27./	X /2007. 12.25./	X /2017. 09.22./	X /2018. 11.03./ <u>Tartalék</u> /2006.12.25./	X /2010.09.02. /
III. pályásik 8 működő 1 teszt, 1 tartalék	X /2016. 02.07./	X /2014. 03.24./	X /2007. 10.26./	X /2007. 10.26./ <u>Repülési teszt</u> <u>fázisban</u> /2006.12.25.	X /2014. 06.14./	X /2010. 03.02./ <u>Karbantartás</u> (2020-06-02.)	X /2010. 03.02./	X /2020. 03.16./ <u>Tartalék</u> /2010. 03.02./
Összesen: 24 működő és 2 tartalék és 1 teszt műhold								

A GLONASS, a GPS-hez hasonlóan, egyutas távmérési rendszert használ. Az egyes műholdak polgári és katonai felhasználásra kódokkal modulált kettő vivőhullámot sugároznak. A holdaknál 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 utóbbi a műholdak pályaelemei mellett órakorrekciókat és további fontos kiegészítő információkat tartalmaz. A GLONASS esetében ezért egy *frekvencia felosztású többszörös hozzáférésű rendszerről (FDMA)* szokás beszélni, ellentétben a GPS-szel, ahol a *kód felosztás* a meghatározó jelző (*CDMA*). A GLONASS jelek frekvencia aránya: 9/7 (részletesebb bemutatásukat a 2. táblázatban közlöm). A GPS és a GLONASS közeli frekvencia-tartományai lehetővé tették kombinált antennák és közös 'preamplifier'-ek (előerősítők) egyetlen vevőben történő használatát. Az összes műhold *ugyanazt a kódot* használja. A két kódfrekvencia a megfelelő GPS kódfrekvenciák felével egyezik meg. Érdekes az is, hogy a polgári felhasználás kapcsán pontosságcsökkentést, azaz *korlátozott hozzáférést (SA-t)* 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 értékét a műholdak három db cézium atomórájának egyike szolgáltatja, amely 5 MHz-en üzemel. A GLONASS rendszeridőt az UTC (SU)-hoz, a GPS időt az amerikai UTC-hez viszonyítják. Mindkettő különbözik a nemzetközi UTC-től. Ez az eltérés a GPS-nél 10^{-9} sec, a GLONASS-nál 10^{-6} sec nagyságrendű. A második szériás M sorozat holdjainál pedig már a *második polgári kód* is megtalálható. Később a GLONASS rendszer jel szerkezetének bővülését hozták a 2011-ben és 2014-ben fellőtt *első K1-jelű műholdak*, és hozzák majd az ezeket követő újabb K típusú holdak [5], [7]. Megjelent ugyanis az *L3 jel* (1207,14 MHz, E5b) is, amely a párhuzamosan üzemelő társ-alaprendszerekhez (pl. NAVSTAR GPS, Galileo) hasonló kód felosztást (*CDMA*) alkalmaz. A jövőben pályára állítandó K szatellitelen várhatóan újabb kettő *L1 és L2 CDMA jel* (1176,45 MHz és 1575,42 MHz) bevezetése fog megtörténni. Sőt a *KM jelűeknél a GPS L5-nek megfelelő újabb polgári jel* használata is tervezett. Az új jelek teljesen hasonlóak az amerikai GPS, a Galileo és a Kompas egyes jeleihez. Azt is megjegyzem, hogy tesztelési célra a 2014 után legyártott M-jelű holdakon is megtalálható az új L3 frekvenciaosztásos sáv (1197,648 – 1212,255 MHz).

A *követő állomások alrendszerének* ellenőrző központja Moszkva. A korábbi SZU területén található a globális helymeghatározó rendszer földi megfigyelő és parancstovábbító állomásai (2. táblázat). Mivel azok elhelyezkedése a volt Szovjetunió területére korlátozódik, ezért a követő állomások vonatkozásában

globális lefedettségéről egyáltalán nem beszélhetünk. Ezen állomások korszerűsítése jelenleg is zajlik. Ugyanakkor azt is megjegyzem, hogy vannak állomások Braziliában, Indonéziában is, és a déli féltekén több új állomás létesítését is tervezik. A földi ellenőrző rendszer lézeres távmérő állomásokkal is kiegészül. A követő állomások a mérési előfeldolgozott 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 végén, amikor a teljes műholdas alakzat viszonylag rövid ideig létrejött, és e nevezetes évet közvetlenül megelőző időszakban, a nemzetközi érdeklődés a rendszer iránt fokozódott. 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. prototípusvevő 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 2010-re világszerte biztosan több tízezerre volt tehető, de azok száma még mindig nagyságrendekkel alatta maradt az üzemeltetett GPS vevőknek. A fontosabb GLONASS-t használó GNSS vevőket gyártó cégek között említendő meg például a Javad GNSS, a Topcon, a Magellan Navigation, a Leica és a Trimble. Több mobiltelefon is használja a GPS mellett az orosz helymeghatározó rendszert, mint pl. a Huawei, a Samsung vagy a Sony Ericsson.

Ami a GLONASS abszolút helymeghatározás pontosságát illeti, arról a szakirodalomban a következők olvashatók: 2,8 m (2011-re), amely később az új K műholdak, valamint a létesülő új követőállomások munkába állásával jobb lehet akár 1 m-nél is. Ennek pedig majd igazán a felhasználók széles köre örülhet.

Végül pedig összefoglalásképpen a 2. táblázat A. B. és C. részében hasonlítjuk össze a GLONASS és a NAVSTAR-GPS műholdas alaprendszerek néhány fontos műszaki adatát.

2. táblázat: /A., B. és C. részek/. GLONASS és a NAVSTAR-GPS jellemzői [1], [2], [3], [5].

A. rész

PARAMÉTEREK	GLONASS	NAVSTAR-GPS
	a műholdak alrendszere	
<i>műholdak száma</i>	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.) 10 működő (2004. 05.) 13 működő (2006. 01.) 21 működő (2010. 08.) 23 működő (2012. 06.) 24 működő (2020. 03.)	21+3 jelenleg: több mint 24 28 (2003. 02.) 31 (2004. 05.) 29 (2006. 03.) 31 működő (2010. 08.) 31 műhold (2012. 06.) 30 műhold (2020. 03.)
<i>pályasíkok száma és a műholdak fellövésének kronológiája</i>	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 IIy:</u> 31 db. (1988-95) 1. fázis: 10 (+2) db. (1988-90) kettő geod. ref. mh. (+2) 2. fázis: 24 db. (1995-re) További fellövések: 9 db (1995); 12 db. (1998-2002) 9 db (2003-2005) <u>GLONASS-M műholdak</u> (2009- tervezett élettartam: 5-7 év) új polgári kód /L2c/ <u>GLONASS-K műholdak</u> /2 db/ 2011 és 2014 (Terv: 26 db, L3 és GPS L5 /E5a/ bevezetése	6 <u>Blokk I:</u> 11 db. (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: 7,5 év <u>Blokk IIA:</u> (1990-1997) néhányukon retrorreflektor <u>Blokk IIR:</u> (1997-2004) 10 év tervezett élettartam, feljavított kommunikációs képesség <u>Blokk IIR-M:</u> (2005-től, kieg. jelszerkezet, C/A kóddal az L2-ön is /L2c/, új katonai M kód) nagyobb pontosság magnövelt teljesítmény <u>Blokk IIF:</u> (2010-2019), 33 db., 11 év tervezett élettartam, L5) finomított jelek <u>Blokk IIIA:</u> (2018-től)
<i>pályamagasság</i>	19130 km	20180 km
<i>a pályasík hajlása</i>	64,8°	55°
<i>a pálya periódusideje</i>	11 óra 15 perc	11 óra 58 perc
<i>a rendszer pályaelemei</i>	9 db paraméter (pozíció, sebesség, gyorsulás az ECEF derékszögű rendszerben)	Kepler-féle pályaelemek és interpolációs együtthatók
<i>geodéziai alrendszer (dátum)</i>	Korábban: SGS 85 (Szovjet Geodéziai Rendszer), PZ-90, Jelenleg: PZ-90.11	WGS 84 (Világ Geodéziai Rendszer)
<i>rendszeridő</i>	GLONASS rendszeridő, UTC (SU), cézium atomórák	GPS rendszeridő, UTC (USNO) cézium, rubídium atomórák
<i>a teljes információátvitel hossza</i>	2,5 perc (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.	12,5 perc (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.
<i>műholdjelek (Az új orosz műholdakon már új CDMA jelek is vannak!)</i>	alapfrekvencia: 5 MHz Eredeti: kb.: 1993-ig L1: 1602 + k x 0,5625 /MHz/ L2: 1246 + k x 0,4375 /MHz/ k = 0, 1, 2, ..., 24 /0 ⁻ tesztre/ Módosítás: 1993-1998 k = 0, 1, ..., 12, 22, 23, 24 új műholdakra: k = -7 - -1 1998-2005 - k = -7, ..., 12 2005 után - k = -7, ..., 4 /5,6 műszaki célokra/	alapfrekvencia: 10,23 MHz L1: 1575,42 MHz (λ 19,03 cm) L2: 1227,60 MHz (λ 24,42 cm) ■ két új polgári frekvencia L2: +C/A kód, 12 db műhold L5: 1176,45 MHz (2005-től) 12 új műhold L1 és L2-ön is új M _E katonai kód
<i>kódok</i>	az összes műholdra ugyanaz L1: C/A-kód és P-kód L2: P-kód C/A kód /M jelű műholdak/	az egyes műholdakra eltérő L1: C/A-kód és P-kód L2: P-kód C/A kód /RM jelű műholdak/

B. rész

a követőállomások alrendszere		
<i> folyamatos megfigyelés és ellenőrzés</i>	Moszkva és a korábbi SZU területén elosztó követő és parancstovábbító hálózat: <u>Sjolovo, Komszomolszk-na Amure, Szentpétervár, Usszurijszk, Jenyisejszk, Jakutszk, Ulan-Ude, Nurek, Vorkuta, Murmanszk, Zelencsuk</u> <u>Krasznojnamenszk</u> (adatfeltöltés: 2 nap)	5 követő állomás (Colorado Springs, Kwajalein, Ascension, Diego Garcia, Hawaii) Colorado Springs vezérlő központ is
<i>rendszeridő ellenőrzés</i>	Moszkva	Colorado Springs
Egy átszámítási összefüggés a WGS 84 és a PZ 90 között:		
1. <i>Yuri A. Bazlov és munkatársai /Orosz Védelmi Minisztérium 29.sz. kutatóintézeté/:</i>		
$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{WGS84} = \begin{bmatrix} -1,1 \\ -0,3 \\ -0,9 \end{bmatrix} + (1 - 0,12 \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -0,82 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 0,82 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{PZ-90}$		
/A transzformáció pontossága 3σ valószínűségi szinten jobb, mint 1m. Ez korábban a legjobb rendelkezésre álló transzformáció volt Oroszországra és a környező területekre/		

C. rész

a felhasználók alrendszere		
<i>műholdvevők</i>	<p>- <u>GLONASS</u> vevők a korábbi SZU-ban /Oroszország, Ukrajna, Belorussia 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</u>: GPS/ GLONASS vételi képesség</p> <p>- <u>geodéziai pontosságú vevő</u>: REPER /6 csat., L1, 5 kg/</p> <p>-mindkét rendszer vételére alkalmas <u>prototípusvevők</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>❖ <u>Napjaink legújabb kombinált vevő gyártói</u>: Topcon/Sokkia, Trimble, Leica</p> <p><u>GNSS geodéziai vevők!</u> pl. Topcon GR3, Leica Viva GS10 vagy Trimble R4 GNSS vevők</p>	<p>GPS-vevők (antenna + jel-feldolgozóegység) A vevők széles skálája nemcsak katonai, hanem polgári felhasználásra is.</p> <p><u>Típusok</u>: <u>-navigációs</u> (C/A-kódú vevők <u>-katonai</u> (P-kód) <u>-térinformatikai</u> (GIS))</p> <p>-<u>geodéziai</u> (a vívőhullámok 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> <p><u>RTK vevők /egy-és kétfrekvenciás/</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 2000. május 2-től az S/A hivatalos megszüntetése ■ új civil és katonai kódok megjelenése ■ L2c ■ egy újabb polgári vívőhullám /L5/ bevezetése ■ GNSS vevők elterjedése a gyakorlatban!

Köszönetnyilvánítás

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

Felhasznált irodalom

- [1] *Havasi István*: Globális helymeghatározó rendszerek és alkalmazhatóságuk a bányamérésben
Bányászati és Kohászati Lapok, 1999/3 (pp. 204-210).
- [2] *Havasi István*: GLONASS és Galileo, helyzetkép és jövő XLIII. Bányamérő Továbbképző és Tapasztalatsere, Konferencia kiadvány (pp. 16-28), Dobogókő, 2004. május 26-28.

- [3] *Havasi István –Bartha Gábor*: Térinformatikai alapismeretek Digitális tankönyv, <http://digitalisegyetem.uni-miskolc.hu>, (pp. kb. 260) TÁMOP 4.1.2.-08/1/A-2009-0033 projekt, 2011.
- [4] *Frey Sándor* cikkei /Ürvilág – Úrkutatási Hírtortál/: Orosz navigációs műhold Pleszeckből, GLONASS – új generáció sorozatgyártásban, GLONASS – itt a legújabb generáció, 15 év után megint teljes a GLONASS.
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
- [6] <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS>
- [7] https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction
- [8] [https://hu.wikipedia.org/wiki/Ciklon_\(navig%C3%A1ci%C3%B3s_rendszer\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Ciklon_(navig%C3%A1ci%C3%B3s_rendszer))