



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

**GNSS ALAPOKTÓL A SAJÁT REFERENCIA ÁLLOMÁSIG:  
ALACSONY KÖLTSÉG, NAGY PONTOSSÁG  
KÖZÉPISKOLÁS TDK DOLGOZAT 2023**

Konzulens:

Dr. Rózsa Szabolcs

*egyetemi docens*

*Általános és Felsőgeodéziai Tanszék*

Készítette:

Zsóri Georgina Anna

# Tartalomjegyzék

<b>Bevezetés.....</b>	<b>3</b>
<b>GNSS alapok .....</b>	<b>4</b>
<i>A műholdas helymeghatározás alapelve.....</i>	4
<i>Koordinátarendszerek.....</i>	5
ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed, azaz Föld középpontú, Földhöz rögzített) rendszer.....	6
LLH (Latitude, Longitude, Height, azaz szélesség, hosszúság magasság) rendszer .....	6
Koordináta transzformációk.....	7
LLH – ECEF .....	7
ECEF - LLH.....	8
Táv mérés megvalósítási.....	8
A kód mérés elve .....	8
A fázis mérés elve.....	9
<i>A helymeghatározás lehetőségei.....</i>	10
Abszolút helymeghatározás .....	10
Relatív helymeghatározás .....	11
Statikus és Kinematikus Helymeghatározás .....	11
Valós idejű és utófeldolgozásos helymeghatározás .....	11
<i>Nagy pontosságú Abszolút Helymeghatározás .....</i>	12
Különbségek a kód méréshez képest .....	12
<b>GNSS infrastruktúra.....</b>	<b>13</b>
<i>International GNSS Service hálózata .....</i>	13
<i>EUREF Permanens Állomások Hálózata .....</i>	14
<i>GNSSNet.hu .....</i>	15
<i>CORRIGO.....</i>	15
<i>Közösségi GNSS állomások .....</i>	16
<b>Alacsony költségigényű GNSS állomás kialakítása .....</b>	<b>16</b>
<i>Saját permanens GNSS állomás .....</i>	16
U-blox F9P GNSS vevő.....	17
Raspberry Pi.....	18
<i>A saját GNSS bázisállomás összeállítása és adatgyűjtés .....</i>	19
<i>PPP adatfeldolgozás.....</i>	19
<i>Koordináta transzformáció ITRF2020-ból ETRF89-be .....</i>	20
<i>RTCM korrekciók sugárzása a bázisállomásról.....</i>	21
<i>A bázisállomás tesztelése.....</i>	22
<b>Összegzés .....</b>	<b>23</b>
<b>Irodalomjegyzék .....</b>	<b>24</b>

## Bevezetés

Az elmúlt években a geodézia és helymeghatározási technológiák olyan rohamos fejlődésen mentek keresztül, amelyek alapjaiban változtatták meg a térinformatikai adatgyűjtés módszereit. A Global Navigation Satellite Systems (GNSS), mint például a GPS, GLONASS, Galileo és BeiDou rendszerek, adatainak felhasználása már nem korlátozódik csupán a navigációra; a mezőgazdaságtól kezdve az építőiparig, a katasztrófa-elhárítástól a városi tervezési széles körben alkalmaznak olyan megoldásokat, amelyek ezekre a rendszerekre támaszkodnak.

Az ilyen rendszerek által nyújtott adatok pontosságának növelése érdekében egyre több szervezet és intézmény hoz létre saját GNSS bázisállomásokat, amelyek képesek a műholdas jelek pontosabb feldolgozására és korrekciós adatok biztosítására. Ezen bázisállomások létrehozása és működtetése komplex feladat, amely széles körű tudást igényel a műholdas kommunikáció a számítástechnika és a földmérés területén.

A GNSS bázisállomások különösen fontos szerepet játszanak abban, hogy a különböző szektorokban dolgozó szakemberek pontosabb, megbízhatóbb adatokhoz jussanak. Az ilyen típusú állomások nemcsak a helymeghatározás pontosságát javítják, hanem lehetővé teszik a felhasználók számára, hogy saját adatokat gyűjtsenek és elemezzék azokat, ami növeli a munkájuk hatékonyságát és csökkenti a költségeket.

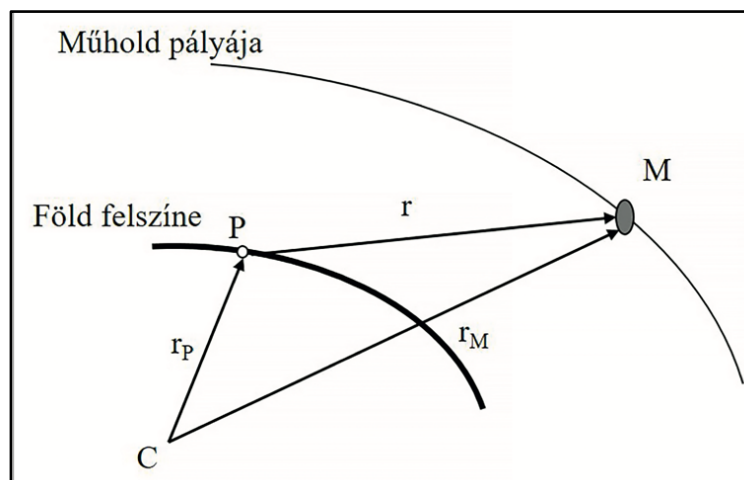
A precíziós mezőgazdaságban például a GNSS bázisállomások kulcsfontosságúak lehetnek a termelékenység növelésében, mivel lehetővé teszik a mezőgazdasági gépek pontos vezérlését így segítve a precíziós vetést, trágyázás és betakarítást. Az építőiparban a GNSS adatok felhasználása javítja az építkezési területek kiépítését, a földmérési munkák fontosságát és segít a projektidők lerövidítésében.

Annak ellenére, hogy a GNSS bázisállomások kiemelkedő előnyöket biztosíthatnak az ilyen technológiák gyakran magas költséggel járnak, ami korlátozza az elérhetőségüket különösen a kisebb szervezetek vagy alacsony költségvetéssel rendelkező felhasználók számára. Ezért a projektünk fő célja egy olyan megfizethető, de ugyanakkor megbízható bázisállomás létrehozása, amely a drága kereskedelmi megoldásokkal szemben alternatívát nyújt. Az elérhetőség növelésével és a költséghatékony megoldások kidolgozásával a cél az, hogy szélesebb körben elérhetővé tegyünk a precíz helymeghatározást ezzel elősegítve a geodéziai és térinformatikai munkák fejlődését a különböző területeken.

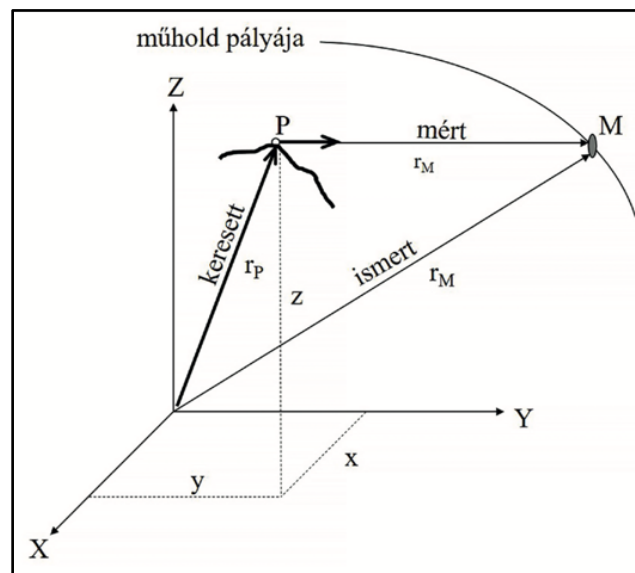
## GNSS alapok

### A műholdas helymeghatározás alapelve

A műholdas helymeghatározó rendszerek a Föld körüli pályákon keringő műholdakból épülnek fel. Célunk, hogy a műholdak segítségével meghatározzuk egy adott, a Föld felszínén található P pont helyzetét, vagyis a  $r_P$  ( $x, y, z$ ) helyzetvektorát. Vegyünk egy példát, ahol egy adott időpontban egy műholdat állónak tekintünk. Ez lehetővé teszi egy vektorháromszög létrehozását. Ebben a háromszögben az egyik csúcspont az M műhold, a másik a földi P pont, míg a harmadik a Föld tömegközéppontja (C). A műhold aktuális pozícióját, az  $r_M$  vektort, ismerjük, mivel a műhold a neki megfelelő pályán mozog egy geocentrikus koordináta rendszerben. Ha meghatározzuk az  $r$  vektort, ami a földi P pontból a műhold felé mutat, akkor az  $r_P$  vektort, ami a P pontra mutat, ki tudjuk számolni, tehát meg tudjuk határozni a P pont helyzetét.



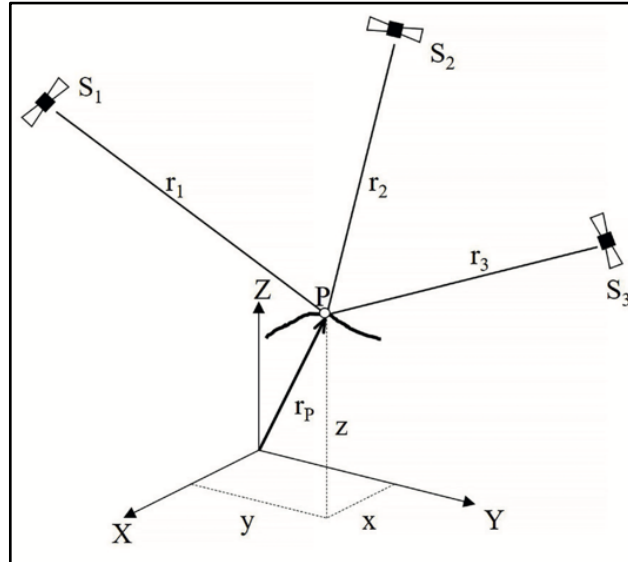
*A műholdas helymeghatározás vektorháromszöge*



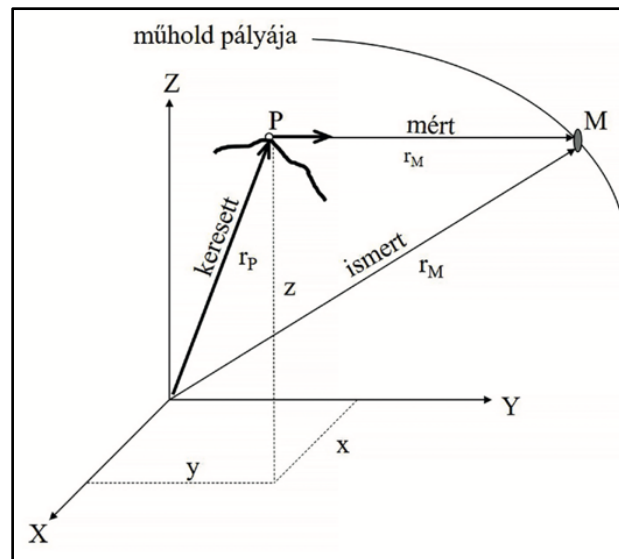
*A műholdas helymeghatározás elve*

Az  $r_P$  vektornak, ami a Földön található pont (P) és a műhold aktuális pozíciója között van, a hossza meghatározható, de az iránya nem. Emiatt a térbeli pozíció meghatározásához geometriai értelemben három, nem egy síkban lévő távolság szükséges. Amennyiben ezek a távolságok műholdakra mutatnak

a kiszemelt pont (P) is a műholdas rendszerben, vagyis a geocentrikus rendszerben lesz azonosítható. Ha a geocentrikus koordinátákat ellipszoidi rendszerre alakítjuk át, akkor megkapjuk az adott pont ellipszoidhoz kapcsolódó szélességi, hosszúsági és magassági ( $\Phi, \Lambda, h$ ) koordinátáit. Fontos megjegyezni, hogy a magasság ( $h$ ) értéke nem azonos a tengerszint feletti magassággal ( $H$ ), mert előbbi az általunk kiválasztott referencia ellipszoidhoz képest határozza meg a magasságot.



*Geocentrikus helymeghatározás műholdakkal*



*Geocentrikus és ellipszoidi koordináták*

Tehát, a pontos helymeghatározás érdekében szükséges, hogy legalább három műholdról végezzünk távolságmérést. Ezt a folyamatot térbeli ívmetszésnek nevezzük. A síkbeli ívmetszés esetén a keresett pont koordinátáit két kör metszéspontjaként kapjuk meg, míg a térbeli ívmetszés során a keresett pont koordinátáit három gömb metszéspontjaként számíthatjuk ki. (1)

## Koordinátarendszerek

A műholdas helymeghatározásban kulcsfontosságú szerepet játszik a különböző koordinátarendszerek ismerete és azok helyes használata. Ilyen koordinátarendszerek például az ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed) és az LLH (Latitude, Longitude, Height). Az ECEF egy kartézi rendszer, amely a Föld középpontjából indul ki, míg az LLH egy geodéziai rendszer, amely a földrajzi szélességet, hosszúságot

és magasságot használja a helymeghatározásra. Ebben a részben szeretném bemutatni, hogy hogyan működnek ezek a koordináta-rendszerek és hogy hogyan lehet közöttük konvertálni.

### **ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed, azaz Föld középpontú, Földhöz rögzített) rendszer**

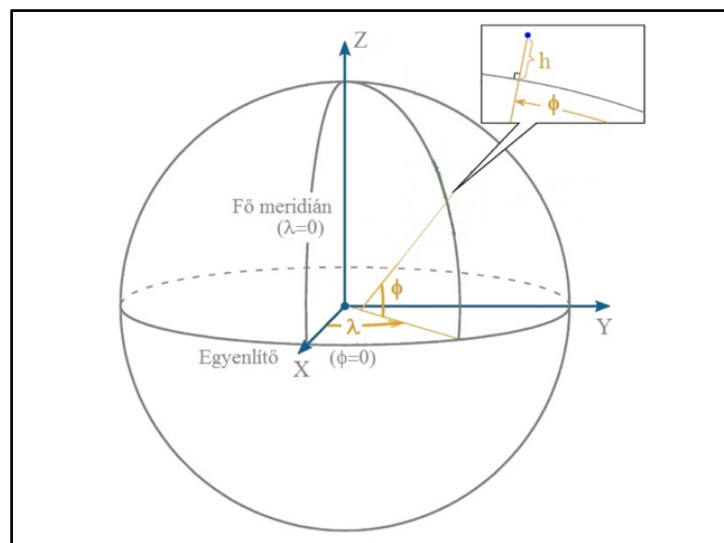
Az ECEF derékszögű koordináták egy módja a pontok háromdimenziós térbeli ábrázolásának a Föld középpontjához viszonyítva. Ebben a koordináta-rendszerben az origó a Föld középpontjában található, és az x, y és z tengelyek az Egyenlítővel, a kezdő meridiánnal és a Föld forgástengelyével vannak összhangban. Lássuk részletesebben:

**X-tengely:** Az egyenlítő és a kezdő meridián metszéspontjának irányába mutat, a pozitív értékek kelet felé növekednek.

**Y-tengely:** Az egyenlítő irányába mutat, 90 fokos keleti hosszúságon, a pozitív értékek észak felé növekednek.

**Z-tengely:** A Föld forgástengelyének irányába mutat, a pozitív értékek az Északi- sark felé növekednek.

Az ECEF derékszögű koordinátákban egy pont helyét az X, Y és Z koordinátái adják meg, amelyeket méterben mérnek. Ezt a koordináta-rendszert gyakran használják a geodéziában, műholdas navigációban és más alkalmazásokban, amelyek pontos helyinformációra szorulnak. Az ECEF koordináták használatának egyik előnye, hogy konzisztens referenciakeretet biztosítanak a Föld felszínén lévő pozíciók méréséhez, függetlenül attól, hogy honnan veszik a mérést. (2)



*ECEF koordináta rendszer és LLA koordináták*

### **LLH (Latitude, Longitude, Height, azaz szélesség, hosszúság magasság) rendszer**

Az LLH (WGS84) ellipszoid koordináták egy másik módja a pontok háromdimenziós térbeli ábrázolásának, de ellentétben az ECEF XYZ derékszögű koordinátákkal, ezek a pont térbeli szélességét, hosszúságát és magasságát fejezik ki a Föld ellipszoid modelljéhez viszonyítva. Lássuk részletesebben az egyes koordináták jellemzőit:

**Szélesség:** Az a szög, ami az egyenlítői sík és a ponton áthaladó, az ellipszoid felületre merőleges vonal között van, fokban mérve, északra vagy délre az egyenlítőtől.

**Hosszúság:** Az a szög, ami a kezdő meridián és a ponton áthaladó vonal között van, fokban mérve, keletre vagy nyugatra a meridiántól.

Magasság: A pont feletti magasság az ellipszoid felülettől, méterben mérve.

Az LLH (WGS84) koordinátákhoz használt ellipszoid modell a World Geodetic System 1984 (WGS84) referencia-ellipszoid alapszik, ami a Föld alakjának matematikai közelítése. Ez a modell a Földet kissé lapított sferoidként ábrázolja, amelynek görbülete változik a szélesség függvényében.

Az LLH (WGS84) koordinátákat gyakran használják navigációs, mérési és térképészeti alkalmazásokban, mivel kényelmes módot biztosítanak egy pont földfelszíni helyének nagy pontosságú megadására. Azonban érdemes megjegyezni, hogy az LLH (WGS84) és az ECEF XYZ koordináták közötti átalakítás bonyolult lehet, és figyelembe kell venni a Föld görbületét és a használt koordináta-transzformáció sajátosságait. (2)

## Koordináta transzformációk

A Föld alakjának, a szélesség és a hosszúság geodéziai rendszerének, valamint a földközpontu, földhöz rögzített koordinátarendszernek (ECEF) összetett geometriájának köszönhetően, nem mindig egyszerű dolgozni ezekkel a rendszerekkel. Mindkét rendszernek megvannak a saját előnyei és hátrányai, és gyakran előfordul, hogy az egyik rendszerben végzett mérések vagy számítások könnyebben értelmezhetők vagy pontosabbak lehetnek a másik rendszerben. Emiatt gyakran szükség van a két rendszer közötti transzformációra.

Ezt a problémát felismerve, Pythonban elkészítettem két programot, melyek ezt a transzformációt végzik. Az egyik program az LLH koordinátákat transzformálja ECEF koordinátákká, míg a másik program a fordított transzformációt végzi, azaz az ECEF koordinátákat alakítja át LLH koordinátákká. Ezek a programok lehetővé teszik a mérések és számítások széles körű alkalmazását és értelmezését mindkét koordinátarendszerben. (2)

## LLH – ECEF

```

1  import numpy as np
2
3  def llh_to_ecef(lat, lon, h):
4      # Fokokból radián készítése
5      lat_rad = np.radians(lat)
6      lon_rad = np.radians(lon)
7
8      # A Föld WGS84 ellipszoid modelljének állandói
9      a = 6378137.0 # A Föld sugara az egyenlítőnél méterben
10     f = 1 / 298.257223563 # Lapítási tényező
11     e_sq = 2 * f - f**2 # Az excentricitás négyzete
12
13     # függőleges görbületi sugár
14     N = a / np.sqrt(1 - e_sq * np.sin(lat_rad)**2)
15
16     # ECEF koordináták
17     x = (N + h) * np.cos(lat_rad) * np.cos(lon_rad)
18     y = (N + h) * np.cos(lat_rad) * np.sin(lon_rad)
19     z = (N * (1 - e_sq) + h) * np.sin(lat_rad)
20
21     return x, y, z
22
23 # Koordináták bekérése
24 lat = float(input("Adja meg a szélességet fokban: "))
25 lon = float(input("Adja meg a hosszúságot fokban: "))
26 h = float(input("Adja meg a tengerszint feletti magasságot méterben: "))
27
28 # Konvertálás és eredmény kiírása
29 x, y, z = llh_to_ecef(lat, lon, h)
30 print(f"ECEF koordináták X:{x}, Y:{y}, Z:{z}")

```

*LLH koordináták transzformálása ECEF koordinátákká Python program segítségével*

## ECEF - LLH

```

1  import numpy as np
2
3  def ecef_to_llh(x, y, z):
4      # A Föld WGS84 ellipszoid modelljének állandói
5      a = 6378137.0 # A Föld sugara az egyenlítőnél méterben
6      f = 1 / 298.257223563 # Lapítási tényező
7      e_sq = 2 * f - f**2 # Az excentricitás négyzete
8
9      # Hosszúság
10     lon = np.arctan2(y, x)
11
12     # A szélesség és magasság iteratív számítása
13     p = np.sqrt(x**2 + y**2)
14     lat = np.arctan2(z, p * (1 - f))
15     h = 0
16     while True:
17         N = a / np.sqrt(1 - e_sq * np.sin(lat)**2)
18         h_new = p / np.cos(lat) - N
19         if np.abs(h_new - h) < 1e-6:
20             break
21         h = h_new
22         lat = np.arctan2(z, p * (1 - e_sq * N / (N + h)))
23
24     # Átváltás fokba
25     lat = np.degrees(lat)
26     lon = np.degrees(lon)
27
28     return lat, lon, h
29
30 # Koordináták bekérése
31 x = float(input("Adja meg az X koordinátát méterben: "))
32 y = float(input("Adja meg az Y koordinátát méterben: "))
33 z = float(input("Adja meg a Z koordinátát méterben: "))
34
35 # Konvertálás és eredmény kiírása
36 lat, lon, h = ecef_to_llh(x, y, z)
37 print(f" Szélesség:{lat}, Hosszúság:{lon}, Magasság:{h}")

```

*ECEF koordináták transzformálása LLH koordinátákká Python program segítségével*

## Táv mérés megvalósítási

A távmérés alapvetően az a folyamat, amikor egy tárgy vagy terület távolságát mérjük egy adott ponttól, anélkül, hogy fizikai érintkezésben lennénk vele. A különböző távmérési technikák évezredek óta kulcsfontosságúak a földmérés, a navigáció és az űrkutatás terén. Ebben a részben két távmérési módot, a kódmerést és a fázismérést, szeretném bemutatni, amelyeket gyakran használnak a műholdas helymeghatározó rendszerekben, mint például a GPS.

### A kód mérés elve

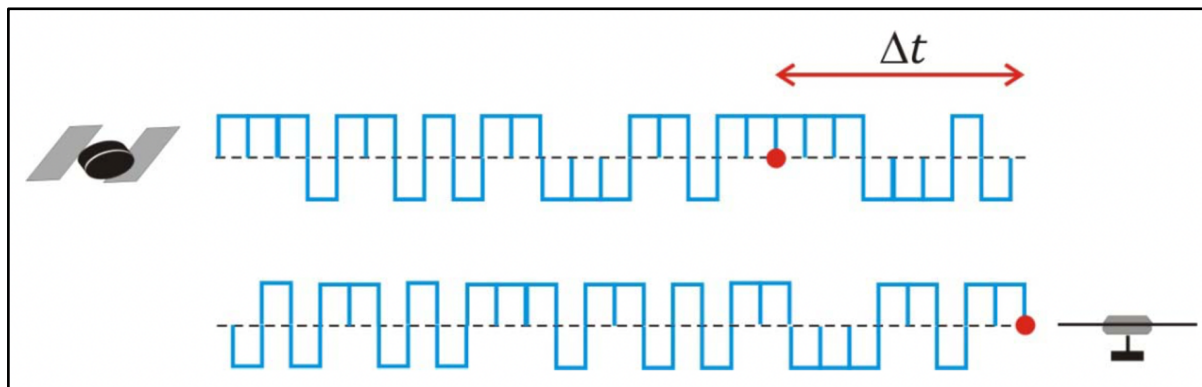
A kód mérés egy olyan távmérési módszer, amelyet a műholdas helymeghatározási rendszerekben használnak, mint például a GPS. A műholdak olyan jelet sugároznak, amelyeket különféle pseudo-random (árvéletlen) kódokkal modulálnak. A modulált jelek képesek hordozni a GPS időt, mintegy időbélyegként, ami kulcsfontosságú a távolság meghatározásában.

A vevőberendezések ismerik a modulációs kódokat, így képesek generálni egy referencia kódsorozatot a belső órájuk alapján. A kód mérés során a vevő előállítja a referencia jelet, melyet az adott műhold PRN kódjával modulál, majd összehasonlítja ezt az észlelt műholdjellel.



Mivel a kódok álvéletlen jellegűek, a két jel keresztkorrelációjából meghatározható a jel futási ideje, amely a műhold és a vevő közötti távolságot adja meg.

Azonban a kapott távolság, amit a pseudo-távolságának hívunk, nem egyezik meg pontosan a műhold és a vevő geometriai távolságával. Ennek oka, hogy a jel kibocsátása és észlelése között a műhold és a vevő is elmozdulhat, továbbá a műhold és a vevőóra hibái, illetve a hardver okozta késleltetések is befolyásolhatják a mérési eredményeket. Ennek megfelelően a kód-méréssel meghatározott futási idő valójában az észlelés időpontja és a kisugárzás időpontjának különbsége, mindkét időpont hibával terhelt. Kód-méréssel tehát ideális körülmények között is csak méteres pontosságú helymeghatározás valósítható meg.



*A kód-mérés elve*

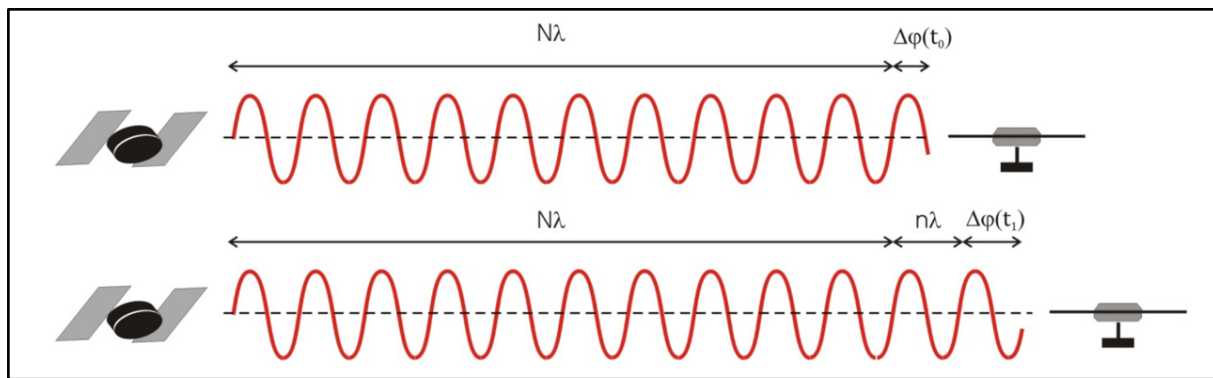
## A fázismérés elve

A fázismérés alapvetően arra alapoz, hogy mérjük a rádiójel fázisának változását az időben, ami lehetővé teszi számunkra a távolság meghatározását nagy pontossággal. Az eljárás során egy műholdról és egy vevőegységről kibocsátott jel fázisát hasonlítjuk össze, figyelembe véve az órahibákat és a rádiójelek frekvenciáját.

A távolság meghatározása során azonban a fázismérés bizonyos korlátokkal rendelkezik. Mivel a fázisa periodikusan változik, a mért fázis értékének megfeleltetése a valós távolsággal nem egyértelmű, mivel nem tudjuk a műhold és a vevő közötti egész hullámhosszak számát. Ez a probléma ismert a ciklustöbblettelműség problémájaként.

Egy gyakorlati megoldás a ciklustöbblettelműség kezelésére, hogy a vevő bekapcsolása után folyamatosan követjük a műholdat és folyamatosan mérjük a fázist. Ezzel meghatározhatjuk a ciklustöbblettelműség értékét a műhold észlelésének kezdőpontjában, majd ezután a mért fázist és a beérkezett teljes hullámhosszak számát felhasználva számíthatjuk a valós távolságot.

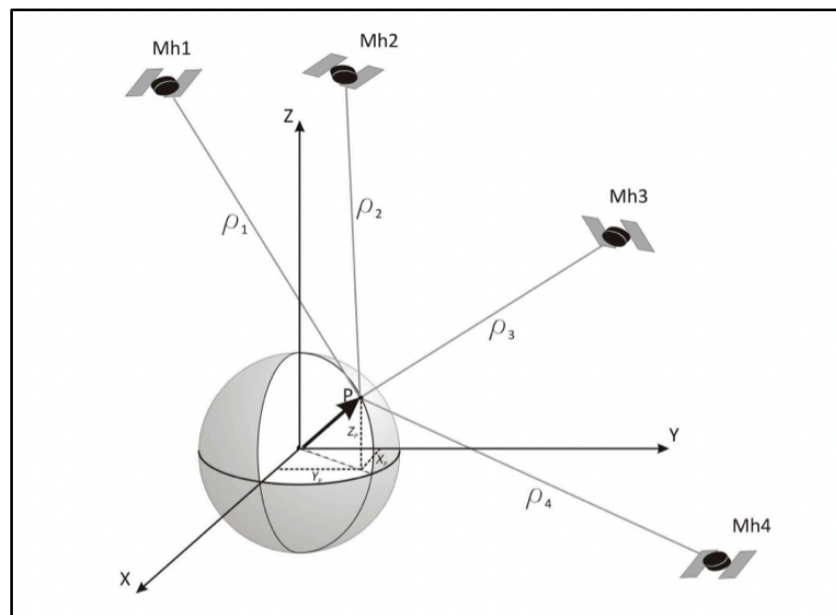
A fázismérés előnye, hogy lehetővé teszi a milliméteres pontosság elérését, mivel a fázis jellegzetesen a vivőjel hullámhosszána századának megfelelő pontossággal mérhető. Ugyanakkor figyelembe kell vennünk hogy a helymeghatározás pontossága továbbra is függ számos tényezőtől, például a műhold és a vevő óráinak hibájától és a környezeti tényezőktől. (4)

Fázismérés végrehajtása  $t_0$  és  $t_1$  időpontban

## A helymeghatározás lehetőségei

### Abszolút helymeghatározás

Abszolút helymeghatározást akkor alkalmazunk amikor a vevő berendezés helyzetét egy olyan vektort használva állapítjuk meg, amely a Föld középpontjából, vagyis a geocentrumból, indul ki és az adott antennáig terjed. Ebben az esetben a pozíció meghatározásának végeredményeként a helyvektor által meghatározott térbeli koordináták  $X$ ,  $Y$  és  $Z$  értéket vesznek fel, amelyek egy háromdimenziós karteziánus koordináta rendszerben helyezkednek el. Ezenkívül ezek a pozíciók konvertálhatóak a gyakran használt ellipszoidi földrajzi koordináta rendszerbe is ahol a  $\varphi$  jelöli az ellipszoid szélességét,  $\lambda$  az ellipszoid hosszúságát és  $h$  az ellipszoid felületétől számított magasságot.

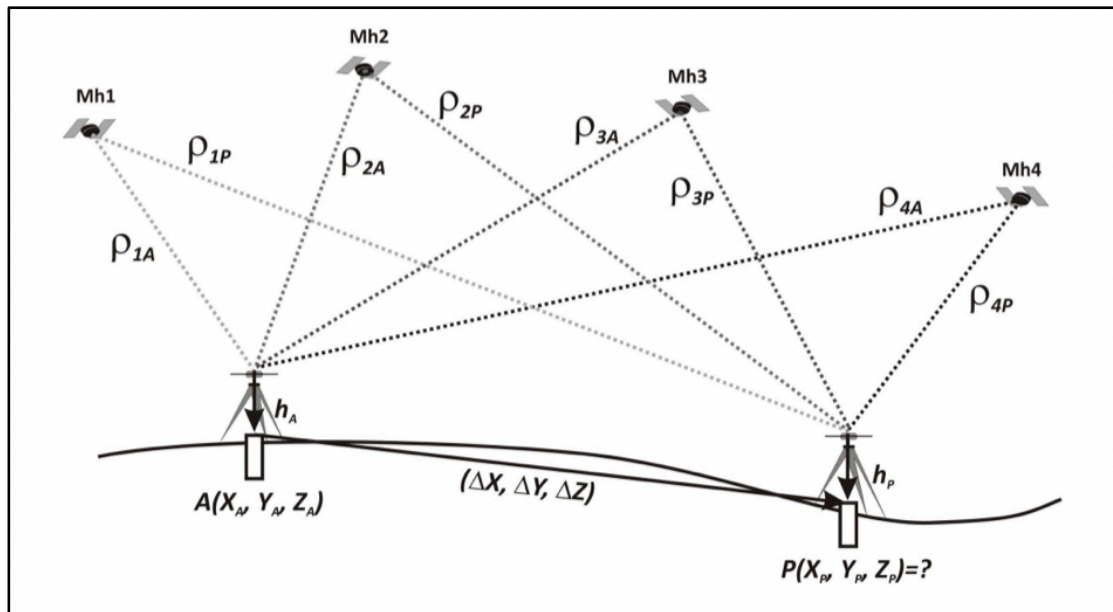


Abszolút helymeghatározás

A navigációs célú alkalmazások esetében gyakran alkalmazzák ezt az abszolút helymeghatározási módszert. Ebben az esetben a kívánt pontosság méteres nagyságrendű, ami lehetőséget ad arra hogy a rendszeres eltéréseket különféle modellezési technikák segítségével korrigáljuk. Ennek megfelelően a fedélzeti pályaelemek, navigációs üzenetek, ionoszféra és troposzféra modellek segítségével elvezethető a navigációs célú helymeghatározás.

## Relatív helymeghatározás

A geodéziai pontosság eléréséhez a szabályos hibákat, mint pl. az ionoszféra hatása vagy a műhold órahiba, megfelelő mérési eljárással kell kiküszöbölnünk vagy csökkentenünk. Relatív helymeghatározásról beszélünk abban az esetben, ha egy vevő helyett kettőt használunk, és az egyik vevőt egy ismert koordinátájú ponton (referenciaponton), míg a másikat ezzel egyidejűleg a meghatározandó ponton helyezük el. Ilyenkor nem a Föld középpontjából induló hely vektort vesszük alapul, hanem a referenciapont és az új helyszín közötti helyzetbeli eltérést jellemző vektort. Így a relatív helymeghatározás során a kérdéses két hely koordinátáinak differenciát számítjuk ki ami háromdimenziós koordinátákban fejezhető ki.



Relatív helymeghatározás

A relatív helymeghatározás előnye abban rejlik, hogy a rendszerhez köthető hibák mindkét vevőnél azonos módon jelentkeznek így a műholdak időbeli eltérései és az ionoszférából származó zavarok egy bizonyos, akár 10 kilométeres, távolságon belül kiküszöbölhetők. Emellett a műholdak pályájával kapcsolatos pontatlanságok is csökkenthetőek.

## Statikus és Kinematikus Helymeghatározás

Minden helymeghatározási módszer lehet statikus vagy kinematikus jellegű. Statikus hely meghatározásáról akkor beszélünk amikor a helymeghatározást végző eszköz rögzített pozícióban van, míg a kinematikus módszer esetében az eszköz mozgás közben végzi a méréseket így a mozgás és pálya több pontját rögzíti. A statikus mérési módszer a redundáns méréseknek köszönhetően általában nagyobb pontosságot eredményez, mint a kinematikus.

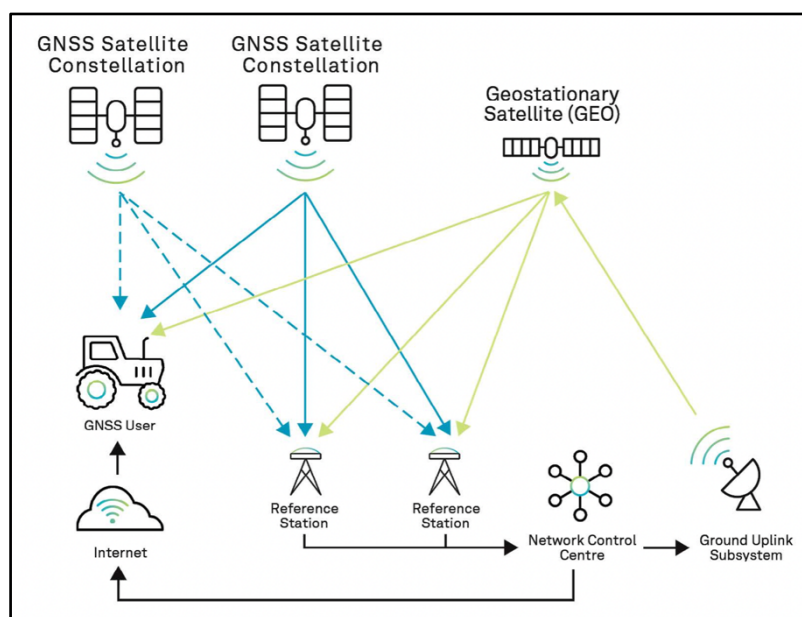
## Valós idejű és utófeldolgozásos helymeghatározás

A helymeghatározási módszereket az adatfeldolgozás típusa és ahhoz szükséges idő alapján is csoportosíthatjuk. Valós idejű eljárásról akkor beszélhetünk amikor a vevő eszköz helyzetének meghatározása majdnem azonnal, a mérés idején, történik míg az utófeldolgozásos technikák esetében a mérések után irodai környezetben végzett adatfeldolgozás során kerül sor a koordináták meghatározására. A geodéziai pontosságot biztosító valós idejű eljárások előnye, hogy csak ezek használhatók pontok kitzésére is.

## Nagypontosságú Abszolút Helymeghatározás

A Nagypontosságú Abszolút Helymeghatározás, angolul Precise Point Positioning (PPP) egy olyan helymeghatározási technika, amely kiküszöböli vagy modellezi a GNSS hibáit annak érdekében, hogy egyetlen vevő felhasználásával nagyfokú pozíciópontosságot biztosítson. A PPP megoldás olyan korrekciók összefüggésétől függ, amelyeket egy globális referenciaállomások hálózatából származó információk alapján generálnak. Miután ezeket a korrekciókat kiszámolták, azokat műholdon keresztül vagy az internet segítségével továbbítják a végfelhasználóknak. Ezeket a korrekciókat a vevő használja a pozíciójának pontosságának javítására.

Egy tipikus PPP megoldás inicializálásához általában hosszabb idő szükséges mint az RTK esetében. Az elérhető tényleges pontosság és konvergencia ideje függ a korrekciók minőségétől és attól hogyan alkalmazzák őket a vevőben. Az előrehaladott korrekciók és vevőtechnológia alkalmazásával akár 2,5 cm-es pontosság is elérhető egy perc alatt. (10)



*A PPP rendszer áttekintése*

### Különbségek a kódéréshez képest

A PPP és a kódérés között számos különbség van, amelyek befolyásolják a pozicionálási pontosságot és a módszerek alkalmazási területeit. A következőkben öt szempont szerint szeretném összehasonlítani ez a két helymeghatározási technikát.

#### Mérési alap

A PPP fázismérés alapján működik, ami nagyobb pontosságot tesz lehetővé a helymeghatározás során míg a kódérés a műholdak által kibocsátott kódjelek alapján történik, ami kevésbé pontos.

#### Pontosság

A PPP magas pontosságot kínál, akár centiméteres szinten is, különösen akkor, ha jó minőségű és a légköri hatásokra kiterjedő korrekciók állnak rendelkezésre. A kódérés azonban kevésbé pontos. Általában néhány méteres pontosságot tesz csak lehetővé.

## **Inicializálás**

A PPP rendszernek időre van szüksége a konvergáláshoz, mivel az alkalmazott szabályos hiba modellek nem tökéletesek. Míg az RTK esetében a szabályos hibák hatását a különbségképzéssel kiejtjük, addig a PPP esetében az ún. állapotér modellek írják le a hibák hatását. Ezek pontatlansága szükségképpen hosszabb inicializálási időt eredményez. Ezzel szemben a kódérés gyorsabb eredményeket szolgáltat a mérési technológia, kisebb pontossági igények és az ennek megfelelő egyszerűbb hibamodellek miatt.

## **Referencia állomások**

A PPP esetében a referenciaállomások globális hálózata biztosítja a korrekciókat, amelyek szükségesek a pontos helymeghatározáshoz. A kódéréshez azonban semmilyen referenciaállomásra nincsen szükség, a műholdak által sugárzott fedélzeti pályaadatok alapján néhány méter pontossággal egyértelműen meghatározható a pozíció, amennyiben legalább 4 műholdat észlelünk egy időben.

## **Alkalmazási területek**

A PPP-t általában olyan területeken használják, ahol szükséges a nagy pontosság és a globális helymeghatározás, például repülési navigációhoz vagy geodéziai mérések és önvezető járművek esetében. Ezzel ellentétben a kódérést olyan területeken alkalmazzák, ahol a kisebb pontosság is elegendő, mint például a térképészetben vagy a navigációban.

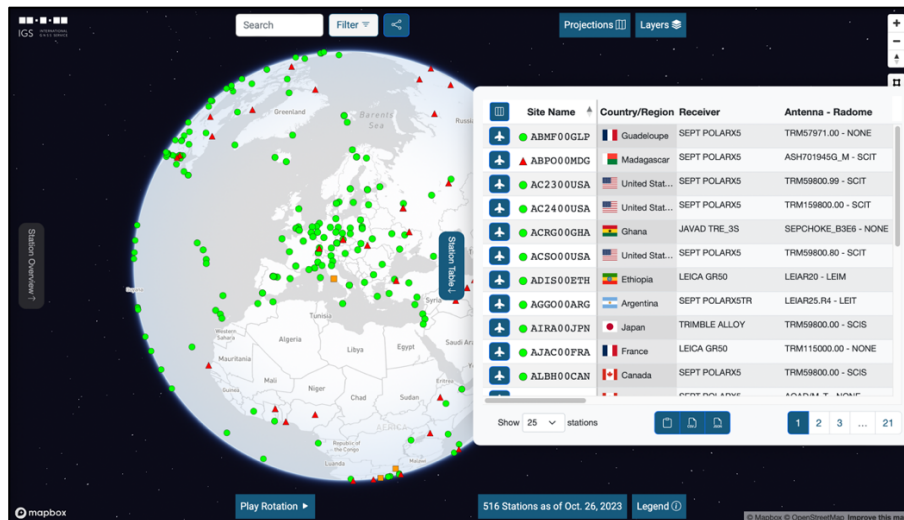
Összességében a PPP magasabb pontosságot és nagyobb rugalmasságot kínál a helymeghatározásán terén, míg a kódérés egyszerűbb és gyorsabb megoldást eredményez, de kisebb pontosságot biztosít

## **GNSS infrastruktúra**

A GNSS infrastruktúra lehetővé teszi a pontos helymeghatározást, navigációt és időreferencia-szolgáltatásokat, melyek elengedhetetlenek a modern társadalom számos szegmensében, beleértve a közlekedést, a mezőgazdaságot, a katasztrófa-menedzsmentet, a védelmet és a tudományt. Ezen felül a GNSS hálózatok infrastruktúrájának fejlesztése szintén kritikus szerepet játszik az ipari alkalmazásokban, a kutatásban és a geodéziában. A következőkben öt hálózatot szeretnék bemutatni melyek kulcsfontosságúak a GNSS technológiák fejlesztésében és implementációjában, és mindannyian hozzájárulnak a széles körű emberi tevékenységek támogatásához és javításához.

## **International GNSS Service hálózata**

Az International GNSS Service, röviden IGS, a geodéziai megfigyelések globális szabványának megteremtője és karbantartója. Az IGS több mint 500 geodéziai minőségű GNSS állomást üzemeltet világszerte, amellyel folyamatosan továbbítja adatait több mint 20 regionális és hat globális adatközpontba. A hálózat kritikus komponense a Global Geodetic Observing Systemnek (GGOS), ami összekapcsolja a GNSS-t más precíz geodéziai megfigyelési technikákkal: a műholdas és holdi lézeres távméréssel, a nagyon hosszú bázisvonalú interferometriával, valamint a Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite (DORIS) rendszerrel. Ezek az összeköttetések biztosítják a globális referencia keretrendszer, az ITRF hozzáférhetőségét és előállítását. Az IGS hálózatának állomásai a legkorszerűbb vevőkkel, antennákkal és geodéziai jelölésekkel rendelkeznek, hogy a lehető legnagyobb pontosságú adatokat szolgáltatassák. Mindezeket a Jet Propulsion Laboratory által fenntartott Központi Iroda koordinálja, amely biztosítja a hálózat termékeihez és információihoz való hozzáférést. (5)



1. ábra: Az IGS platform

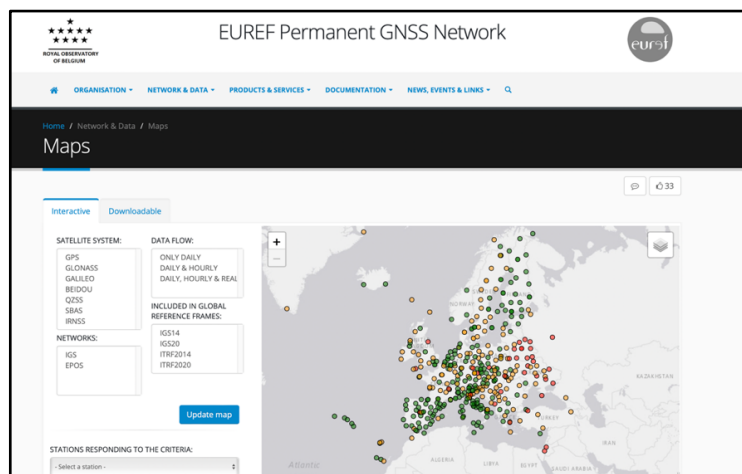
## EUREF Permanens Állomások Hálózata

Az EUREF Permanens Állomások Hálózata (EPN) egy olyan infrastruktúra, ami folyamatosan működő globális navigációs műholdrendszereket (pl. GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou stb.) használó referencia állomásokból, adatközpontokból, elemzési központokból és termék központokból áll. Továbbá egy Központi Iroda felügyeli a hálózat napi működését és menedzselését. A hálózatot az IAG (International Association of Geodesy – Nemzetközi Geodéziai Szövetség) Regionális Referencia Rendszer albizottságának, az EUREF-nek az égisze alatt működtetik.

Az EPN-hez nyújtott összes hozzájárulás önkéntes alapon történik, több mint 100 európai ügynökség és egyetem részvételével. Az EPN a hozzájárulók által elfogadott nemzetközi normák és irányelvek szerint működik, garantálva az EPN termékeinek hosszú távú minőségét.

Az EPN fő célja az Európai Földi Vonatkoztatási Rendszer (ETRS89) elérhetővé tétele, amely Európaszerte a standard precíz GNSS koordináta rendszer. Az ETRS89-et a EuroGeographics támogatja és az INSPIRE jóváhagyta, mint geolokációs adatok gerincét Európa területén, mind nemzeti, mint nemzetközi szinten.

Az EPN nyilvánosan elérhetővé teszi az ETRS89-et a GNSS nyomkövetési adatok, valamint az összes EPN állomás pontos pozícióinak, sebességeinek és troposzférikus paramétereinek közzététele révén. Ezek alapján az EPN hozzájárul az európai tektonikus deformációk monitorozásához és támogatja a hosszú távú klímamonitorozást, a numerikus időjárás-előrejelzést és tengerszint-változások monitorozását.

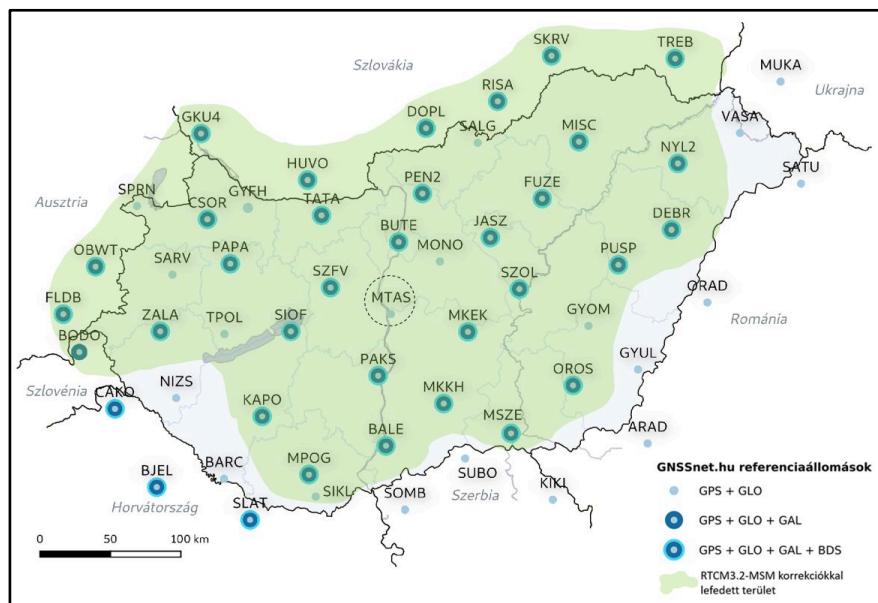


EUREF Permanens Állomások Hálózata

## GNSSNet.hu

A GNSSNet.hu a központi földmérési és térinformatikai államigazgatási szervezet által fenntartott magyar aktív GNSS-hálózat és az arra épülő szolgáltatások rendszere. A platform célja, hogy a GNSS technológiával kapcsolatos tudást és erőforrásokat széles körű közönség számára elérhetővé tegye. A webhely cikkeket és tartalmakat kínál a GNSS rendszerek működéséről, alkalmazásairól és fejlesztéseiről, valamint segítséget nyújt azoknak, akik navigációs vagy térképészeti projektekkel foglalkoznak.

A GNSSNet.hu változatos felhasználói kör számára hasznos, beleértve a hétköznapi embereket, akik a GPS-t a mindennapi életükben alkalmazzák navigációhoz és a szakembereket, például térképészeket, mezőgazdasági szakembereket, repülőgép- és hajóvezetőket, akik a GNSS technológiát munkájuk során használják. Az oldal újabb fejlesztéseket, útmutatókat és híreket is kínál, amelyek segíthetnek a felhasználóknak a hatékonyabb és pontosabb navigációban, valamint a térképészeti projektek területén. (7)

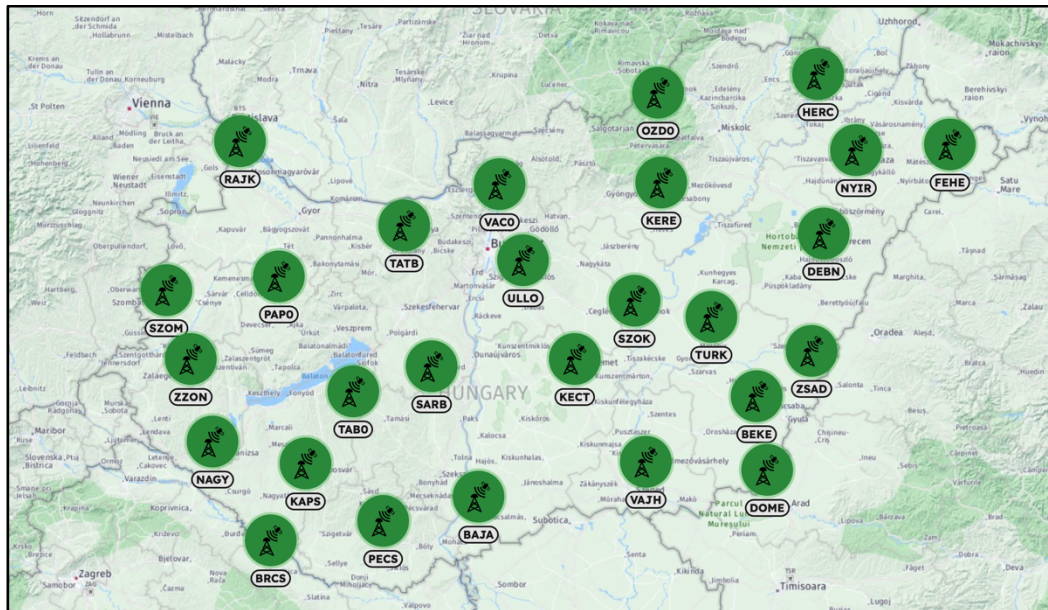


GNSSNet.hu referenciaállomások

## CORRIGO

A CORRIGO működésének kulcseleme a GNSS technológia alkalmazása, amely lehetővé teszi a valós idejű műholdas helymeghatározást. A rendszer képes észlelni az amerikai GPS, az orosz Glonass, az európai Galileo és a kínai BeiDou műholdrendszer jeleit. Az ehhez tartozó hálózatos RTK korrekciós jelszolgáltatás Magyarország teljes területén elérhetővé teszi a műholdas helymeghatározást, amely nagy jelentőséggel bír a geodéziában, precíziós gazdálkodásban és az önvezető járművek fejlesztésében.

A GNSS rendszer használatakor a korrekciós modell alkalmazása azonban elengedhetetlen, Ennek során egy referencia vevő, más néven bázisállomás is bekerül a folyamatba. A helymeghatározás során a háromszögelés módszerét alkalmazzák, amelynek fő elemei a műhold, a rover és a referenciaállomás (CORS). Az RTK bázisállomásokból – a GNSSNet.hu hálózathoz hasonlóan- egész országos lefedettséggel biztosítják az RTK korrekciók eltérését. Ennek köszönhetően a helymeghatározás cm-pontos.



A CORRIGO hálózata

## Közösségi GNSS állomások

A közösségi GNSS állomások olyan globális navigációs műholdrendszerekhez kapcsolódó állomások, amelyeket a közösség, vagyis egy csoport felhasználó vagy érdeklődő személy hoz létre és üzemeltet. Ezek az állomások gyakran a GNSS jelek rögzítésére és a pozíció meghatározására szolgálnak és a műholdas helymeghatározás jobb teljesítményéhez és nagyobb pontosságához járulnak hozzá. A közösségi GNSS állomások általában nyilvánosan elérhetőek és adataikat gyakran megosztják más felhasználókkal vagy intézményekkel. Az ilyen állomásokhoz való hozzáférés általában ingyenes vagy minimális költséggel jár és lehetővé teszi azok számára, akiknek nincs saját GNSS állomásuk, hogy pontos pozíciót határozzanak meg a GNSS rendszerek segítségével.

## Alacsony költségigényű GNSS állomás kialakítása

### Saját permanens GNSS állomás

Az alacsony költség igényű GNSS állomás kifejlesztése során alapvető célom volt egy olyan eszközt alkotni, amely mindenki számára elérhető és nem kíván jelentős anyagi ráfordítást. A magas árú professzionális rendszerekkel szemben a saját állomásom egy u-blox F9P GNSS vevőre épül, amely kiemelkedő pontosságot nyújt megfizethető áron. Ezt a rendszert egy Raspberry Pi kártyaszámítógép egészíti ki, amely a Linux operációs rendszer sokoldalúságát és stabilitását hozza a projektbe. Ez a kombináció nem csak költséghatékony, hanem a nyílt forráskódú közösséget is megmozgatja lehetővé téve a tudás és tapasztalat szabad áramlását.

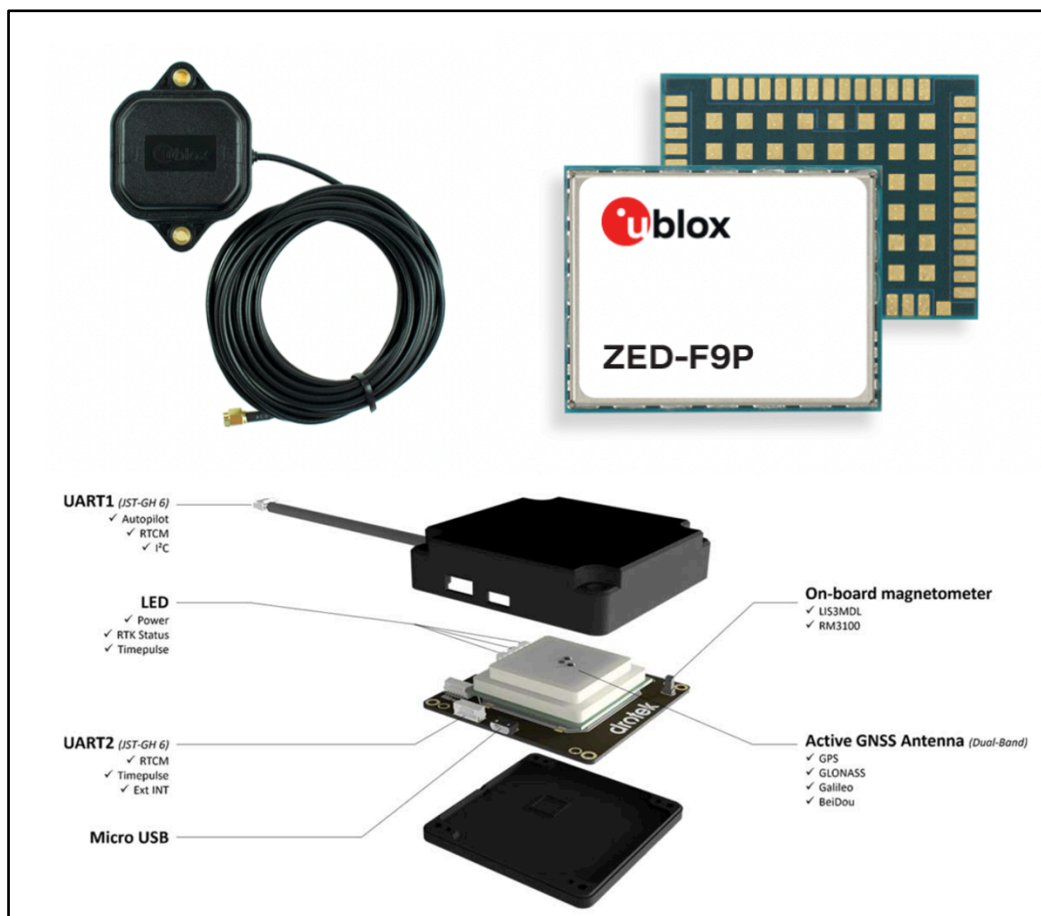
A projekt során különös figyelmet fordítottam arra, hogy a rendszer könnyen telepíthető és kezelhető legyen így nem igényel széles körű technikai tudást a felhasználótól. A célközönség tehát nemcsak a szakemberek, hanem a földrajz és térinformatika iránt érdeklődő diákok és amatőr kutatók. Az állomás képes folyamatos adatfolyamot biztosítani, amely lehetővé teszi a környezet változásainak nyomon követését így hozzájárul a környezettudományi és földrajzi kutatásokhoz is.



Az önállóan működő GNSS állomás nem csak a pontosság és a költséghatékonyság terén kínál előnyöket, hanem az adatbázis folyamatának szabadságában is. A rendszer moduláris felépítése lehetővé teszi, hogy a felhasználók testre szabják és bővítsék az eszközt a saját projektjeik igényei szerint. Ennek köszönhetően a rendszer nem csak egy adott projektre korlátozódik, hanem alkalmazkodik a változó igényekhez és feladatokhoz. Az állomás tehát nem egy statikus eszköz, hanem egy dinamikus a felhasználói közösség által alakítható platform, amely folyamatosan fejlődik és bővül felhasználói visszajelzések és az új technológiai fejlesztések révén.

## U-blox F9P GNSS vevő

A u-blox F9P modul a svájci u-blox cég által kifejlesztett iparági színvonalat meghatározó GNSS vevő, amely a legmodernebb pozícionálási technológiákat ötvözi, hogy kiemelkedő pontosságot és megbízhatóságot biztosítson a felhasználóknak. Ez a készülék több frekvenciás vételre képes így támogatja az összes jelentősebb műholdas navigációs rendszert beleértve a GPS-t, GLONASS-t, Galileo-t és BeiDou-t, ami konvergenciát és pontosságot biztosít még a legkörülményesebb környezetekben is. Az F9P modul kiemelkedik az RTK (Real Time Kinematic) képességével, amely centiméteres pontosságú helymeghatározást tesz lehetővé valós időben, ideális választássá téve geodéziai és földmérési alkalmazásokhoz, valamint mezőgazdasági és az önvezető navigációs rendszerekhez. A modul sajátossága továbbá az, hogy kis energiafogyasztással működik, ami hosszabb üzemidőt és mobilitást tesz lehetővé. A fejlett zajcsökkentő algoritmusok és a több antennás támogatás révén az F9P rendkívül megbízható megoldást nyújt városi környezetben is, ahol épületek vagy természetes tájformák gyakran zavarják a műholdas jeleket. Az integrált korrekciós adatszolgáltatások, mint például az SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems) és az RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) támogatása tovább növelik a rendszer rugalmasságát és pontosságát. A u-blox F9P tehát nem csupán egy GNSS vevő; ez egy multifunkcionális, magas adaptív képességű eszköz, amely a helymeghatározás új generációját képviseli.



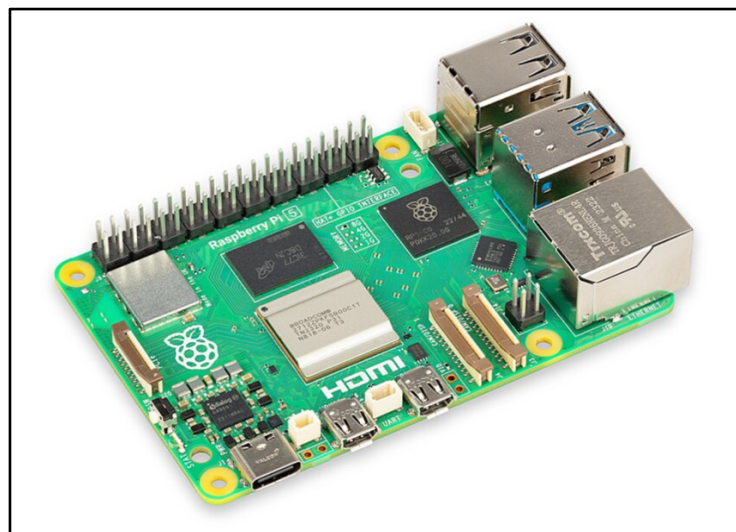
*u-blox F9P GNSS vevő*



*A háztetőre kihelyezett vevő*

## Raspberry Pi

A Raspberry Pi egy kisméretű alacsony költségvetésű kártya számítógép, amit a Raspberry Pi alapítvány fejlesztett ki elsősorban oktatási célokra, de ma már széleskörűen használják hobbi projektjeiktől kezdve a kereskedelmi alkalmazásokig a fejlesztők. Linux operációs rendszerrel ellátva, ez a rendkívül rugalmas eszköz ideális választás számos innovatív projekt számára különösen azokhoz, amelyek szabályozott számítási erőt és hálózati képességeket igényelnek kompakt formában. A saját készítésű GNSS bázisállomásban a Raspberry Pi számítási és kommunikációs központként funkcionál kezelve a GNSS vevőktől érkező adatokat, feldolgozva és továbbítva azokat a megfelelő interfészekre vagy távoli szerverekre. A Linux rendszer stabilitása és konfigurálhatósága lehetővé teszi a fejlesztők számára, hogy pontosan testre szabják az operációs rendszert, hogy az megfeleljen a projekt specifikus igényeinek, legyen szó akár a rendszerindítási folyamat optimalizálásáról, szükséges illesztőprogramok telepítéséről vagy biztonsági frissítések kezeléséről. Az egész konfiguráció kiemelkedően moduláris így a fejlesztők könnyedén frissíthetik vagy cserélhetik a hardver komponenseket anélkül, hogy a rendszer teljes újra telepítésére lenne szükség, ami a GNSS bázisállomások fejlesztése során kritikus jelentőségű lehet. Az operációs rendszer nyílt forráskódú jellege és a közösség által biztosított támogatás további előnyöket biztosít lehetővé téve a felhasználóknak, hogy a legfrissebb fejlesztéseket is beépítsék a rendszerükbe.



*Raspberry Pi*



*Saját GNSS bázisállomás*

## A saját GNSS bázisállomás összeállítása és adatgyűjtés

A saját GNSS bázisállomás összeállítása egy összetett folyamat, amely a helyes hardver elemek kiválasztásával kezdődik, mint például a fent említett magas precizitású u-blox F9P vevő modul, amely képes több frekvenciás jelek fogadására és egy Raspberry Pi, amely a rendszer agyaként szolgál. Az összeállítás során fontos, hogy a vevő modul pontosan legyen rögzítve és védve az időjárás viszontagságaitól, valamint, hogy optimális elhelyezést biztosítsunk a műhold jelek fogadásához. A Raspberry Pi konfigurációját a szükséges szoftver eszközök telepítésével és az operációs rendszer megfelelő beállításával kezdjük biztosítva a szükséges interfészek és kommunikációs protokollok működőképességét.

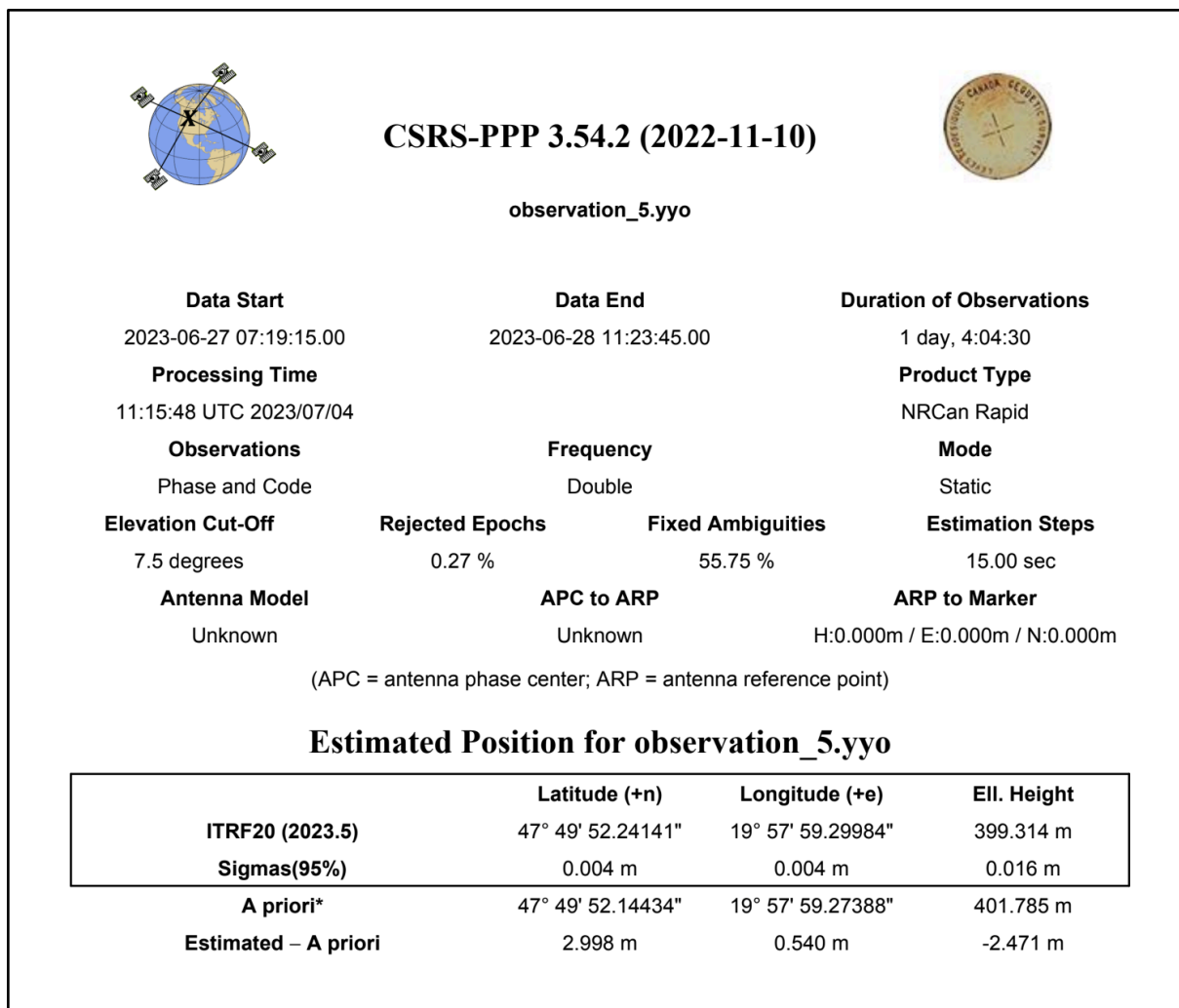
A hardver elemek összeszerelése és konfigurálása után következik az adatgyűjtési szakasz. Ebben az időszakban a bázisállomás folyamatosan rögzíti a GNSS adatokat, amelyek a későbbi elemzéshez és feldolgozáshoz lesznek felhasználva. Az adatgyűjtés folyamatát alaposan tervezi és figyelni kell, hogy a lehető legpontosabb adatokat szerezzük meg. A rögzített adatokat ezután átvizsgáljuk, hogy azok mentesek legyenek a hibáktól és a zajoktól így biztosítva, hogy az adatfeldolgozás során megbízható eredmények szülessenek. Az adatgyűjtési folyamat végrehajtásakor kiemelt jelentőséggel bír a precizitás és az adat integritás fenntartása mivel ezek a paraméterek határozzák meg a végső helymeghatározási adatok pontosságát és megbízhatóságát.

## PPP adatfeldolgozás

A gyűjtött adatokat ezután egy speciális szoftver segítségével dolgozzuk fel, amely a Precíziós Pontpozícionálás (PPP) módszertanát alkalmazza. A PPP egy olyan technika, amely lehetővé teszi egyetlen GNSS vevő adatainak feldolgozását, hogy nagy pontosságú helymeghatározást végezzen. A feldolgozásra a kanadai természeti erőforrások minisztériumának (Natural Resources Canada) weboldalán elérhető PPP szolgáltatást használjuk.

A feldolgozási procedúra magába foglalja a nyers adatok feltöltését a szerverre, ahol a szoftver különböző korrekciókat alkalmaz. Ezek közé tartoznak a műholdórák és pályaadatok korrekciói, valamint az ionoszférikus és troposzférikus hatások számítása. A feldolgozás során a szoftver kiszámítja a legvalószínűbb helyzetet a vevő számára felhasználva a globális referencia állomások hálózatának adatait is. A kanadai szerver által végzett feldolgozás eredményeképpen az adatokat átalakítják és ITRF2020 (International Terrestrial Reference Frame 2020) koordinátákká konvertálják. Az ITRF2020 a legfrissebb globális geodéziai referencia rendszer, amely a földi pontok koordinátáit a Föld

tömegközéppontjához viszonyítja adja meg. A PPP módszerrel végzett feldolgozás előnye, hogy nincs szükség több bázis állomásra vagy komplex hálózati infrastruktúrára; egyetlen GNSS vevő adatait használva képes nagy pontosságú eredményeket produkálni.



*A kanadai PPP megoldás eredménye*

## Koordináta transzformáció ITRF2020-ból ETRF89-be

A földmérés és térinformatika területén gyakran merül fel az igény, hogy a globális ITRF2020 koordináta-rendszerből regionális ETRF89 koordinátákra történjen átszámítás, különösen Európában, ahol a lokális tektonikai viszonyokra és az európai kontinens stabilitására van szükség. Az ETRF 89 koordináták használata elengedhetetlen például infrastrukturális projektek, városi tervezés és környezetvédelmi monitoring esetén, ahol a helyi referencia rendszer stabilitása kiemelt fontosságú. Az átszámítási folyamat ITRF2020 koordinátákból ETRF89 koordinátákba több összetett lépésből áll amelyeket a következőképpen lehet összefoglalni:

### Adatok előkészítése:

A folyamat első lépése az ITRF2020 koordináták megszerzése, amelyek magukban foglalják a geodéziai pontok hosszúságát szélességét és ellipszoidi magasságát. Ezek az adatok az alapját képezik a későbbi transzformációnak.

### Referencia modellek és transzformációs paraméterek:

A transzformáció megkezdése előtt tisztázni kell a használt referencia modelleket és transzformációs paramétereket. Az EUREF által biztosított transzformációs paraméterek szükségesek az ITRF2020-ból

EUREF89-bemvaló átszámításhoz, amelyek figyelembe veszik a tektonikai mozgásokat és a földfelszín változásait.

#### Átszámítási algoritmusok alkalmazása:

A megfelelő algoritmusok segítségével a koordináták átszámítása során az ITRF2020 koordinátákhoz hozzáadják vagy kivonják azokat a korrekciókat, amelyeket az ETRF89 koordináta rendszerre jellemzőek. A transzformáció során figyelembe veszik a földfelszín mozgását, az időbeli változásokat és a geofizikai jelenségeket is.

#### Időbeli korrekciók:

Mivel az ITRF2020 folyamatosan frissül a földi és műholdas mérések alapján, az időbeli korrekciókat és alkalmazni kell, hogy a transzformált ETRF89 koordináták megfeleljenek a kívánt dátumra vonatkozó helyzetnek.

#### Minőségbiztosítás és validálás:

A transzformált koordináták ellenőrzése elengedhetetlen a folyamat végén. A validálás magában foglalhatja a koordináták összehasonlítását ismert pontokkal vagy a transzformáció megismétlését, hogy ellenőrizzék az eredmények konzisztenciáját.

#### Dokumentálás:

A folyamat minden egyes lépését gondosan dokumentálni kell, beleértve az alkalmazott paramétereket a használt szoftverek verzióit és a kapott eredményeket, hogy az átszámítási eljárás átvizsgálható és reprodukálható legyen.

## **RTCM korrekciók sugárzása a bázisállomásról**

A GNSS bázisállomásokon történő koordináta-beállítások és az RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) korrekciós jelek sugárzása alapvető fontosságúak a differenciális GNSS (DGNSS) műveletekhez, amelyek jelentősen növelik a helymeghatározás pontosságát. Ebben a kontextusban az RTCM korrekciók olyan információk, melyeket GNSS bázisállomás sugároz és amelyek lehetővé teszik a közelben lévő vevők számára, hogy finomítsák a saját pozícióikat a bázisállomás ismert, pontos helyzetéhez képest.

A bázisállomásra vonatkozó koordináta-beállítások elengedhetetlenek, mert ezek a koordináták alkotják a kiindulási alapot, amelyhez képest a helyi korrekciókat végrehajtják. A pontos koordináták beállítása nélkül a sugárzott korrekciók megbízhatatlanok és értelmetlenek lennének. A beállítás folyamata magában foglalja a korábban meghatározott és megbízható koordináták például az ETRF89 vagy az ITRF2020 koordináták manuális bevitelét a bázisállomást GNSS vevőjébe.

Miután a bázisállomás vevőjére beállítjuk ezeket a koordinátákat, a vevő képes lesz az RTCM formátumú korrekciók sugárzására. Az RTCM szabványos, a GNSS adatok és korrekciók cseréjére szolgáló protokoll, amely lehetővé teszi, hogy a bázisállomásból származó információkat valós időben továbbítsák a közelben lévő vevők számára. Ezek a korrekciók tartalmazzák a műhold óráinak késéseit, a pályaadat-hibákat, az ionoszféra és troposzféra hatásait, valamint más olyan tényezőket, amelyek befolyásolják a jelek pontosságát.

Az RTCM korrekciók sugárzásának jelentősége abban rejlik, hogy lehetővé teszi a valós idejű kinematikus (RTK) műveleteket, amelyek során a vevők a bázisállomás korrekcióit felhasználva képesek a helyzetük centiméteres pontosságú meghatározására. Ez különösen hasznos olyan alkalmazásokban, mint a földmérés, az építőipar, a mezőgazdaság vagy bármilyen más tevékenység, ahol a nagy pontosságú helymeghatározás elengedhetetlen.

Ezzel lépés tehát kritikus az RTK hálózatok működéséhez, mert biztosítja a helyi pontosság növelését, csökkenti a GNSS rendszerek általános hibáit és így lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy

megbízható és pontos adatokkal dolgozzanak. Az RTCM korrekciók általában rádió frekvencián vagy az interneten keresztül érkeznek a közelben lévő vevőkhöz és kompatibilisek a legtöbb modern GNSS vevővel.

## **A bázisállomás tesztelése**

A GNSS bázisállomásunk beállításának és konfigurációjának megszilárdítása után a következő logikus lépés a rendszer teljesítményének tesztelése volt. E célból összekapcsoltuk az állomásunkat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Általános és Felső Geodéziai tanszéke által üzemeltetett broadcasterrel ami lehetővé tette számunkra hogy valós környezetben próbáljuk ki a korrekciós adatok sugárzását és fogadását.

Az első tesztsorozat a centipede.fr broadcaster által közvetített adatokra támaszkodott. Ennek a broadcasternek a segítségével élesítettük a rendszerünket és több közeli állomás adatait használva ellenőriztük a korrekciós jelek megbízhatóságát. Ez a fázis kulcsfontosságú volt mert a bázisállomás által sugárzott korrekciók pontosságát és használhatóságát akartuk igazolni. A teszt során a közeli állomás által szolgáltatott pozíció adatok összehasonlításával megállapítottuk, hogy a korrekciók jelentős mértékben javították a helymeghatározás pontosságát.

A tesztek során külön figyelmet fordítottunk a korrekciós adatok átvitelének stabilitására és folytonosságára. A bázisállomás és a tanszéki broadcaster közötti kapcsolat megbízhatóságát több órán át tartó folyamatos működéssel ellenőriztük. Az eredmények azt mutatták, hogy a rendszerünk képes hosszútávon és stabilan működni, ami elengedhetetlen a valós idejű alkalmazások számára.

Az adatkapcsolat tesztelését követően az adatok elemzésére is sor került. Az elemzés során a helymeghatározási pontosság mellett az adatok integritását és a korrekciós jelek időbeli konzisztenciáját is értékeltük. Megállapítottuk, hogy a bázis állomások által sugárzott korrekciók szorosan követték a közeli állomások által rögzített tényleges pozíciókat, ami tovább erősítette a rendszerünkbe vetett bizalmunkat.

A projekt ezen szakaszának befejeztével megállapíthattuk, hogy sikeresen létrehoztunk egy olyan GNSS bázisállomást amely képes valós idejű korrekciókat sugározni és így hozzájárul a helymeghatározás pontosságának növeléséhez.

## Összegzés

A projekt célja egy saját GNSS bázisállomás létrehozása volt, ami képes a környező területen belül centiméter pontosságu helymeghatározást biztosítani. A munkafolyamat során először meghatároztuk és összeállítottuk a szükséges hardveres eszközöket beleértve a magas pontosságu u-blox F9P GNSS vevőt és a Raspberry Pi kártyaszámítógépet, amelyek Linux operációs rendszerrel működnek. A hardverek összeszerelése és konfigurálása után áttértünk a szoftveres beállításokra, amelyek biztosították a bázisállomás kommunikációját és adatfeldolgozási képességét.

A projekt kulcsfontosságú szakaszában amikor már a GNSS bázisállomás adatgyűjtése megtörtént, a kapott információkat a PPP módszerével elemeztük. Ennek a folyamatnak köszönhetően megkaptuk a vevő koordinátáit az ITRF2020 koordináta-rendszerben. A PPP módszer alkalmazása nélkülözhetetlen volt, mivel ezt biztosította, hogy a bázis állomás által kibocsátott korrekciós adatok a lehető legnagyobb pontosságúak és megbízhatóak legyenek.

Ezt követően egy transzformációs folyamat következett, mely magába foglalta a globális ITRF2020 adatok finomítását, úgy, hogy azok megfeleljenek az európai kontinens tektonikai viszonyainak. Ennek eredményeképp a GNSS vevő koordinátáit az ETRF89 vonatkoztatási rendszerben kaptuk meg. Ez lényeges lépés volt mert a GNSS bázisállomásnak pontos helyzet ismeretekkel kell rendelkeznie ahhoz, hogy érvényes korrekciókat sugározzon.

Amint a pontos koordinátákat megkaptuk, azok beállításra kerültek a GNSS vevőn. Ennek következtében a bázisállomáson lehetővé vált az RTCM formátumú korrekciók sugárzása. Ez az lépés kulcsfontosságú volt abban, hogy a bázisállomásokat használó vevők az állomás néhány 10 kilométeres körzetében centiméteres pontossággal határozzák meg saját helyzetüket. A bázisállomás így nem csupán egy pontosságban megbízható eszközzé vált, hanem egy olyan erőforrássá is, amely lehetővé teszi az autonóm rendszerek, mint például a mezőgazdasági gépek navigációs rendszereinek kiszolgálását.

Ez a technológia különösen előnyös lehet a mezőgazdaságban, ahol az ilyen típusú navigációs megoldások jelentős hatékonyságnövelést és költségcsökkentést eredményeznek. Az önállóan üzemelő bázisállomás lehetővé teszi a gazdálkodók számára, hogy pontosabban kövessék a vetési és betakarítási mintákat, valamint optimalizálják a műtrágya és növényvédő szerek használatát csökkentve ezzel a környezeti hatást és a költségeket is.

Összességében a projekt sikerrel járt; létrehoztunk egy saját GNSS bázisállomást, amely a helyi szükségletekhez igazítva képes a nagy pontosságu helymeghatározásra. Az eredmény egy olyan eszköz, amely jelentős előnyöket biztosít számos területen, különösen a mezőgazdaságban, ahol a precíz navigációs megoldások alapvető fontosságúak.

## Irodalomjegyzék

*Absolute and relative positioning*, n.d.: *Lantmateriet.se*,. URL

<https://www.lantmateriet.se/en/geodata/gps-geodesi-och-swepos/gps-and-satellite-positioning/methods-for-gnss-measurement/absolute-and-relative-positioning/#anchor-1>

*Astroconverter Astronomy Toolbox*, n.d.: *astroconverter.com*,. URL

[https://astroconverter.com/xyzllh.html#:~:text=LLH%20\(WGS84\)%20ellipsoidal%20coordinates%20are](https://astroconverter.com/xyzllh.html#:~:text=LLH%20(WGS84)%20ellipsoidal%20coordinates%20are)

*Bauer, P., Bme, K.-É., and Tanszék*, 2015: Koordináta rendszerek és transzformációk.

*Bureau, E.P.G.N. - C.*, n.d.: EUREF Permanent GNSS Network. *www.epncb.oma.be*,. URL

<http://www.epncb.oma.be> (accessed 11.5.23).

*Corrigo*, n.d.: *www.corrigo.hu*,. URL <https://www.corrigo.hu>

*Dr. Ádám József, Dr. Rózsa Szabolcs, and Dr. Takács Bence*, 2012: GNSS elmélete és alkalmazása.

*Emese, K., Közzolgálati, N., Víz tudományi, E., Európai, K., and Alap, S.*, n.d.: GEODÉZIAI ALAPISMERETEK II.

*Rózsa Szabolcs*, 2023: Geodézia II. előadás jegyzet, Műholdas helymeghatározás.

*Why Join the IGS? – International GNSS Service*, n.d.: URL <https://igs.org/why-join-the-igs/#background>

2013: *Gnssnet.hu*,. URL <https://www.gnssnet.hu>