



ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÁLTALÁNOS- ÉS FELSŐGEODÉZIA TANSZÉK

Deciméter alatti pontosságú helymeghatározás okostelefonnal

TDK dolgozat

Készítette: Regényi Örs István

Konzulens: Dr. Takács Bence Géza

2025. január 8.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
2.	Mérések	5
2.1.	A mérések elve	5
2.1.1.	A bázis mérései	5
2.1.2.	Navigációs adatok	6
2.1.3.	Rover mérések.....	6
2.2.	Az elvégzett mérések	8
2.3.	A mérések feldolgozása	9
2.3.1.	Az RTKLIB demo5 szoftver bemutatása	10
3.	Feldolgozási eredmények.....	15
4.	További fejlesztési irányok	18
5.	Hivatkozások.....	20
6.	Függelék.....	21
6.1.	Az ELSO221V mérés grafikonjai	21
6.2.	A MASO221V mérés grafikonjai	22
6.3.	A HARM221W mérés grafikonjai	23
6.4.	A NEGY221W mérés grafikonjai	24
6.5.	A FOR1221X mérés grafikonjai	25
6.6.	A FOR2221X mérés grafikonjai	26
6.7.	A FOR3221X mérés grafikonjai	27
6.8.	A FOR4222A mérés grafikonjai	28

1. Bevezetés

Míg pár évtizeddel ezelőtt még több millió forint értékű műszerekre volt szükség a centiméter pontos műholdas helymeghatározáshoz, manapság már egyre több okoseszközbe (telefonokba, tabletekbe) tesznek fázismérésre is képes, többfrekvenciás GNSS vevőt. Ezeknek a vevőknek a jellemző pontossága néhány méterre tehető, hiszen abszolút helymeghatározást végeznek kódmerések alapján (SPP – Single Point Positioning). Megfelelő feldolgozási módszerrel a jellemző pontosság deciméteres, vagy akár centiméteres nagyságrendre is fokozható, azonban a telefon felépítése, elsősorban az antenna típusa, kis mérete és elhelyezkedése, valamint további szoftveres korlátok miatt ehhez számos nehézséget kell leküzdeni. Mivel a felhasználók és az egyre jobban terjedő önvezető autók igénylik a minél pontosabb, akár sáv-szintű navigációt, az elmúlt években egyre aktuálisabbá vált ezek fejlesztése.

A fejlesztés egyik iránya tehát a fázismérésen alapú, relatív helymeghatározással végzett, kinematikus módban történő valós idejű vagy utófeldolgozás, amellyel az olcsóbb, kisebb vevők és antennák méréseinek pontossága is jelentősen javítható. [1]

A relatív helymeghatározás sajátossága, hogy szükséges hozzá egy vagy több, közeli bázisállomás mérése, és a vevők méréseinek különbségei alapján történik a helymeghatározás, amellyel a szabályos hibák jelentős része kiküszöbölhető.

Korábban ez a módszer okostelefonokkal az operációs rendszer módosítása nélkül nem volt lehetséges, mert egyik telefon sem engedélyezte a nyers GNSS mérések kiolvasását az eszközből, csak az eszköz által ezek alapján meghatározott pozíciókat tették elérhetővé.

2016-tól kezdve a Google lehetővé tette az onnantól kezdve gyártott, Android 9 vagy újabb operációs rendszerű eszközökön a nyers GNSS mérések kiolvasását a telefonból. Erre létrehoztak egy saját alkalmazást (GNSSLogger), valamint egy API-n keresztül külső alkalmazások számára is elérhetővé tették ezeket az adatokat további feldolgozás céljára. [2]

Célunk az volt, hogy egy ismert helyzetű pont koordinátáit határozzuk meg egy Google Pixel 4 telefon nyers mérései alapján, lehetőleg minél kisebb hibával. A szakirodalomban erre több kísérletet is találhatunk [3] [4], ám ezek mind a telefon közvetlen közelében felállított professzionális GNSS vevőt használnak bázisként. Ez a gyakorlati életben, hétköznapi felhasználásra nagyon drága befektetést igényelne. Szerencsére ma már nagyon sok bázisállomás mérése érhető el nyilvánosan, akár ingyenesen is, például az EUREF oldalán. [5] A BUTE, illetve BME állomásokat egyetemünk Általános és Felsőgeodézia Tanszéke üzemelteti. [6] [7] Előbbit a K, utóbbit a D épület tetején helyezték el. Amennyiben a bázis a mozgó (rover) vevőtől, esetünkben az okostelefontól mért 15 km-es távolságon belül van, jó eséllyel elérhető néhány centiméteres vagy esetleg deciméter pontos pozíció.

2. Mérések

2.1. A mérések elve

A kinematikus mérési módszert tovább lehet csoportosítani két technikára, az RTK-ra és a PPK-ra. Az RTK valós idejű (Real Time), a PPK utófeldolgozott (Post-Processing) kinematikus méréseket jelent. Ugyan a felhasználás szempontjából az RTK az előnyösebb, hiszen az alkalmazások döntő többsége valós időben igényli a helymeghatározást, és az utóbbi évtizedek fejlesztése alapján ez rövid (szinte mindössze néhány másodperces) inicializálási idő után jellemzően elérhető, dolgozatunkban az utófeldolgozáson alapuló lehetőségeket vizsgáljuk. Ennek legfőbb oka, hogy nem találtunk olyan szoftvert Androidra, amely a telefon beépített GNSS vevőjének méréseivel lenne képes RTK helymeghatározásra.

Az utófeldolgozáshoz alapvetően 3 fájlra van szükség: a rover vevő nyers méréseire, a bázis vevő nyers méréseire, valamint a navigációs adatokra, amelyek alapján a műholdak koordinátái számíthatók. A szabadon elérhető bázisok mérései az EUREF valamely adatközpontjából, a navigációs adatok többek között a NASA oldaláról tölthetők le. [8]

2.1.1. A bázis mérései

Az országban számos bázisállomás található, ám a legtöbbjük adataihoz való hozzáférés csak regisztráció és díjfizetés mellett lehetséges. A szabadon hozzáférhető bázisállomások adatai az EUREF honlapján találhatóak, Magyarországon több ilyen is van, például a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem által üzemeltetett BUTE. Mivel a méréseket Budapesten végeztük, ezért a BUTE állomás adatait használtuk a feldolgozáshoz. Ez a BME K épületének déli oldalán, a tetőn található és folyamatosan üzemel.



2.1. ábra: A BUTE állomás elhelyezkedése a BME K épületén [6]



2.2. ábra: A BUTE állomás antennája [6]

2.1.2. Navigációs adatok

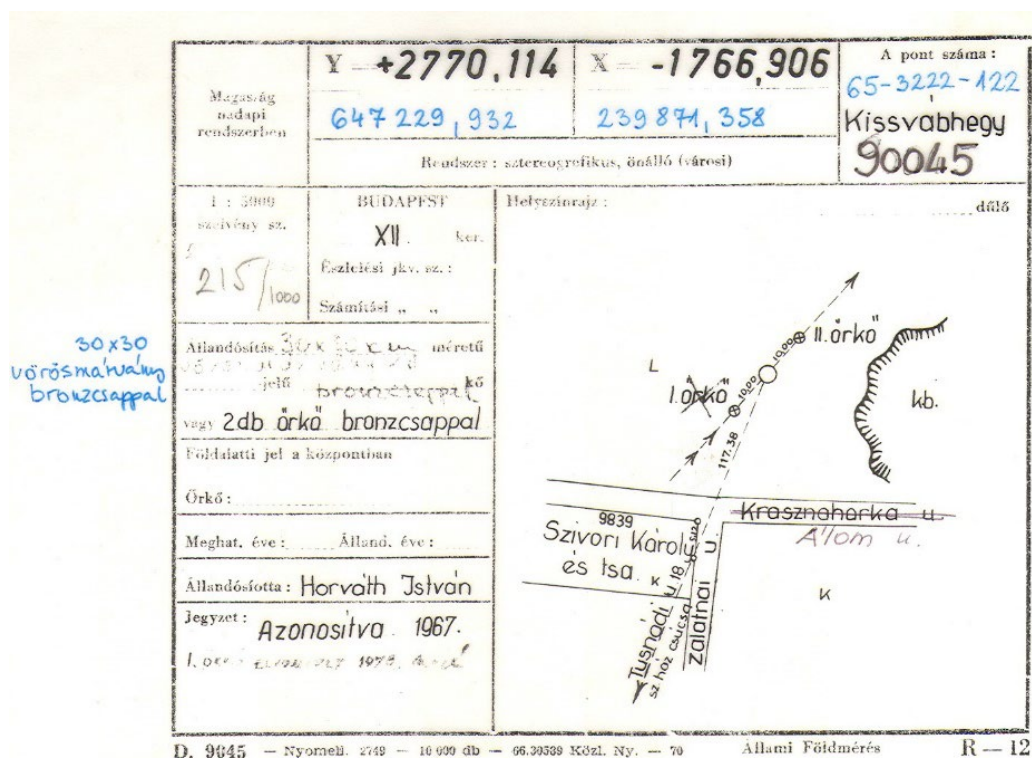
A számítások elvégzéséhez szükség van a műholdak helyzetének ismeretére. Ezeket a GNSS-vevők a műholdakról sugárzott fedélzeti pályaelemekből (broadcast ephemeris) számolják, utófeldolgozáshoz az adatokat több GNSS adatközpontból is elérhetővé teszik, pl. a NASA Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS) oldaláról tölthetők le regisztráció után. Mi a Német Szövetségi Köztársaság Institut für Angewandte Geodaesie intézete által készített BRDC navigációs fájlokat használtuk fel az utófeldolgozáshoz, amely több navigációs fájl egyesített adatait tartalmazza. [9]

2.1.3. Rover mérések

A mérések elvégzésének kicsi, gyenge teljesítményű műszer esetén feltétele, hogy azokat egy viszonylag magasan fekvő, tereptárgyakkal, például fákkal nem fedett, a bázisállomás közelében levő ponton végezzük, így ezek helyszínül a Kissvábhegyi-erdő tetején 1933-ban, a budapesti felmérés során létesített háromszögelési pontot választottuk. Mivel a pont egy tisztáson található, így nincs felette zavaró tereptárgy, alkalmas volt a mérésekre. A pont EOVS koordinátái ismertek, ám a magassága nem. A koordináták ellenőrzése és a magasság meghatározása érdekében 2024 augusztus 6-án egy Leica GS18i vevővel, RTK módban meghatároztuk a pont térbeli helyzetét. A pont általunk meghatározott vízszintes pozíciójának eltérése a pontleírásban szereplőhöz képest 2,7 cm.



2.3. ábra: A kissvábhegyi háromszögelési alappont, és az általunk használt Leica GS18i GNSS vevő



2.4. ábra: A kissvábhegyi alappont pontleírása, koordinátái BÖV és EOVS rendszerben



EHT TRANSZFORMÁCIÓS JEGYZŐKÖNYV Verziószám: EHT2014 V2.0

Transzformáció: EOVS/EOMA >>> ETRS89/ETRF2000
Készült: 2024-08-06

Bemeneti koordináták EOVS/EOMA rendszerben

Pontszám	y[m]	x[m]	h[m]	Megjegyzés
1003	647229.921	239871.383	257.575	

Transzformáció eredménye ETRS89/ETRF2000 rendszerben

Pontszám	φ [°]/X[m]	λ [°]/Y[m]	h[m]/Z[m]	Megjegyzés
1003	47.502770216	19.010677871	301.359	

2.5. ábra: A kissvábhegyi alappont általunk meghatározott koordinátái EOVS és ETRF2000 rendszerben

A Pixel 4 GNSS méréseinek rögzítésére a Geo++ Rinex Logger alkalmazást használtuk, amely a méréseket a leggyakrabban alkalmazott, eszköz- és szoftverfüggetlen formátumba, a RINEX-be menti utófeldolgozás céljára. [10]

2.2. Az elvégzett mérések

A kissvábhegyi alapponton több irányban elforgatva is végeztünk mérést a telefonnal, mivel nem ismertük az antenna helyzetét a készülékben. Ezen kívül több magas, nem ismert helyzetű pontban is végeztünk mérést, amelyek fölött semmi nem takarta az égboltot, például egy erkélyen, valamint a BME D épület tetején. Ezen mérések a jel/zaj arány, a ciklusugrások száma, a fix megoldások aránya és szórása szempontjából semmivel sem voltak jobbakk a kissvábhegyi méréseknél, így a kissvábhegyi alappont körüli távolabbi fák esetleges zavaró hatását kizárhattuk. Megpróbálkoztunk ezen kívül városi környezetben, egy séta során, mozgás közben is egy méréssel rögzíteni, viszont ezt a fájlt a fák, villanyoszlopok, házak zavaró hatása miatt nem sikerült PPK módszerrel feldolgozni.

A fájl neve	Mérés kezdete (GPST)	Mérés vége (GPST)	Telefon pozíciója
ELSO221V.24o	2024.08.08 21:36	2024.08.08 21:55	Kissvábhegy, telefon felfelé
MASO221V.24o	2024.08.08 21:57	2024.08.08 22:18	Kissvábhegy, telefon felfelé
HARM221W.24o	2024.08.08 22:22	2024.08.08 22:42	Kissvábhegy, telefon felfelé
NEGY221W.24o	2024.08.08 22:44	2024.08.08 23:05	Kissvábhegy, telefon felfelé
FOR1221X.24o	2024.08.08 23:06	2024.08.08 23:27	Kissvábhegy, telefon lefelé
FOR2221X.24o	2024.08.08 23:28	2024.08.08 23:48	Kissvábhegy, telefon lefelé
FOR3221X.24o	2024.08.08 23:49	2024.08.09 00:10	Kissvábhegy, telefon lefelé
FOR4222A.24o	2024.08.09 00:11	2024.08.09 00:31	Kissvábhegy, telefon lefelé

gnss_log_2024_08_0 9_22_14_12.24o	2024.08.09 20:14	2024.08.09 21:15	Séta
gnss_log_2024_08_0 9_23_15_51.24o	2024.08.09 21:16	2024.08.09 21:36	Kissvábhegyi kő
gnss_log_2024_08_0 9_23_40_46.24o	2024.08.09 21:41	2024.08.09 22:01	Kissvábhegyi kő
gnss_log_2024_08_1 0_01_27_43.24o	2024.08.09 23:28	2024.08.10 03:00	Erkély
gnss_log_2024_08_1 5_22_35_31.24o	2024.08.15 20:35	2024.08.15 20:55	Győrújfalu
gnss_log_2024_09_0 5_17_22_03.24o	2024.09.05 15:22	2024.09.05 15:49	BME D épület
gnss_log_2024_09_0 7_02_41_50.24o	2024.09.07 00:42	2024.09.07 01:42	Erkély
gnss_log_2024_09_0 7_22_35_41.24o	2024.09.07 20:36	2024.09.07 21:52	Kissvábhegy, kő -- > tisztás

2.1. táblázat: Az egyes mérések adatai

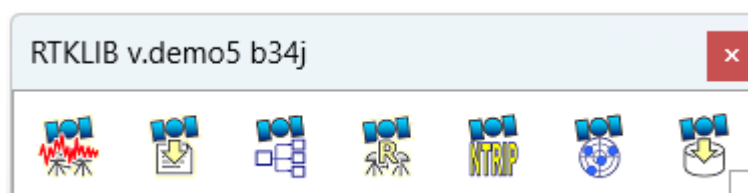
2.3. A mérések feldolgozása

A mérések feldolgozásához a Tim Everett és társai által fejlesztett RTKLIB demo5 szoftvert használtuk. [11] Ez a nyílt forráskódú RTKLIB szoftver [12]továbbfejlesztett változata, melyet többek között mobiltelefonokkal és olcsó GNSS vevőkkel (pl. u-blox, quectel) végzett mérések feldolgozására optimalizáltak. A program a bázis, rover és navigációs adatok alapján a megadott beállításokkal elvégzi az egyes időpillanatokban a pozíció kiszámítását, ahol lehetséges, PPK módszerrel. Ezt követően az eredményeket saját formátumú, .pos fájlba menti, valamint grafikusán is ábrázolja.

2.3.1. Az RTKLIB demo5 szoftver bemutatása

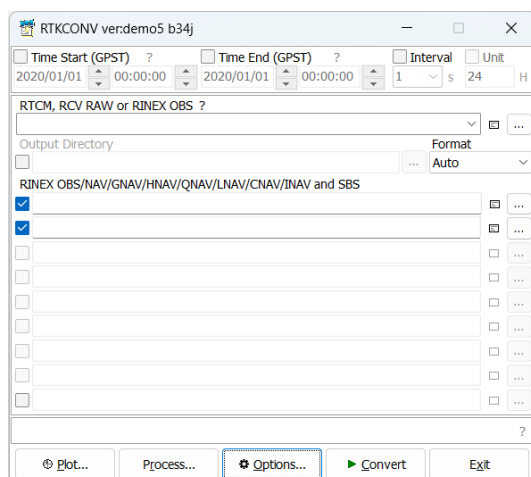
Az RTKLIB demo5 egy szoftvercsomag, amely Windows és Linux operációs rendszeren, parancssoros és grafikus módban is lehetővé teszi a GNSS mérések feldolgozását, több mérési fájl egyesítését, a mérések valós idejű és utólagos feldolgozását, többféle, köztük kinematikus módban, valamint az észlelések és a feldolgozás során kapott pozíciós fájlok kiértékelését, grafikus ábrázolását.

Az RTKLAUNCH program indításakor megjelenik a főképernyő, ahonnan a különböző alprogramokat indíthatjuk el.

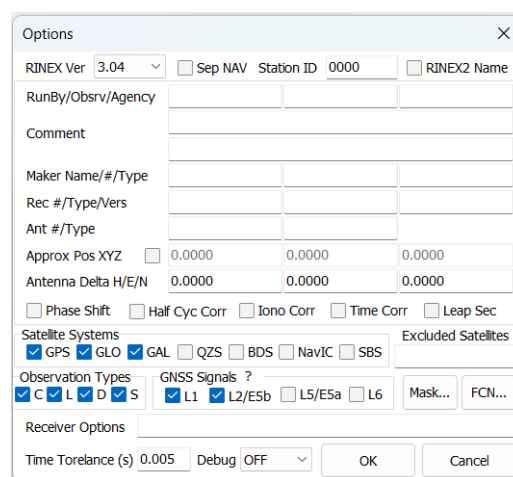


2.6. ábra: Az RTKLIB főképernyője

Az RTKCONV lehetővé teszi különböző formátumú fájlok konvertálását, illetve akár RINEX formátumú fájlok módosítását is. Akár több fájlt is megadhatunk bemenetként, és ezekből a megadott időtartomány és további beállítások alapján (pl. műholdkonstellációkat kapcsolhatunk ki/be) új RINEX mérési fájlt generál.

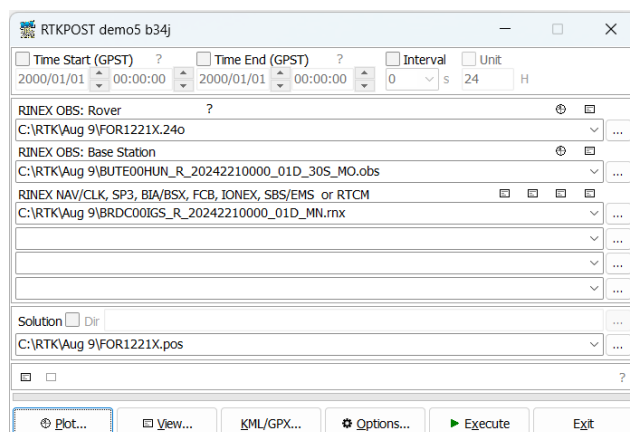


2.8. ábra: Az RTKCONV felülete



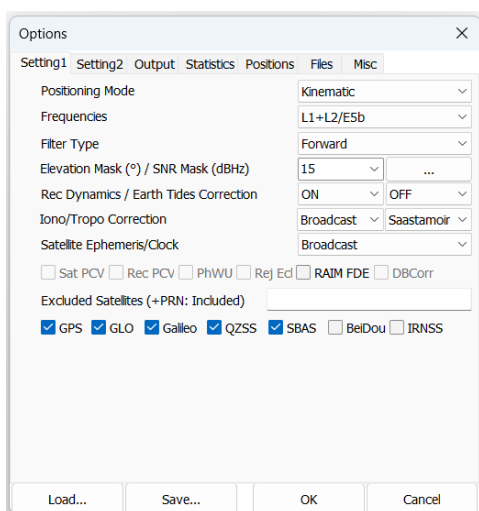
2.7. ábra: Az RTKCONV paramétereit

Az RTKPOST a rover mérések, a bázisállomás mérései és a navigációs adatok megadása után elvégzi a konfigurációs fájl beállításai alapján a mérések utólagos feldolgozását.

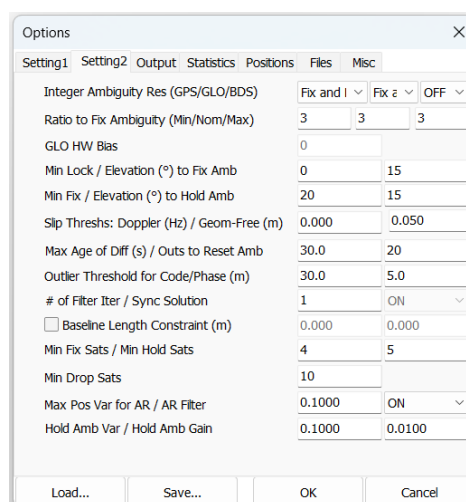


2.9. ábra: Az RTKPOST felülete

A feldolgozás konfigurációjánál nagyon sok paraméter megadható: többek között a feldolgozás módszere, az alkalmazott frekvenciák, a feldolgozás időbeli iránya (előre vagy hátra vagy mindkettő), a magassági kitakarási szög, a feldolgozáshoz használt GNSS műholdrendszerek és a feldolgozásba bevont mérések frekvenciája.



2.10. ábra: Az RTKPOST paramétereit 1.



2.11. ábra: Az RTKPOST paramétereit 2.

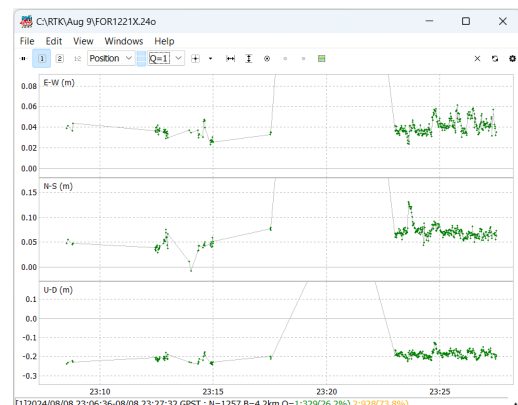
A mérések feldolgozásához a kinematikus módot választottuk, az összes frekvenciát és műholdat bekapcsoltuk, 15°-os magassági kitakarási szöget alkalmaztunk és időben kétirányú szűrőt állítottunk be.

Az RTKPLOT segítségével a rover és bázis méréseket, valamint a feldolgozott pozíciós fájlokat jeleníthetjük meg és értékelhetjük ki grafikusán.

A fenti Position fülre kattintva látható a rover észlelt pozíciója K-NY, É-D, valamint magassági értelemben az eltelt idő függvényében. A fix megoldásokat a program zöld, a float megoldásokat sárga színnel jelzi. Beállíthatjuk, hogy pl. csak a fix pozíciókat mutassa. A 0 pozíció bármilyen általunk beállított pont lehet, ez esetben a kissvábhegyi alappont koordinátáit állítottuk be.

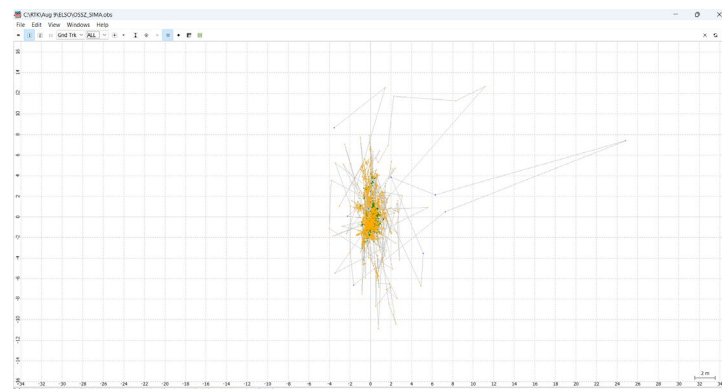


2.13. ábra: A Position fül felülete, mindegyik megoldás

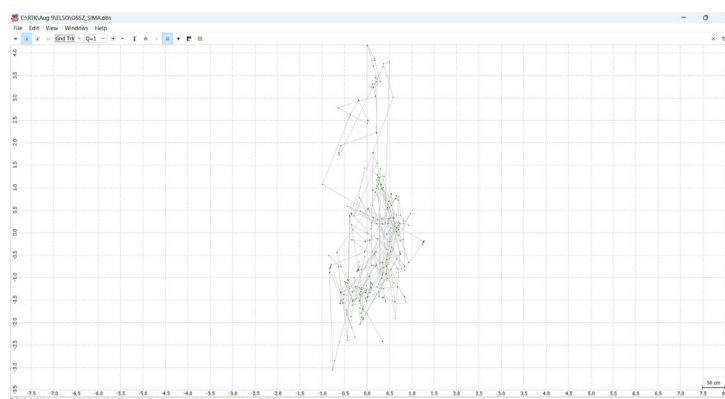


2.12. ábra: A Position fül felülete, csak fix megoldások

A Grnd Trk fülre kattintva megjelenik a rover észlelt pozíciója felülnézetben ábrázolva. A zöld szín a fix megoldásokat jelzi. Itt is beállíthatunk egy 0 pontot, valamint megadhatjuk, hogy csak a fix megoldásokat mutassa a program.

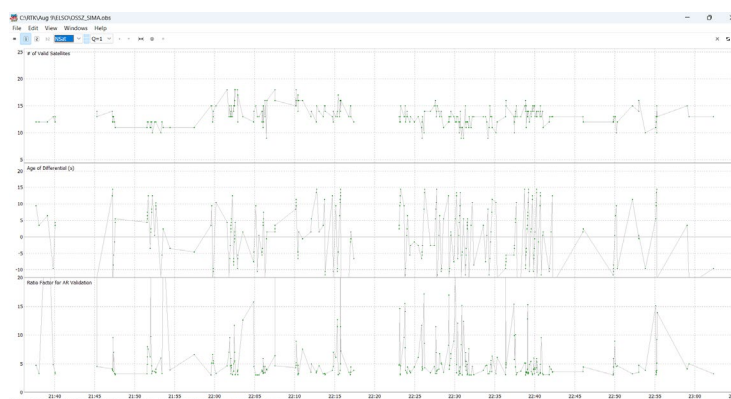


2.14. ábra: A Grnd Trk fül felülete, mindegyik megoldás



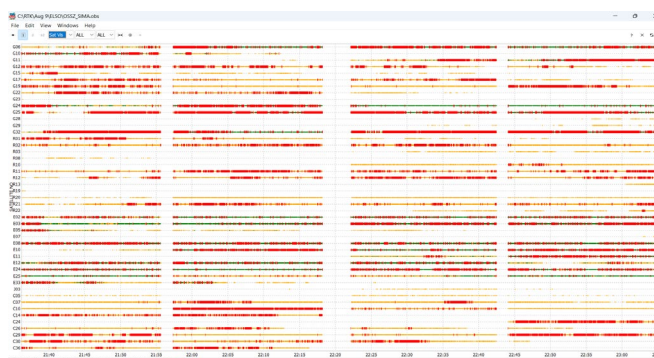
2.15. ábra: A Grnd Trk fül felülete, csak fix megoldások

Az NSat fülre kattintva megjelenik az észlelt műholdak száma, a korrekciók késleltetése és a ciklustöbbségtelmesség megbízhatóságát jellemző ratio értékek az idő függvényében.



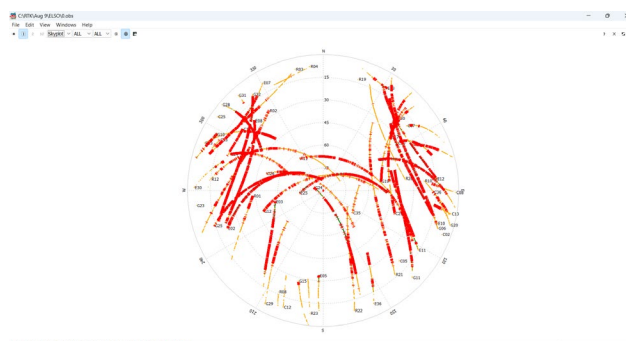
2.16. ábra: Az NSat fül felülete, csak fix megoldások

A Sat Vis fülre kattintva megjelenik az egyes műholdak láthatósága az idő függvényében. A program az észlelt ciklusugrásokat piros kis függőleges vonallal jelzi, a további színek az adott műholdra észlelt frekvenciák számát jelzik (ez egy, kettő vagy három lehet, L1, L1+L2, L1+L2+L5).



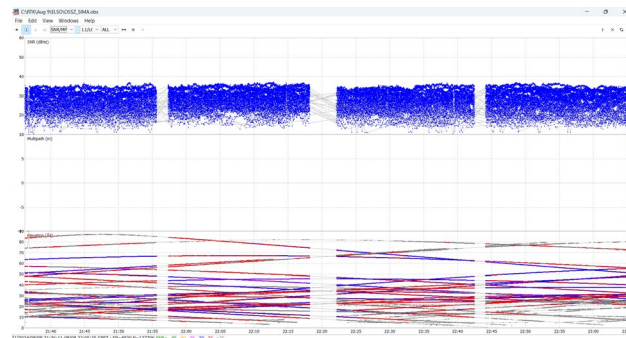
2.17. ábra: A Sat Vis fül felülete

A Skyplot fülre kattintva megjelenik az egyes műholdak helyzete az égbolton a vevőkészülékhez viszonyítva. A ciklusugrásokat a program piros vonallal jelzi.



2.18. ábra: A Skyplot fül felülete

Az SNR/MP/EL fülre kattintva megjelenik a jel/zaj arány. Az okoseszközökkel végzett mérések feldolgozásának alapvető nehézsége, hogy rengeteg a ciklusugrás és a jelek sokkal zajosabbak, mint a professzionális vevőkkel végzett mérések esetében.



2.19. ábra: Az SNR/MP/EL fül felülete

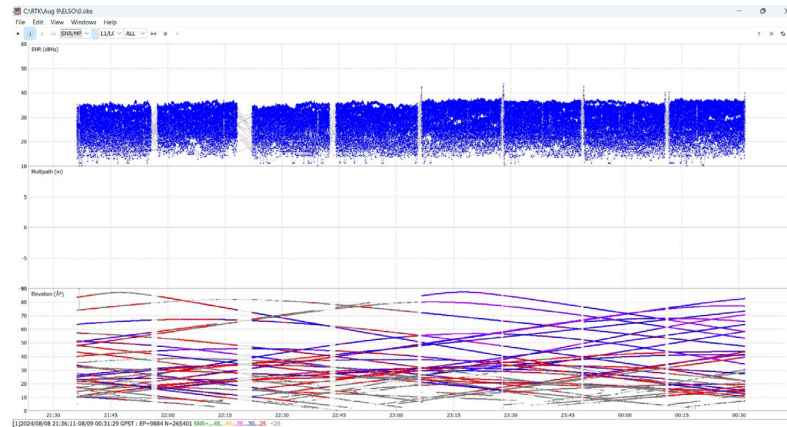
3. Feldolgozási eredmények

A méréssorozat 8 db, egyenként ~20 perces mérésből állt, amelyeket a kissvábhegyi alapponton végeztünk. Ezek feldolgozása az RTKLIB demo5 programmal, az előző fejezetben bemutatott beállításokkal történt. A kapott pozíciós fájlokból a fix megoldással meghatározott pontok koordinátáinak mediánját kiszámítottuk és ennek az eltéréseit vizsgáltuk az ismert helyzetű pont koordinátáitól.

A fájl neve	Mérés kezdete (GPST)	Mérés vége (GPST)	Fix%	dY	dX	dh
ELSO221V.24o	2024.08.08 21:36	2024.08.08 21:55	1,0%	0,136	2,725	1,302
MASO221V.24o	2024.08.08 21:57	2024.08.08 22:18	4,6%	0,326	-0,101	-1,146
HARM221W.24o	2024.08.08 22:22	2024.08.08 22:42	4,5%	0,506	-0,178	-0,291
NEGY221W.24o	2024.08.08 22:44	2024.08.08 23:05	1,5%	-0,178	-1,847	-1,689
FOR1221X.24o	2024.08.08 23:06	2024.08.08 23:27	26,2%	0,039	0,069	-0,189
FOR2221X.24o	2024.08.08 23:28	2024.08.08 23:48	1,1%	0,019	0,537	-0,238
FOR3221X.24o	2024.08.08 23:49	2024.08.09 00:10	7,8%	-0,027	0,284	-0,386
FOR4222A.24o	2024.08.09 00:11	2024.08.09 00:31	27,4%	-0,049	0,051	-0,211
medián				0,029	0,06	-0,265

3.1. táblázat: A 8 mérés során meghatározott koordináták, a fix megoldások aránya és azok eltérései a pont helyzetétől

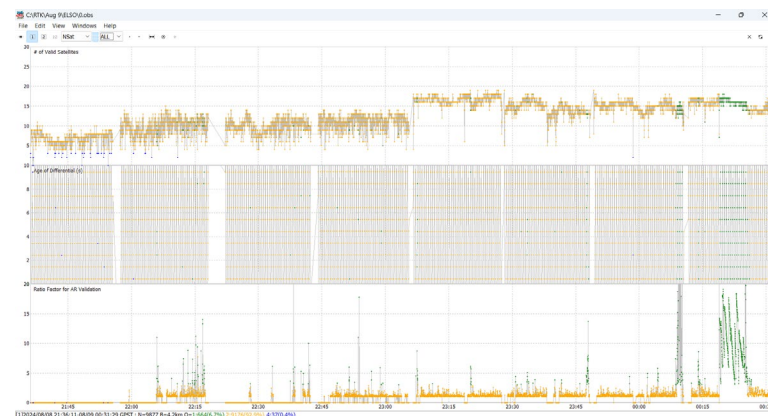
A fix megoldások aránya alacsony, jellemzően néhány százalék. Ez az eredmény lényegesen elmarad a professzionális geodéziai vevőkkel kapott eredményektől. A koordináta hibák értéke vízszintes értelemben +272 és -185 cm közötti, magassági értelemben +130 és -169 cm közötti. A valódi koordináta hibák is elmaradnak a geodéziai vevőktől várható értékektől. Amennyiben a 8 különböző mérés koordinátaiból is mediánt számolunk, akkor a kapott eredmény hibája vízszintes értelemben már csak 6 cm-es lesz.



3.1. ábra: A 8 mérés adatai összefűzve, jel/zaj arány



3.2. ábra: A 8 mérés adatai összefűzve, az egyes műholdak láthatósága. A ciklusugrásokat vastag piros vonal jelzi.



3.3. ábra: A 8 mérés adatai összefűzve, az észlelt műholdak száma

Az eredmények pontatlanságának oka a méréseket terhelő nagyon sok ciklusugrás, a jelvesztések és a fázisméréseket terhelő zaj, amelyek mind a nagyon gyenge antennára vezethetők vissza. Az eredményekből látható, hogy a telefon fejjel lefelé fordított állapotában valamivel javul a jel/zaj arány, több műhold jelét képes venni a készülék, valamint kisebb a helymeghatározás hibája.

Látható, hogy ezzel a módszerrel fél deciméter körüli pontossággal meg tudjuk határozni egy pont helyzetét vízszintes értelemben. magassági értelemben viszont döbb dm-es a hiba. Az általunk bemutatott módszerrel lehetséges deciméter alatti pontossággal a helymeghatározás, ám szemben egy profi GNSS vevővel, ami pár perc alatt képes inicializálni magát, majd onnantól folyamatosan pár cm pontos pozíciót szolgáltatni, okostelefont használva egy pont helyzetének a meghatározásához majdnem három órányi mérésre volt szükség.

4. További fejlesztési irányok

A legtöbb navigációs alkalmazás a GNSS mellett a mobilszolgáltatók adótornyainak jelerősségét is használja a helymeghatározáshoz. Főleg városi környezetben, ahol a műholdak láthatósága korlátozott, viszont sok adótorony található sűrűn elhelyezve, érdemes lehet megvizsgálni ezeknek az adatoknak a kombinálását a PPK módszerrel.

Az adótornyok mellett a telefon beépített IMU szenzorainak használata is segítheti a pontosságot, különösen mozgó mérésnél (pl. autóban). Több szoftver is segíti ezeknek a méréseknek az együttes feldolgozását a GNSS mérésekkel, de sajnos az egyik legismertebb ilyen program gyártója, a Novatel, nem biztosított ingyenes hozzáférést kutatási célra.

A kinematikus mellett ma már elérhető a PPP (Precise Point Positioning) feldolgozási módszer is, amely nem igényli közeli bázisállomás nyers méréseit, helyette nagyobb területen, ritkábban lehelyezkedő bázisállomások méréseiből vezetnek le a műholdak helyzetére, órahibáira, légköri paraméterekre vonatkozó precíz korrekciókat, így a helymeghatározást terhelő hibákat szabatos modellek alapján veszik figyelembe. Ez különösen lakott területekkel, bázisokkal, valamint mobilhálózattal ritkán ellátott területeken fogja segíteni a helymeghatározást. Ilyen például Ausztrália belső területe, ahol gyakran még a mobilhálózat sincs kiépítve. A PPP módszer másik előnye, hogy nem egy-egy országra kiterjedő szolgáltatáson, hanem kontinentális, esetleg globális szolgáltatón alapul. A módszer lehetővé teszi a centiméteres pontosságot, de a kutatások alapján mobiltelefonnal még nem éri el. [13]

A jelen dolgozatban használt Pixel 4 modellnél már újabb, jobb GNSS chippel és antennával felszerelt modellek is elérhetőek a Google, a Samsung és a Xiaomi kínálatában. Érdemes lenne a méréseket ezekkel a modellekkel is megismételni, és vizsgálni az egyes modellek közötti különbségeket.

A módszer gyakorlati használhatóságát a mozgás közben, autóban végzett mérések fogják megmutatni. Bár mi ilyen méréseket nem végeztünk, a Google Smartphone Decimeter Challenge [14] keretében elérhetőek ilyen adatok kaliforniai utcákon egyszerre több telefonnal végzett mérésekből. Remélhetőleg az elkövetkező években a verseny keretében készülnek az egyes modellekre olyan algoritmusok, amik kiszűrik a mozgásból és a szélvédő tükröződéséből eredő hibákat.

Az általunk alkalmazott adatgyűjtési és -feldolgozási mód az átlagemberek számára túl bonyolult. A módszer elterjedtsége növelhető lenne egy Androidos alkalmazás készítésével, ami a mérések után, amint a bázis és navigációs adatok megjelennek, automatikusan letölti őket és elvégzi velük a feldolgozást, majd a végeredmény pontjainak átlagát egy könnyen kezelhető koordináta formájában kiírja. Ezen felül akár valós idejű (RTK) alkalmazás is készíthető lenne némi programozási, Android, API és hardverismerettel. Reméljük, hogy akár későbbi TDK dolgozat keretében ez megszületik.

A mérési adatok és a végeredményként kapott pozíciós fájlok is könnyen elemezhetők, ábrázolhatók lennének a Python ökoszisztémával. Erre jelenleg is elérhető több megoldás. [15] Ezen kívül a Python használatával viszonylag egyszerűen megoldható lenne az, hogy egy mérés kiértékelése többfajta beállítással, más műholdakkal, más feldolgozási módszerrel történjen, a kapott pozíciókból többféle módon szűrjük ki a kiugró értékeket és másfajta módon átlagoljuk a megmaradt pontokat, és ezeket a különböző módokat automatizáltan összehasonlíthassuk.

A mérések pontatlanságát főként az antenna okozza: a képernyő és az akkumulátor adta szűk korlátok miatt ezt általában a telefon keretében helyezik el. Ez minden oldalról fedett, ráadásul felülről egy üveglappal, és a mérete csak a felhasználók számára fontosabb komponensek kárára lenne növelhető, ezért nem is várható, hogy a jövőben növekedni fog. Emiatt érdemes lenne olyan esetekben, amikor fontos lenne a nagyobb pontosság, a telefont egy külső, hordozható antennához csatlakoztatni. Ezek közül több olyan is elérhető, amelyek akár Bluetoothon, vezeték nélkül a telefonhoz kapcsolhatók.

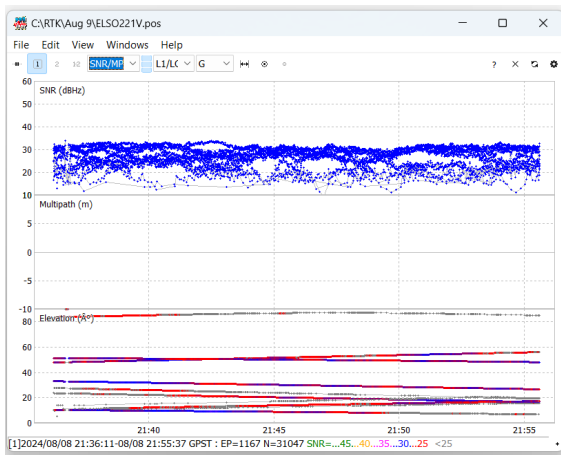
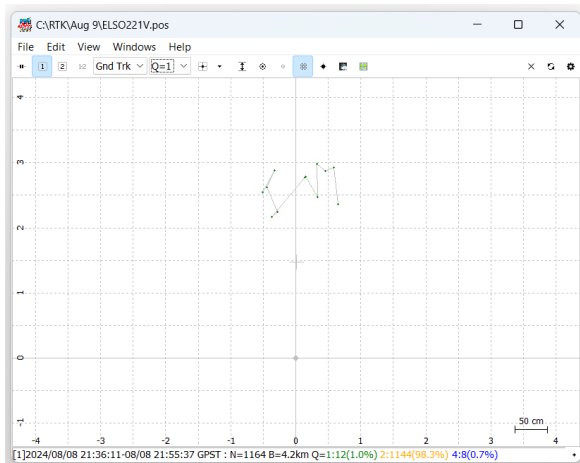
Érdemes lenne többfajta szoftvert és fájlformátumot is kipróbálni, mind a telefonos adatgyűjtésnél, mind a számítógépes utófeldolgozásnál, és az eredmények pontosságát összehasonlítani. Sajnos nem érhető el túl sok nyílt forráskódú, vagy akár csak ingyenesen használható program, amelyek elérhetőek, azok pedig legtöbbször az általunk is használt RTKLIB különböző verziói.

5. Hivatkozások

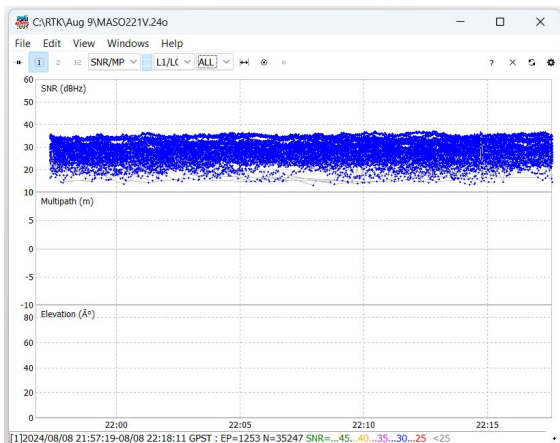
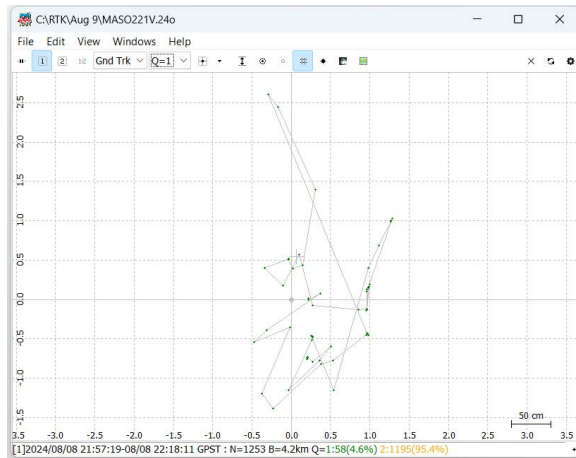
- [1] Pesyna, Kenneth M. Jr.; Heath, Robert W. Jr.; Humphreys, Todd E., „Centimeter Positioning with a Smartphone-Quality GNSS Antenna,” *ION GNSS+ 2014*, pp. 1568-1577, 2014.
- [2] <https://developer.android.com/develop/sensors-and-location/sensors/gnss>.
- [3] Yong, C.Z.; Odolinski, R.; Zaminpardaz, S.; Moore, M.; Rubinov, E.; Er, J.; Denham, M., „Instantaneous, Dual-Frequency, Multi-GNSS Precise RTK Positioning Using Google Pixel 4 and Samsung Galaxy S20 Smartphones for Zero and Short Baselines,” *Sensors*, p. 8318, 2021.
- [4] Stauffer, R.; Hohensinn, R.; Herrera Pinzón, I. D.; Moeller, G.; Pan, Y.; Kłopotek, G.; Soja, B.; Brockmann, E.; Rothacher, M., „Estimation of tropospheric parameters with GNSS smartphones in a differential approach,” *Measurement Science and Technology*, Volume 34, 095126, 2023.
- [5] https://www.epncb.oma.be/_networkdata/stationlist.php.
- [6] EUREF. [Online]. Available: https://www.epncb.oma.be/_networkdata/siteinfo4onestation.php?station=BUTE00HUN.
- [7] https://www.epncb.oma.be/_networkdata/siteinfo4onestation.php?station=BME100HUN.
- [8] https://cdis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/daily_30second_data.html.
- [9] <https://forum.earthdata.nasa.gov/viewtopic.php?t=388>.
- [10] Wübbena, Darugna, Ito, Wübbena., „Geo++'s Experiments on Android GNSS Raw Data,” *GNSS Raw Measurements Taskforce Workshop*, 2018
- [11] Tim Everett, Trey Taylor, Dong-Kyeong Lee, Dennis M. Akos, „Optimizing the Use of RTKLIB for Smartphone-Based GNSS Measurements,” *Sensors*, p. 3825, 2022.
- [12] T.Takasu, „RTKLIB: Open Source Program Package for RTK-GPS,” *FOSS4G*, Tokyo, 2009.
- [13] Laurichesse D., Rouch C., Marmet F.-X., Pascaud M., „Smartphone Applications for Precise Point Positioning,” *ION GNSS+*, pp. 171-187, 2017.
- [14] <https://www.kaggle.com/c/google-smartphone-decimeter-challenge>.
- [15] <https://github.com/johnsonmitchelld/gnss-analysis>.

6. Függelék

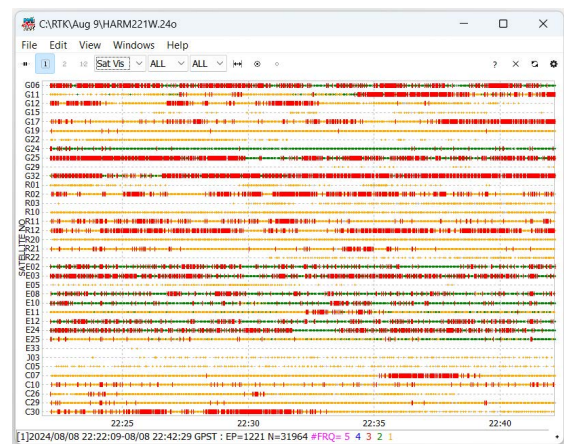
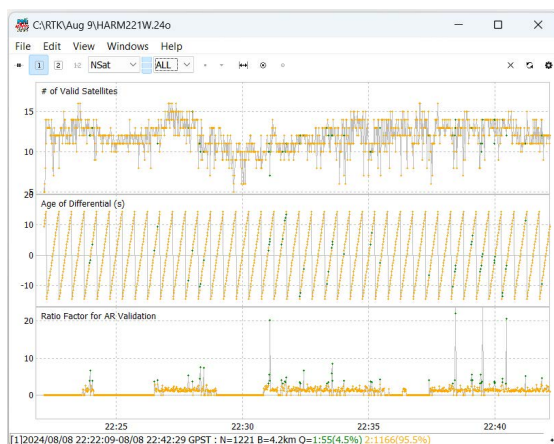
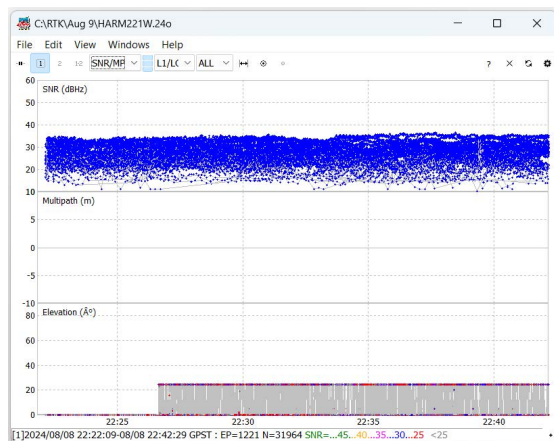
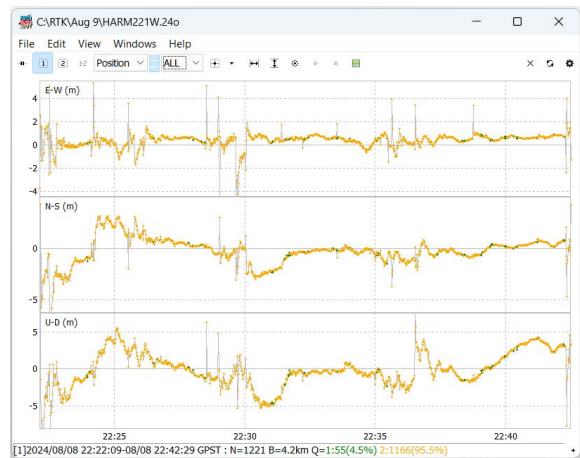
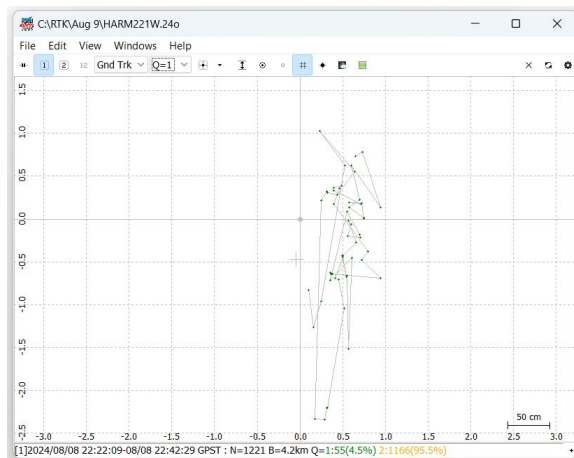
6.1. Az ELSO221V mérés grafikonjai



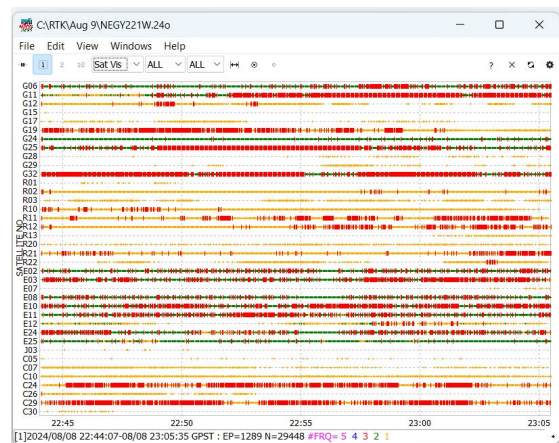
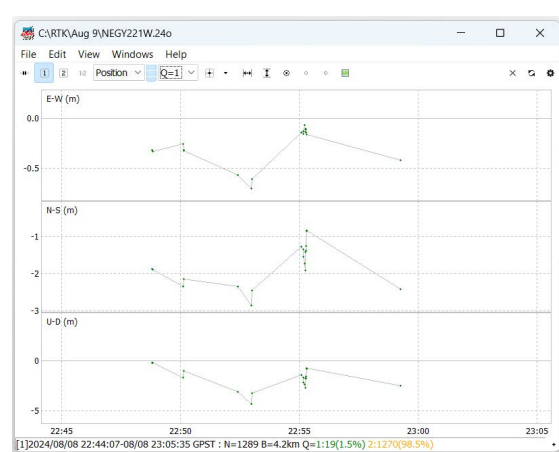
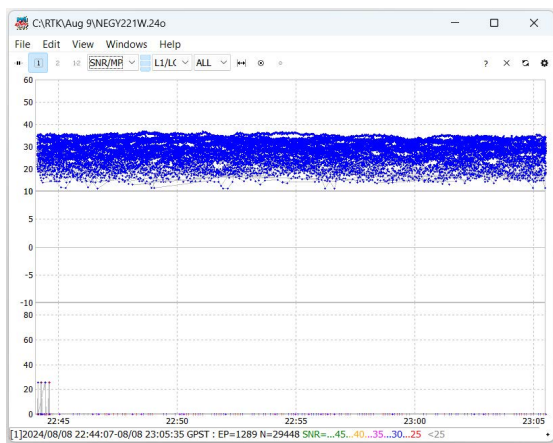
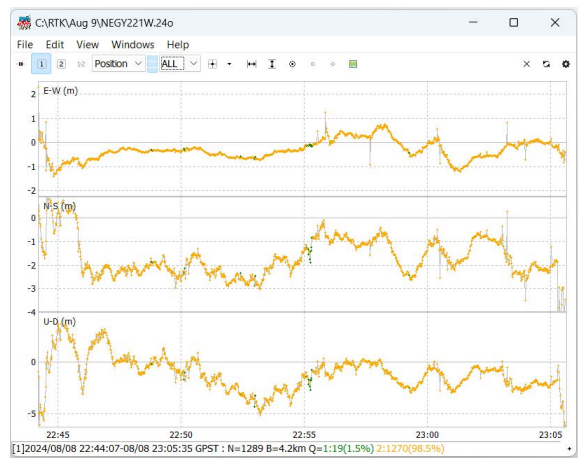
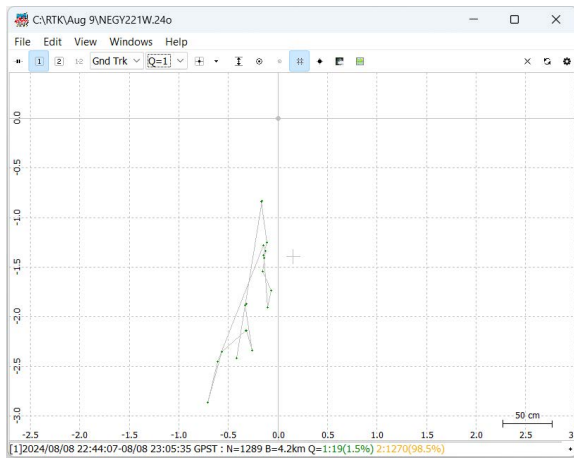
6.2. A MASO221V mérés grafikonjai



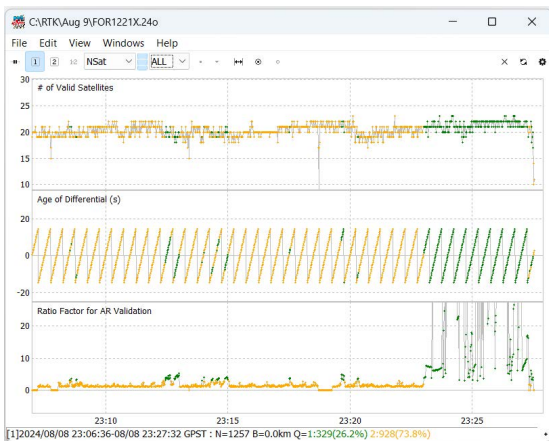
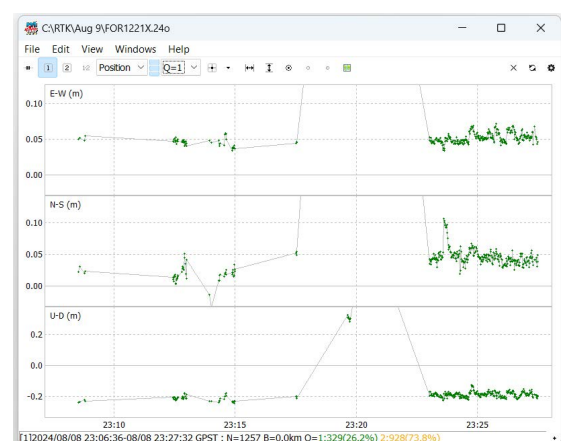
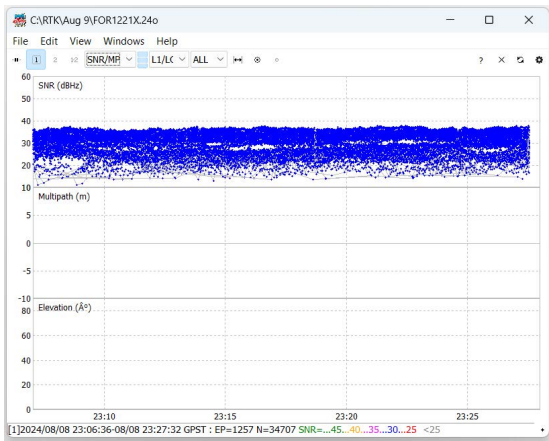
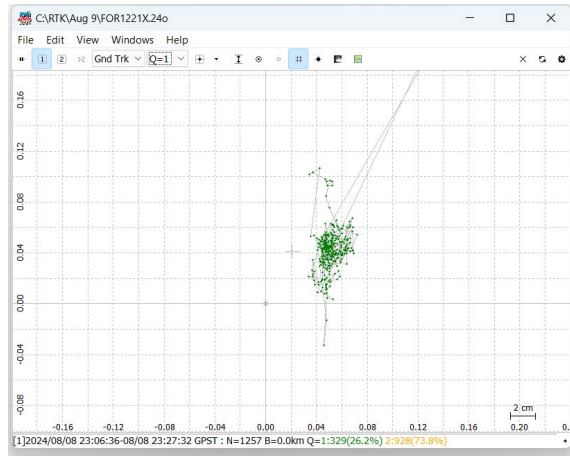
6.3. A HARM221W mérés grafikonjai



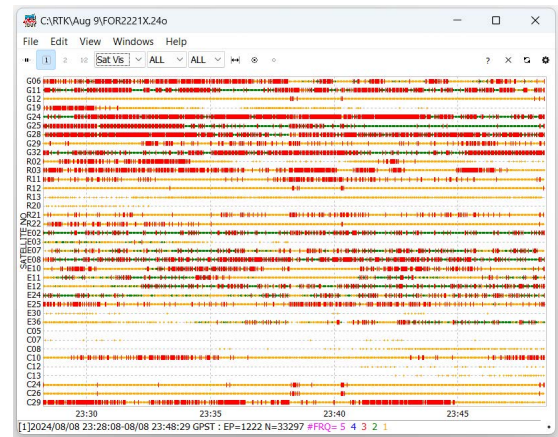
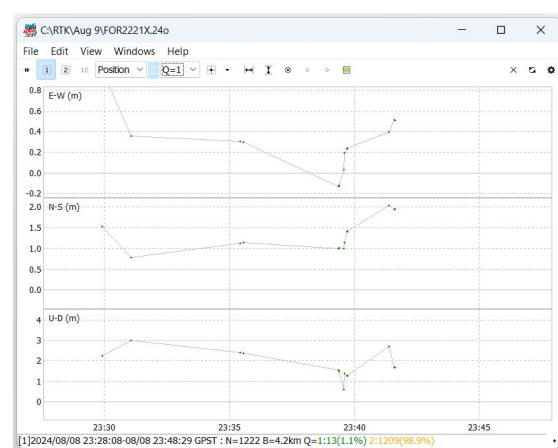
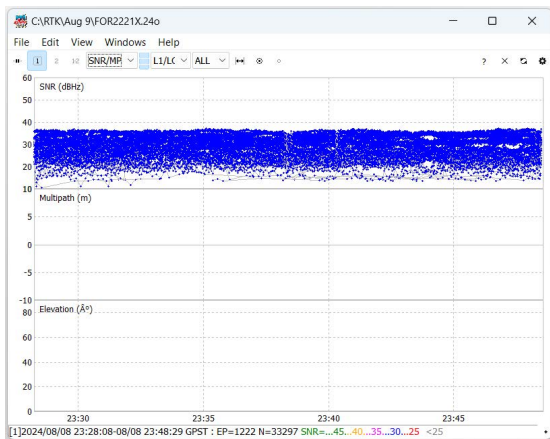
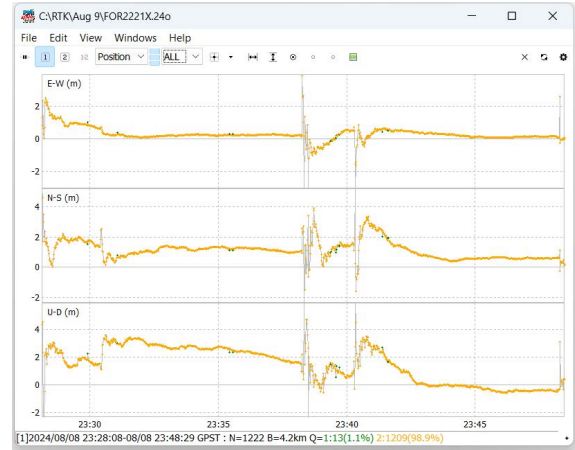
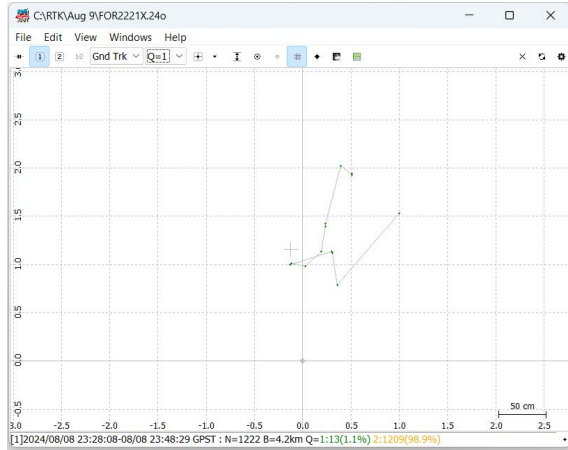
6.4. A NEGY221W mérés grafikonjai



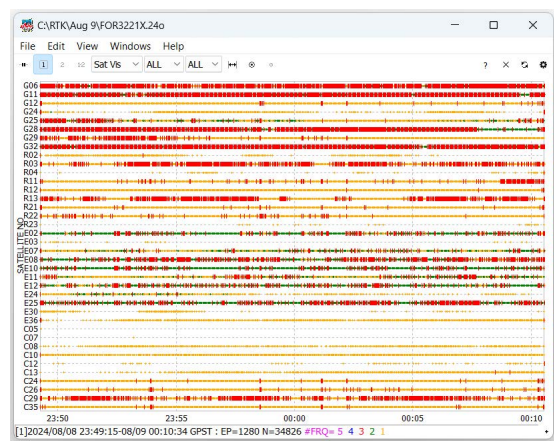
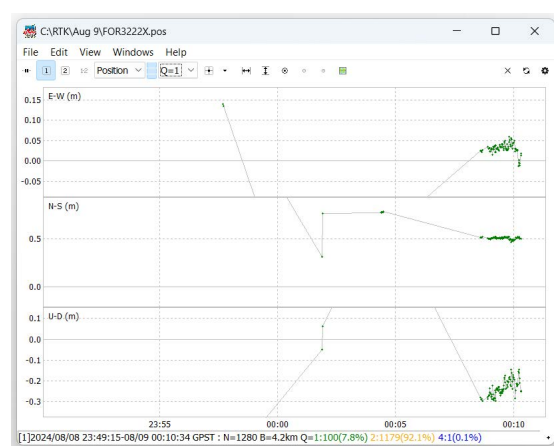
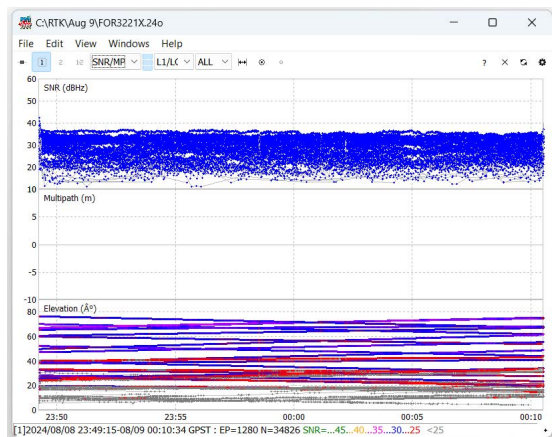
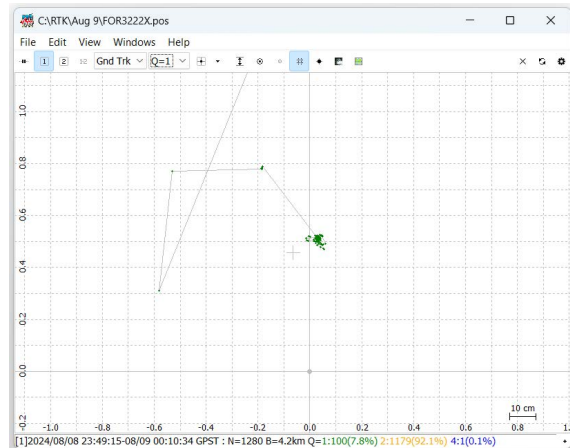
6.5. A FOR1221X mérés grafikonjai



6.6. A FOR2221X mérés grafikonjai



6.7. A FOR3221X mérés grafikonjai



6.8. A FOR4222A mérés grafikonjai

