

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEOMATIKA



DIPLOMOVÁ PRÁCE

TESTOVÁNÍ GNSS MODULU UBLOX 9. GENERACE

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.

Katedra geomatiky

2020

Bc. Jan Šikola

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Škola	Jméno: Jan	Osobní číslo: 458666
Zadávací katedra: k155		
Studijní program: Geodézie a karografie		
Studijní obor: Geomatika		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Testování GNSS modulu Ublox 9 generace		
Název diplomové práce anglicky: Testing GNSS modul Ublox 9 generation		
Pokyny pro vypracování: 1) vytvoření otočné konstrukce pro testování fázového centra antény 2) určení polohy fázového centra antény 3) naprogramování NTRIP klienta na platformě Arduino 4) testování opakované fixní řešení		
Seznam doporučené literatury:		
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.		
Datum zadání diplomové práce: 17. 2. 2020	Termín odevzdání diplomové práce: 17.5.2020 <small>Údaj uveďte v sk</small>	<small>úšného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry	

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá testováním nové generace GNSS modulu od společnosti Sparkfun s čipem u-blox ZED-F9P. GNSS modul byl testován společně s anténou u-blox ANN-MB. Tato GNSS aparatura umožňuje příjem a zpracování signálů L2, které předchozí generace tohoto zařízení neumožňovaly. Zařízení bylo podrobena celkem čtyřem testům, kde byla zkoušena statická metoda i měření v reálném čase. Měření GNSS aparaturou proběhlo pomocí programu U-center. V poslední části práce je popsán postup vytvoření NTRIP Clienta pro přijímání korekcí v reálném čase na platformě Arduino s vývojovou deskou Arduino Due a GMS/GPRS modulem SIM800L.

## KLÍČOVÁ SLOVA

GNSS, RTK, u-blox ZED-F9P, U-center, NTRIP

## ABSTRACT

This master thesis deals with testing a new generation GNSS board from Sparkfun with the u-blox ZED-F9P module. The GNSS board was tested together with the u-blox ANN-MB antenna. This GNSS receiver allows the reception and processing of L2 signals which previous generations of this device did not allow. Four tests were accomplished by this device, where the static method and real-time measurement were tested. The data from measurements by GNSS receiver were recorded by U-center. The last part of this thesis describes the procedure of creating an NTRIP Client for receiving real-time corrections on the Arduino platform with the Arduino Due development board and the GMS / GPRS module SIM800L.

## KEYWORDS

GNSS, RTK, u-blox ZED-F9P, U-center, NTRIP

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autor této diplomové práce, kterou jsem napsal pod vedením Ing. Zdeňka Vyskočila, Ph.D., za použití zdrojů uvedených v seznamu.

V Praze dne.....

.....

Bc. Jan Šíkola

## Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Vyskočilovi, Ph.D., za cenné rady a vstřícnost při zpracování diplomové práce. Poděkování patří taktéž Ing. Davidu Zahradníkovi za cennou asistenci při provádění testů.

# Obsah

Úvod.....	8
1 GNSS.....	9
1.1 GNSS systémy.....	9
1.2 Struktura systému.....	11
2 Signály GPS.....	12
3 Principy určení polohy.....	15
3.1 Kódové měření.....	15
3.2 Fázové měření.....	16
4 Metody určení polohy GNSS.....	17
4.1 Statická metoda.....	17
4.2 Rychlá statická metoda.....	18
4.3 Metoda stop and go.....	18
4.4 Kinematická metoda.....	19
4.5 RTK.....	19
4.6 DGNSS.....	20
5 Přesnost GNSS.....	20
5.1 Ionosférická refrakce.....	20
5.2 Troposférická refrakce.....	20
5.3 Nepřesná znalost dráhy družic.....	21
5.4 Chyba družicových hodin.....	21
5.5 Multipath.....	21
5.6 SA.....	22
5.7 GDOP.....	22
6 Permanentní GNSS sítě.....	23
6.1 Služby permanentních GNSS sítí.....	23
6.2 Referenční sítě na území ČR.....	25
7 Komunikační protokoly.....	26
7.1 RINEX.....	26
7.2 NMEA.....	27

7.3 NTRIP protokol .....	31
7.4 Komunikace NTRIP Client – NTRIP Caster .....	33
7.4.1 Ukázka komunikace NTRIP Client s NTRIP Caster.....	33
8 u-blox .....	35
8.1 u-blox Zed-F9P.....	35
8.2 Anténa u-blox ANN-MB.....	36
8.3 U-center.....	37
9. RTKLIB.....	44
10 Testování fázového centra antény .....	45
11 Testování RTK měření.....	50
12 Testování opakovaného fixního řešení .....	52
13 Testování fixního řešení při pohybu přijímače .....	56
14 Vytvoření NTRIP Clienta .....	60
14.1 Arduino DUE.....	60
14.2 Sim800L.....	60
14.3 Zapojení a konfigurace Sim800L.....	61
14.4 Zapojení GNSS modulu .....	65
15 Závěr.....	67
Seznam zdrojů.....	69
Seznam obrázků.....	72
Seznam tabulek .....	74
Seznam použitých zkratk .....	75
Seznam příloh .....	75
A Elektronická příloha .....	76

# Úvod

Globální družicový polohový systém neboli GNSS (Global Navigation Satellite System) je služba, která umožňuje určit polohu uživatele kdekoliv na světě. K využívání této služby je zapotřebí GNSS přijímač, který přijme a zpracuje rádiové signály vysílané družicemi. Takovýchto přijímačů existuje celá řada a liší se v přesnosti určení polohy nebo pořizovací ceně. Určení polohy může být v řádu několika metrů, ale i několika milimetrů.

Technologie GNSS je stále na vzestupu a je stále více využívána ať už pro odborné účely nebo pro běžné užívání. Existuje velké množství populárních aplikací v chytrých telefonech, které si zakládají na určení polohy telefonu od automobilové navigace až po hraní her.

V této diplomové práci je stručně popsán princip fungování GNSS. Jsou zde vyjmenovány a popsány hlavní GNSS systémy, jejich struktura, princip určování polohy, metody určování polohy, vlivy na přesnost měření a využívané komunikační protokoly.

Dále se tato práce zabývá testováním levné GNSS aparatury. Jsou popsány jednotlivé komponenty, které jsou nezbytné pro určování polohy pomocí GNSS a jejich ovládací softwaru. S touto GNSS aparaturou bylo provedeno i několik testů, které měly odhalit její kvalitu, přesnost určení souřadnic a její porovnání s profesionálními geodetickými GNSS zařízeními. Jako další je zde uveden pokus o vytvoření GNSS aparatury bez potřeby jiných ovládacích softwarů na platformě Arduino.



# 1 GNSS

V dnešní době již satelitní navigace není žádnou novinkou. Vývoj GPS Navstar započal již v roce 1973 a plná operační dostupnost byla v roce 1994. Od té doby přibýly další 3 globální systémy a několik teritoriálních systémů. Díky těmto systémům je možné za pomoci signálů z družic určit polohu s vysokou přesností kdekoliv na světě. GNSS jsou v povědomí veřejnosti zejména v automobilové navigaci, kde běžně dostupné navigační systémy využívají podkladovou digitální mapu a dovedou uživatele bez větších problémů do cíle. Avšak primárně byl tento systém vyvinut pro armádní účely jako je navádění raket, lodí a letadel.

Uplatnění tento systém našel i v geodetických měřeních, kde výrazně mění tvář technické i inženýrské geodézie a pomalu vytlačuje nebo již vytlačil staré zaběhlé geodetické metody určení souřadnic. Tato technologie za dodržení konkrétních podmínek dosahuje přesnosti určení souřadnic v řádu milimetrů.

## 1.1 GNSS systémy

V této kapitole budou popsány hlavní GNSS systémy. Všechny GNSS systémy fungují na stejných základních principech a dále v textu bude pojednáváno pouze o systému GPS.

- **GPS NAVSTAR**

Global Positioning System neboli GPS je globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických. Jeho vývoj byl zahájen v roce 1973. Od roku 1978–1985 bylo započato vypouštění 11 vývojových družic. Z plánovaných 18 družic byl systém rozšířen na 24 družic. Plný operační stav byl dosažen v roce 1995. V plné operační způsobilosti je jeho kosmický segment tvořen minimálně 21 družicemi a třemi záložními družicemi. Dráhy družic jsou blízké kruhovým a mají poloměr přibližně 26 560 km. Družice se pohybují ve výšce 20 200 km nad zemí a oběžná doba družice je 11 h 56 m. Jsou na 6 oběžných drahách, kde se na každé dráze nachází 4 družice. Z každého místa na Zemi je vidět vždy 5–8 družic. Kvůli zemské rotaci družice opisují na zemském povrchu stopu, která se opakuje každých 23 h 56 m. Pozorovatel na zemi bude tedy pozorovat stejnou družici na stejném místě až následujícího dne, ale o 4 minuty dříve [4] [6].

- **GLONASS**

GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema) je globální družicový polohový systém vyvinutý v SSSR a nyní provozovaný ruskou armádou. Vývoj tohoto systému započal v roce 1976 a první testovací družice byla vypuštěna v roce 1982. Plné operační způsobilosti dosáhl až koncem roku 2012. Každá orbitální rovina obsahuje 8 družic. Roviny oběžných drah jsou vzájemně posunuty o  $120^\circ$  podél roviny rovníku a v jedné rovině jsou vzájemně posunuty o  $45^\circ$ . Oběžné dráhy jsou přibližně kruhové a mají poloměr 25 440 km. Družice se pohybují ve výšce 19 100 km nad Zemí a každá družice oběhne Zemi každých 11 h 15m. Stejně jako GPS se konstelace skládá z 24 družic, z nichž je 21 v provozu a 3 jsou záložní. Z každého místa na Zemi je vidět minimálně 5 družic [8].

- **Galileo**

Galileo je globální družicový polohový systém financovaný Evropskou unií ve spolupráci s Evropskou kosmickou agenturou. Byl vyvinut kvůli nezávislosti států Evropské unie na systémech GPS a GLONASS. Narozdíl od již zmíněných systémů se nejedná o armádní systém. Testování systému započalo již v roce 2005, kdy byla vypuštěna první navigační družice pro testování systému. První testovací služby začal systém poskytovat v roce 2016. Na začátku roku 2020 ještě nenastal plný operační režim. Systém má být tvořen 30 družicemi (27 v provozu a 3 záložní). Družice obíhají ve výšce 23 222 km nad povrchem Země. Roviny oběžných drah jsou vzájemně posunuty o  $120^\circ$ . Každá dráha bude mít 9 pozic pro družice a 1 pozici jako zálohu, aby systém mohl být při selhání družice rychle doplněn na plný počet [9].

- **Beidou**

Beidou je globální družicový polohový systém vyvinutý Čínskou lidovou republikou. V 1. generaci byl funkční jen na území Číny, v 2. generaci v asiopacifickém regionu a ve 3. generaci by měl pokrývat celý povrch Země. Plné operační schopnosti by měl dosáhnout v roce 2020. První družice byla na oběžnou dráhu vynesena v roce 2000. Oproti systému GPS, GLONASS a Galileo tento systém využívá geostacionární družice. Tento systém tedy nepotřebuje tolik družic jako ostatní systémy, ale signálem je pokrytá pouze oblast, nad kterou je družice nastalo umístěna [8].

## 1.2 Struktura systému

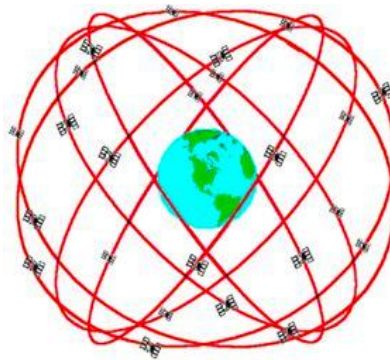
Globální systém určování polohy se skládá ze tří segmentů:

- Kosmického, který je označován jako družicový segment
- Řídícího segmentu
- Uživatelského segmentu

- **Kosmický segment**

Kosmický segment je tvořen umělými družicemi, které obíhají po svých oběžných drahách kolem Země a vysílají rádiové signály směrem k Zemi. Kosmické segmenty jednotlivých satelitních systémů se liší v následujících parametrech:

- v počtu orbitálních rovin
- počtem družic a jejich rozmístění
- výškou a sklonem drah vůči zemi
- typem a vybavením družic



Obrázek 1: schéma oběžných drah družic [4]

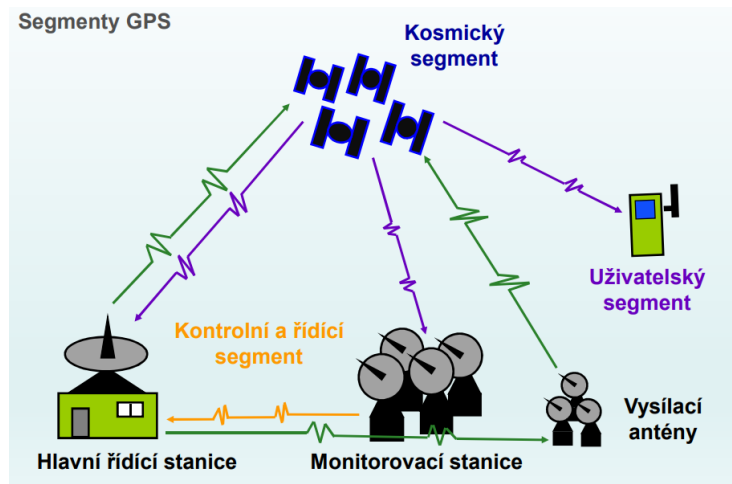
- **Řídící segment**

Operační řídicí segment se skládá z hlavní řídicí stanice, monitorovací stanice a stanice pro komunikaci s družicemi. Mezi hlavní funkce řídicího systému patří sledování družic a určování jejich drah, sledování palubních hodin jednotlivých družic, zajištění jednotného času pro celý systém a vysílání datových zpráv družicím. Stanice shromažďuje data z monitorovacích stanic, určuje parametry drah a ofsety družic vzhledem k systémovému času GPS. Předpovědi parametrů drah a chodu hodin

se předávají pozemním anténám, aby byly vyslány družicím. Každá stanice je vybavena přesným časovým normálem a přijímači, které nepřetržitě měří pseudovzdálenosti ke všem viditelným družicím a předává je s časovými údaji do hlavní řídicí stanice [4].

- **Uživatelský segment**

Uživatelský segment se skládá z jednotlivých GNSS přijímačů, které přijímají signály z družic a díky tomu získávají informace o své poloze a času. Přijímače jsou pasivní. Pouze přijímají signály z družic, ale nic nevysílají. Tento systém vznikl především proto, aby přijímače nemohly být zaměřeny nepřítelem. Provoz přijímače není spojen s žádnými poplatky za využívání služeb. Přijímače nijak s družicemi nekomunikují, tudíž družice mohou obsloužit neomezený počet přijímačů ve stejnou dobu [7].



Obrázek 2: Segmenty GPS [12]

## 2 Signály GPS

Každá družice vysílá radiový signál na několika nosných vlnách. Na tyto nosné vlny se modulují pseudonáhodné kódy a navigační zprávy.

- **nosné vlny**

L1 vlna patří mezi nejstarší signály GPS. Skládá se z C/A kódu a P-kódu. Používá frekvenci 1575,42 MHz. Protože je L1 nejstarší a nejznámější signál, tak ho jsou schopny přijímat i nejlevnější GNSS aparatury. Frekvence L1 vlny je relativně pomalá, proto není příliš efektivní při překonávání překážek.

L2 vlna byla implementována po L1 vlně. Skládá z P-kódu. Používá frekvenci 1227,60 MHz a je tedy rychlejší než L1 vlna. Tím je umožněno signálu lépe cestovat přes překážky jako jsou stromy, budovy a oblačnost. Infrastruktura L2 vlny ještě není zcela hotova, proto tuto vlnu nelze použít samostatně, ale pouze v kombinaci s L1 vlnou.

L5 vlna používá frekvenci 1176 MHz, jedná se tedy o nejrychlejší vlnu, ale její plánované nasazení je až v roce 2021. Měla by se využívat například v letectví. Nakonec se stane dalším signálem pro civilní uživatele.

Existují dva hlavní způsoby využití signálů L1 a L2. Signál L1 může být využit samostatně. To poskytuje přibližně centimetrovou přesnost při použití RTK (Real Time Kinematic), ale dosažení této přesnosti potrvá minimálně 10 minut a přijímač musí mít dobrý výhled na oblohu. Druhou možností je využívat tyto signály dohromady v metodě zvané PPP (Precise Point Positioning). Jak již bylo řečeno, vlna L2 má vyšší frekvenci a cestuje prostředím snadněji, takže chyby způsobené částicemi ve vzduchu lze vypočítat a eliminovat porovnáním těchto dvou signálů. Díky společnému využití signálů je umožněno přijímači pracovat v náročnějších podmínkách jako je v blízkosti budov nebo v okolí stromů. Tato metoda umožňuje rychlejší získání počátečního signálu než u samostatného L1 [1].

- **Pseudonáhodné kódy**

C/A kód je modulován pouze na vlně L1 a není žádným způsobem zašifrován. C/A kód je určen pro hrubé měření. Perioda C/A kódu trvá asi 1 ms a je dlouhá 1023 bitů. Každá družice používá jiný kód, který je vysílán na frekvenci 1,023 MHz.

P-kód je modulován na vlnách L1, L2 a je určen pouze pro autorizované uživatele. Dvě frekvence používané k měření umožňují odstranění ionosférických a troposférických refrakcí, díky čemuž lze zajistit zvláště přesně polohu. Je vytvářen kombinací bitových sekvencí dvou registrů. Délka P-kódu je  $2,3547 \cdot 10^{14}$  bitů a je vysílán na frekvenci 10,23 MHz [10].

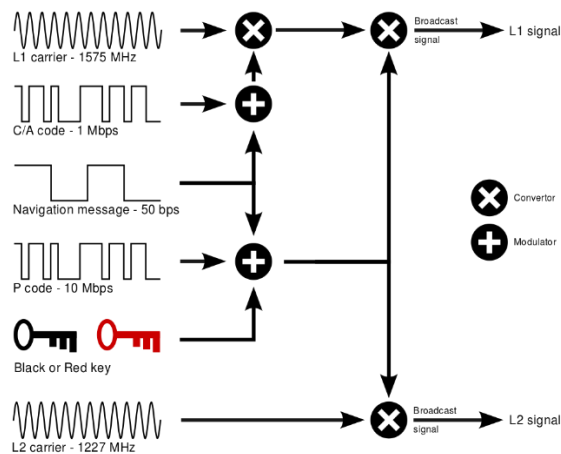
- **Navigační zpráva**

Navigační zpráva je na nosnou vlnu modulována ve formě binárního kódu, kódovaného pomocí fázového posunu nosných vln. V navigační zprávě jsou obsaženy:

- čas vysílání počátku zprávy

- přesné keplerovské efemeridy družice
- korekce hodin družice
- koeficienty ionosférického modelu
- stav družice
- almanach všech aktivních družic

Kompletní navigační zpráva umožňuje stanovit přesný systémový čas GPS i UTC, vypočítat polohu družice a vypočítat korekce ionosférického zpoždění. Stav družice vypovídá o závadách družice a použitelnosti signálů z družic pro výpočet polohy. Efemeridy obsahují data o poloze dané družice. Jsou vytvářeny hlavním řídicím centrem, které je průběžně vypočítává na základě sledování drah družice pozemními stanicemi. Platnost efemerid je maximálně čtyři hodiny. Almanach obsahuje méně přesná data o poloze družic. Aktualizován je jednou za šest dnů. Všechny družice vysílají stejný almanach, který nese data o všech družicích GPS a využívá se k vyhledávání viditelných družic v místě měření [4] [10].



Obrázek 3: Schéma modulace signálu vysílaného družicemi GPS [3]

## 3 Principy určení polohy

GNSS je pasivní dálkoměrný systém. Poloha přijímače je určována pomocí vzdálenosti mezi družicemi a přijímačem. Jsou-li známé souřadnice družic a vzdálenosti mezi přijímačem a družicemi, lze vypočítat polohu přijímače podle:

$$D_k^i = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 + (z_i - z_k)^2}, i = 1, 2, 3, \quad (1)$$

kde  $x_i, y_i, z_i$  jsou známé souřadnice družice, které přijímač vypočetl z Keplerovských parametrů jejich drah. Ty jsou obsaženy v navigační zprávě.  $x_k, y_k, z_k$  jsou určované souřadnice přijímače. Lze tedy řešit tři rovnice pro tři neznámé. Pro výpočet je zapotřebí znalost dat minimálně ze tří družic.

### 3.1 Kódové měření

Kódové měření se používá u většiny levnějších přijímačů. Mezi výhody tohoto měření patří to, že k určení polohy stačí pouze jeden přijímač a poloha se dokáže určit rychleji. Měření je méně náchylné na přerušení signálu než fázové měření. Přesnost této metody je v řádech metrů. Měření vzdálenosti je nahrazeno měřením času od začátku vysílání signálu až po přijetí přijímačem. Z tohoto se tedy vypočte rozdíl času přijatý přijímačem a čtení družicových hodin v okamžiku odeslání. Vzdálenost se vypočte podle:

$$D_k^i = c \cdot (t_k - t^i) = c \cdot \tau_{mi}, \quad (2)$$

kde  $c$  je rychlost světla,  $t_k$  je čtení hodin přijímače v okamžiku přijetí signálu,  $t^i$  je čtení hodin družice v okamžiku odeslání signálu a  $\tau_{mi}$  je měřená doba přenosu signálu. Takto vypočtená vzdálenost je zatížena mnoha chybami a nazývá se pseudovzdáleností. Nejvýraznější chybou je měření času. Družice je vybavena velmi přesnými hodinami, ale přesnost hodin přijímače je mnohem horší a vzniká takzvaná chyba hodin přijímače. Pro určení polohy se tato chyba musí zahrnout do výpočtu a jsou již zapotřebí signály ze 4 družic.

$$\begin{aligned}
c \cdot \tau_{mi} &= \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 + (z_i - z_k)^2} = D_k^i, \\
&= (\tau_{mi} + \delta_k) \cdot c = D_k^i + b, \\
& \quad i = 1, 2, 3, 4,
\end{aligned} \tag{3}$$

kde  $\delta_k$  je chyba hodin přijímače [10].

### 3.2 Fázové měření

Fázová měření se používají pro přesnější měření než kódová a mají přesnost v řádu centimetrů až milimetrů, ale musí být měřeno dvěma přijímači současně. Měření je náchylné na přerušení signálu. Fázové měření vychází z možnosti měřit jednotlivé fáze vln a jejich změny, kde se vzdálenost vypočte podle:

$$D_k^i = \Delta\lambda + N \cdot \lambda, \tag{4}$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka,  $\Delta\lambda$  je fázový posun a  $N$  je počet celých vln. Měření se vyznačuje vysokou přesností a nejednoznačností (ambiguity). Přijímače jsou schopny velmi přesně změřit fázový posun, ale nejednoznačnost spočívá v neznámém počtu vln mezi družicí a přijímačem. Na to se využívá několik matematických metod, které hledají řešení s dostatečnou pravděpodobností nebo se využije přesná informace o poloze z jiného zdroje. Pro přijímač se využijí dostupná kódová měření a je nezbytná průběžná nebo zpětně aplikovaná diference z jiného přijímače, který ve stejnou dobu sleduje stejné družice. Staticky spolehlivé řešení se označuje jako „fixed“, pro nějž je třeba minimálně 5 družic z jednoho GNSS systému nebo 6 ze dvou systémů [10].



## 4 Metody určení polohy GNSS

Určovat polohu pomocí GNSS lze absolutně anebo relativně. Absolutní určování polohy vychází z předpokladu, že jsou známy přesné dráhy družic a přesné korekce hodin družic. Tím je možné dosáhnout přesnosti určení polohy řádově v centimetrech. Pro dosažení takové přesnosti je ale zapotřebí alespoň dvanáctihodinový záznam dat na určovaném bodě. K určení polohy stačí pouze jeden přijímač bez nutnosti referenční stanice. Nevýhoda této metody spočívá tedy v dlouhé observační době a nutnosti čekat na přesné efemeridy, které mohou být k dispozici až s několikadenním odstupem.

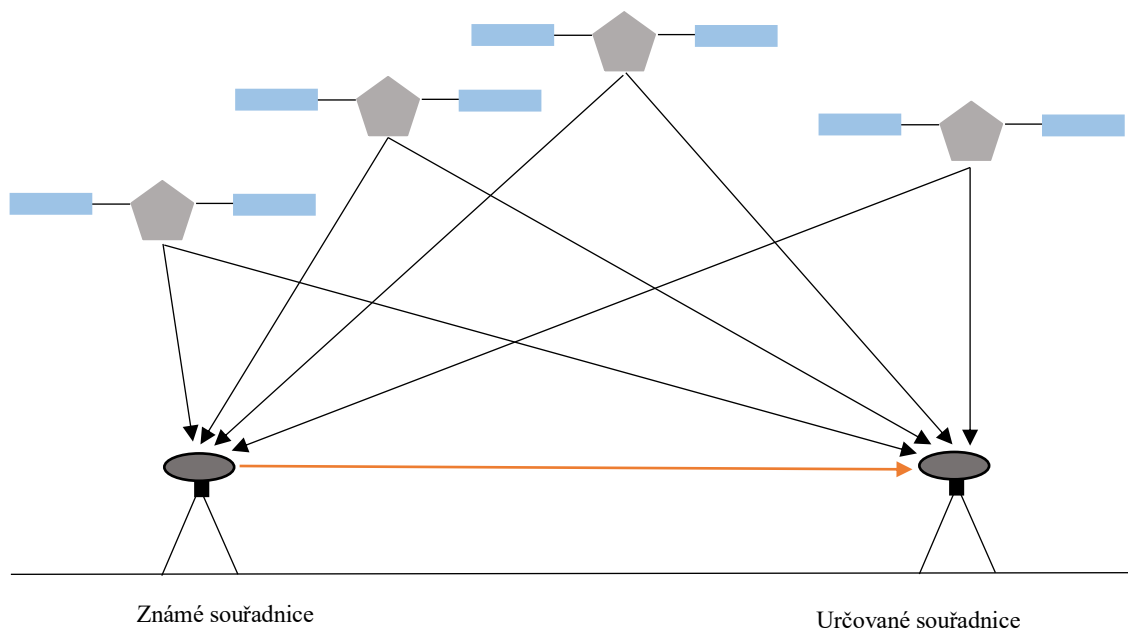
K relativnímu určování polohy je nutné mít současně měřená data na dvou bodech. Měření trvá podstatně kratší dobu, ale je zapotřebí vlastnit dva GNSS přijímače nebo být poblíž permanentní stanice poskytující data. V praxi se vyskytovalo několik metod měření:

- statická metoda
- rychlá statická metoda
- Stop and Go
- Kinematická metoda
- RTK
- DGNS

Většina z těchto metod se v běžné geodetické praxi již stává minulostí, nejčastěji používanou metodou je RTK s použitím korekcí z permanentních stanic.

### 4.1 Statická metoda

Statická metoda spočívá v měření několika GNSS aparatur ve stejnou dobu po dobu několika hodin nebo dnů. Jde o metodu časově nejnáročnější, avšak poskytuje nejpřesnější výsledky. Používá se pro speciální práce vyžadující maximální přesnost jako je budování polohových základů, sledování posunů nebo přetvoření. Výsledky se získávají až po dokončení měření v takzvaném *post-processingu*. Princip metody je zobrazen na obr. 4.



Obrázek 4: Princip statické metody

## 4.2 Rychlá statická metoda

Je obdobou statické metody, avšak doba observace je zkrácena na 10-30 minut. Doba měření je dána minimální nutnou dobou k bezpečnému vyřešení ambiguit, ale závisí také na typu přijímače, vzdálenosti mezi přijímači a konfiguraci družic. Přesnosti tato metoda dosahuje až v řádech centimetrů i z velmi krátkých observačních intervalů. Rychlá statická metoda patřila mezi nejrozšířenější metody měření GNSS do nástupu RTK. Použití je pro zhušťování základních i podrobných bodových polí a budování prostorových sítí nižších přesností.

## 4.3 Metoda stop and go

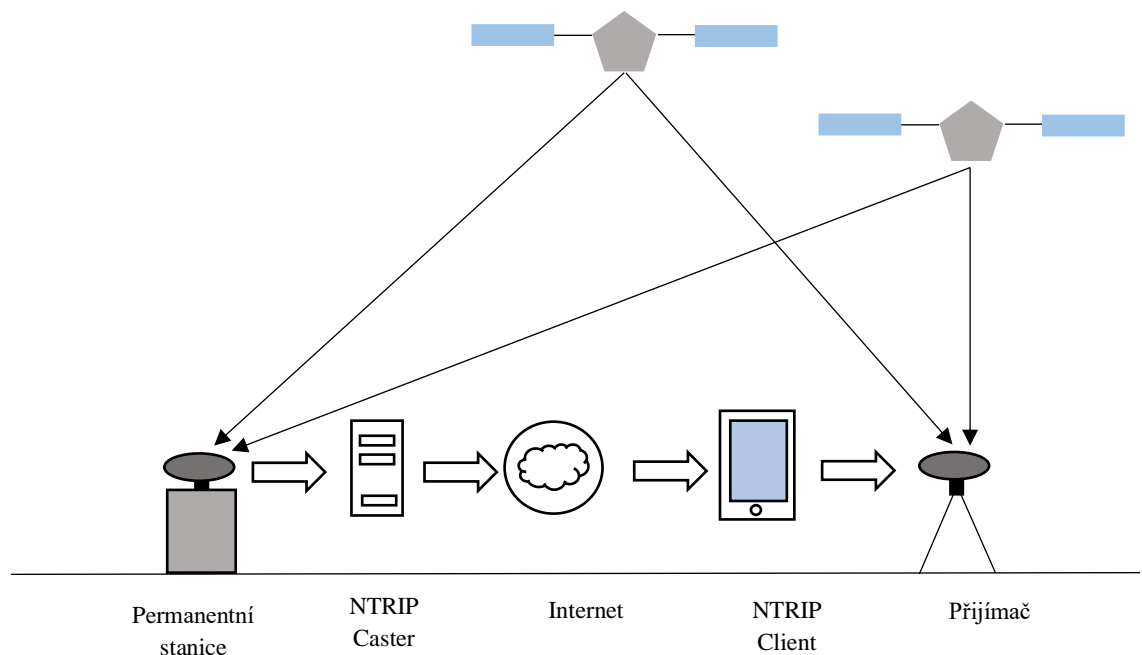
Metoda je obdobná rychlé statické metodě, přijímač však nepřestává měřit ani při přesunu mezi podrobnými body. Na prvním bodě je nutné setrvat déle, aby byly bezpečně vyřešeny ambiguita. To trvá řádově desítky minut v závislosti na typu přístroje. Na dalších navazujících bodech je možné měření zkrátit na několik sekund. Po přesunu mezi podrobnými body nesmí být přerušen signál. Při ztrátě signálu tato metoda přechází na rychlou statickou metodu. Metoda je tedy vhodná pro rychlé měření bodů v terénu bez překážek pro signál.

## 4.4 Kinematická metoda

Metoda se dělí na dvě technologie měření. Kinematická metoda s inicializací je podobná metodě stop and go. Počáteční inicializace proběhne stejně jako u stop and go. Poté se jeden z přijímačů dá do pohybu a provádí měření v krátkém časovém kroku například jedné sekundy. Pohybující se přijímač nesmí během měření ztratit signál. Pokud se tak stane, je zapotřebí celé měření opakovat. Nutnost opakované inicializace se pokouší odstranit kinematická metoda bez inicializace. Metody vychází z předpokladu, že ambiguity je možno určit na základě přesných kódových měření i při pohybu přijímače.

## 4.5 RTK

RTK je kinematická metoda v reálném čase. V současné době nejrozšířenější metoda. Tato metoda poskytuje určování polohy v reálném čase za použití pouze jednoho přijímače. Podmínkou je ovšem přijímat korekce od některé z referenčních stanic. Dříve se korekce přenášely radio-modemem. V současnosti se používá komunikace přes internet protokolem NTRIP. Pro aplikaci metody je také zapotřebí dražší přijímač než u předchozích metod pro *post-processingové* měření a je nutný výkonný hardware pro výpočet ambiguity v reálném čase. Princip RTK je znázorněn na obr. 5.



Obrázek 5: Princip metody RTK

## 4.6 DGNSS

DGNSS neboli diferenční GNSS je jednou z možností, jak zlepšit přesnost kódového měření. Na bodě o známých souřadnicích stojí jeden GNSS přijímač a přijímá data od družic. Protože je známá jeho poloha, je tato stanice schopna vypočítat správnou délku k družici. Rozdíl měřené a vypočtené vzdálenosti je v podstatě vliv atmosféry na měřenou vzdálenost. Tyto hodnoty předá dalším přijímačům, jenž určují svoji polohu a mohou měřenou délku o tuto hodnotu opravit. Pomocí DGNSS lze u kódového měření dosáhnout až decimetrové přesnosti v určení polohy. Čím dále jsou přijímače od sebe, tím přesnost klesá.

# 5 Přesnost GNSS

Náhodné chyby systému GPS jsou složené z chyby měření vzdálenosti a geometrické odchylky od přesnosti. Nosná vlna vyslaná družicí k přijímači prostupuje atmosférou, která ovlivňuje rychlost šíření vln a tím i dobu, za kterou dorazí k přijímači. Atmosféra se z hlediska šíření signálu dělí na ionosféru a troposféru. Každá část atmosféry ovlivňuje signál vyslaný družicí jiným způsobem.

## 5.1 Ionosférická refrakce

Ionosféra je část atmosféry ve výšce 50–1000 km nad zemským povrchem a obsahuje volné elektrony. V této části atmosféry rychlost vlny závisí na frekvenci signálu a na počtu volných elektronů. Ionosférická refrakce je závislá na elevaci, na denní době a na ročním období. Minimálních hodnot nabývá při elevaci  $90^\circ$  neboli v nadhlavníku. Maximálních hodnot kolem čtrnácté hodiny místního času a na podzim. Ionosférické zpoždění tedy závisí na sluneční aktivitě. Při kódovém měření přijímač naměří vlivem ionosféry delší vzdálenost, v případě fázové měření naměří kratší vzdálenost.

## 5.2 Troposférická refrakce

Troposféra je nejnižší část atmosféry, která je na rovníku kolem 17 km a na pólech 8 km nad zemským povrchem. Tato část atmosféry způsobuje stejnou chybu pro kódové i fázové měření. Její vliv se eliminuje diferencováním nebo se vliv troposféry zavádí jako další neznámá. Troposférická refrakce je závislá na vzdálenosti, kterou signál

v troposféře urazí, je tedy opět závislá na elevačním úhlu, ale i na nadmořské výšce přijímače.

### 5.3 Nepřesná znalost dráhy družic

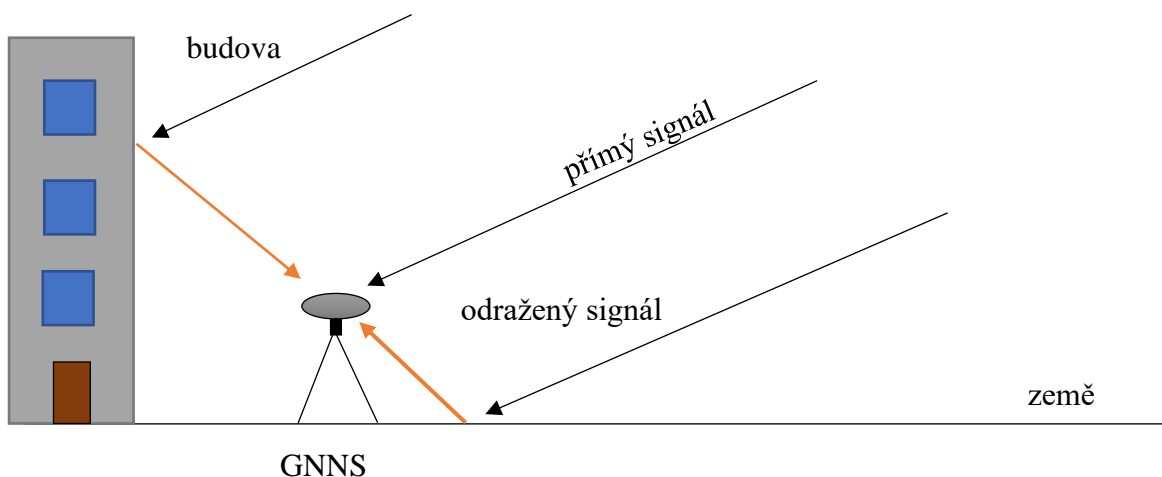
Efemeridy obsažené v navigační zprávě předpovídají dráhu pro několik nejbližších hodin. Poskytují přijímači nepřesnou polohu družice v reálném čase. Tato chyba se dá vyloučit ve zpětném zpracování, protože zpřesněné dráhy družic jsou se zpožděním umisťovány na internet. Tyto zpřesněné efemeridy mají však význam až pro velmi přesná geodetická měření.

### 5.4 Chyba družicových hodin

Na družicích jsou umístěny velmi přesné atomové hodiny. Chyba vznikající je tedy daleko menší než chyba hodin přijímače. V navigační zprávě jsou k dispozici parametry pro výpočet aktuální velikosti této chyby a dá se z měření tedy úplně odstranit.

### 5.5 Multipath

Multipath neboli vícecestné šíření signálu vzniká v důsledku odrazu signálu od různých ploch v blízkosti přijímače. Geodetické přístroje používají anténu s tlumícím prstencem, který zmírňuje účinky odrazu pod úrovní antény. Odražený signál nad úrovní antény ale utlumen není. Proto není vhodné měřit poblíž vysokých budov, stromů a dalších. Příklad multipathu je zobrazen na obr. 6.



Obrázek 6: Multipath

## 5.6 SA

SA (Selective Availability) byla chyba spočívající v záměrné změně vysílaných údajů družicových hodin a efemerid v navigační zprávě. Tím došlo ke zhoršení přesnosti měřené vzdálenosti. Režim SA byl zaveden v roce 1990 kvůli obavě ze zneužití systému GPS nepřítelům a ukončen v roce 2000.

## 5.7 GDOP

GDOP (Geometrical Dilution of Precision) je ukazatel kvality geometrického uspořádání družic vzhledem k přijímači v okamžiku měření. Čím více je viditelných družic, které jsou od sebe nejvíce vzdáleny, tím menší je hodnota GDOP a je vyšší kvalita měření. GDOP je bezrozměrné číslo a minimální dosažitelná hodnota je 1. GDOP se vypočte podle:

$$GDOP = \frac{1}{\sigma_0} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2}, \quad (5)$$

kde  $\sigma_0$  je jednotková směrodatná odchylka,  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_t$  jsou směrodatné odchylky jednotlivých neznámých.

Sledování velikosti GDOP mělo význam především v době, kdy ještě na oběžné dráze Země nebylo dostatek družic a bylo nutné plánovat časy observací [10].

## 6 Permanentní GNSS síť

Pro běžného uživatele GNSS přijímače bývá dostačující metrová přesnost určení polohy, kterou zajistí jednofrekvenční přijímač. Pokud je v reálném čase vyžadována vyšší přesnost, je zapotřebí použít dva přijímače a některou z diferenciálních metod určení polohy. Z tohoto důvodu se všude po světě začaly budovat permanentní GNSS síť, které svým uživatelům zasílají korekční data a uživateli postačí pouze jeden přijímač.

Permanentní síť obsahuje jednotlivé GNSS stanice, které neustále přijímají signály od družic. Jednotlivé stanice spravuje řídicí středisko a umožňuje uživateli přístup k datům. Přínos permanentních GNSS sítí je tedy nejvíce ekonomický, protože dokáží poskytnout homogenní výsledky ve velmi krátkém čase. GNSS síť umožňuje určit polohu s centimetrovou přesností v řádu několika sekund [2].

### 6.1 Služby permanentních GNSS sítí

Permanentní GNSS síť mají po určitém území (v rámci republiky) rozmístěné referenční stanice. Jejich hustota je závislá na službě jednotlivé sítě. Stanice jsou připojené k internetu a komunikují s operačním centrem. V operačním centru běží na serveru hlavní prvky sítě, které poskytují služby klientům. Permanentní síť poskytuje zpravidla následující služby pro *post-processing*:

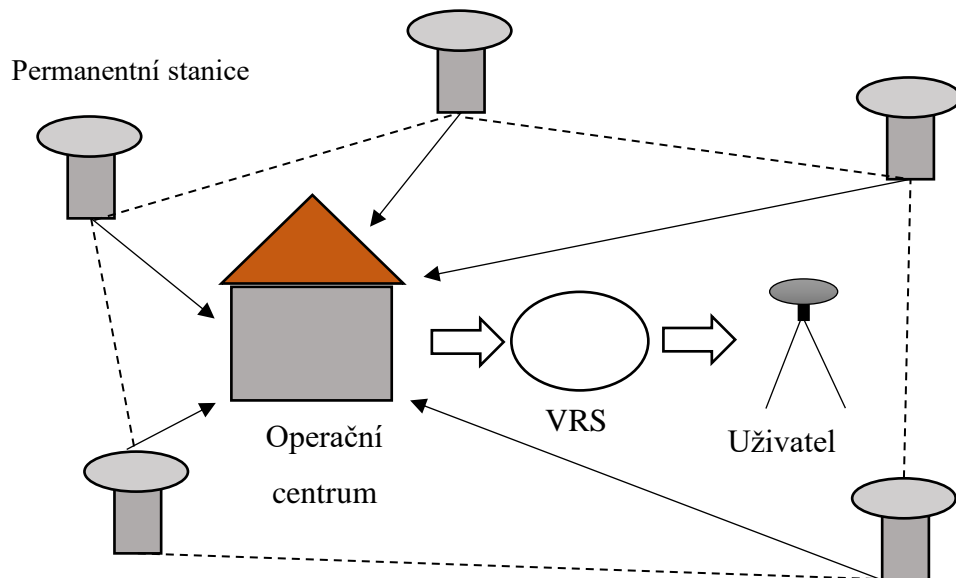
- RINEX
- RINEX virtuální stanice

Pro měření v reálném čase:

- RTCM 2.3
- RTCM 3.0
- RTCM 3.1
- VRS
- Plošné korekce
- DGNSS korekce

Některé sítě umožňují kromě RTK korekcí zasílat i difference korekcí z dalších stanic nebo mohou být korekce již opraveny o tyto difference. Sítě mohou poskytovat buď korekce z vybrané permanentní stanice nebo stanice mohou být automaticky přiřazovány. Pro automatické přiřazení musí GNSS přijímač odeslat do sítě zprávu o své poloze – GGA zprávu podle standartu NMEA.

Služba VRS (virtuální referenční stanice) a plošné korekce jsou síťové služby. Přijímač musí opět odeslat do sítě informaci o své poloze. Virtuální referenční stanice je stanice modelována poblíž přijímače, k níž jsou přepočteny korekce z okolních stanic opravené o síťové řešení všech stanic sítě. Princip fungování VRS je graficky znázorněn na obr. 7.



Obrázek 7: VRS

Žádná z permanentní GNSS sítě nedokáže z měření zcela odstranit všechny negativně působící vlivy, které vyplívají z konfigurace systému a obecně platných jevů fyzikální povahy působících na vlnění. Proto je vhodné vždy výsledky měření kontrolovat vhodným měřickým postupem, jinou měřickou metodou nebo při jiné konstelaci satelitů, tedy s časovým odstupem od prvního měření [2].



## 6.2 Referenční síť na území ČR

Na území České republiky se můžeme v současné době setkat s komerčními nebo vědeckými sítěmi. Účel vědeckých sítí je plnění specifických výzkumných úkolů. Komerční síť slouží pro poskytování korekčních dat uživatelům.

- **Trimble VRS Now Czech**

Trimble VRS Now je síť provozována firmou Trimble. V České republice je rozmístěno 29 referenčních stanic. Do řešení je zapojeno i 10 stanic z německé a rakouské sítě. Tato síť poskytuje korekce všem GNSS přijímačům jakýchkoliv značek. Přijímače sítě přijímají všechny GNSS systémy na L1 a L2 vlnách [27].

- **CZEPOS**

CZEPOS (Czech positioning systém) je první celoplošnou sítí referenčních stanic na území České republiky. Síť provozuje a spravuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky. CZEPOS obsahuje 27 permanentních stanic rovnoměrně rozmístěných. Přijímače sítě přijímají všechny GNSS systémy na L1 a L2 vlnách [28].

- **by/S@t**

by/S@t je síť permanentních referenčních stanic společnosti by/S@t group a.s. Je tvořena čtyřmi stanicemi v okolí Prahy [2].

- **GEONAS**

GEONAS je síť permanentních referenčních stanic provozována Ústavem struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky. Byla vytvořena kvůli sledování geodynamických procesů a tvoří ji 20 referenčních stanic. Stanice přijímají signály od satelitních systémů GPS a GLONASS [2].

- **TopNET**

TopNET je síť permanentních referenčních stanic provozována firmou Geodis Brno. Poskytuje data z navigačních systémů GPS a GLONASS a obsahuje 32 referenčních stanic [2].

## 7 Komunikační protokoly

K přijímání dat v oblasti GNSS se vyskytují protokoly NMEA, RTCM, NTRIP a RINEX. Tyto protokoly mají pevnou strukturu pro všechny výrobce, což umožňuje bezproblémovou komunikaci mezi všemi zařízeními.

### 7.1 RINEX

RINEX je nezávislý výměnný formát pro GNSS měření, který je podporovaný většinou geodetických GNSS přijímačů. Vznikl v roce 1989 a rozlišují se 3 typy RINEX souborů:

- **Observační:** C/A kód, P nebo Y kód, L1 a L2 nebo čas, fáze a rozsah
- **Navigační:** Epoque, informace o satelitních hodinách
- **Meteorologický:** tlak, teplota, relativní vlhkost

Každý typ souboru obsahuje hlavičku a tělo. Hlavička obsahuje globální informace o celém souboru a je umístěna na začátku souboru. Následuje tělo souboru, kde se nacházejí samotné observace v určitém pravidelném intervalu. Data jsou zapisována pomocí ASCII znaků a na každém řádku může být maximálně 80 znaků. Formátování souboru je přesně definované, což umožňuje dobrou čitelnost a pevnou strukturu dat [28]. V současnosti existuje několik verzí formátu RINEX, které jsou uvedeny v tab. 1. Na obr. 8 je ukázka observačního RINEXU, který byl pořízen GNSS modulem u-blox.

Tabulka 1: Verze formátu RINEX [20]

Verze	Popis
RINEX 2.10	GPS a GLONASS
RINEX 2.11	GPS a GLONASS, podpora GPS C2, L2/L5 signálů a Galilea
RINEX 3.01	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS a SBAS
RINEX 3.01	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS a SBAS – změna struktury hlavičky pro GLONASS měření
RINEX 3.03	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS a IRNSS

```

3.03      OBSERVATION DATA      M: Mixed      RINEX VERSION / TYPE
RTKCONV demo5 b33c              20200521 143506 UTC PGM / RUN BY / DATE
log: D:\sko1a\DP\mereni\neotaceni24h\24h_2.ubx COMMENT
format: u-blox                  COMMENT
                                MARKER NAME
                                MARKER NUMBER
                                MARKER TYPE
                                OBSERVER / AGENCY
                                REC # / TYPE / VERS
                                ANT # / TYPE
                                APPROX POSITION XYZ
                                ANTENNA: DELTA H/E/N
                                SYS / # / OBS TYPES
                                SYS / # / OBS TYPES
                                SYS / # / OBS TYPES
                                SYS / # / OBS TYPES
                                SYS / # / OBS TYPES
                                TIME OF FIRST OBS
                                TIME OF LAST OBS
                                SYS / PHASE SHIFT
                                SYS / PHASE SHIFT
                                SYS / PHASE SHIFT
                                SYS / PHASE SHIFT
                                GLONASS SLOT / FRQ #
                                GLONASS COD/PHS/BIS
                                END OF HEADER

3970630.8930 1018587.7790 4870442.2820
0.0000 0.0000 0.0000
G 12 C1C L1C D1C S1C C2L L2L D2L S2L C2S L2S D2S S2S
R 8 C1C L1C D1C S1C C2C L2C D2C S2C
E 12 C1C L1C D1C S1C C1X L1X D1X S1X C7Q L7Q D7Q S7Q
C 8 C2I L2I D2I S2I C7I L7I D7I S7I
2020 4 21 8 18 19.9960000 GPS
2020 4 21 9 18 19.9970000 GPS
G
R
E
C
0
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000

> 2020 4 21 8 18 19.9960000 0 36
G 1 23832940.763 1 125242937.219 2 -933.237 39.000 23832931.494 8 9 -727.660 25.000
G10 22780547.550 1 119712587.996 2 -842.560 38.000 22780544.873 1 93282510.476 1 -656.555 44.000
G12 21315056.811 1 112011374.890 1 2620.912 45.000 21315051.283 1 87281590.061 2 2042.193 38.000
G13 21648321.816 1 113762693.161 1 -4197.056 42.000
G15 20511324.579 1 107787731.663 1 -3369.173 49.000 20511318.924 1 83990433.873 1 -2625.234 45.000
G17 20796458.000 1 109786173.776 1 -1055.200 45.000 20796452.305 1 85157900.004 3 -821.888 37.000

```

Obrázek 8: Ukázka observačního RINEXU z měření GNSS modulem u-blox

## 7.2 NMEA

NMEA je standard, který byl původně určen pro automatizovaný přenos dat mezi elektronickými zařízeními používanými pro lodní dopravu. V současnosti je hlavní využití pro přenos dat mezi GNSS systémy a přijímačem, který jejich signály využívá [29].

Navzájem spolu vždy komunikuje pouze jeden mluvčí a jeden nebo více posluchačů. Veškerá data jsou posílána ve formě vět, kde jsou povoleny pouze ASCII znaky a znaky

pro konce řádku. Každá věta začíná znakem \$ a končí sekvencí <CR><LF>. Obecný formát vět ze strany mluvčího je:

$$\$ttsss,d1,d2,\dots<CR><LF>$$

kde první dvě písmena (*tt*) představují identifikátor mluvčího. Může to být například GP – Global positioning systém, GL – GLONASS a podobně. Další tři písmena (*sss*) jsou identifikátory vět. Následují datové položky oddělené čárkami a věta je ukončena <CR><LF>. Význam jednotlivých datových položek je jednoznačně definován pro každý typ konkrétní věty. Pokud není datová položka k dispozici, zůstanou datové pole prázdné. Existuje velké množství různých vět, ale řada GNSS přijímačů používá pouze čtyři, které jsou popsány v následujícím textu [18].

- GSA

GSA uvádí identifikační čísla satelitů, které se využívají k výpočtu polohy přijímače a parametru přesnosti DOP (Dilution Of Precision). Příklad GSA zprávy:

$$\$GNGSA,A,3,78,87,76,86,77,67,68,69,\dots,1.02,0.51,1.21*0A$$

Tabulka 2: Popis GSA zprávy

#	Formát	Příklad	Komentář
1	c	A	Přepínání mezi N-rozměrnými módy (A-automatické, M-manuální)
2	d	3	Počet dimenzí N(2=2D, 3=3D)
3-14	dd	78,...,69,...N.A	ID satelitů použitelných pro výpočet
15	d.dd	1.02	PDOP (Position Dilution Of Precision)
16	d.dd	0.51	HDOP (Horizontal Dilution Of Precision)
17	d.dd	1.21	VDOP (Vertical Dilution Of Precision)
18	*xx	*0A	Kontrolní součet

- RMC

RMC je minimální doporučená informace pro navigaci. Příklad RMC zprávy:

*\$GNRMC,091443.00,A,5006.2344440,N,01423.2714231,E,0.008,,220420,,,A,V\*17*

Tabulka 3: Popis RMC zprávy

#	Formát	Příklad	Komentář
1	hhmmss.ss	091443.00	Čas UTC
2	c	A	Status (A – OK, V – varování)
3	ddmm.mmmm	5006.2344440	Zeměpisná šířka
4	c	N	Indikátor sever/jih (N-sever, S-jih)
5	ddmm.mmmm	01423.2714231	Zeměpisná délka
6	c	E	Indikátor východ/západ (E-východ, W-západ)
7	d.d	0.008	Vodorovná rychlost v uzlech
8	d.d	N.A	Kurz pohybu ve stupních
9	ddmmyy	220420	Datum (22.4.2020)
10	d.d	N.A	Magnetická deklinace ve stupních
11	I	A	Indikátor módu (A-autonomní, D-diferenční, E-odhadový, N-neplatná data)
12	*xx	*17	Kontrolní součet

- GSV

GSV zprávy jsou informace o družicích. Množství údajů závisí na počtu viditelných družic. Jedna věta může obsahovat nanejvýš 80 znaků, což stačí pro uložení dat týkajících se nejvýše čtyř družic. Proto je informace rozdělena do několika dílčích vět. Příklad GSV zprávy:

*\$GPGSV,4,1,13,02,04,135,39,06,11,108,35,10,09,280,41,12,57,250,37,1\*64*

*\$GPGSV,4,2,13,13,03,162,39,14,01,328,30,15,20,186,46,17,31,049,45,1\*63*

*\$GPGSV,4,3,13,19,47,071,44,24,86,183,47,25,24,251,,28,02,064,31,1\*62*

*\$GPGSV,4,4,13,32,20,318,44,1\*5F*

Tabulka 4: Popis GSV zprávy

#	Formát	Příklad	Komentář
1	d	4	Celkový počet vět
2	d	1	Aktuální zpráva
3	dd	13	Počet viditelných družic
4	dd	02	Identifikační číslo družice
5	dd	04	Elevační úhel satelitu nad horizontem ve stupních
6	ddd	135	Azimut, kde se daná družice nachází ve stupních
7	dd	39	Odstup signálu od šumu (Je-li roven nule, nelze využít družici k výpočtu)
...	...	....	Podle počtu viditelných družic následují další čtveřice údajů
n	*xx	*64	Kontrolní součet

Popis GSV zprávy v tab. 4 se vztahuje pouze k první části uvedené zprávy.

- GGA

GGA zpráva obsahuje data, která nesou informaci o poloze přijímače a její kvalitě.

Příklad GGA zprávy:

\$GNGGA,093239.00,5006.2344123,N,01423.2712007,E,1,12,0.49,258.361,M,44.347,M,,\*42

Tabulka 5: Popis GGA zprávy

#	Formát	Příklad	Komentář
1	hhmmss.ss	093239.00	Čas UTC
2	ddmm.mmmm	5006.2344123	Zeměpisná šířka
3	c	N	Indikátor sever/jih (N-sever, S-jih)
4	ddmm.mmmm	01423.2712007	Zeměpisná délka
5	c	E	Indikátor východ/západ (E-východ, W-západ)
6	d	1	Indikátor kvality (0-nebylo možno určit polohu, 1-poloha určena, 2-pozice určena pomocí DGNS,....)
7	dd	12	Počet viditelných satelitů
8	d.d	0.49	HDOP (Horizontal Dilution Of Precision)
9	d.d	258.361	Výška přijímače nad geoidem
10	c	M	Jednotka pro předchozí údaj (m-metry)
11	d.d	44.347	Rozdíl mezi elipsoidem a geoidem
12	c	M	Jednotka pro předchozí údaj (m-metry)
13	d	N.A	Stáří poslední DGNS dat ve vteřinách (N.A pokud se nepoužívají)
14	dddd	N.A	Identifikační číslo referenční stanice
15	*xx	*42	Kontrolní součet

## 7.3 NTRIP protokol

NTRIP je komunikační protokol, který byl vyvinut na počátku 21. století v německé BKG (Německá národní agentura pro kartografii a geodézii). Cílem bylo zajistit distribuci korekčních dat ve formátu RTCM po internetu [19]. Do systému NTRIP spadají čtyři základní objekty:

- NTRIP Source

NTRIP Source je objekt, který generuje korekční GNSS data. Probíhá v něm výpočet korekcí na základě dostupných měření. Jedná se o přijímač, který je umístěný na známých souřadnicích. Korekce jsou generovány ve formátu RTCM a přenášeny do NTRIP serveru.

- NTRIP Server

NTRIP server je objekt, který má za úkol komunikaci s NTRIP casterem. Přenáší korekce generované NTRIP Source do Casteru. NTRIP server musí rozumět protokolu NTRIP, který komunikuje s Casterem. Spojení s Casterem je založeno na protokolech TCP/IP.

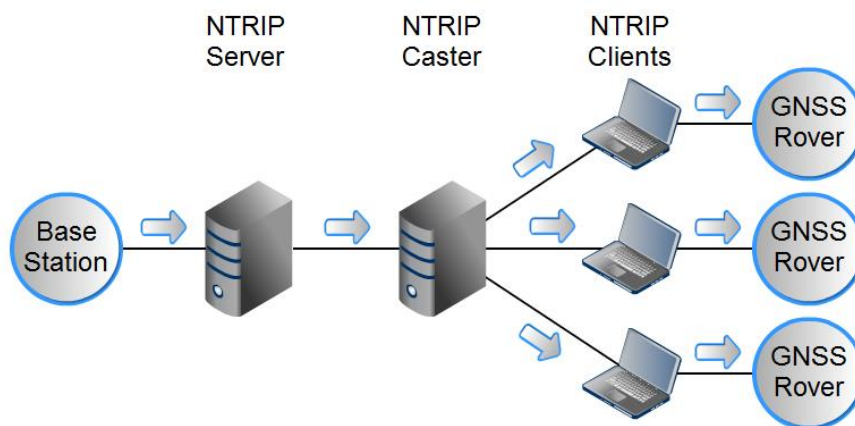
Jeden NTRIP server může odesílat data z několika NTRIP Source a zároveň může data posílat do několika NTRIP Casterů.

- NTRIP Caster

NTRIP Caster je hlavním objektem v tomto systému. NTRIP Caster čeká na spojení od NTRIP serverů a NTRIP klientů. Musí tedy mít otevřenou komunikaci se servery a klienty. V Casteru jsou definovány mountpointy pro jednotlivé NTRIP Source a hesla, která zabezpečují přístup k těmto mountpointům. Caster spravuje přístup koncových uživatelů k jednotlivým mountpointům a uchovává statistiky o přístupu uživatele a datových tocích z NTRIP Serverů.

- NTRIP Client

NTRIP Client je každý uživatel, který se připojí ke Casteru a vyžádá si data z mountpointu. Po úspěšném přístupu začne Caster přeposílat GNSS korekce tomuto NTRIP klientovi. Je taktéž možné si vyžádat *source-table*, kde se nacházejí všechny informace o aktivních mountpointech a popisu jednotlivých služeb [19]. Schéma NTRIP sítě je vyobrazeno na obr. 9.



Obrázek 9: Schéma NTRIP sítě [5]



## 7.4 Komunikace NTRIP Client – NTRIP Caster

Komunikace mezi NTRIP Clientem a NTRIP Casterem probíhá pomocí TCP/IP spojení. Klient se musí připojit na adresu a port NTRIP Casteru, kde je zaslán požadavek GET. Struktura požadavku GET je:

```
GET [mountpoint] HTTP/1.0 <CR><LF>
Host: [hostname] <CR><LF>
User-Agent: NTRIP [produkt] <CR><LF>
Authorization: [metoda] [credentials] <CR><LF>
Connection: close <CR><LF>
<CR><LF>
```

Kde:

- **Mountpoint** je zástupný název pro NTRIP source v Casteru, od kterého jsou NTRIP Clientem požadována data.
- **Hostname** je internetová adresa anebo IP adresa, na které běží NTRIP Caster
- **Produkt** je informace o názvu NTRIP klienta, který komunikuje s Casterem
- **Metoda** je způsob autentifikace uživatele, používá se Basic nebo Digests
- **Credentials** je řetězec znaků zašifrovaný algoritmem Base64 ve struktuře „uživatel:heslo“

### 7.4.1 Ukázka komunikace NTRIP Client s NTRIP Caster

NTRIP Client pošle zprávu podle výše uvedené struktury:

```
GET /CPRG3 HTTP/1.0
Host: czeposr.cuzk.cz
User-Agent: NTRIP test
Connection: close
<CR><LF>
```

Po odeslání takovéto zprávy může nastat několik případů:

- Mountpoint CPRG3 existuje a není potřeba autentifikace:  
Odpověď Casteru:

```
ICY 200 OK
```

NTRIP Caster začne zasílat data z mountpointu klientovi

- Mountpoint CPRG3 neexistuje:

Odpověď Casteru:

```
SOURCETABLE 200 OK
Server: GNSS Spider 7.0.0.7245/1.0
Date: pá, 15 5 2020 08:55:21 GMT Standard Time
Content-Type: text/plain
Content-Length: 4082
STR;iMAX3C;VRS.iMAX-CZEPOS;RTCM
3;;2;GPS;CZEPOS;CZ;49.50;15.50;1;1;CZEP ....
STR;RTK3;RTK.NEAREST.SITE-CZEPOS;RTCM      3.1;;2;GPS      &
GLONASS;CZEPOS ....
.....
.....
.....
ENDSOURCETABLE
```

Pokud požadovaný mountpoint neexistuje, tak NTRIP Caster zašle klientovi aktuální tabulku aktivních mountpointů a ukončí spojení.

- Mountpoint CPRG3 vyžaduje autentifikaci:

Odpověď Casteru:

```
HTTP/1.0 401 Unauthorized
ICY 200 OK
Server: GNSS Spider 7.0.0.7245/1.0
Date: pá, 21 5 2020 08:58:21 GMT Standard Time
```

Tato odpověď bude zaslána, pokud klient nezašle Casteru přihlašovací údaje nebo jsou chybné. Caster po odeslání zprávy ukončí spojení a klient musí zaslat nový GET požadavek podle:

```
GET /CPRG3 HTTP/1.0
Host: czeposr.cuzk.cz
User-Agent: NTRIP test
Authorization: Basic Y3Z1dHZ5dWthOmsxNTVkcmlVtZ
Connection: close
<CR><LF>
```

## 8 u-blox

Společnost byla založena v roce 1997 ve Švýcarsku. Začala se specializovat na vývoj komerčních GNSS produktů. V současné době patří mezi přední světové dodavatele se zařízeními pro určování polohy v automobilové dopravě a dalších odvětvích průmyslu. Společnost nabízí celou řadu produktů, které přijímají a zpracovávají data z GNSS družic [13].

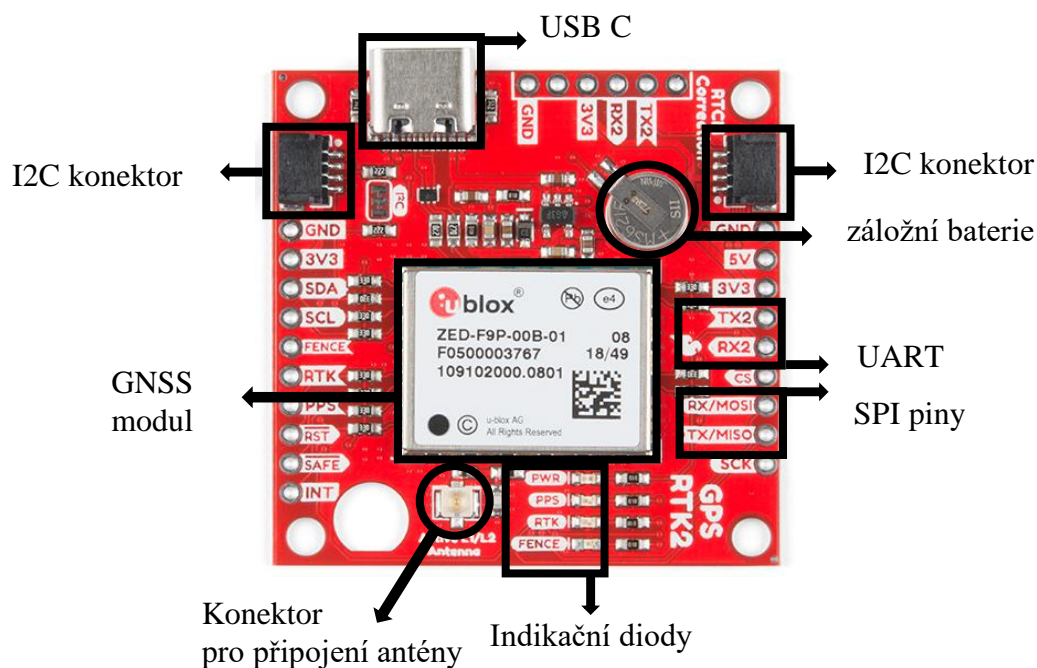
### 8.1 u-blox Zed-F9P

Zed-F9P je vícepásmový GNSS přijímač s vysokou přesností. Přijímá současně signály od všech hlavních GNSS systémů a podporuje signály, které jsou uvedené v tab. 6.

Tabulka 6: Přijímané signály modulu Zed-F9P [14]

System	Signály	
GPS	L1C/A (1575.42MHz)	L2C (1227.60 MHz)
GLONASS	L1OF (1602 MHz)	L2OF (1246 MHz)
BeiDou	B1I (1561.098 MHz)	B2I (1207.140 MHz)
Galileo	E1-B/C (1575.42 MHz)	E5b (1207.140 MHz)

Modul podporuje příjem a zpracování RTCM 3.x korekcí. To umožňuje provádět RTK měření a dosahovat vysoké přesnosti určení polohy. Modul je umístěn na desce SparkFun GPS-RTK2 (obr. 10), která umožňuje komunikaci s modulem na komunikačních linkách USB, UART, I2C a SPI. Na desce se nachází konektor pro připojení antény, několik diod a záložní baterie. Dioda *power* začne svítit při správném zapojení přívodu 3,3 V k čipu. Dioda *PPS* začne blikat při úspěšné inicializaci času a pozice s frekvencí 1 Hz a dioda *RTK* trvale svítí. Při příjmu RTCM dat začne blikat a při vyřešení fixního řešení dioda zhasne. Poslední dioda *fence* je konfigurovatelná v programu u-center a využívá se k monitorování vymezeného území. Záložní baterie slouží k udržení informací o konfiguraci modulu.



Obrázek 10: Schéma Sparkfun GPS RTK 2

## 8.2 Anténa u-blox ANN-MB

Anténa je nezbytnou součástí každé GNSS aparatury. Jejím úkolem je přeměna elektromagnetických signálů vysílaných družicemi na elektrické impulsy, které mohou být dále zpracovány. Kvalita antény má zcela zásadní vliv na přesnost určení polohy. Antény se liší v přijímaných signálech, filtraci odražených signálů, velikosti variace fázového centra a podobně.

Anténa od společnosti u-blox ANN-MB (obr. 11) je malá vícepásmová výkonná anténa o rozměrech 60x82x22,5 mm a váží 173 g. Dokáže přijímat signály z L1 vln v rozmezí 1559-1606 MHz a L2 vln v rozmezí 1197-1249 MHz ze všech hlavních GNSS systémů. Anténa byla navržena pro GNSS modul Zed-F9P. Anténa umožňuje uchycení přes magnet, který se nachází na spodku antény nebo jsou zde po stranách dva otvory umožňující alternativní uchycení.

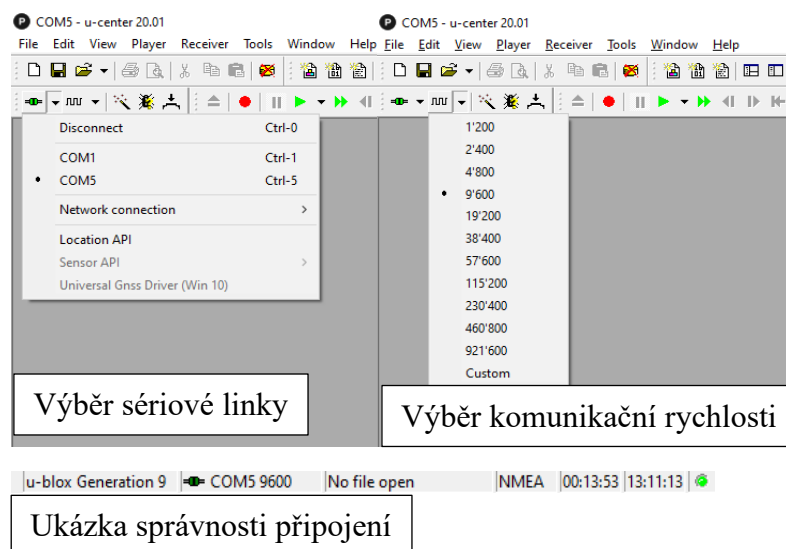


Obrázek 11: GNSS anténa ANN-MB [15]

### 8.3 U-center

U-center je vyhodnocovací software GNSS měření pro přijímače značky U-blox. Program je volně dostupný a stažitelný ze stránek výrobce. V době psaní této práce byla k dispozici verze programu 20.01.

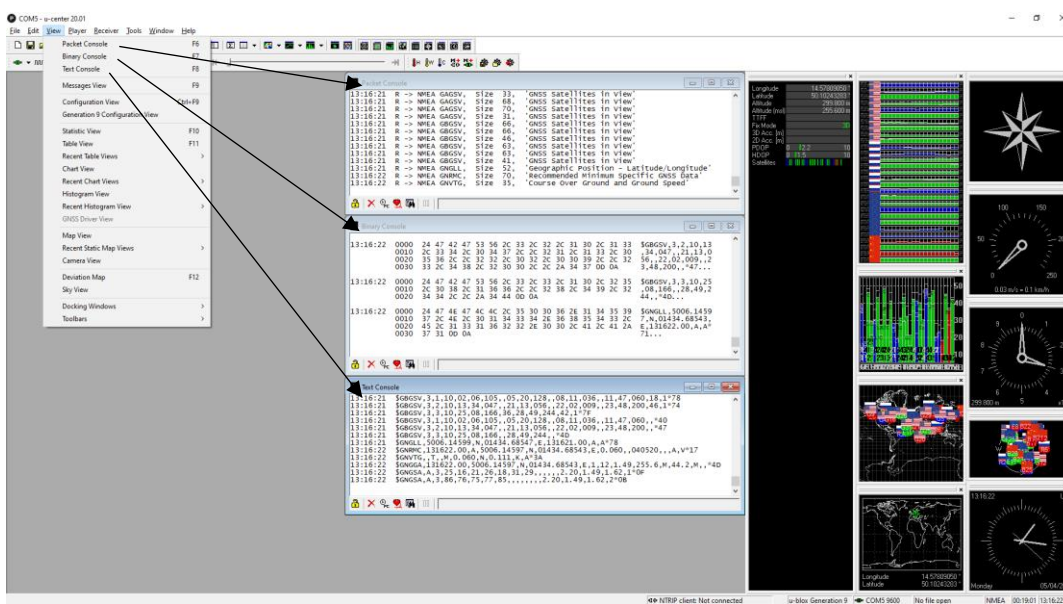
Po spuštění programu je zapotřebí připojit příslušné zařízení. Po připojení je nutné nastavit sériový port a komunikační rychlost. Komunikační rychlosti jsou uvedené v technické dokumentaci jednotlivých GNSS zařízení. V případě připojení znázorněném na obr. 12 se jedná o sériový port COM 5 a přenosovou rychlost 9 600 baudů. Pokud je zařízení správně připojeno, zobrazí se v pravém dolním rohu okna typ připojeného zařízení a začne blikat ikona připojení.



Obrázek 12: Připojení GNSS k u-centeru

Po připojení zařízení je možné v jednotlivých konzolách sledovat přijímaná data. Na obr. 13 je ukázka, co je možné ihned po připojení modulu sledovat.

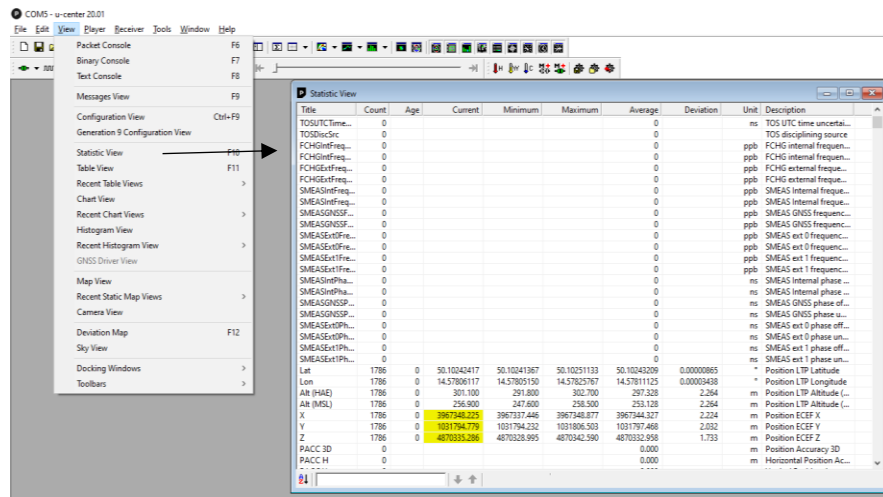
- **Packet console:**  
Uvádí všechny příchozí a odchozí zprávy. Poskytuje informace o těchto zprávách jako je délka a typ zprávy.
- **Binary console:**  
Uvádí všechny příchozí zprávy v binární a ASCII formátu.
- **Text console:**  
Uvádí všechny příchozí zprávy v textové podobě jako NMEA zprávu.



Obrázek 13: Přijímaná data programem U-center

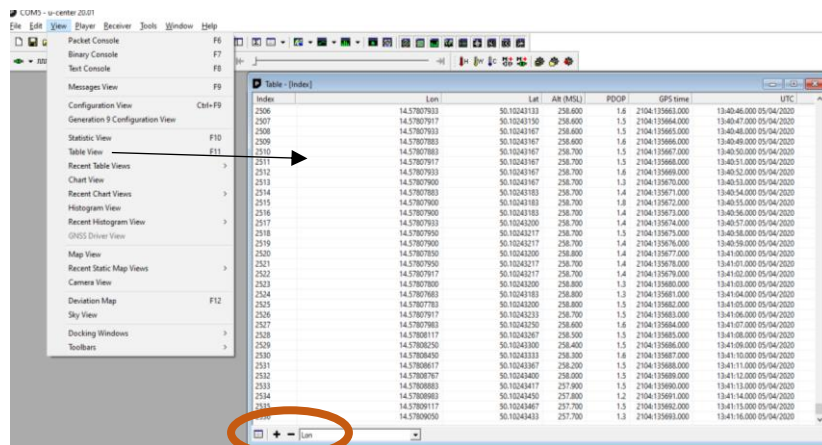
Na pravé straně programu jsou okna, která zobrazují aktuální vypočtenou polohu, pozice družic, rychlost přijímače, hodiny a kvalitu jednotlivých signálů.

Dále je možné sledovat přijímaná data v „Statistic View“ (obr. 14). V těchto statistikách je možné najít průměrné vypočtené souřadnice polohy přijímače. Nejnižší a nejvyšší hodnotu, počet měření, chybu měření. Nacházejí se zde i informace o přijatých zprávách z jednotlivých družic.



Obrázek 14: Statistic View

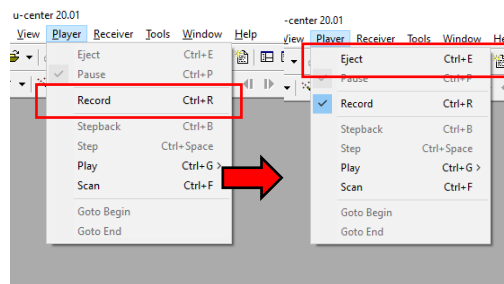
Další možností je sledovat data v „table view“ (obr. 15). Zde je možné pomocí tlačítek na spodní liště navolit, co se bude zobrazovat. V případě obrázku byla zvolena zeměpisná šířka, zeměpisná délka, výška, PDOP, GPS čas a UTC čas, ale je zde možné zvolit všechny možné měřené hodnoty. Tyto data se zobrazují v reálném čase a jsou lehce kopírovatelná pro další práci s nimi.



Obrázek 15: Zobrazení měřených dat - Table view

U-center taktéž umožňuje měřená data nahrávat. K tomu souží funkce „record“. Po zahájení nahrávání jsou měřená data nahrávána do formátu *.ubx*. Tento formát je následně možné opět v u-centru otevřít a přehrát nebo se z formátu *.ubx* dá vytvořit observační RINEX pro další zpracování v jiném softwaru. Pro konverzi do formátu RINEX musí být modul speciálně nastavený. Postup tohoto nastavení bude popsán dále v textu. Při

přehrávání měření se program chová stejně, jako by se jednalo o aktuální měření s tím rozdílem, že přehrávání lze kdykoliv pozastavit, změnit rychlost přehrávání nebo přeskočit do určitých pasáží. Nahrávání se pouští podle obr. 16. Po stlačení „record“ se program dotáže na cílovou cestu uložení souboru *.ubx* a generaci GNSS modulu. Pro ukončení nahrávání slouží „Eject“.



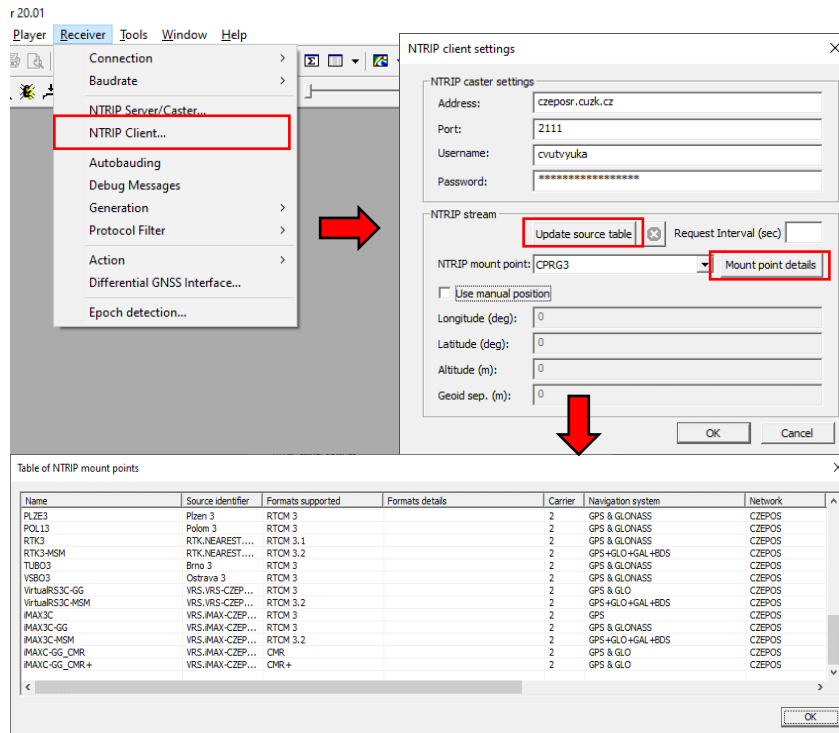
Obrázek 16: Nahrávání souboru *.ubx*

- **NTRIP Client**

V programu U-center je možné spustit i NTRIP Clienta pro přijímání korekcí z permanentních GNSS stanic. Postup je uveden na obr. 17. Pro funkčnost RTK metody musí být GNSS modul speciálně nastavený. Postup bude popsán dále v textu.

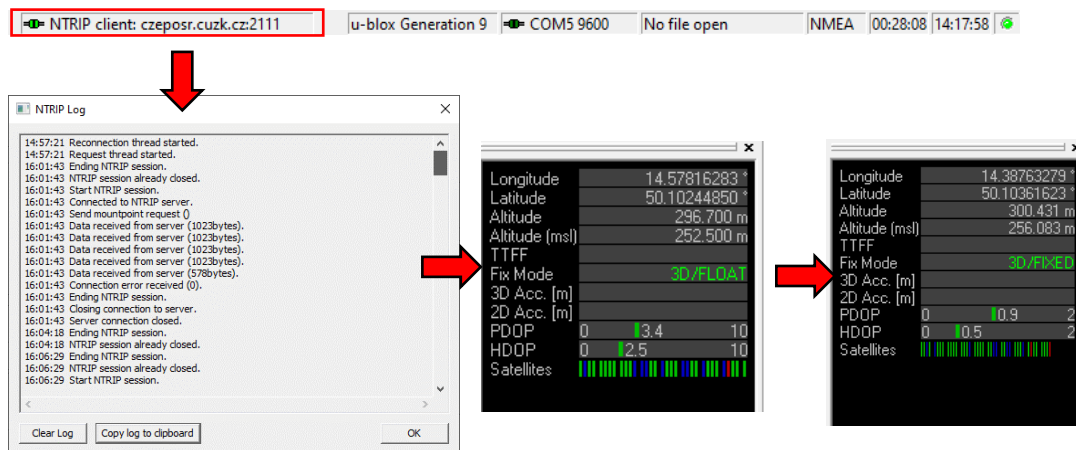
V roletě „Receiver“ se nachází „NTRIP Client...“. Po spuštění vyskočí tabulka s parametry připojení do sítě permanentních stanic, kde je zapotřebí zadat adresu sítě, port pro druh korekcí, uživatelské jméno a heslo. Po přihlášení k síti je nutné kliknout na „Update source table“, aby byly načteny všechny služby poskytované danou sítí. Poté je možné nahlédnout do záložky „Mount point details“. Zde se nachází informace o všech referenčních stanicích pro zvolenou síť jako je název služby, formát korekcí a které navigační systémy obsahuje. Pak už jen stačí zadat název služby do „NTRIP mount point“ a kliknout na tlačítko ok.





Obrázek 17: Nastavení NTRIP klienta

Pokud je NTRIP Client správně připojen, na pravé dolní liště se objeví připojení jako na obr. 18. Po kliknutí na tuto lištu se objeví tabulka s „NTRIP log“, která ukazuje, jestli jsou přijímané korekce. Dále se v přehledu dat objeví síťové řešení „float“ a po dosažení fixního řešení „fixed“.

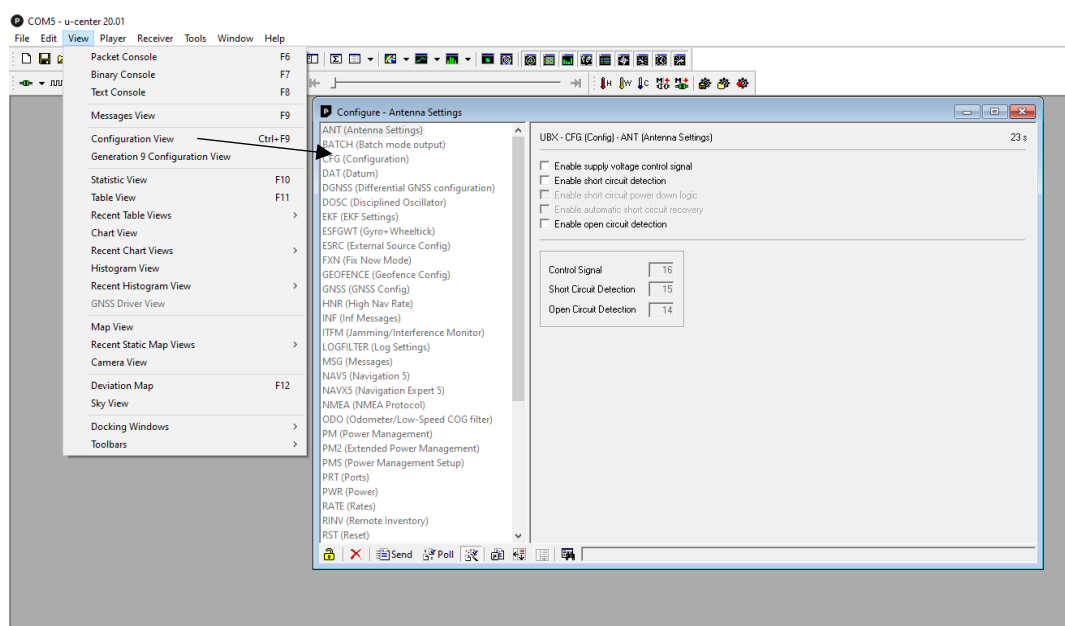


Obrázek 18: Síťové řešení v U-center

- Nastavení modulu v U-centeru

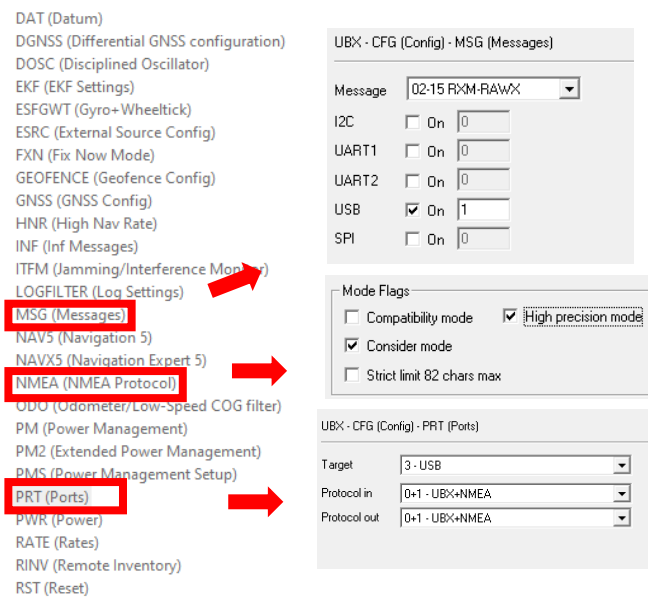
V programu U-center je možná konfigurace připojených GNSS čipů od značky u-blox. Nastavení lze provádět v konfiguračním okně nebo nahráním konfiguračního souboru, který obsahuje plné nastavení modulu.

Po otevření konfiguračního okna (obr. 19) jsou nastavení rozdělená do jednotlivých kategorií. Dá se zde nastavit, které GNSS systémy budou přijímány, jaké vlny budou přijímány, komunikační periferie, volby vstupních a výstupních zpráv. V této diplomové práci byly využity dva způsoby příjmu dat. Data pro následné zpracování RINEXU a data pro RTK měření.



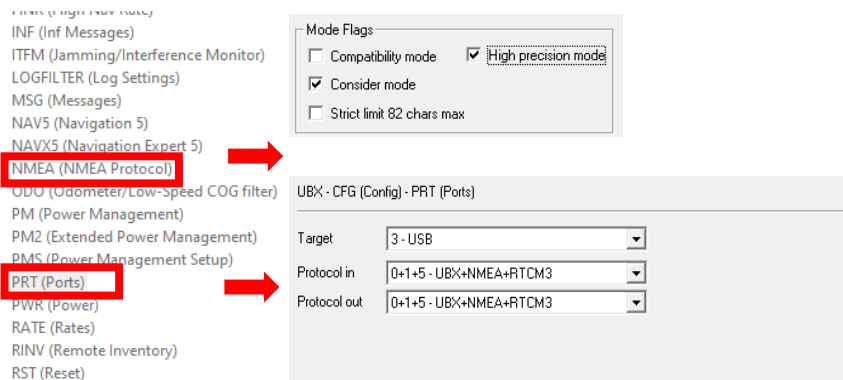
Obrázek 19: Konfigurace modulu

Pro uložení vhodných dat, které lze posléze konvertovat na observační RINEX pomocí RTKLIB, je nutné v záložce PRT (ports) nastavit komunikační periferii USB. Protokoly „protocol in“ a „protocol out“ nastavit na „UBX+NMEA“. Toto nastavení slouží v případě, že bude modul připojen přímo přes USB ke stolnímu počítači. Jako výstup měření bude NMEA zpráva v .ubx formátu. Dále je nutné v záložce „Messages“ zvolit ukládanou zprávu na „RXM-RAWX“ a zvolit opět komunikační linku USB. Toto nastavení zajistí ukládání surových dat. Jako poslední změnu pro toto měření je možné v sekci „NMEA“ zvolit měření s vysokou přesností. Při každé takovéto změně je zapotřebí nastavení modulu odeslat přes tlačítko „send“, které se nachází v levém dolním okně konfiguračního okna. Postup celého nastavení je zobrazen na obr. 20.



Obrázek 20: Nastavení GNSS modulu pro postprocesing

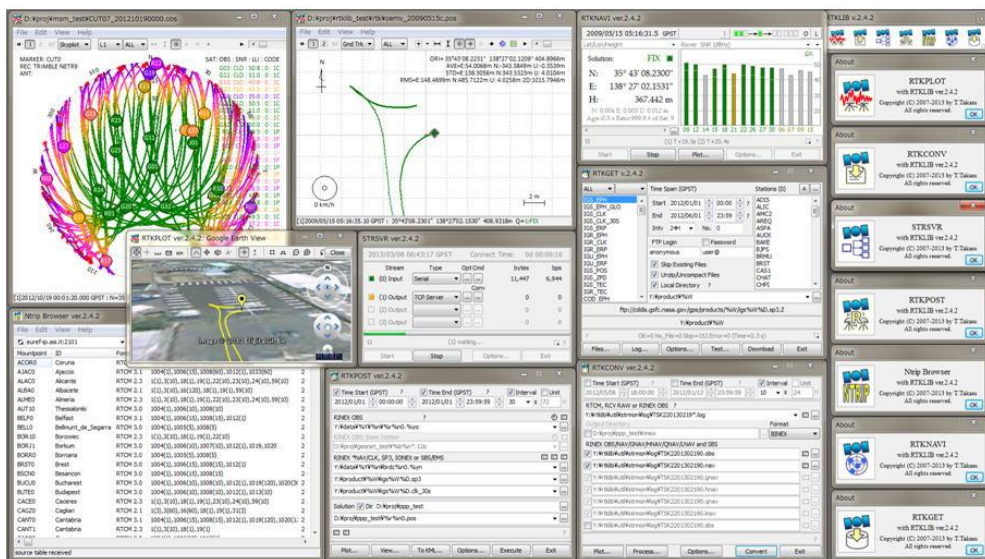
Pro měření RTK je nutné nastavit v záložce „PRT (ports)“ komunikační periferii USB. Protokoly „protocol in“ a „protocol out“ nastavit na „UBX+NMEA+RTCM3“. To ke zprávě NMEA přidává i přijímané korekce z permanentních stanic. Pak už zbývá pouze v záložce „NMEA“ zvolit měření s vysokou přesností a je možné využívat RTK měření. Postup celého nastavení je uveden na obr. 21.



Obrázek 21: Nastavení GNSS modulu pro RTK měření

## 9. RTKLIB

RTKLIB je volně dostupná knihovna, která obsahuje aplikace pro práci s GNSS zařízeními. RTKLIB je schopna z GNSS zařízení přijímat surová data a pomocí korekcí je taktéž zpracovat. Knihovna poskytuje i nástroje pro následné *post-procesové* zpracování, konverzi dat a vykreslování grafů. Na obr. 22 je zobrazeno grafické rozhraní všech programů z RTKLIB knihovny.



Obrázek 22: RTKLIB [17]

V rámci této práce byl z této knihovny využit program RTKCONV.exe. Tento program umožňuje konverzi naměřených surových GNSS dat na vytvoření dat ve formátu RINEX. Program umožňuje nastavit časový interval, ze kterého bude RINEX vytvořen. Dají se zde zvolit GNSS systémy, signály a verze RINEXU.

# 10 Testování fázového centra antény

Fázové centrum antény je pomyslný bod, ve kterém je prováděno měření přijímaného rádiového signálu a obvykle není identické s geometrickým středem antény. Poloha fázového centra závisí na azimutu, výškovém úhlu dopadu a intenzitě přijímaného družicového signálu. Poloha je taktéž různá pro L1 a L2 signály.

Jednotlivé antény lze hodnotit podle excentricity a změn polohy fázového centra. Antény určené pro geodetické účely by neměly přesahovat variace fázového centra větší než 1 cm.

V této práci bylo otestováno fázové centrum antény ANN-MB od společnosti u-blox. Byla vytvořena konstrukce, která umožňovala automatizovaně otáčet anténou. Anténa byla pootočena každou hodinu přibližně o 15°. Test probíhal 24 hodin, anténa tedy během celého měření udělala jednu celou otočku. Konstrukce byla umístěna na střechu budovy B fakulty stavební ČVUT v Praze. Zde byly pro měření perfektní observační podmínky, protože budova vyčnívá nad okolní zástavbou.

Pro automatizované otáčení anténou byl zvolen krokový motor MICROCON cd30x. Toto zařízení se skládá ze samotného motoru a řídicí jednotky. Řídicí jednotka je plně programovatelná a je možné s ní komunikovat přes sériový port RS-232. Pro nahrávání jednotlivých povelů pro krokový motor byla zvolena deska Arduino nano. Tato deska se hodí hlavně pro projekty, které nepotřebují mnoho místa na ovládací program. Program se nahrává do desky přes USB. K této desce byl přes UART připojen převodník TTL na RS-232. Bez tohoto převodníku nebylo možné navázat komunikaci mezi Arduino deskou a řídicí jednotkou motoru. V programu Arduino IDE byl vytvořen kód, který každou hodinu poslal povel řídicí jednotce, aby otočila motorem o 15°. Při tvorbě kódu bylo zapotřebí vyřešit několik problémů. První z problémů byl ten, že převodník TTL na RS-232 se při delším zapojení začal přehřívat. To bylo nakonec vyřešeno tak, že jeden z digitálních pinů Arduino desky byl změněn na napájecí a v kódu byl minutu před plánovaným otočením dodán převodníku proud. Minutu po zapnutí převodníku byly odeslány povely řídicí jednotce motoru a minutu po odeslání povelu byl opět převodník vypnut. Toto se opakovalo každou hodinu. Druhým problémem bylo přesné určení času otočení. K tomuto byly využity RTC hodiny reálného času DS3231 s AT24C32 paměťovým modulem. Hodiny byly zapojeny do Arduino desky a v kódu se hodin dotazovalo, jaký je čas. Podle výsledku dotazu byly provedeny jednotlivé podmínky. Jednotlivé časy otočení byly vypisovány do sériového monitoru. Smyčka kódu otáčení

a příkazy pro krokový motor jsou zobrazeny na obr. 23. Celá konstrukce pro otáčení je vyobrazena na obr. 24. Schéma zapojení všech využitých komponent je zobrazeno na obr. 25.

```

#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(9, 10); // RX, TX
#define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68
//int sec, minut, hour, day, dayMonth, month, year;
byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;
bool otoc = true;

void setup() {
  Serial.begin(4800);
  mySerial.begin(4800);
  Wire.begin();
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {
  // read time for timer
  readDS3231time(second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year);

  if (minute == 9 )
  {
    digitalWrite(13, HIGH);
    // sets the digital pin 13 on
    // waits for a second
  }

  if (minute == 10 && otoc == true)
  {
    posli();
    Serial.print(dayOfWeek); Serial.print(" "); Serial.print(hour);
    otoc = false;
  }

  if (minute == 11){
    digitalWrite(13, LOW); // sets the digital pin 13 off
    // waits for a second
    otoc = true;
  }
}

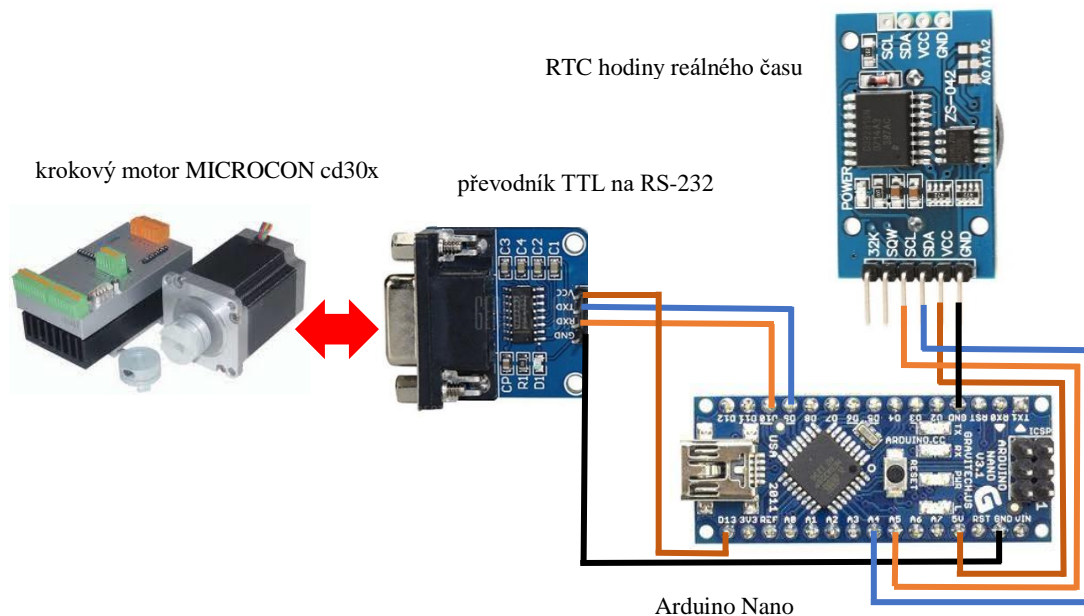
void posli()
{
  mySerial.println("[");
  delay(10);
  mySerial.println("C7");
  delay(10);
  mySerial.println("M4");
  delay(10);
  mySerial.println("Q4");
  delay(10);
  mySerial.println("S50");
  delay(10);
  mySerial.println("V300");
  delay(10);
  mySerial.println("A100");
  delay(10);
  mySerial.println("B640"); // F (doprava) nebo B (doleva)
  delay(10);
  mySerial.println("L1");
  delay(10);
  mySerial.println("R");
  delay(10);
  mySerial.println("T7");
  delay(10);
  mySerial.println("U1");
  delay(10);
  mySerial.println("]");
  delay(10);
}

```

Obrázek 23: Ukázka kódu pro otáčení krokovým motorem



Obrázek 24: Testovací konstrukce fázového centra antény

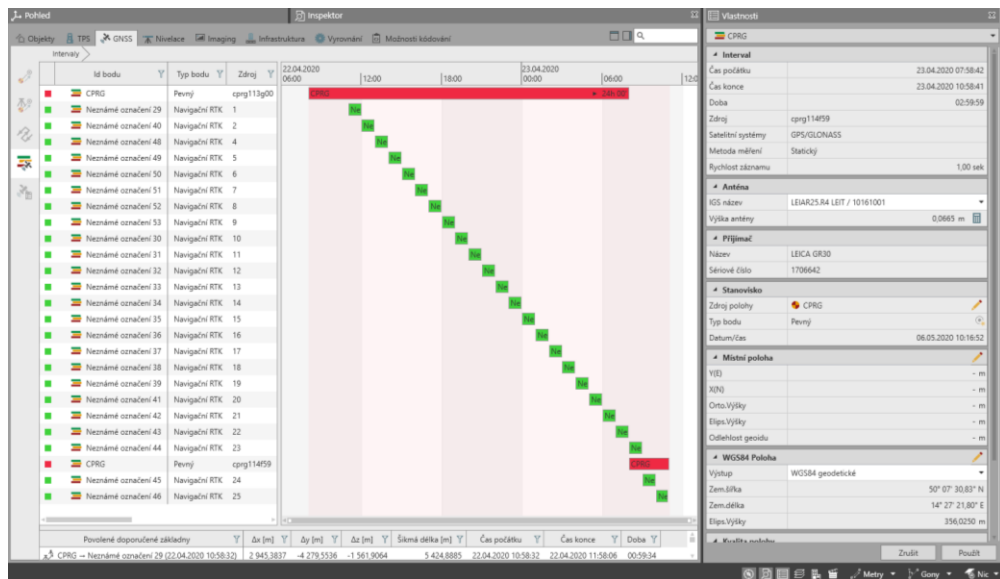


Obrázek 25: Schéma zapojení křokového motoru

Celé měření bylo nahráváno programem u-center. Vznikl tedy 24-hodinový soubor se surovými GNSS daty. Pomocí programu RTKCONV.exe z knihovny RTKLIB byly z tohoto surového měření vytvořeny observační RINEXY. RINEXŮ bylo vytvořeno celkem 24 s hodinovým trváním. RTKCONV umožňuje zadat časový interval, ze kterého má být RINEX vytvořen. Díky zapisovanému času otočení motoru bylo možné udělat pro každé otočení jeden observační RINEX.

Vytvořené RINEXY byly importovány do programu Leica Infinity. Z internetových stránek CZEPOSU byly staženy korekční data pro celé měření z referenční stanice v Praze, která poskytuje korekční data pro systémy GPS a GLONASS. Jednotlivým měřením bylo zapotřebí přiřadit druh antény a určit, jaké měření je „rover“ (na obr. 26 zeleně) a jaké je „reference“ (na obr. 26 červeně). Parametry referenční antény byly staženy ze stránek CZEPOSU ve formátu .antex a byly importovány do Leica Infinity. Měření bylo zpracováno a výsledky pro souřadnice  $X$ ,  $Y$  jsou uvedeny v tab. 7 v kartézském souřadnicovém systému WGS-84 a je zde uvedena jejich elipsoidická výška. Leica Infinity neumožnila do zpracování měření zahrnout i měřené L2 vlny. Výsledné souřadnice jsou tedy zpracované pouze z L1 vln. Důvod nezahrnutí L2 vln při zpracování nebyl zjištěn, ale vzhledem k délce základny k referenční stanici (přibližně 5 km) a dlouhému trvání měření je možné měření zpracovat i bez zahrnutí L2 vln.





Obrázek 26: Ukázka zpracování GNSS měření v programu Leica Infinity

Tabulka 7: Výsledky měření

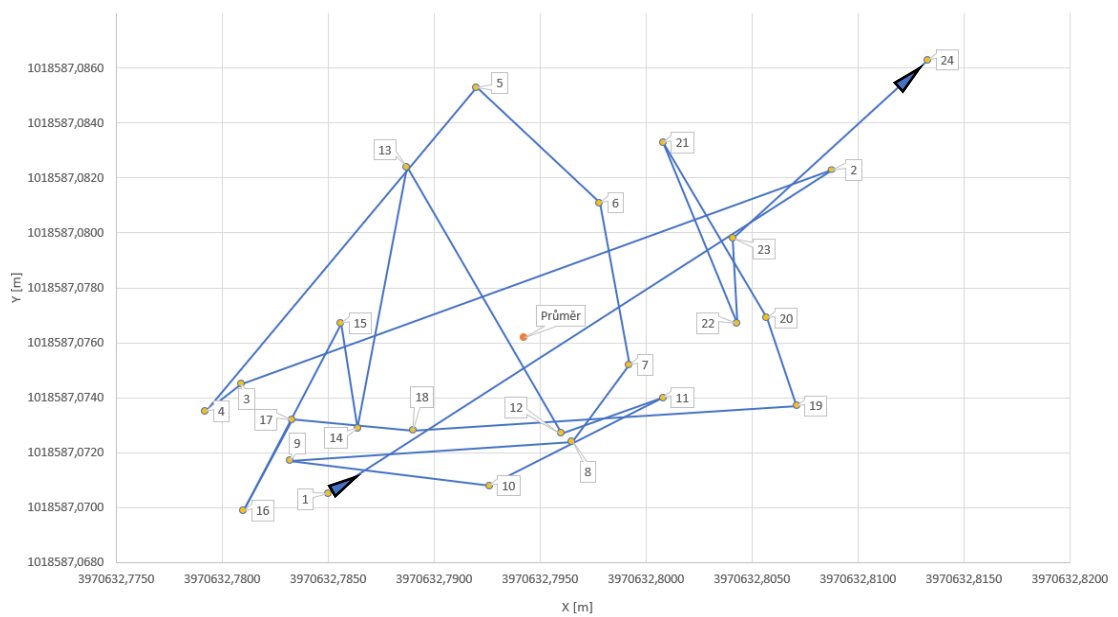
Číslo bodu	X [m]	Y [m]	Elips.výšk a [m]	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta$ Elips.výška [m]	$\Delta$ vzd [m]
1	3970632,7850	1018587,0705	305,2631	0,0092	0,0057	0,0031	0,0113
2	3970632,8088	1018587,0823	305,2743	-0,0146	-0,0061	-0,0081	0,0177
3	3970632,7809	1018587,0745	305,2384	0,0133	0,0017	0,0278	0,0309
4	3970632,7792	1018587,0735	305,2380	0,0150	0,0027	0,0282	0,0321
5	3970632,7920	1018587,0853	305,2581	0,0022	-0,0091	0,0081	0,0124
6	3970632,7978	1018587,0811	305,2776	-0,0036	-0,0049	-0,0114	0,0129
7	3970632,7992	1018587,0752	305,2679	-0,0050	0,0010	-0,0017	0,0053
8	3970632,7965	1018587,0724	305,2641	-0,0023	0,0038	0,0021	0,0049
9	3970632,7832	1018587,0717	305,2566	0,0110	0,0045	0,0096	0,0153
10	3970632,7926	1018587,0708	305,2563	0,0016	0,0054	0,0099	0,0114
11	3970632,8008	1018587,0740	305,2750	-0,0066	0,0022	-0,0088	0,0112
12	3970632,7960	1018587,0727	305,2780	-0,0018	0,0035	-0,0118	0,0124
13	3970632,7887	1018587,0824	305,2733	0,0055	-0,0062	-0,0071	0,0109
14	3970632,7864	1018587,0729	305,2677	0,0078	0,0033	-0,0015	0,0086
15	3970632,7856	1018587,0767	305,2642	0,0086	-0,0005	0,0020	0,0089
16	3970632,7810	1018587,0699	305,2576	0,0132	0,0063	0,0086	0,0170
17	3970632,7833	1018587,0732	305,2640	0,0109	0,0030	0,0022	0,0115
18	3970632,7890	1018587,0728	305,2692	0,0052	0,0034	-0,0030	0,0069
19	3970632,8071	1018587,0737	305,2760	-0,0129	0,0025	-0,0098	0,0163
20	3970632,8057	1018587,0769	305,2747	-0,0115	-0,0007	-0,0085	0,0143
21	3970632,8008	1018587,0833	305,2726	-0,0066	-0,0071	-0,0064	0,0116
22	3970632,8043	1018587,0767	305,2822	-0,0101	-0,0005	-0,0160	0,0189
23	3970632,8041	1018587,0798	305,2732	-0,0099	-0,0036	-0,0070	0,0126
24	3970632,8133	1018587,0863	305,2679	-0,0191	-0,0101	-0,0017	0,0217
Průměr:	3970632,7942	1018587,0762	305,2663			Průměr:	0,0140



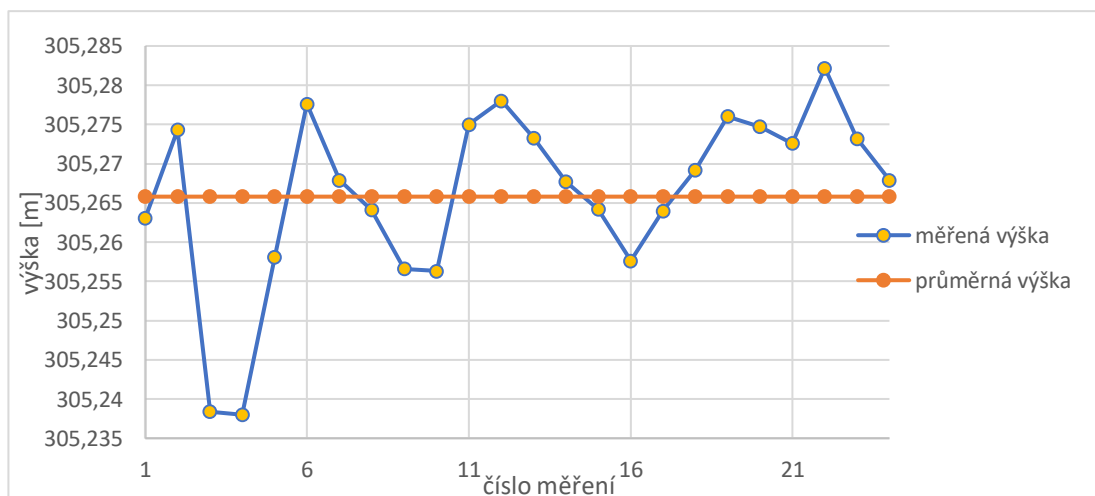
V tab. 7 jsou uvedeny výsledné souřadnice jednotlivých hodinových observací, které jsou označeny jako číslo bodu. Ze všech měření byl spočten pro jednotlivé souřadnice aritmetický průměr. Následně byly vypočteny odchylky jednotlivého měření od průměru a byla spočtena  $\Delta vzd$  podle:

$$\Delta vzd = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Elips.výška^2}. \quad (6)$$

Výsledné souřadnice byly polohově graficky zobrazeny na obr. 27 a výškově na obr. 28.



Obrázek 27: Grafické zobrazení polohy měření



Obrázek 28: Grafické zobrazení výšky měření

Z dosažených poznatků a dostupných výsledků lze usoudit, že testovaná aparatura není použitelná pro statická měření v geodetické praxi. Důvodem jsou nepoužitá měření s L2 vlnou ve výpočetních programech a rozptyl fázového centra přesahující 14 milimetrů. Další důvod je nevyužití plného potenciálu GNSS aparatury, pro *post-processing* lze ze sítě CZEPOS získat pouze korekční data pro družice GPS a GLONAS. Výsledky jsou pouze z měření s dostupnými korekčními daty. Tento test by se mohl vylepšit tím, že by byly zpracovány korekční data z bližší permanentní stanice, aby se úplně mohly vyloučit vlivy atmosféry. Dalším vylepšením testu by mohlo být odstínění antény kovovým plátem. O testované anténě je známo, že neobsahuje žádné stínění, tudíž měření může být narušeno odraženými signály hlavně od země. Je tudíž velmi pravděpodobné, že toto mohlo mít taktéž negativní dopady na testovanou anténu, jelikož tato skutečnost nebyla při provádění měření vzata v potaz. O celé problematice pojednává tento článek [25].

## 11 Testování RTK měření

Dalším testem bylo porovnání souřadnic při RTK měření s profesionální geodetickou aparaturou TopCon Hiper ++. Měření bylo provedeno na střeše budovy B fakulty stavební ČVUT, kde se nacházejí betonové pilíře s nucenou centrací. Na dva z těchto pilířů byla umístěna trojnožka se stavěcími šrouby a na jednu trojnožku byla postavena anténa u-blox a na druhou anténa TopCon. Následně proběhlo přibližně dvacetiminutové RTK měření s připojením do virtuální sítě permanentních stanic iMAX3C, která poskytuje korekční data pro GPS a GLONASS. Tato síť byla vybrána z důvodu, že GNSS aparatura TopCon nepodporuje GNSS systémy Galileo a BaiDo. Posléze byly antény prohozeny a následovalo další přibližně dvacetiminutové měření. Celé měření anténou u-blox bylo prováděno v programu U-center s připojeným NTRIP Clientem a bylo nahráváno do souboru *.ubx*. Z výsledných sekundových záznamů souřadnic byl spočten průměr. Výsledné souřadnice jsou uvedeny v tab. 8.

Tabulka 8: Výsledky RTK měření

Číslo bodu	GNSS aparatura	$\varphi$ [°]	$\lambda$ [°]	el. výška [m]
4001	u-blox	50,10361297	14,38747278	303,6824
	TopCon	50,10361290	14,38747281	303,669
4002	u-blox	50,10365381	14,38752761	303,6819
	TopCon	50,10365389	14,38752768	303,667

Výsledné souřadnice v systému WGS-84 byly pro lepší přehlednost transformovány do S-JTSK pomocí on-line služby transformace souřadnic poskytovanou ČÚZK dostupné na [16]. Byly vypočteny souřadnicové rozdíly, které jsou uvedeny v tab. 9.

Tabulka 9: Souřadnicové rozdíly RTK měření

Číslo bodu	$\Delta y$ [m]	$\Delta x$ [m]	$\Delta z$ [m]	vzd [m]
4001	0,001	0,008	0,013	0,015
4002	0,006	0,008	0,015	0,018

Šikmá vzdálenost mezi určenými souřadnicemi byla spočtena podle:

$$\text{vzd} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}. \quad (7)$$

Jak je z výsledků patrné, levná anténa a GNSS modul od společnosti u-blox můžou držet krok v přesnosti určení souřadnic v porovnání s profesionální geodetickou GNSS aparaturou při měření RTK. Obě antény byly vystaveny stejným atmosférickým vlivům a stejné konstelaci družic.

## 12 Testování opakovaného fixního řešení

Jedním z dalších ukazatelů kvality testované GNSS aparatury bylo zjištění času inicializace. To je čas, který je potřebný k dosažení fixního řešení od okamžiku, kdy GNSS aparatura odešle požadavek k odběru korekčních dat. Tento čas je taktéž závislý na použitých družicových systémech a rychlosti zpracování dat. Roli hraje i vytíženost na zpracovatelském serveru sítě permanentních stanic a rychlosti připojení k internetu.

Testování opakované fixace byla prováděna z důvodu ověření kvality výpočtu fixního řešení metodou RTK za dodržení stejných atmosférických podmínek a stejné konfiguraci družic.

Test byl prováděn v blízkosti zastavěné oblasti na území Prahy, kde bylo využito mobilní sítě 4G. Samotné měření bylo prováděno pomocí programu U-center s připojeným NTRIP Clientem. Byly testovány celkem 3 sítě poskytované sítí CZEPOS a jejich parametry jsou uvedené v tab. 10. Měření probíhalo tak, že anténa přijímače byla zakryta, aby bylo vypočteno *float* řešení. Následně byla anténa odkryta, byl zapsán čas odkrytí antény a čekalo se, než bude vypočteno fixní řešení. Po dosažení fixního řešení bylo zaznamenáno deset sekundových měření souřadnic, anténa byla zakryta a postup se opakoval. Pro každou testovanou síť bylo provedeno deset takovýchto postupů.

Tabulka 10: Seznam testovaných RTK služeb

Název služby	Přístupový bod	Formát korekcí	Navigační systémy
iMAX3C	virtuální	RTCM 3	GPS
CPRG3	Praha	RTCM 3	GPS + GLONASS
iMAX3C-MSM	virtuální	RTCM 3.2	GPS + GLONASS+Gallileo + BaiDo

Vytvořený *.ubx* soubor byl následně přehrán v programu U-center a v „table view“ (obr. 29) začala být naměřená data zpracovávána. Nebyl objeven způsob, jak v této tabulce zobrazit, jestli se pro jednotlivá měření jedná o fixní řešení. To muselo být sledováno v okně „data view“ (viz. obr. 18) a musel být zjištěn čas, kdy došlo k fixaci. Z těchto dat byla zaznamenána doba fixace (na příkladu z obr. 29 se jedná o 6 sekund), měřené souřadnice a PDOP. Souřadnice X a Y jsou pro lepší přehlednost prezentovány

v kartézských souřadnicích systému WGS-84. Ukázka zpracování dat je uvedena v tab. 11. Stejné celkové zpracování pro všechny testované sítě je uvedeno v elektronické příloze.

Index	X	Y	Alt (HAE)	UTC	PDOP
107	3967498.575	1031924.833	283.850	19:06:01.000 04/07/2020	0,9
108	3967498.605	1031924.861	283.863	19:06:02.000 04/07/2020	0,9
109	3967498.619	1031924.882	283.865	19:06:03.000 04/07/2020	0,9
110	3967498.612	1031924.895	283.874	19:06:04.000 04/07/2020	0,9
111	3967498.791	1031924.677	284.202	19:06:05.000 04/07/2020	0,9
112	3967498.789	1031924.677	284.202	19:06:06.000 04/07/2020	0,9
113	3967498.788	1031924.677	284.200	19:06:07.000 04/07/2020	0,9
114	3967498.788	1031924.678	284.201	19:06:08.000 04/07/2020	0,9
115	3967498.786	1031924.677	284.199	19:06:09.000 04/07/2020	0,9
116	3967498.786	1031924.676	284.200	19:06:10.000 04/07/2020	0,9
117	3967498.787	1031924.674	284.200	19:06:11.000 04/07/2020	0,9
118	3967498.788	1031924.676	284.201	19:06:12.000 04/07/2020	0,9
119	3967498.778	1031924.672	284.193	19:06:13.000 04/07/2020	0,9
120	3967498.776	1031924.637	284.201	19:06:14.000 04/07/2020	0,9
121	3967498.754	1031924.623	284.204	19:06:15.000 04/07/2020	1,0
122	3967498.781	1031924.640	284.248	19:06:16.000 04/07/2020	1,1
123	3967498.791	1031924.638	284.258	19:06:17.000 04/07/2020	1,0
124	3967498.786	1031924.630	284.260	19:06:18.000 04/07/2020	1,0
125	3967498.782	1031924.628	284.263	19:06:19.000 04/07/2020	1,0
126	3967498.785	1031924.625	284.258	19:06:20.000 04/07/2020	1,0
127	3967498.906	1031924.670	284.423	19:06:21.000 04/07/2020	1,0
128	3967498.820	1031924.693	284.364	19:06:22.000 04/07/2020	0,9
129	3967498.766	1031924.706	284.333	19:06:23.000 04/07/2020	0,9
130	3967498.760	1031924.712	284.334	19:06:24.000 04/07/2020	0,9
131	3967498.758	1031924.712	284.332	19:06:25.000 04/07/2020	0,9
132	3967498.790	1031924.682	284.198	19:06:26.000 04/07/2020	0,9
133	3967498.785	1031924.678	284.191	19:06:27.000 04/07/2020	0,9
134	3967498.789	1031924.680	284.195	19:06:28.000 04/07/2020	0,9
135	3967498.787	1031924.679	284.197	19:06:29.000 04/07/2020	0,9
136	3967498.783	1031924.679	284.196	19:06:30.000 04/07/2020	0,9
137	3967498.785	1031924.680	284.197	19:06:31.000 04/07/2020	0,9
138	3967498.793	1031924.683	284.208	19:06:32.000 04/07/2020	0,9
139	3967498.790	1031924.683	284.205	19:06:33.000 04/07/2020	0,9
140	3967498.790	1031924.684	284.204	19:06:34.000 04/07/2020	0,9
141	3967498.788	1031924.681	284.198	19:06:35.000 04/07/2020	0,9
142	3967498.785	1031924.683	284.201	19:06:36.000 04/07/2020	0,9
143	3967498.787	1031924.681	284.201	19:06:37.000 04/07/2020	0,9
144	3967498.787	1031924.680	284.201	19:06:38.000 04/07/2020	0,9
145	3967498.789	1031924.681	284.206	19:06:39.000 04/07/2020	0,9
146	3967498.750	1031924.662	284.170	19:06:40.000 04/07/2020	0,9
147	3967498.723	1031924.636	284.146	19:06:41.000 04/07/2020	0,9

Obrázek 29: Ukázka zpracování

Tabulka 11: Ukázka zpracování dat, síť iMAX3C

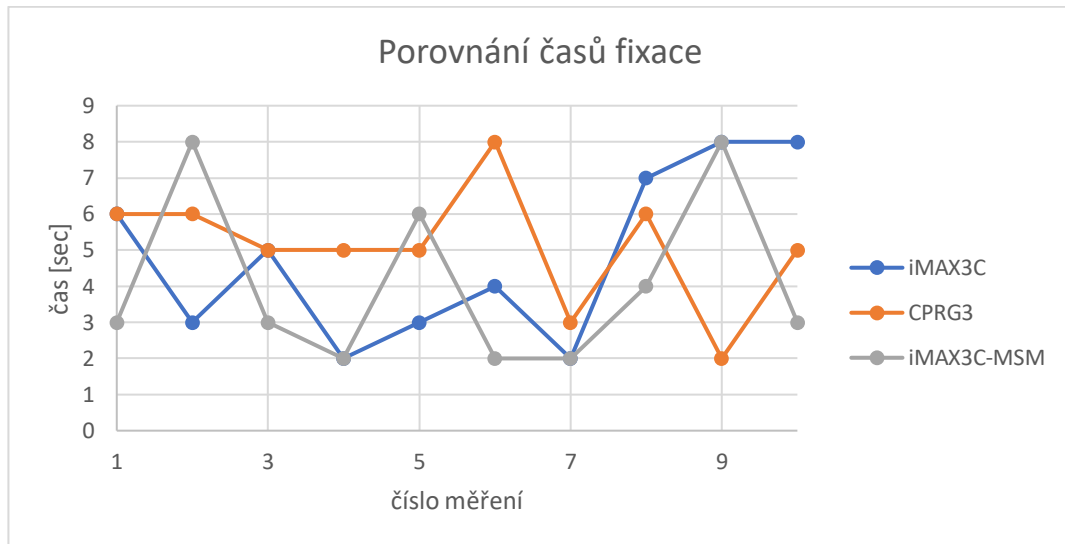
1. měření								
Začátek měření	X [m]	Y [m]	E.v [m]	PDOP	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta E.v$	$\Delta vzd$
19:06:20	3967498,790	1031924,682	284,198	0,9	-0,002	-0,001	0,001	0,002
	3967498,785	1031924,678	284,191	0,9	0,003	0,003	0,008	0,009
	3967498,789	1031924,680	284,195	0,9	-0,001	0,001	0,004	0,004
	3967498,787	1031924,679	284,197	0,9	0,001	0,002	0,002	0,003
	3967498,783	1031924,679	284,196	0,9	0,005	0,002	0,003	0,006
Doba fixace [sec]	3967498,785	1031924,680	284,197	0,9	0,003	0,001	0,002	0,004
6	3967498,793	1031924,683	284,208	0,9	-0,005	-0,002	-0,009	0,011
	3967498,790	1031924,683	284,205	0,9	-0,002	-0,002	-0,006	0,007
	3967498,790	1031924,684	284,204	0,9	-0,002	-0,003	-0,005	0,006
	3967498,788	1031924,681	284,198	0,9	0,000	0,000	0,001	0,001
Průměr:	3967498,788	1031924,681	284,199	0,9	-	-	-	0,005

Tab. 11 slouží jako příklad pro jedno fixní měření v síti iMAX3C. „Začátek měření“ je čas, kdy byla odkryta anténa přijímače a „Doba fixace“ je doba, která byla zapotřebí k fixnímu určení souřadnic. Dále je v tabulce uvedeno deset měření fixních souřadnic

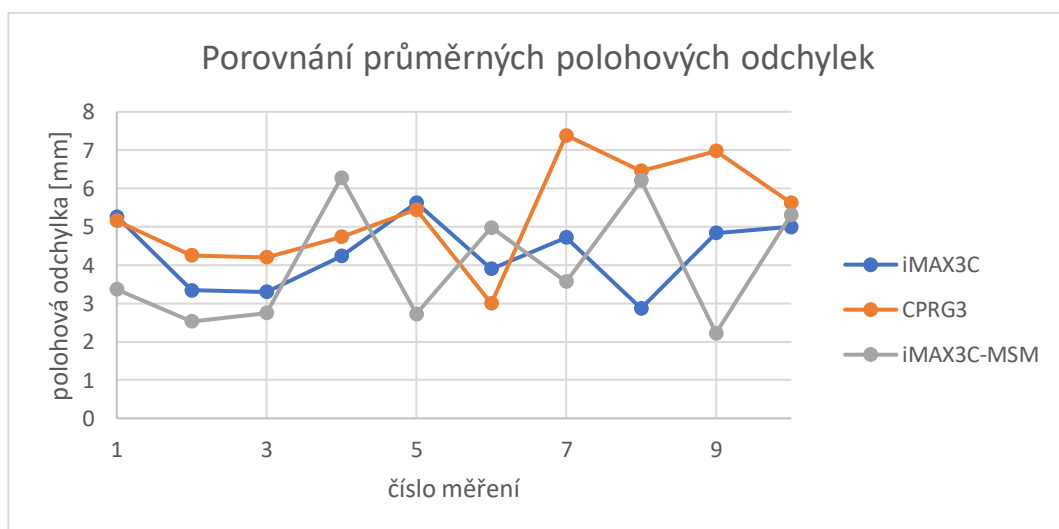
a jejich PDOP. Z těchto určených hodnot byl vypočten aritmetický průměr a pro jednotlivé souřadnice byla vypočtena šikmá vzdálenost od průměru.  $E.v$  je elipsoidická výška. Šikmá vzdálenost  $\Delta v_{zd}$  je vypočtena podle:

$$\Delta v_{zd} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta E.v^2}. \quad (8)$$

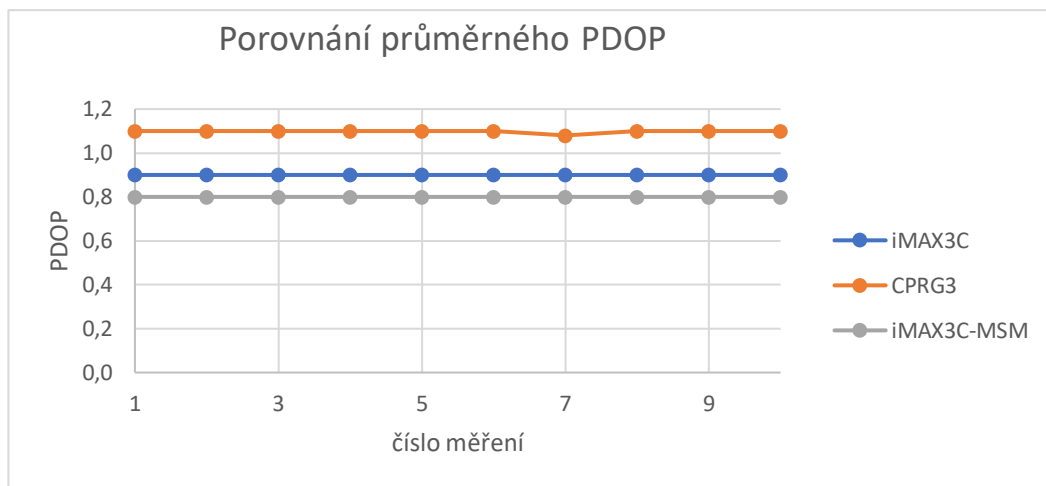
Ze šikmé vzdálenosti od průměru byl spočten aritmetický průměr v rámci jedné fixace. Doby fixací pro všechny sítě jsou graficky znázorněny na obr. 30. Porovnání všech šikmých vzdáleností od průměru je graficky znázorněno na obr. 31 a průměrný PDOP na obr. 32.



Obrázek 30: Porovnání časů fixace pro jednotlivé sítě



Obrázek 31: Porovnání průměrných polohových odchylek pro jednotlivé sítě



Obrázek 32: Porovnání průměrného PDOP pro jednotlivé sítě

Následně byl vypočten aritmetický průměr všech výše uvedených hodnot v rámci jedné sítě. Výsledky jsou zaneseny v tab. 12.

Tabulka 12: Výsledky testování opakovaného fixního řešení

Název sítě	Průměrná doba fixace [sec]	Průměrná polohová odchylka [mm]	Průměrný PDOP
iMAX3C	4,8	4	0,9
CPRG3	5,1	5	1,1
iMAX3C-MSM	4,1	4	0,8

Z testu bylo zjištěno, že fixní řešení je prováděno velice rychle nehledě na to, z jaké sítě jsou přijímány korekce. Určené souřadnice po vyřešení fixního řešení jsou stabilní a mají nízký rozptyl. Mezi jednotlivými sítěmi není viditelný nějaký významný rozdíl v rámci fixace.

# 13 Testování fixního řešení při pohybu přijímače

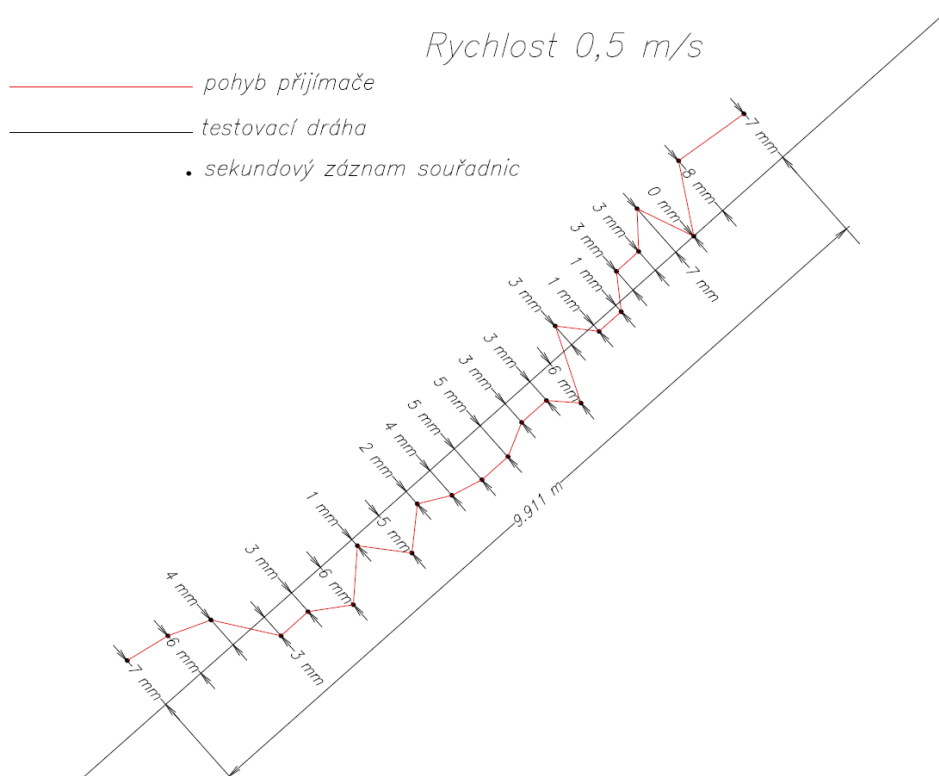
Dalším cílem bylo zjistit, jaká bude přesnost RTK měření při pohybu přijímače. Na střeše budovy B fakulty stavební ČVUT v Praze bylo vybráno zábradlí jako testovací dráha. Testovací dráha byla zaměřena profesionální geodetickou GNSS aparaturou TopCon Hiper ++. Následně byla vytvořena konstrukce, která umožňovala pohyb antény přímo po zábradlí (obr. 33). Konstrukce se skládala z plastového autíčka na pohyb po testovací dráze, GNSS antény pro příjem dat z družic, dvou dřevotřískových desek, aby autíčko jelo přímo po dráze a rukojeti na pohyb celé konstrukce. Následně bylo touto konstrukcí pohybováno po testovací dráze ve třech různých rychlostech pohybu. Záznam měření byl prováděn v programu U-center s připojeným NTRIP Clientem. Na měření byla použita síť iMAX3C-MSM, která poskytuje korekční data pro všechny GNSS systémy. Výsledné souřadnice z měření pohybu i z měření GNSS aparaturou TopCon byly pro lepší přehlednost transformovány ze systému WGS-84 do S-JTSK pomocí on-line služby transformace souřadnic poskytovanou ČÚZK dostupné na [16]. Následné odchylky od testovací dráhy byly graficky prezentovány.



Obrázek 33: Konstrukce pro testování fixního řešení při pohybu přijímače

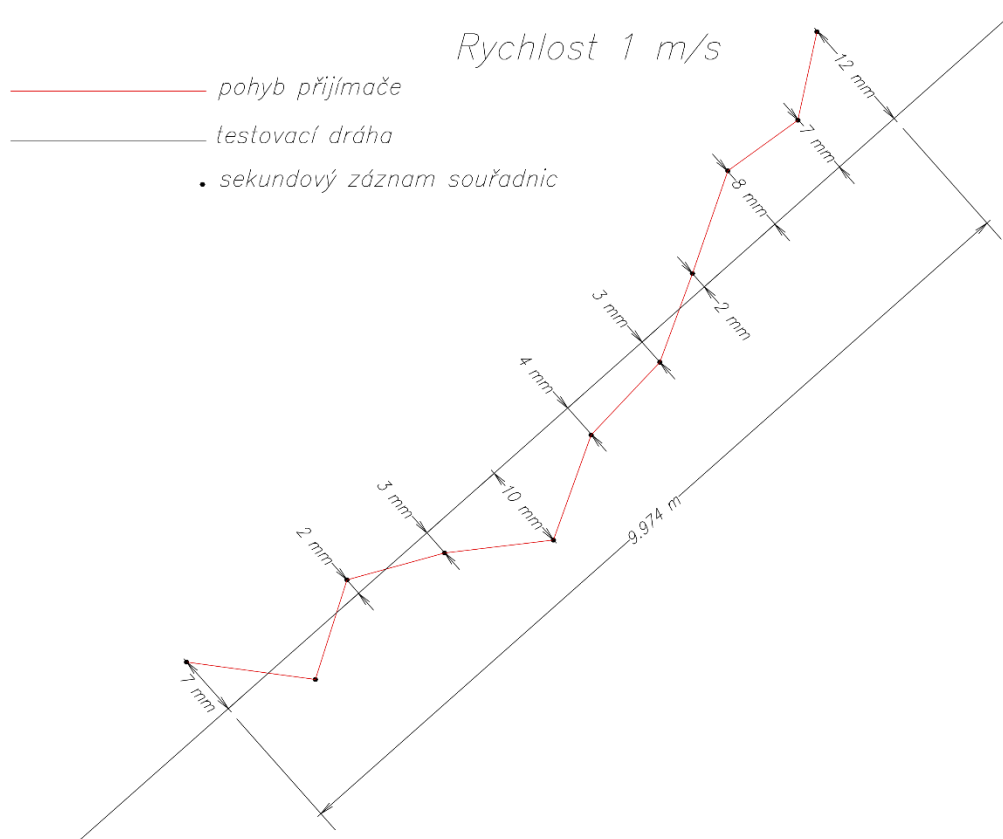


První testovaná rychlost byla přibližně 0,5 m/s (obr. 34). Při této rychlosti bylo dosaženo maximálně 7-milimetrové odchyšky od testovací dráhy. Testovací dráha byla dlouhá 9,911 metrů a bylo zaznamenáno 24 sekundových měření.



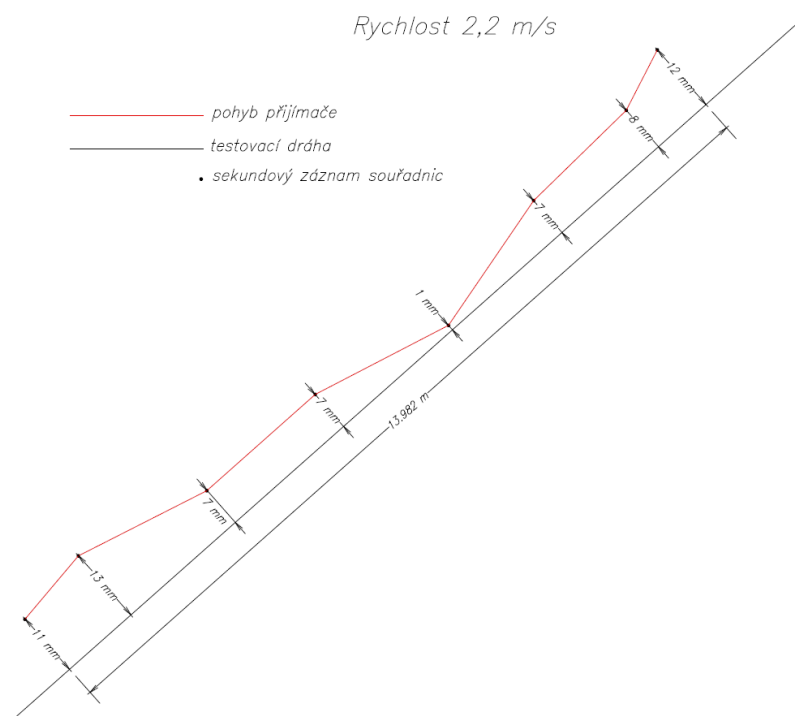
Obrázek 34: Odchyšky od testovací dráhy při rychlosti 0,5 m/s

Další testovaná rychlost byla přibližně 1 m/s (obr. 35). Při této rychlosti byla maximální odchyška od testovací dráhy 12 milimetrů. Testovací dráha byla dlouhá 9,974 metru a bylo zaznamenáno 11 sekundových měření.



Obrázek 35: Odchylky od testovací dráhy při rychlosti 1 m/s

Poslední testovanou rychlostí bylo přibližně 2,2 m/s (obr. 36). Při této rychlosti bylo dosaženo maximálně 13-milimetrové odchylky od testovací dráhy. Testovací dráha byla dlouhá 13,982 metru a bylo zaznamenáno 8 sekundových měření.



Obrázek 36: Odchylky od testovací dráhy při rychlosti 2,2 m/s

Jak je z výsledků patrné (tab. 13), s rostoucí rychlostí pohybu roste taktéž odchylka měřených souřadnic od dráhy. Bylo by ještě příhodné vyzkoušet vyšší rychlosti pohybu, ale použitá testovací dráha neumožňovala vyšší rychlost, protože je příliš krátká a výsledky by tedy neměly moc velkou informační hodnotu.

Tabulka 13: Výsledky testu dráhy

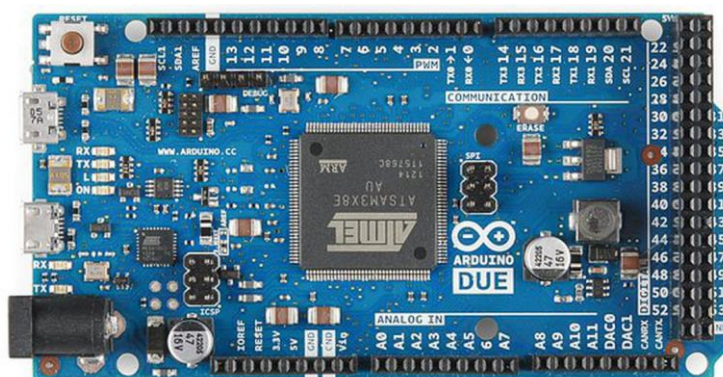
Rychlost pohybu	Počet měření	Průměrná odchylka
0,5 m/s	24	4 mm
1 m/s	11	5,3 mm
2,2 m/s	8	8,3 mm

# 14 Vytvoření NTRIP Klienta

Dalším cílem této práce bylo vytvoření NTRIP Klienta pro přijímání korekčních dat v reálném čase pomocí platformy Arduino. Středobodem celého zařízení byla zvolena vývojová deska Arduino Due, která sloužila pro nahrání ovládacího programu a propojení komunikace mezi GNSS modulem a GPRS modulem. Pro přijímání korekcí z internetu byl zvolen GSM/GPRS modul Sim800L.

## 14.1 Arduino DUE

Arduino Due (obr. 37) je vývojová deska založená na výkonném Atmel SAM3x8E ARM Cortex-M3 procesoru s 32bitovou architekturou, což umožňuje náročné výpočty. Rozdíl oproti ostatním Arduino mikrokontrolerům je také v tom, že používá 3,3 V místo častěji používaných 5 V [22]. Deska byla zvolena hlavně z důvodu, že obsahuje 4 UART sériové linky, což umožňuje bezproblémovou komunikaci mezi GNSS modulem a GSM/GPRS modulem.



Obrázek 37: Vývojová deska Arduino Due [21]

## 14.2 Sim800L

Sim800L je bezdrátový GSM/GPRS modul. Lze přes něj uskutečnit hovor, zaslat SMS zprávu a hlavně přenést GPRS data. Má sadu sériových rozhraní TTL a sadu rozhraní pro napájení. Sim800L je kompletní čtyřpásmové GSM/GPRS řešení [23]. Sim800L je zobrazen na obr. 38 a jeho technické parametry jsou uvedeny v tab. 14.



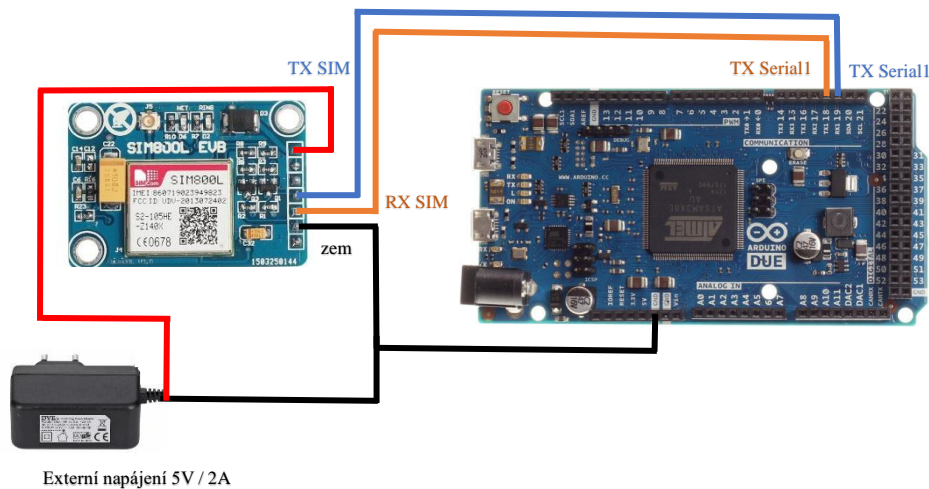
Obrázek 38: Sim800L [23]

Tabulka 14: Technické specifikace Sim800L

Napájecí modul	5 V
Slot karty	MicroSim
Podpora	SMS/GPRS
Konfigurace	Pomocí AT příkazů
Způsob komunikace	UART (RX, TX)

### 14.3 Zapojení a konfigurace Sim800L

GPRS modul je s vývojovou deskou Arduino Due propojen porty sériové komunikace RX (Read) a TX (Transmit). Porty je nutné překřížit, aby vysílací pin modulu byl propojen s přijímacím pinem Arduino desky a naopak. Arduino Due má celkem 4 dvojice sériových portů, takže zvolení je libovolné, pouze musí být ošetřeno v ovládacím programu. Problém se vyskytl s napájením modulu. Aby modul fungoval správně, potřebuje 5 V s proudovou kapacitou asi 2 A. Tento proud potřebuje pouze dočasně, když se například připojuje do sítě. Při normálním režimu je modul funkční i s několika mA. Při neznalosti této informace se při zapojení do Arduino desky s napětím 3,3 V modul tváří jako funkční, ale mnoho jeho funkcí není možno provést. Proto muselo být vytvořeno externí napájení s 5 V a 2 A pomocí napájecího adaptéru. Následně už stačí propojit zem s Arduino Due a modul je připraven. Zapojení GPRS modulu je zobrazeno na obr. 39.



Obrázek 39: Zapojení Sim800L

Komunikace s GPRS modulem probíhala přes sériový monitor v Arduino IDE pomocí AT příkazů. AT je řádkový příkaz, který je většinou využíván pro konfiguraci a ovládání modulů. AT příkazy se v tomto případě dají psát přímo do sériového monitoru, při nahrání určitého ovládacího kódu do vývojové desky. Ukázka ovládacího kódu je na obr. 40.

```
String Arsp, Grsp;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(4800);
  Serial.println("Testing GSM SIM800L");
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if(Serial1.available())
  {
    Grsp = Serial1.readString();
    Serial.println(Grsp);
  }
  if(Serial.available())
  {
    Arsp = Serial.readString();
    Serial1.println(Arsp);
  }
}
```

Obrázek 40: Ukázka kódu pro komunikaci s GPRS modulem

V případě tohoto kódu se při spuštění monitoru vypíše „Testing GMS Sim800L“. Tím je modul připraven pro komunikaci.

Veškeré AT příkazy pro modul jsou uvedeny v dokumentaci [23]. Zde je uveden soupis základních AT příkazů pro komunikaci s GPRS modulem. Do modulu je třeba

vložit SIM kartu. Sim karta by měla být zbavena PIN kódu. Následně je třeba zapojit modul do sítě a připojit Arduino desku ke stolnímu počítači. Modul má autodetekci komunikační rychlosti, ale je třeba v terminálu nějakou rychlost zvolit.

- Příkaz pro odezvu modulu

Příkaz: **AT**

Odpověď: **OK**

Odpověď značí, že modul je správně připojen.

- Příkaz pro sílu signálu

Příkaz: **AT+CSQ**

Odpověď: **+CSQ: 27,0**

**OK**

V čísle v odpovědi se nachází síla signálu v rozmezí -110 až -54 dBm. Čím je údaj vyšší, tím lépe.

- Příkaz pro zjištění operátora, u kterého je SIM registrována

Příkaz: **AT+ COPS?**

Odpověď: **+COPS: 0,0,"T-Mobile CZ"**

**OK**

Jak je patrné, vložená SIM je registrována u T-Mobile CZ. Všechny uvedené AT příkazy ukazují, že modul je správně připojený a je správně vložena SIM karta. Dále je tedy možné začít GPRS komunikaci, kvůli které byl tento modul zvolen.

- Spuštění plné funkcionality modulu

Příkaz: **AT+CFUN=1**

Odpověď: **OK**

- Nastavení APN, uživatelského jména a heslo pro PDP

Příkaz: **AT+CSTT="internet.t-mobile.cz","gprs","gprs"**

Odpověď: **OK**

- Nastavení GPRS

Příkaz: **AT+CIICR**

Odpověď: **OK**

- Získání IP adresy

Příkaz: **AT+CIFSR**

Odpověď: **10.131.53.95**

Modul vrátil IP adresu připojení. To značí, že modul je připojen k internetu. Na modulu taktéž začala blikat dioda NET, která potvrzuje správné připojení k internetu.

- Zahájení TPC připojení

Příkaz: **AT+CIPSTART="TCP","195.245.209.181","2111"**

Odpověď: **OK**

**CONNECT OK**

Příkaz pro TPC připojení k CZEPOSU na portu 2111 k získání RTCM 3.x korekčních dat.

- Zaslání požadavku NTRIP Casteru

Příkaz: **AT+CIPSEND = 160**

Odpověď: **>**

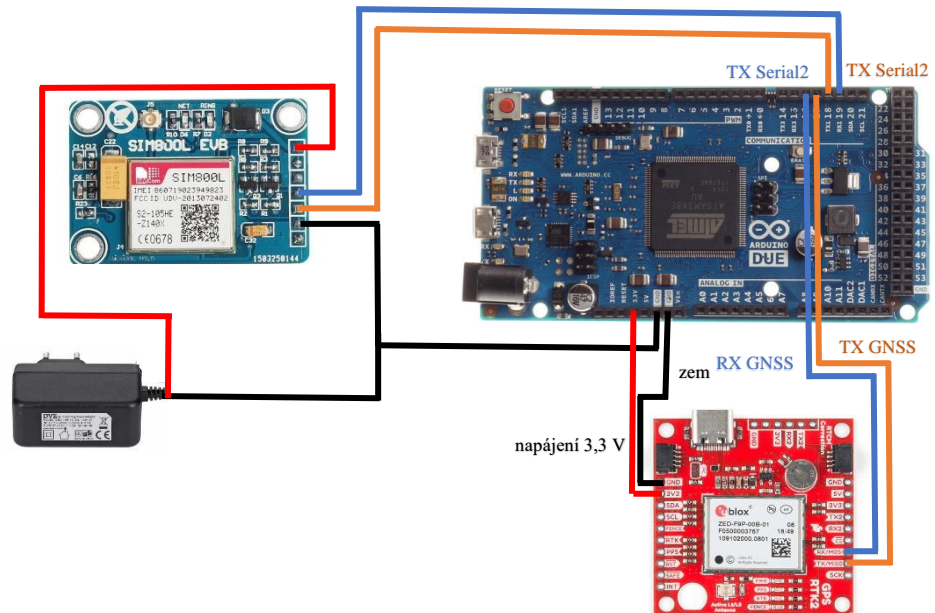
Příkaz slouží k odeslání požadavku k serveru. Číslo 160 značí, kolik znaků se bude odesílat. Pokud se toto číslo nezadá, tak podle dokumentace se může zpráva odeslat pomocí CTRL+Z. Tato klávesová zkratka v sériovém monitoru nefunguje, proto je nutné zadat správný počet odesílaných znaků. Po dosažení počtu znaků je zpráva odeslána severu. Za symbol > se tedy začne psát zpráva, která se má odeslat. V případě NTRIP Clienta se jedná o zprávu:

```
GET /CPRG3 HTTP/1.0\r\n
Host: czeposr.cuzk.cz\r\n
User-Agent: NTRIP test\r\n
Authorization:Basic 3Z1dHZ5dWthOmsxNTVkcmlVtZWpha29rb251\r\n
Connection: close\r\n\r\n
\r\n\r\n
```



## 14.4 Zapojení GNSS modulu

Princip zapojení GNSS modulu (obr. 41) je obdobný jako pro GPRS modul. Jediný rozdíl je v tom, že GNSS modul je napájený přímo z Arduino desky a je připojen do druhého sériového portu.



Obrázek 41: Schéma zapojení modulů k Arduino desce

V ovládacím kódu už stačí pouze zaslat přijaté korekce GNSS modulu a je možno s využitím knihovny TinyGPS++ získat měřené souřadnice v sériovém monitoru. TinyGPS++ je Arduino knihovna pro analýzu přijímaných zpráv NMEA poskytované systémem GNSS. Celý popis knihovny je zde [26]. Ukázka kódu a výstupu je zobrazena na obr. 42.

```

#include "TinyGPS++.h"
TinyGPSPlus gps;
|
void setup() {
  Serial1.begin(9600); // SIM800L
  Serial2.begin(38400); // GNSS
  Serial.begin(19200); // Native USB
  NTRIP(); //Setup NTRIP
}

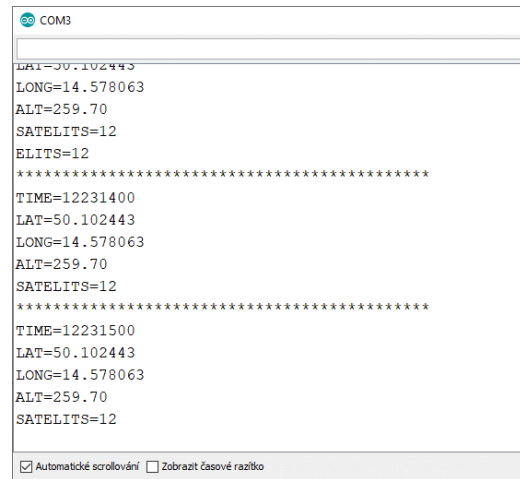
void loop() {

// Pokud jsou dostupna data ze SIM800L, poslu se do GNSS prijimace
if (Serial1.available() > 0) {
  Serial2.write ( Serial1.read ());
}

// Pokud jsou dostupna data z GNSS prijimace, poslou se do pc
if (Serial2.available() > 0) {
  gps.encode(Serial2.read());
}

//Pokud byly souradnice aktualizovany, vypisi se do konzole
if (gps.altitude.isUpdated()){
  Serial.println("*****");
  Serial.print("TIME="); Serial.println(gps.time.value());
  Serial.print("LAT="); Serial.println(gps.location.lat(), 6);
  Serial.print("LONG="); Serial.println(gps.location.lng(), 6);
  Serial.print("ALT="); Serial.println(gps.altitude.meters());
  Serial.print("SATELITES="); Serial.println(gps.satellites.value());
  delay (1000);
}
}

```



```

COM3
LAT=50.102443
LONG=14.578063
ALT=259.70
SATELITES=12
ELITS=12
*****
TIME=12231400
LAT=50.102443
LONG=14.578063
ALT=259.70
SATELITES=12
*****
TIME=12231500
LAT=50.102443
LONG=14.578063
ALT=259.70
SATELITES=12
 Automatické scrollování  Zobrazit časové razítko

```

Obrázek 42: Ukázka ovládacího kódu a výstupu

Tímto způsobem se dá dosáhnout určovaných souřadnic bez využití programu U-center, který byl v této diplomové práci uváděn jako hlavní komunikační způsob s GNSS modulem. V čase odevzdání diplomové práce ještě není NTRIP Client plně funkční, protože se nepodařilo navázat komunikaci s NTRIP Casterem, tudíž výše popsanou metodou zatím nelze provádět měření s korekčními daty a fungování je popsáno čistě teoreticky.

## 15 Závěr

Cílem této práce bylo otestovat novou generaci GNSS modulu od společnosti Sparkfun, který obsahuje čip u-blox ZED-F9P. Tento modul podporuje příjem korekčních dat RTCM 3.x, což umožňuje přesná měření s využitím technologie RTK a na rozdíl od předchozích generací tohoto modulu podporuje i příjem signálů L2.

Jako první z testů bylo zjištění fázového centra antény u-blox ANN-MB. Tento test probíhal tak, že bylo měřeno statickou metodou po dobu 24 hodin, kde anténa byla připevněna na otočnou konstrukci, která se každou hodinu otočila o 15°. Během celého měření anténa udělala jednu otočku. Následně byla surová data z programu U-center konvertována na observační RINEX pomocí knihovny RTKLIB a observační RINEXY byly následně zpracovány v programu Leica Infinity. Z výsledku testu lze usoudit, že testovaná anténa není vhodná pro přesná geodetická měření a s GNSS modulem není vhodná pro měření statickou metodou, protože není plně kompatibilní se softwary na *post-processing*.

Dalším testem bylo zjištění, jaké přesnosti dosahuje testovaná GNSS aparatura při RTK měření. Měření proběhlo na pilířích s nucenou stabilizací, kde pilíře byly zaměřeny profesionální geodetickou GNSS aparaturou a následně i testovanou aparaturou po dobu přibližně 20 minut. Souřadnicová odchylka mezi určenými souřadnicemi byla na jednom pilíři 15 mm a na druhém pilíři 18 mm, kde největší rozdíl byl hlavně v určené výšce.

Dále byla zjišťována doba, kterou potřebuje přijímač při ztrátě signálu u metody RTK ke zpětné fixaci. Při tomto testování byla zakrývána anténa přijímače a bylo pozorováno, jaká je doba opětovného dosažení fixního řešení a jak se chovají určené souřadnice po jeho dosažení. Test byl proveden celkem pro 3 sítě poskytované sítí permanentních stanic CZEPOS. Z výsledku testů bylo zjištěno, že opětovné fixní řešení je provedeno přibližně 5 sekund a odchylka od průměrných souřadnic se pohybuje přibližně okolo 5 milimetrů.

Jako poslední test bylo zjišťováno, jaká bude přesnost určení souřadnic při pohybu přijímačem při RTK měření. Anténou bylo pohybováno po testovací dráze, která byla zaměřena profesionální geodetickou aparaturou. Test byl prováděn v několika rychlostech pohybu. Při rychlosti pohybu 0,5 m/s za sekundu byla průměrná odchylka od testovací dráhy 4 mm. Při rychlosti pohybu 1 m/s byla odchylka 5,3 mm a při rychlosti 2,2 m/s byla odchylka 8,3 mm. S rostoucí rychlostí pohybu se tedy zvyšovala průměrná odchylka od testovací dráhy.

Všechny testy cílené na metodu RTK dopadly velice pozitivně a dá se říci, že GNSS aparaturou je možné spolehlivě určit souřadnice v řádech několika centimetrů. Pořizovací cena GNSS modulu se v současné době pohybuje okolo 5 500 korun českých a 1 500 korun je cena antény. Přibližně za 7 000 korun se dá tedy pořídit GNSS aparatura, která při RTK měření drží krok v přesnosti s profesionálními geodetickými zařízeními, které jsou mnohonásobně dražší. Testovaná GNSS aparatura se nehodí na měření statickou metodou a následný *post-processing*.

Jako poslední cíl této práce bylo vytvořit NTRIP Clienta na platformě Arduino. K tomu byla zvolena vývojová deska Arduino Due a GMS/GPRS modul Sim800L. Bohužel, v době odevzdání práce se nepodařilo tento cíl splnit, protože se nepovedlo pomocí GPRS modulu navázat komunikaci s NTRIP Casterem. V textu bylo popsáno, jak by celý postup měl teoreticky fungovat.

# Seznam zdrojů

- [1] L1, L2, and L5 GPS Signals: What Do They Mean? MAPLE [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.mapleprecision.com/2019/01/16/11-12-15-satellite-signals/>
- [2] Moderní přístrojová technika [online]. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf>
- [3] Wikipedia: Rádiové signály GPS [online]. [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1diov%C3%A9\\_sign%C3%A1ly\\_GPS](https://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1diov%C3%A9_sign%C3%A1ly_GPS)
- [4] KRATOCHVÍL, Vlastimil. Globální navigační satelitní systémy (GNSS) [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://www.fce.vutbr.cz/ged/opvk/inovace/blok\\_C/GE07/Texty\\_GNSS.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/ged/opvk/inovace/blok_C/GE07/Texty_GNSS.pdf)
- [5] NTRIP Component Names [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://lefebure.com/articles/ntrip-names/>
- [6] Globální navigační systémy [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=6390](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=6390)
- [7] *Co to je GPS? Historie a úvod do problematiky* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/co-to-je-gps-historie-a-uvod-do-problematiky/244-2>
- [8] Český kosmický portál [online]. [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.czechspaceportal.cz/>
- [9] Navigační systém Galileo – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD\\_syst%C3%A9m\\_Galileo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m_Galileo)
- [10] *TESAŘ, Pavel. Úvod do GNSS* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/co-to-je-gps-historie-a-uvod-do-problematiky/244-2>
- [11] *Positioning by GNSS, GPS, GALILEO satellites... How does it work?* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.reseau-teria.com/en/2020/01/20/positioning-by-gnss-gps-galileo-satellites-how-does-it-work/>
- [12] Globální navigační satelitní systémy [online]. [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: [http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie\\_2018/gnss.pdf](http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie_2018/gnss.pdf)

- [13] Ublox - History [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.u-blox.com/en/history-0>.
- [14] *ZED-F9P Data Sheet* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://cdn.sparkfun.com/assets/8/3/2/b/8/ZED-F9P\\_Data\\_Sheet.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/8/3/2/b/8/ZED-F9P_Data_Sheet.pdf)
- [15] *ANN-MB-00-00* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.digikey.com/product-detail/en/u-blox/ANN-MB-00-00/672-ANN-MB-00-00-ND/9817928>
- [16] *INSPIRE služba transformace souřadnic* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(qxxbzmaq2kwnji3f1lagfloe\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=sit.trans.uvod&side=sit.trans&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=34](https://geoportal.cuzk.cz/(S(qxxbzmaq2kwnji3f1lagfloe))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=sit.trans.uvod&side=sit.trans&head_tab=sekce-03-gp&menu=34)
- [17] *RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://www.rtklib.com/>
- [18] *GPS a komunikační protokol NMEA* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-3-dekodovani-dat>
- [19] TRUHLÁŘ, Luboš. *Vývoj NTRIP Casteru* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2013/lubos-truhlar-dp-2013.pdf>
- [20] *Data v GNSS a jejich formáty* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://geoinformatika-1.vsb.cz/pmzgns/prednasky/04\\_data.pdf](https://geoinformatika-1.vsb.cz/pmzgns/prednasky/04_data.pdf)
- [21] *D.I.Y Robotics and Electronics* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://diybot.co.za/product/arduino-due-board-compatible-with-arduino/>
- [22] *Arduino Store* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-due>
- [23] *Arduino Shop* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/7569-bezdratovy-gsm-gprs-modul-sim800l-v2.0.html>
- [24] *Sim800L Data Sheet* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2637/SIM800+Series\\_TCPIP\\_Application+Note\\_V1.01.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2637/SIM800+Series_TCPIP_Application+Note_V1.01.pdf)
- [25] U-blox : Achieving Centimeter Level Performance with Low Cost Antennas [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://cdn.sparkfun.com/assets/0/c/0/1/cAntennasForRTK\\_WhitePaper\\_\\_UBX-16010559\\_.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/0/c/0/1/cAntennasForRTK_WhitePaper__UBX-16010559_.pdf).

[26] *Arduiniana* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z:  
<http://arduiniana.org/libraries/tinygpsplus/>

[27] *O síti VRS Now* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z:  
<https://geotronics.cz/produkty/gnss-korekce/o-siti/>

[28] *CZEPOS* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://czeapos.cuzk.cz/>

[29] *NMEA data* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z:  
<https://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>

# Seznam obrázků

Obrázek 1: schéma oběžných drah družic [4].....	11
Obrázek 2: Segmenty GPS [12].....	12
Obrázek 3: Schéma modulace signálu vysílaného družicemi GPS [3].....	14
Obrázek 4: Princip statické metody .....	18
Obrázek 5: Princip metody RTK .....	19
Obrázek 6: Multipath.....	21
Obrázek 7: VRS .....	24
Obrázek 8: Ukázka observačního RINEXU z měření GNSS modulem u-blox .....	27
Obrázek 9: Schéma NTRIP sítě [5].....	32
Obrázek 10: Schéma Sparkfun GPS RTK 2 .....	36
Obrázek 11: GNSS anténa ANN-MB [15] .....	37
Obrázek 12: Připojení GNSS k u-centeru.....	37
Obrázek 13: Přijímaná data programem U-center .....	38
Obrázek 14: Statistic View .....	39
Obrázek 15: Zobrazení měřených dat - Table view .....	39
Obrázek 16: Nahrávání souboru .ubx.....	40
Obrázek 17: Nastavení NTRIP klienta .....	41
Obrázek 18: Síťové řešení v U-center .....	41
Obrázek 19: Konfigurace modulu.....	42
Obrázek 20: Nastavení GNSS modulu pro postprocesing.....	43
Obrázek 21: Nastavení GNSS modulu pro RTK měření.....	43
Obrázek 22: RTKLIB [17].....	44
Obrázek 23: Ukázka kódu pro otáčení krokovým motorem.....	46
Obrázek 24: Testovací konstrukce fázového centra antény .....	46
Obrázek 25: Schéma zapojení korkového motoru .....	47
Obrázek 26: Ukázka zpracování GNSS měření v programu Leica Infinity .....	48
Obrázek 27: Grafické zobrazení polohy měření .....	49
Obrázek 28: Grafické zobrazení výšky měření.....	49
Obrázek 29: Ukázka zpracování .....	53
Obrázek 30: Porovnání časů fixace pro jednotlivé sítě .....	54
Obrázek 31: Porovnání průměrných polohových odchylek pro jednotlivé sítě.....	54
Obrázek 32: Porovnání průměrného PDOP pro jednotlivé sítě.....	55



Obrázek 33: Konstrukce pro testování fixního řešení při pohybu přijímače.....	56
Obrázek 34: Odchyšky od testovací dráhy při rychlosti 0,5 m/s.....	57
Obrázek 35: Odchyšky od testovací dráhy při rychlosti 1 m/s .....	58
Obrázek 36: Odchyšky od testovací dráhy při rychlosti 2,2 m/s.....	59
Obrázek 37: Vývojová deska Arduino Due [21] .....	60
Obrázek 38: Sim800L [23] .....	61
Obrázek 39: Zapojení Sim800L.....	62
Obrázek 40: Ukázka kódu pro komunikaci s GPRS modulem.....	62
Obrázek 41: Schéma zapojení modulů k Arduino desce.....	65
Obrázek 42: Ukázka ovládacího kódu a výstupu.....	66

# Seznam tabulek

Tabulka 1: Verze formátu RINEX [20].....	27
Tabulka 2: Popis GSA zprávy.....	28
Tabulka 3: Popis RMC zprávy.....	29
Tabulka 4: Popis GSV zprávy.....	30
Tabulka 5: Popis GGA zprávy.....	31
Tabulka 6: Přijímané signály modulu Zed-F9P [14].....	35
Tabulka 7: Výsledky měření.....	48
Tabulka 8: Výsledky RTK měření.....	51
Tabulka 9: Souřadnicové rozdíly RTK měření.....	51
Tabulka 10: Seznam testovaných RTK služeb.....	52
Tabulka 11: Ukázka zpracování dat, síť iMAX3C.....	53
Tabulka 12: Výsledky testování opakovaného fixního řešení.....	55
Tabulka 13: Výsledky testu dráhy.....	59
Tabulka 14: Technické specifikace Sim800L.....	61

# Seznam použitých zkratek

ASCII - American Standard Code for Information Interchange (americký standardní kód pro výměnu informací)

DGNSS - Differential GNSS (Diferenciální GNSS)

GLONASS - Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema (Globální družicový navigační systém)

GNSS - Global Navigation Satellite System (Globální družicový polohový systém)

GDOP - geometric dilution of precision (parametr geometrické přesnosti)

GPS - Global Positioning System (Globální polohový systém)

PDOP – Position dilution of precision (parametr přesnosti polohy)

RTK – Real Time Kinematic (Kinematická metoda v reálném čase)

SA – Selective availability

S-JTSK - Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

UTC - Coordinated Universal Time (Universální koordinovaný čas)

VRS - Virtual Reference Station (Virtuální referenční stanice)

WGS-84 -World Geodetic System 1984 (Světový geodetický systém 1984)

# Seznam příloh

A Elektronická příloha .....	76
------------------------------	----

# A Elektronická příloha

- Text diplomové práce
- Výsledky testování opakovaného fixního řešení
- Zdrojové kódy pro desku Arduino
- Měřená testovaná data