

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Bakalářská práce

2013

Jan Lednický

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra radioelektroniky

Dostupnost GNSS služeb

Prosinec 2013

Bakalant: Jan Lednický

Vedoucí práce: Ing. Pavel Puričer

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 24. 5. 2013

.....
podpis bakalanta

Abstract:

This final project deals with GNSS services, mainly the GPS. The project introduces their principles of operation. Next phase of this project is about gathering data received by the GPS receiver. Last chapter is devoted to analysis of gathered data.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá GNSS službami, hlavně GPS systémem. V práci jsou uvedeny principy její činnosti. Práce dále se zabývá sběrem dat poskytovaných GPS přijímačem. Poslední kapitola je věnována analýze získaných dat

Obsah

1.	Úvod	7
1.1	Úvod do problematiky	7
1.2	Cíl práce	7
2.	GNSS	8
2.1	Historie GNSS	8
2.2	Princip družicové navigace	8
2.2.1	Metoda úhломěrná	8
2.2.2	Metoda dopplerovská	8
2.2.3	Metoda interferometrická	9
2.2.4	Metoda založená na měření fáze nosné	9
2.2.5	Metoda dálkoměrná	9
	2.2.5.1 Aktivní dálkoměrné systémy	10
	2.2.5.2 Pasivní dálkoměrné systémy	10
2.3	Rádiové vysílání	11
3.	GPS	13
3.1	Historie GPS	13
3.2	Topologie GPS	13
3.2.1	Kosmický segment	13
3.2.2	Řídící segment	14
3.2.3	Uživatelský segment	14
3.3	Rádiové signály GPS	14
3.4	Kódy družic	15
3.5	Navigační zpráva	16
4.	Přesnost a kvalita GNSS	18
4.1	Činitel zhoršení přesnosti PDOP	18
4.2	Opatření pro dosažení vysoké přesnosti	19
5.	Měření dostupnosti GNSS signálu	20
5.1	Úvod	20
5.2	Specifikace měření	21
5.3	NMEA formát	21
5.4	Připojení přijímače k PC	22
5.5	Nastavení GPS přijímače	23

5.6	Věty NMEA	23
5.6.1	GGA	23
5.6.2	GLL	24
5.6.3	GSA	24
5.6.4	GSV	25
5.6.5	RMC	25
5.6.6	VTG	26
5.6.7	ZDA	26
5.7	Export dat	27
5.8	Skript pro filtraci	27
6.	Vyhodnocení dat	29
6.1	Způsob vyhodnocení	29
6.2	Místo s dobrým výhledem	30
6.3	Zastíněné místo – stín z určité světové strany	32
6.4	Zastíněné místo – stín mostu	34
6.5	Zastíněné místo – stín okolní vegetace	36
6.6	Městská zástavba	38
7.	Závěr	40
8.	Použitá literatura	42
9.	Přílohy	43
9.1	Příloha – skript	43
9.2	Obsah přiloženého CD	45

1. Úvod

1.1 Úvod do problematiky

V dnešní době existuje mnoho družicových navigačních systémů, avšak pro nás má největší užitek GPS NAVSTAR. Ačkoliv to není jediný GNSS systém na světě, je to jediný systém, který je zcela funkční a téměř zcela otevřený veřejnosti. Tento původně armádní systém, existuje již přes 50 let a v dnešní době má i hojně civilní využití. Tento systém se využívá jak ve vojenství, tak i v dopravě (například námořní nebo letecký průmysl), ale i jako osobní navigace.

V současné době existuje i několik dalších GNSS služeb, například ruský GLONASS, evropský Galileo nebo čínský Compass. Z těchto vyjmenovaných jsou Galileo a Compass stále ve vývoji a nejsou plně funkční, GLONASS je plně funkční stejně jako GPS. Existují i lokální systémy, ale o ty se má bakalářská práce nezajímá.

1.1 Cíl práce

Hlavním cílem mé bakalářské práce je seznámit se s GNSS službami, principem a jejich funkcemi. Dalším cílem je aplikovat získané vědomosti, naměřit data a následně je analyzovat.

Veškeré mé poznatky sepsat uceleným způsobem v rámci této práce a porovnat naměřená data z pohledu dostupnosti signálu.

Má práce je zaměřená převážně jen na systém GPS, protože je v dané oblasti nejrozšířenější a nejrozvinutější.

K měření dostupnosti signálu mi byl zapůjčen Qstarz BT-Q1000 Travel Recorder.

Na tomto přístroji naměřím několik stacionárních měření v oblastech s různou dostupností GNSS signálu.

Tato práce by měla sloužit jako teoretické seznámení s GNSS službami a službou GPS. Dále by měla čtenáři ukázat rozdíl v přijatých datech v různých typických lokalitách. Jako je například různý počet viditelných družic, rozdílný činitel DOP, dostupnost signálu atd.

2. GNSS

2.1 Úvod do GNSS

Globální družicový polohový systém (Global Navigation Satellite System) je služba umožňující za pomoci signálů z družic určování polohy s velkou přesností. Dalšími kritérii GNSS signálů jsou pak jejich aktuálnost v reálném čase, spojitost signálu a co nejširší pokrytí. [1]

V roce 2013 jsou pouze dva plně funkční systémy provozované armádou USA NAVSTAR GPS a Ruskem provozovaný GLONASS. Vyvíjí se také evropský GNSS Galileo, čínský Compass. Jejich provoz měl být zahájen v roce 2010, tyto GNSS systémy však stále nejsou plně v provozu. Existují však i regionální autonomní družicové polohové systémy jako např.: vyvíjený indický IRNSS.[1]

2.2 Princip družicové navigace

Při určování polohy zpracováním signálů družic se používají následující metody:

- 1) metoda úhломěrná
- 2) metoda dopplerovská
- 3) metoda dálkoměrná
- 4) metoda založená na měření fáze nosné
- 5) metoda interferometrická

Pro družicovou navigaci má význam především metoda dálkoměrná. [2]

2.2.1 Úhломěrná metoda

V daném místě zaměříme družici a určíme k ní elevační úhel. Geometrickým místem bodů s tímto úhlem je kužel s vrcholem v místě družice. Provedeme-li po určitém čase další měření ke stejné nebo jiné družici, určíme jiný kužel. Průsečnice těchto kuželů s povrchem Země je poloha daného místa. Tato metoda je jedna z prvních metod, které se v družicové navigaci používají, je však málo přesná, obtížně se realizuje a jsou k ní zapotřebí směrové antény k zaměření družice. [2]

2.2.2 Dopplerovská metoda

Tato metoda je založena na Dopplerově jevu. Družice, která se pohybuje po oběžné dráze, vysílá kromě stabilního kmitočtu časové značky také údaje o parametrech své dráhy, ze kterých je počítač přijímače schopen vypočítat polohu družice. Přijímač dále musí obsahovat přesný oscilátor pracujícím na stejném kmitočtu jako vysílač družice. Jeho signál je směřován se signálem přijatým. Čítač, který počítá periody rozdílového (Dopplerova) kmitočtu, je ovládán pomocí časových značek. Po provedení alespoň 3 měření, můžeme pomocí získaných dat vypočítat polohu přijímače. Na tomto principu

pracoval systém Transit. Jeho hlavní nevýhodou je, že signál družic není nepřetržitě dostupný.[3]

2.2.3 Metoda interferometrická

Tato metoda používá diferenciální systémy. Přijímač má dvě antény umístěné na společné základně a vzdálené od sebe d . První anténou měříme zdánlivou vzdálenost D_{1i} k i - té družici a současně druhou anténou měříme zdánlivou vzdálenost D_{2i} ke stejné družici. Potom určíme úhel, který svírá základna se spojnicí střed základny – družice

$$\vartheta_i = \arccos\left(\frac{D_{2i} - D_{1i}}{d}\right)$$

Pomocí tří takto stanovených úhlů a polohy družic lze určit orientaci základny v prostoru.[2]

2.2.4 Metoda založená na měření fáze nosné

Přijímač měří rozdíly fází nosné vlny signálů přijímaných od jedné družice dvěma anténami umístěnými na základně dlouhé d . Jde v podstatě o metodu stejnou jako v předchozím případě, avšak měříme jinou veličinu. Celý počet n period nosné musíme určit jinou metodou, kterou měření inicializujeme. Úhel, který svírá základna se směrem k družici, určíme pomocí:

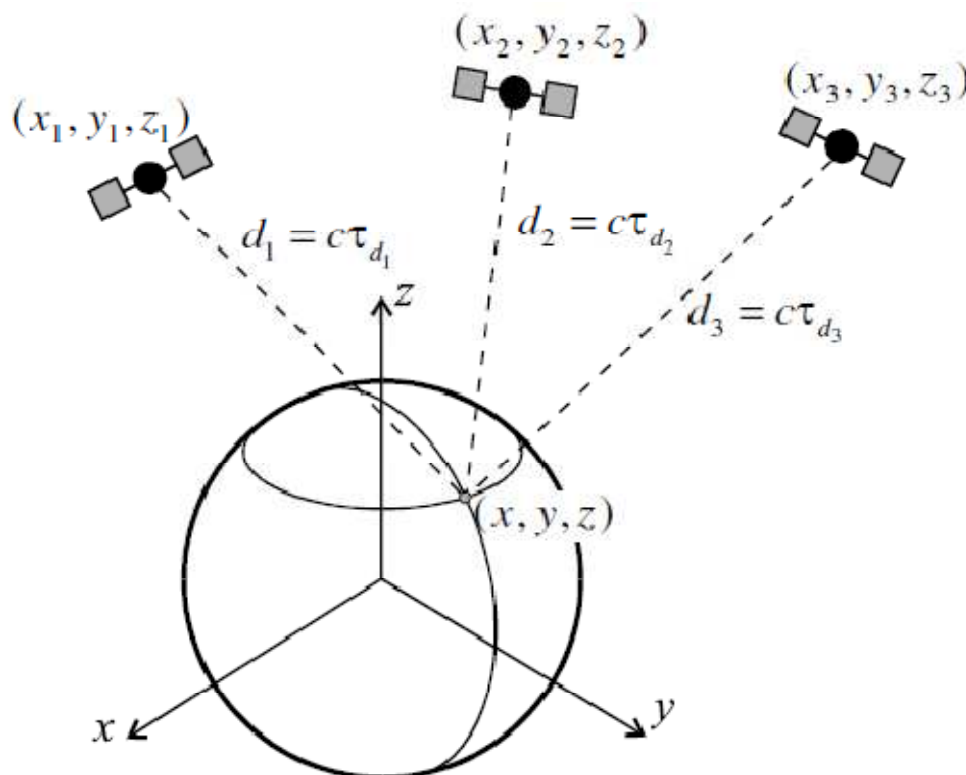
$$\vartheta_i = \arccos\left(\frac{\lambda}{d}\left(n + \frac{\Delta\Phi}{360}\right)\right)$$

Měření eliminuje chyby způsobené šířením signálu a způsobené družicí, proto je velice přesné (obě antény měří ke stejné družici, chyby na obou anténách se uplatňují stejně a vruší se). Déle je přesné, protože na krátkých vlnových délkách odpovídá malé změně vzdálenosti velká změna fáze nosné, kterou lze pak přesně změřit. [2]

2.2.5 Dálkoměrná metoda

Systémy určují polohu uživatele z jeho vzdáleností d_i od jednotlivých navigačních družic (obr. 1). Měření vzdáleností je převedeno na měření dob τ_{di} , které jsou potřebné k tomu, aby signály vyslané z družic dosáhly uživatelova přijímače. Známe-li souřadnice družic (x_i, y_i, z_i) , můžeme polohu uživatele (x, y, z) určit jako řešení soustavy tří rovnic pro tři neznámé. [2]

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = \tau_{di}c, \quad i = 1, 2, 3$$



Obr. 1: Princip dálkoměrné metody [2]

Dálkoměrné metody lze rozdělit na aktivní a pasivní.

2.2.5.1 Aktivní dálkoměrné systémy

Tyto systémy pracují způsobem dotaz - odpověď. Uživatel je vybaven tzv. odpovídačem. Řídicí stanice systému (pozemní) vysílá dotaz, který obsahuje identifikační značku uživatele. Dotaz šířený prostřednictvím družic uživatel rozpozná a odpovídač uživatele na dotaz odpoví. Odpověď se prostřednictvím družic dostává do řídicí stanice. Ta vyhodnotí zpoždění odpovědí předaných různými družicemi a vypočítá z nich a ze známé polohy družic polohu uživatele. Nevýhodou tohoto systému je, že je nutné, aby uživatel byl rádiově aktivní (problémy s utajením uživatele při vojenském použití) a dále, že může dojít k přetížení systému. [2]

2.2.5.1 Pasivní dálkoměrné systémy

Družice vysílají signály a uživatel zjišťuje čas jejich příjmu. Z doby τ_{di} , která uplynula mezi vysláním a příjmem signálů určuje vzdálenosti d_i k družicím. Z nich a z polohy družic určí uživatel svou polohu. Poloha se dá zjistit od pozemních stanic nebo přímo od samotných družic. Družice vysílají svou přímou polohu, nebo parametry svých drah, díky kterým uživatel dopočítá pravé souřadnice družice.

Měření doby τ_{di} má však problém, časové základny systému a uživatele jsou jiné (tzv. hodiny nejsou synchronní). Časová základna uživatele je však posunuta o neznámý časový interval Δt , který můžeme přepočítat na vzdálenost $b = c\Delta t$. K neznámým

souřadnicím uživatele přibývá tedy neznámá b (nebo Δt), pro výpočet polohy potřebujeme celkem čtyři rovnice

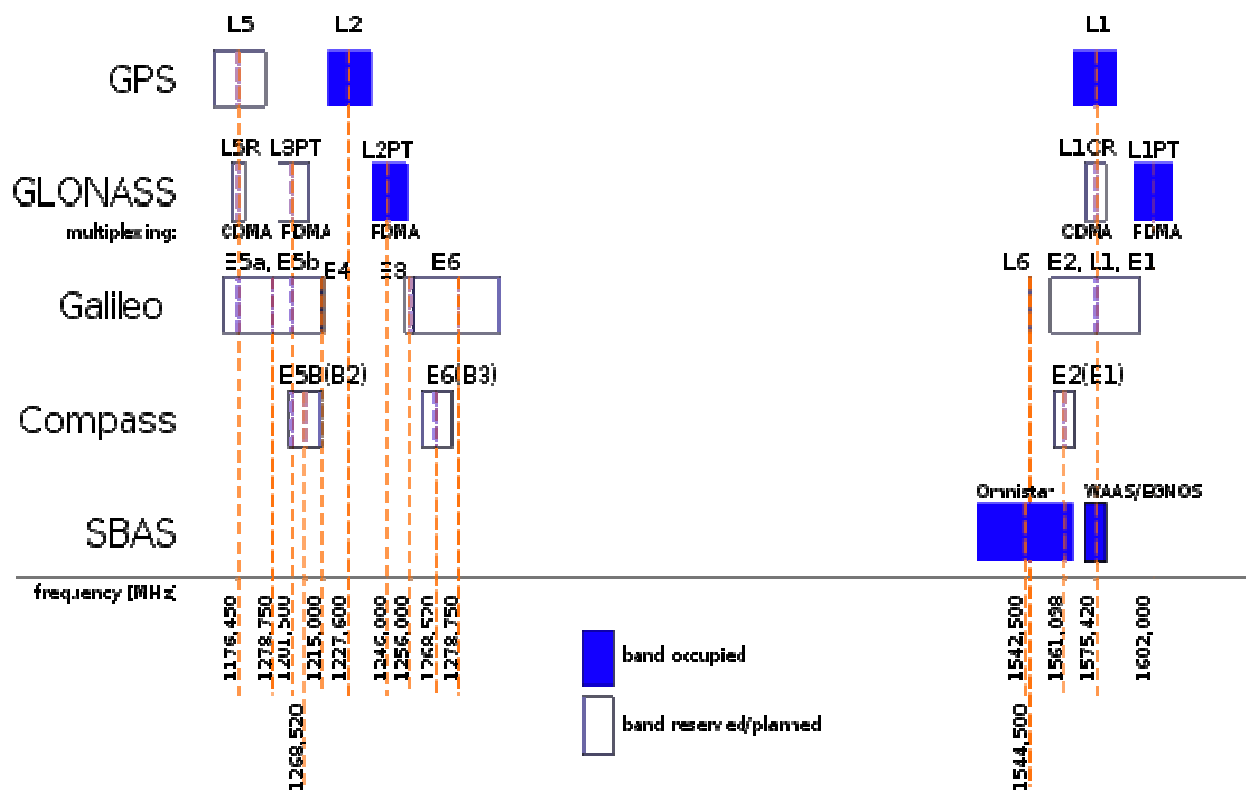
$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = d_i = (\tau_{mi} + \Delta t)c = D_i + b, \quad i = 1, 2, 3, 4$$

Měření provádí uživatel obvykle tak, že generuje kopii signálu vysílaného zvolenou družicí, tuto kopii zasynchronizuje s přijímaným signálem a měří posun τ_{mi} počátku této kopie vzhledem k počátku své časové základny. Měřený čas τ_{mi} můžeme přepočítat na vzdálenost D_i , která bývá nazývána pseudovzdáleností (pseudorange) nebo zdánlivou vzdáleností. Provede-li uživatel měření ke čtyřem družicím, má k dispozici všechny veličiny potřebné pro řešení soustavy rovnic, jejímiž neznámými jsou jeho souřadnice (x, y, z) a posun Δt jeho časové základny vzhledem k časové základně družicového systému. [2]

2.3 Rádiové vysílání

Každá družice v různých systémech GNSS vysílá rádiové vlny. Každý GNSS systém má pro sebe vyhrazenou frekvenci nebo smluvený způsob vysílání na stejné frekvenci. Díky této vlastnosti se zamezuje vzájemnému rušení těchto systémů. Každý GNSS systém využívá několik desítek družic, pro rozlišení těchto družic (v rámci jednoho systému) se využívá několik metod:

- kódové – CDMA (Code Division Multiple Access) - každá družice používá stejnou frekvenci pro různé kódy. Tyto kódy se označují za PRN (Pseudo Random Noise), označení kvůli podobnosti charakteristik. Přijímač tento kód zná a zesiluje hledaný signál, ostatní jsou potlačeny jako šum. Využívá ho GPS, Galileo.
- frekvenční - FDMA (Frequency Division Multiple Access) - každá družice používá stejné kódy na jiné frekvenci. Tato vlastnost vyžaduje velký počet volných frekvencí, z čeho vyplívá velká nevýhoda – vznikající interference vlnění při šíření radiových vln. Využívá ho GLONASS.
- časové - TDMA (Time Division Multiple Access) - každá družice vysílá na stejné frekvenci stejné kódy, ale v jiném čase. Tento způsob je komplikovaný na realizaci přijímače a nepoužívá se. [4]



Obr. 2: Schéma užívaných pásem a nominálních frekvencí GNSS [4]

3. GPS

3.1 Historie GPS

GPS (Global Positioning System) - globální družicový polohový systém, je provozován Ministerstvem obrany Spojených států amerických, s pomocí tohoto systému je možno určit polohu v daný čas kdekoliv na Zemi nebo nad Zemí. Přesnost GPS systému je do deseti metrů. Pro civilní uživatele je však k dispozici pouze část tohoto systému.

Původní název tohoto systému byl NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System). Tento projekt navázal na systém GNSS Transit (1964–1996), který předčil především kvalitou, dostupností, přesností a službami. První družice byla na oběžnou dráhu vypuštěna v únoru 1978. V roce 1994 bylo poprvé na oběžné dráze všech 24 družic potřebných pro plnou funkčnost systému. [1]

3.2 Topologie GPS

Systém GPS je tvořen třemi tzv. segmenty:

- kosmickým
- řídicím
- uživatelským

3.2.1 Kosmický segment

Tento segment dnes již využívá až mezní počet 32 družic. Družice obíhají přibližně ve výšce 20200 km nad povrchem Země po 6-ti kruhových drahách se sklonem 55°(inklinace). Posunutí mezi drahami je 60°. Na jedné dráze je dnes již 5-6 nepravidelně rozmístěné družic. Hmotnost družice je asi 1,8 tuny, na střední oběžné dráze (MEO - Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,8 km/s a doba oběhu kolem Země je tedy 11h 58min.

Základní části družice jsou: velmi přesné atomové hodiny, antény pro vysílání rádiových kódů v pásmu L, antény pro komunikaci s pozemním řídicím centrem, a solární panely jako zdroj energie pro palubní baterie.

Počet družic, jejich rozmístění a výška oběžné dráhy umožňuje z každého místa na Zemi pozorovat v každém okamžiku minimálně 4 družice, což je jedna ze základních podmínek pro určení polohy uživatele. [5]

3.2.2 Řídící segment

Tento segment se skládá z několika částí:

Řídící a kontrolní část se skládá z velitelství na letecké základně v Los Angeles v USA, řídicího střediska v Colorado Springs v USA, 3 povelových stanic a 18-ti monitorovacích stanic. Rozmístění těchto stanic a středisek je voleno tak, aby v každém okamžiku každá družice byla v dosahu alespoň jedním z těchto zařízení. Řídící a kontrolní části monitorují kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Výsledkem tohoto monitoringu je kód v navigační zprávě každé družice. Platnost této zprávy je řádově několik hodin. [5]

3.2.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment se jsou pouze GPS přijímače, pasivně získávající informace z družic, které jsou viditelné. Z dat, které získal přijímač z družic následně vypočítá polohu, nadmořskou výšku a přesný čas.

GPS přijímače se mohou lišit v různých charakteristikách. Počtem přijímaných pásem (jednofrekvenční a vícefrekvenční), počtem využívaných kanálů (jednakanálové nebo vícekanálové), principem výpočtů (kódová nebo fázová). Běžné přijímače jsou jednofrekvenční, vícekanálové a kódové.

Základní části GPS přijímače jsou: anténa, předzesilovač, procesor, časová základna a komunikační zařízení. [5]

3.3 Rádiové signály GPS

Každá družice vysílá na dvou kmitočtech

$L1 = 1\,575,42$ MHz,

$L2 = 1\,227,6$ MHz.

Signál vysílaný družicí můžeme popsat vztahem

$$S(t) = A_c C(t) D(t) \sin(2\pi L_1 t) + A_{p1} P(t) D(t) \cos(2\pi L_1 t) + A_{p2} P(t) D(t) \cos(2\pi L_2 t)$$

tj. nosné vlny jsou modulované kódy $C(t)$ a $P(t)$ a daty $D(t)$. Kódy a data nabývají hodnot $+1$ a -1 , jde tedy o modulaci s binárním fázovým klíčováním (BPSK). Kódy $C(t)$ a $P(t)$ umožňují měření vzdálenosti a vzájemné oddělení signálů jednotlivých družic. Data $D(t)$ slouží k přenosu efemerid družic, z nichž se v přijímači určují polohy [2]

3.4 Kódy družic

Kódy $C(t)$ a $P(t)$ jsou pseudonáhodné posloupnosti číslic +1 a -1 nosné vlny.

$$c(t) \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}, \quad D(t) \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}$$

kde $c(t)$ je dálkoměrný kód, nebo jen kód a $D(t)$ je tzv. navigační zpráva nesoucí informace

sloužící k určení polohy družice.

Dálkoměrné signály jednotlivých družic je třeba od sebe oddělit. Používá se k tomu:

1) kmitočtový multiplex - každá družice používá jiný kmitočet f_c nosné vlny.

2) kódový multiplex – všechny družice vysílají na nosné vlně se stejným kmitočtem, ale kód $c(t)$ je pro každou družici jiný. Pokud se signál generovaný v přijímači liší od signálu družice, jejíž vzdálenost je třeba měřit, je výstupní napětí korelátoru (tj. vzájemná korelační funkce dvou různých kódů $c(t)$) malé a přijímač se na signál družice nezasynchronizuje. Postupným generováním kopií signálů družic zajistíme postupné měření vzdáleností k družicím, potřebných pro výpočet polohy uživatele.

Dálkoměrné kódy se obvykle volí ze třídy tzv. pseudonáhodných signálů nebo pseudonáhodných kódů, které mají výše zmíněné vhodné korelační vlastnosti pro měření délky a pro oddělení jednotlivých družic, tj. jejich autokorelační funkce má jedno ostré maximum a mimo něj má malou hodnotu a vzájemné korelační funkce dvou různých kódů mají velmi malou hodnotu. Pseudonáhodné kódy jsou periodické (s periodou P bitů) a generují se podle určitých algoritmů. Kódy s dlouhou periodou P obecně znesnadňují neoprávněný přístup do systému a na druhé straně poskytují větší přesnost měření.

Dále se používá kód $P(t)$, který je také pseudonáhodná posloupnost číslic +1 a -1.

Kódy $C(t)$ a $P(t)$ se používají z několika důvodů:

- modulace těmito kódy představuje tzv. přenos s rozprostřeným spektrem, kterým se zvýší odolnost proti rušení
- při stejném odstupu signálu od šumu roste s rychlostí kódu přesnost měření vzdálenosti
- použitím kódu dojde k oddělení družic, které mohou pracovat na stejném kmitočtu (kódový multiplex)

Kód $C(t)$ je tzv. Goldův kód. Tento kód má ostré maximum autokorelační funkce, díky kterému je měření vzdálenosti přesné. Vzájemné korelační funkce dvou různých kódů mají malé hodnoty, takže máme jistotu, že signály různých družic budou odděleny a jsou omezeny nepříznivé účinky signálů nepožadovaných družic na přesnost měření vzdálenosti ke zvolené družici. Perioda kódu trvá 1 ms a obsahuje 1 023 bitů, tedy bitová rychlost kódu je 1,023 Mb/s. Kód lze v přijímači generovat bez spolupráce se správcem systému. Díky kódu můžeme měřit vzdálenost a příp. přejít na přesnější měření s použitím kódu $P(t)$. Proto je označován jako kód pro hrubé měření - C/A (Coarse Acquisition). K tomuto označení poznamenejme, že dříve byl kód dostupný neautorizovanému uživateli a C/A znamenalo "volný přístup" (Clear Access).

Kód $P(t)$ je přesný kód P (Precision nebo také Protected). Je to pseudonáhodná posloupnost maximální délky s periodou $23,0175555 \times 10^6$ s, tj. přibližně 266 dnů. Perioda obsahuje $235,46959 \times 10^{12}$ bitů a využívá se z ní jen sedmidenní část (kódy se nulují do výchozího stavu o půlnoci ze soboty na neděli). Bitová rychlost je desetinásobná proti kódu C/A a činí 10,23 Mb/s.

Kód P může měřit vzdálenost uživatel - družice s vyšší přesností, když:

1) Použijeme rychlejší a delší kód - dochází k většímu kmitočtovému rozprostření signálu, což má za následek zvýšení přesnosti měření

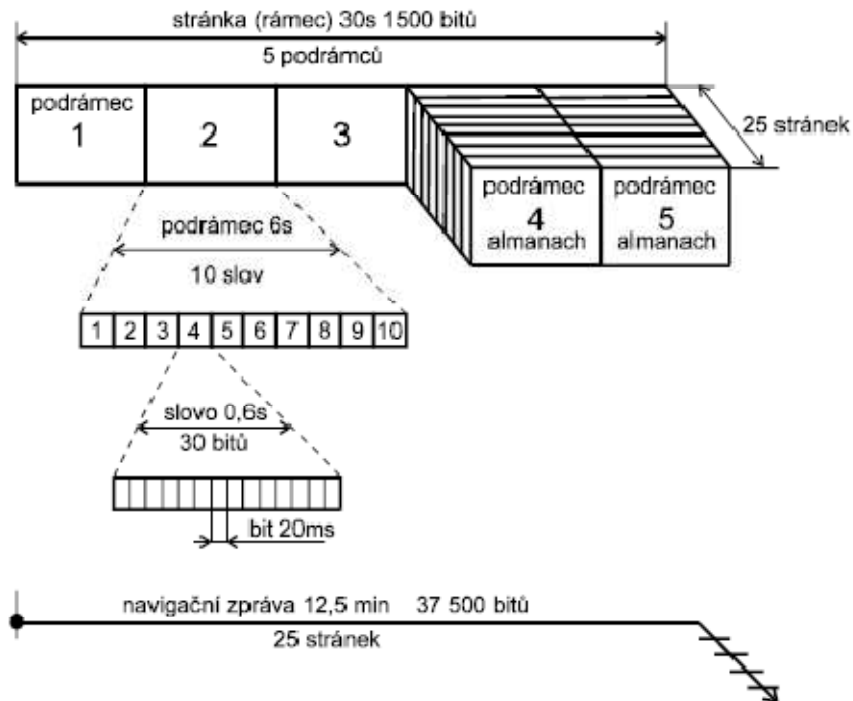
2) Uživatel použije ve svém přijímači P kód - může měřit na obou kmitočtech $L1$ a $L2$. Pomocí zpracování zdánlivých vzdáleností získaných na obou kmitočtech lze podstatně omezit vliv ionosférické refrakce. [2]

3.5 Navigační zpráva

Pro určení polohy družice vysílá parametry své dráhy. Tyto informace vysílá družice ve formě dat $D(t)$, tyto data se nazývají navigační zpráva. Navigační zpráva obsahuje následující údaje:

- čas vysílání počátku zprávy
- keplerovské efemeridy družice
- údaje umožňující korigovat přesně čas vysílání družice
- almanach
- koeficienty ionosférického modelu
- stav družice (health)

Pomocí navigační zprávy můžeme stanovit přesný čas a vypočítat polohu družice. Na základě přijatých dat můžeme vypočítat korekce na ionosférickou refrakci, pokud se nepoužije příjmu na dvou kmitočtech. Družice má tu vlastnost, že informuje uživatele o svých závadách, zda je možné ji použít, příp. s jakými omezeními.[2]



Obr. 3: Struktura navigační zprávy GPS [2]

Almanach nese informaci o poloze ostatních družic - méně přesné efemeridy – a informaci o jejich stavu. To umožňuje na základě příjmu signálu jediné družice vyhledávat signály ostatních viditelných družic.

Navigační zpráva je rozdělena do 25 stránek (rámců). Každý rámeček trvá 30 sekund, má 1 500 bitů a 5 podrámeček. Podrámeček se skládají ze slov, každé slovo má 30 bitů, z nichž 24 se využívá pro přenos zprávy a 6 bitů slouží k zabezpečení přenosu pomocí Hammingova kódu, který umožňuje opravu jedné chyby a indikaci nejvýše tří chyb. Prvé slovo každého podrámeček nese telemetrickou informaci z družice pro stanice pozemního řídicího segmentu.

Druhé slovo přenáší pořadové číslo podrámeček v týdnu. Zbývající slova prvního podrámeček nesou informace potřebné k získání času. Slova ve druhém a třetím podrámeček přenášejí keplerovských efemerid s harmonickými perturbacemi vysílající družice.

Čtvrtý a pátý podrámeček slouží k přenosu almanachu. Zatímco podrámeček 1, 2, 3 se při přenosu rámeček opakují, podrámeček 4 a 5 mají vždy jiný obsah (s jinou částí almanachu) a mohou se opakovat až při přenosu další zprávy (po 12,5 minutách).

Data v navigační zprávě jsou za normálních okolností platná po 4 hodiny.[2]

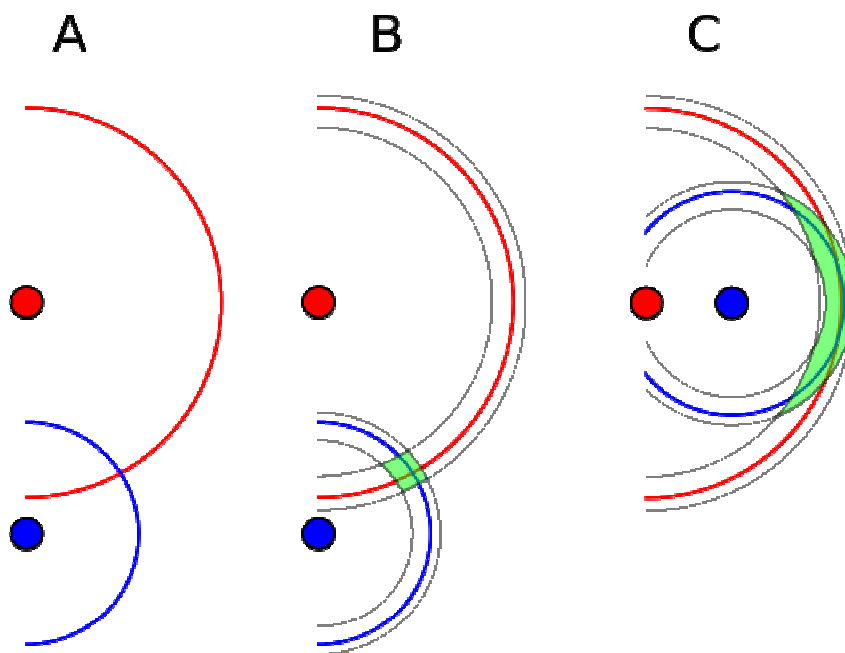
4. Přesnost GNSS

4.1 Činitel zhoršení přesnosti PDOP

Námi hledaná poloha bodu (v případě 2 družic), je průsečík 2 kružnic, kde jejich poloměry jsou dány naměřenými vzdálenostmi (obr.4 – A). Kvůli nepřesnosti měření vzdálenosti, bude bod ležet uvnitř mezikružší, jehož šířka je dána chybou měření vzdálenosti. Při protnutí těchto mezikružší dostáváme prostor, v němž hledaný bod leží (obr. 4 – B,C). Čím je tento prostor menší, tím přesnější je určená poloha. Nejmenší bude, když se mezikružší budou protínat kolmo. V případě družicové dálkoměrné navigace bude určení polohy nejpřesnější, budou-li družice na nebeské báni od sebe co v nejvíce vzdáleny, tedy jedna bude v nadhlavníku a tři na horizontu. Pokud jsou družice blízko sebe, protínají se mezikružší pod malým úhlem, obsah společného průsečíku je velký a měření je nepřesné.

Pro dosažení vysoké přesnosti polohy (nízká hodnota DOP) je potřeba:

1. Využití co největšího počtu družic, které jsou od sebe co nejvíce vzdáleny
2. Malá hodnota chyby měření zdánlivé vzdálenosti[2]



Obr. 4: Grafické vysvětlení činitele DOP [6]

Činitel DOP je větší než jedna, čím je vyšší tím je poloha nepřesnější. Rozlišují se:

- PDOP (Positional DOP) - pro celkové určení polohy
- HDOP (Horizontal DOP)
- VDOP (Vertical DOP)

Nejmenší hodnoty DOP pro 4 a 5 družic je vidět v tab. 1.

Počet viditelných družic	4	5
PDOP	$\sqrt{\frac{8}{3}} \cong 1,63$	$\frac{3}{2}$
HDOP	$\frac{2}{\sqrt{3}} \cong 1,15$	1
VDOP	$\frac{2}{\sqrt{3}} \cong 1,15$	$\frac{\sqrt{5}}{2} \cong 1,12$

Tab. 1: Nejmenší hodnoty DOP pro daný počet družic [2]

4.2 Opatření pro dosažení vysoké přesnosti

Výsledná efektivní hodnota chyby určení polohy je dána součinem

- směrodatné odchylky chyby měření vzdálenosti družice - uživatel
- členu, který reprezentuje konfiguraci družic, tzv. PDOP

Z hlediska přesnosti je žádoucí měřit vzdálenosti ke všem družicím v jediném okamžiku. To je možné, pokud používáme několikakanálový přijímač (signály zpracováváme paralelně v různých kanálech) V přijímačích, které jsou řešeny jako sekvenční dvoukanálové, zpracovává jeden kanál data vysílaná jednotlivými družicemi a druhý kanál měří zdánlivé vzdálenosti k družicím a mezi družicemi. Tyto měření neprobíhají současně a je třeba provádět vhodné statistické zpracování naměřených údajů od pokud možno všech dosažitelných družic, které bude respektovat dynamiku pohybu uživatelského přijímače. Takovým zpracováním je Kalmanova filtrace.

Další zlepšení přesnosti určení polohy je možné zavedením dalších nezávislých čidel polohy, jejichž výstupní údaje jsou zaváděny do Kalmanova filtru. Takovými čidly mohou např. být dopplerovský měřič traťové rychlosti nebo inerciální navigační systém. Lze použít i dalších navigačních prostředků, např. i výškoměru a přesných atomových hodin. [2]

5. Měření dostupnosti GNSS signálu

5.1 Úvod

Další část bakalářské práce se skládá z několika úkolů - samostatné měření, návržení skriptu pro filtraci dat poskytovaných samotnou GPS, profiltrování naměřených dat a vyhodnocení naměřených dat.

Měření GPS signálu jsem měřil na GPS Qstarz BT-Q1000 Travel Recorder.



Obr. 5: Měřicí GPS Qstarz BT-Q1000 [7]

General	
GPS Chip	MTK GPS Module
Frequency	L1, 1575.42MHz
C/A Code	1.023MHz chip rate
Channels	51 CH Performance
Antenna (Internal)	Built-in patch antenna with LNA
Sensitivity	Tracking -158dBm
Datum	WGS84
Performance Characteristic	
Position	Without aid: 3.0m 2D-RMS
Accuracy	<3m CEP(50%) without SA (horizontal) DGPS (WAAS, ENGOS, MSAS): 2.5m
Velocity	Without aid: 0.1m/s, DGPS (WAAS, ENGOS, MSAS): 0.05m/s
Time	50 ns RMS
Cold/Warm/Hot Start	36/33/1 sec, average
Dynamic Condition	
Altitude	<18,000m
Velocity	<515m/sec
Acceleration	<4g
Protocol	
GPS Output Data	NMEA 0183 (V3.01) -GGA, GSA, GSV, RMC
Baud Rate	115,200 bps
Power	
Built-in rechargeable Li-ion battery, Up to 32 hrs after fully charged	

Tab.2 : Technické parametry GPS Qstarz BT-Q1000 [7]

5.2 Specifikace měření

Všechna mnou provedená měření byla stacionární a proběhla na několika vytipovaných místech:

- 1) Místo s dobrým výhledem
- 2) Zastíněné místo - stín z určité světové strany (stínění budovou)
- 3) Zastíněné místo - stín mostu
- 4) Zastíněné místo - stín okolní vegetace (les)
- 5) Městská zástavba

Pro dané měření je nejlepší co nejdelší doba, v mém případě byla doba limitována vnitřní pamětí GPS přijímače tzn. ± 4 hodiny. Tato doba byla dostačující pro stanovení výsledků měření.

Samotná GPS má vnitřní paměť, na kterou se ukládají data ve formátu NMEA.

5.3 NMEA formát

NMEA formát je kombinace elektrický a datových norem pro komunikaci mezi PC a námořním zařízením (např. GPS, gyroskopický kompas atd.) vydávaný organizací The National Marine Electronic Association. GPS přijímač je nakonfigurován pomocí tohoto formátu. NMEA formát je jeden z mála formátů který je kompatibilní s většinou programů, které poskytují informace o současné poloze. NMEA formát obsahuje mnoho typů informací, ale do GPS problematiky jich patří jen zlomek. Každá věta je započatá symbolem „\$“ a pro GPS přijímač je charakteristická předpona GP. [8]

Formát zprávy z přijímače je výpis vět (lze nastavit jaké věty ukládat) opakujících se po určitém čase (lze nastavit čas jak často ukládat určité věty). Viz nastavení níže. Vzhled zprávy lze vidět na obr. 6.

```

$GPGGA,143800.000,5007.406940,N,1510.180500,E,1,9,1.50,195.638,M,0.0,M,0.0,0*45
$GPGLL,5007.406940,N,1510.180500,E,143800.000,A,A*63
$GPGSA,A,3,13,04,16,20,07,10,31,02,23,32,17,01,1.30,1.50,0.77*06
$GPGSV,3,1,12,13,71,239,21,04,52,272,23,16,07,094,17,20,43,117,44*7B
$GPGSV,3,2,12,07,18,184,23,10,36,293,25,31,04,031,18,02,20,316,18*72
$GPGSV,3,3,12,23,73,064,23,32,10,108,34,17,03,234*6E
$GPRMC,143800.000,A,5007.406940,N,1510.180500,E,0.306,0.00,261213,,A*64
$GPVTG,0.00,T,M,0.306,N,0.567,K,A*3C
$GPZDA,143800.000,26,12,2013,,*5F
$GPGGA,143801.000,5007.406880,N,1510.180440,E,1,9,1.50,195.635,M,0.0,M,0.0,0*41
$GPGLL,5007.406880,N,1510.180440,E,143801.000,A,A*6A
$GPGSA,A,3,13,04,16,20,07,10,31,02,23,32,01,,1.30,1.50,0.77*00
$GPGSV,3,1,11,13,71,239,21,04,52,272,22,16,07,094,17,20,43,117,44*79
$GPGSV,3,2,11,07,18,184,23,10,36,293,24,31,04,031,17,02,20,316,18*7F
$GPGSV,3,3,11,23,73,064,23,32,10,108,34,01,02,162*6B
$GPRMC,143801.000,A,5007.406880,N,1510.180440,E,0.147,0.00,261213,,A*6A
$GPVTG,0.00,T,M,0.147,N,0.272,K,A*38
$GPZDA,143801.000,26,12,2013,,*5E
$GPGGA,143802.000,5007.406880,N,1510.180380,E,1,9,1.50,195.632,M,0.0,M,0.0,0*4E
$GPGLL,5007.406880,N,1510.180380,E,143802.000,A,A*62
$GPGSA,A,3,13,04,16,20,07,10,31,02,23,32,17,,1.30,1.50,0.77*07
$GPGSV,3,1,11,13,71,239,22,04,52,272,21,16,07,094,17,20,43,117,44*79
$GPGSV,3,2,11,07,18,184,22,10,36,293,24,31,04,031,17,02,20,316,18*7E
$GPGSV,3,3,11,23,73,064,24,32,10,108,34,17,03,234*6A
$GPRMC,143802.000,A,5007.406880,N,1510.180380,E,0.070,0.00,261213,,A*67
$GPVTG,0.00,T,M,0.070,N,0.130,K,A*38
$GPZDA,143802.000,26,12,2013,,*5D

```

Obr. 6: Výpis z GPS – NMEA zpráva

5.4 Připojení přijímače k PC

K získání dat z měřicí GPS jsem použil software Travel Recorder PC Utility, dodávaný k zapůjčenému Qstarz BT-Q1000. Připojení GPS k PC proběhlo pomocí USB - komunikační port (COM 5) a baud rate (115200), viz. obr. 7.



Obr. 7: Nastavení připojení GPS k PC

5.5 Nastavení GPS přijímače

Po připojení GPS přijímače k PC lze v menu *Other Setting* nastavit data která bude přijímač ukládat na svoji vnitřní paměť. Nastavení, které jsem použil já, lze vidět na Obr. 8.



Obr. 8: Nastavení GPS přijímače

5.6 Věty NMEA:

Každá věta začíná: \$GP určuje typ přístroje (v našem případě je to GPS přijímač) a poté následuje typ věty:

5.6.1 GGA

Věta obsahuje informace o globální poloze a dostupnost DGPS

```

                                     11
      1      2      3 4      5 6 7 8 9 10 | 12 13 14 15
      |      |      | |      | | | | | | | | | |
$--GGA, hhmmss.ss, llll.ll, a, yyyyy.yy, a, x, xx, x.x, x.x, M, x.x, M, x.x, xxxx*hh
```

Kde:

- 1) Čas (UTC)
- 2) Zeměpisná šířka

- 3) N nebo S (sever nebo jih)
- 4) Zeměpisná délka
- 5) E nebo W (východ nebo západ)
- 6) Identifikátor kvality GPS,
 - 0 –GPS zafixování není dostupné,
 - 1 - GPS zafixována,
 - 2 - Diferenciální GPS zafixována
- 7) Počet sledovaných satelitů, 00 - 12
- 8) Činitel HDOP
- 9) Výška nad/pod hladinou moře
- 10) Jednotky výšky (metry)
- 11) Výška nad elipsoidem WGS84
- 12) Jednotky výšky (metry)
- 13) Čas od posledního update DGPS (s), nulová hodnota pokud se DGPS nepoužívá
- 14) ID číslo DGPS stanice, 0000-1023
- 15) Kontrolní hodnota [8]

5.6.2 GLL

Věta obsahuje údaje o aktuální geografické poloze, které jsou již obsaženy ve větě GGA. (Geographic Position – Latitude/Longitude)

```

      1      2 3      4 5      6 7
      |      | |      | |      | |
$--GLL,1111.11,a,yyyyy.yy,a,hhmmss.ss,A*hh

```

Kde:

- 1) Zeměpisná šířka
- 2) N nebo S (sever nebo jih)
- 3) Zeměpisná délka
- 4) E nebo W (východ nebo západ)
- 5) Čas (UTC)
- 6) Stav A – Platná data, V – Neplatná data
- 7) kontrolní hodnota [8]

5.6.3 GSA

Věta obsahuje informace o počtu viditelných družic a jejich geometrickém rozmístění. Obsahuje také informaci o činiteli DOP

```

      1 2 3      14 15 16 17 18
      | | |      | | | | |
$--GSA,a,a,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x,x*hh

```

Kde:

- 1) Typ výběru A = automaticky určuje 2D nebo 3D zafixování, M = manuální výběr
- 2) 3D zafixování

- 1 = žádný fix
- 2 = 2D
- 3 = 3D
- 3) ID prvního satelitu použitého pro zafixování
- 4) ID druhého satelitu použitého pro zafixování
- ...
- 14) ID dvanáctého satelitu použitého pro zafixování
- 15) PDOP v metrech
- 16) HDOP v metrech
- 17) VDOP v metrech
- 18) Kontrolní hodnota [8]

5.6.4 GSV

Věta obsahuje informace o počtu viditelných družic z aktuální polohy a dále informace o každé viditelné. Věta GSV může být rozdělena do několika separátních vět, aby nebyl překročen povolený počet znaků. Pro tyto případy věta obsahuje údaje o celkovém počtu dílčích vět včetně jejich pořadí.

```

      1 2 3 4 5 6 7      n
      | | | | | | |      |
$--GSV,x,x,x,x,x,x,x,...*hh

```

Kde:

- 1) Celkový počet zpráv
- 2) Číslo zprávy
- 3) Počet viditelných satelitů
- 4) Číslo satelitu
- 5) Elevace ve stupních
- 6) Azimut ve stupních k nule
- 7) SNR v dB
- Informace o více satelitech 4) -7)
- n) Kontrolní hodnota [8]

5.6.5 RMC

Věta obsahuje základní informace použité při navigaci. (Recommended Minimum Navigation Information – Doporučené minimální navigační informace)

```

      1          2 3          4 5          6 7 8 9 10 11|
      |          | |          | |          | | | | | |
$--RMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x.x,x.x,xxxx,x.x,a*hh

```

Kde:

- 1) Čas (UTC)
- 2) Stav, V = varování GPS přijímače
- 3) Zeměpisná šířka

- 4) N nebo S
- 5) Zeměpisná délka
- 6) E nebo W
- 7) Rychlost po zemi, uzly
- 8) Uražená vzdálenost, stupně
- 9) Datum, ddmmyy
- 10) Magnetická Variation, stupně
- 11) E nebo W
- 12) Kontrolní hodnota [8]

5.6.6 VTG

Věta zahrnuje informace o aktuální rychlosti v rovině (uzly, km.h-1), včetně aktuálního směru pohybu

```

      1   2 3   4 5   6 7   8 9
      |   | |   | |   | |   | |
$--VTG,x.x,T,x.x,M,x.x,N,x.x,K*hh

```

Kde:

- 1) Uražená vzdálenost, stupně
- 2) T = True
- 3) Magnetická uražená vzdálenost, stupně
- 4) M = Magnetic
- 5) Rychlost
- 6) N = Uzly
- 7) Rychlost
- 8) K = Kilometry za hodinu
- 9) Kontrolní hodnota [8]

5.6.7 ZDA

Věta obsahuje informace o datu a čase

```

      1           2 3 4   5 6 7
      |           | | |   | | |
$--ZDA,hhmmss.ss,xx,xx,xxxx,xx,xx*hh

```

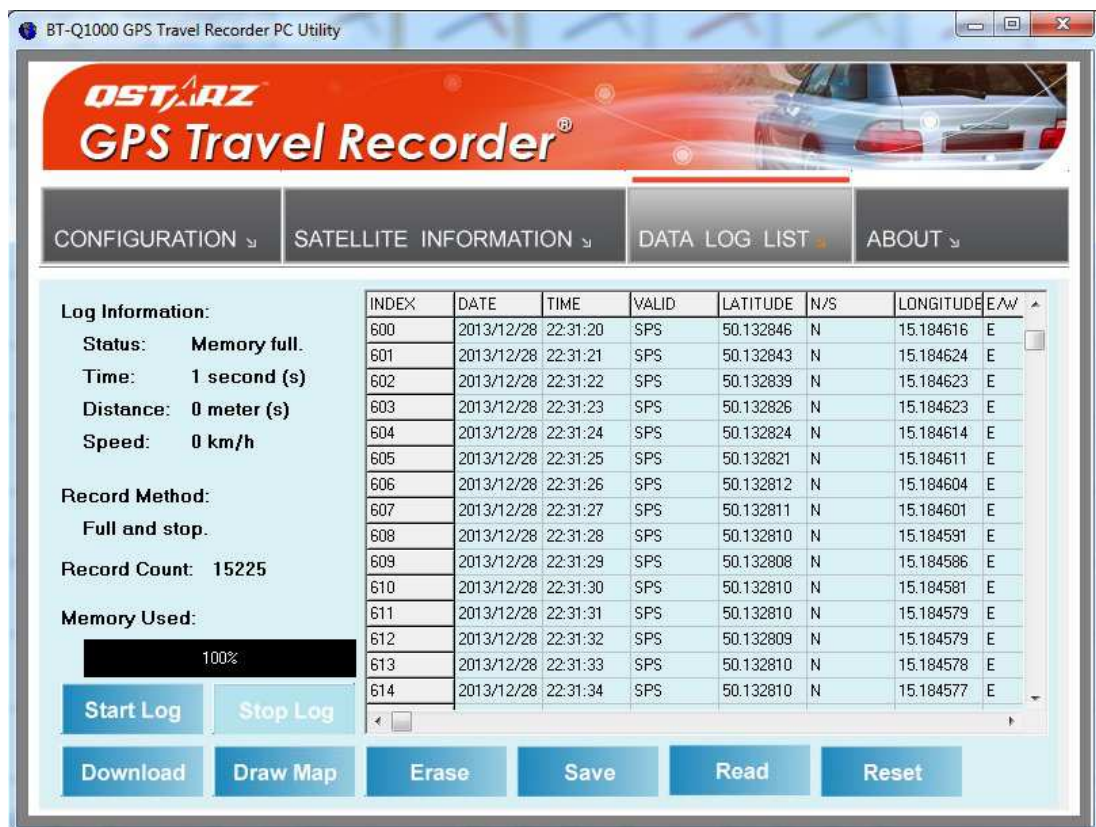
Kde:

- 1) Čas (UTC)
- 2) Den, 01 - 31
- 3) Měsíc, 01 - 12
- 4) Rok
- 5) Místní čas, +/- 13 hodin
- 6) Místní čas, 00 - 59 minuty
- 7) Kontrolní hodnota [8]

Věty, které jsou naplněny nulovou hodnotou, neumí daný přijímač určit.

5.7 Export dat

Po každém naměření jsem stáhl data z GPS přijímače a uložil je ve formátu NMEA na pevný disk PC. Všechna naměřená data jsou přiložena v příloze.

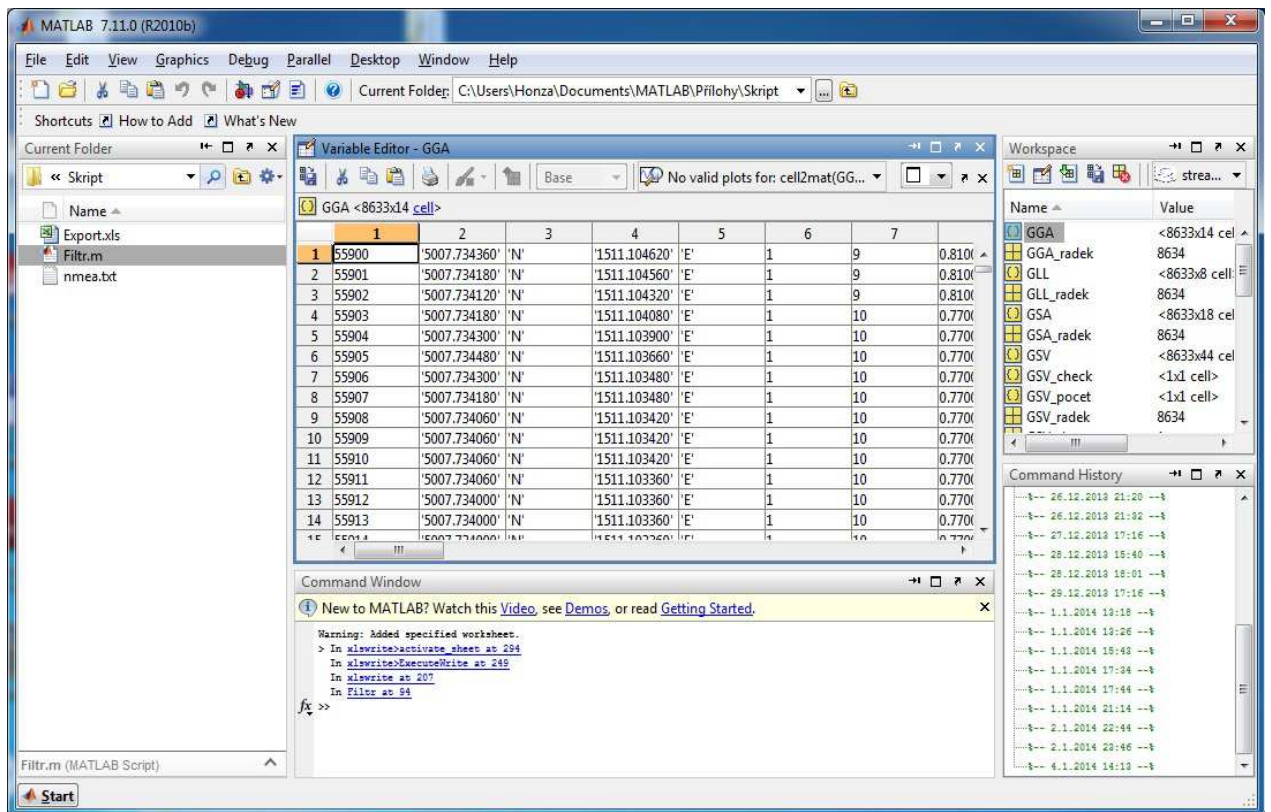


Obr. 9: Export dat v programu Travel Recorder PC Utility

5.8 Skript pro filtraci

Pro filtraci dat jsem použil program MATLAB R2010b a v něm mnou vytvořený skript. Každý, mnou naměřený NMEA soubor, jsem otevřel v poznámkovém bloku a pak překopíroval do souboru nmea.txt, který jsem pomocí skriptu filtroval. Skript filtruje NMEA zprávu podle vět a následně ukládá větu GSV do souboru .xls tzn. soubor programu MS Excel. Ostatní věty jsem ručně kopíroval z MATLABu do Excelového souboru.

Skript je umístěn v příloze.



Obr. 10: Stav MATLABu po profiltrování

6. Vyhodnocení dat

6.1 Způsob vyhodnocení

Data jsem vyhodnotil pomocí programu MS Excel. Pro každý typ naměřené lokality jsem provedl 2 měření na odlišných místech. Výsledkem všech měření jsou grafy závislosti počtu viditelných družic v čase a graf závislosti PDOP v čase pro určitý počet družic (pro přehlednost je čas v této závislosti omezen na 1 hodinu). Pro každé měření jsem zpracoval histogram PDOP. V tomto vyhodnocení ukazují grafy vždy jen pro jedno místo, zbylé grafy lze dohledat v přílohách.

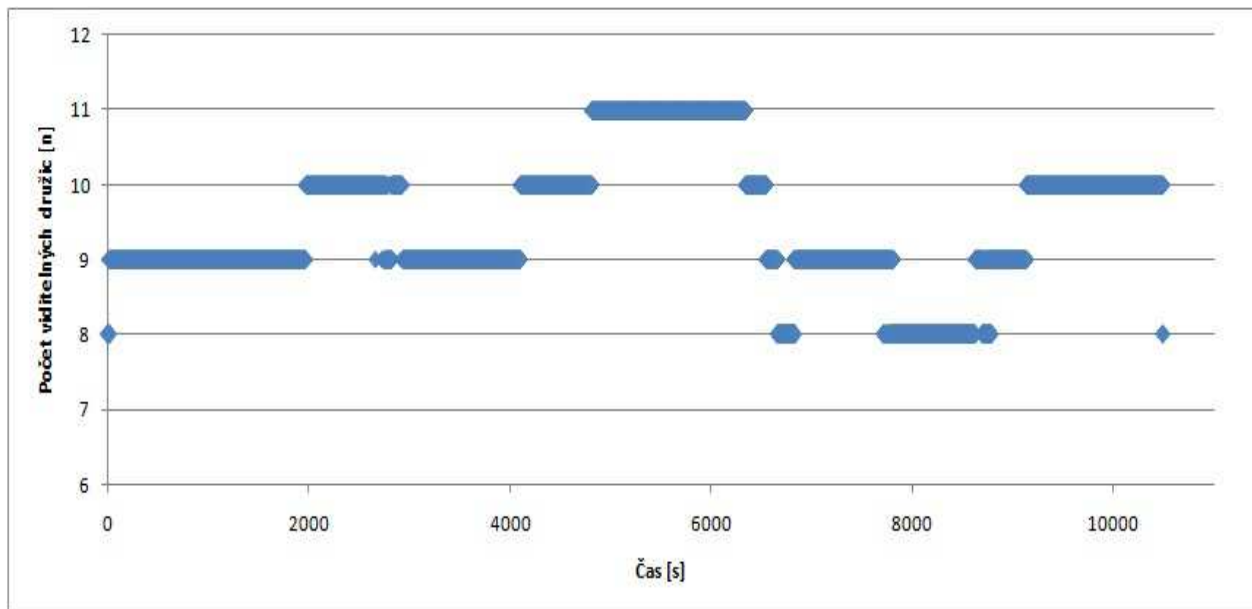
Z důvodu časové tísně pro každou lokalitu uvádím závislosti SNR na elevaci jen pro 3 dostatečně dlouho sledované družice (pro místo stíněné s mostem 4 – hledal jsem alespoň jednu družici, která ztratí a pak nalezne ztracený signál). Hodnota SNR je vždy ta nejnižší pro uvedenou elevaci. Tyto grafy jsou jen u níže zmiňovaných měření.

6.2 Místo s dobrým výhledem

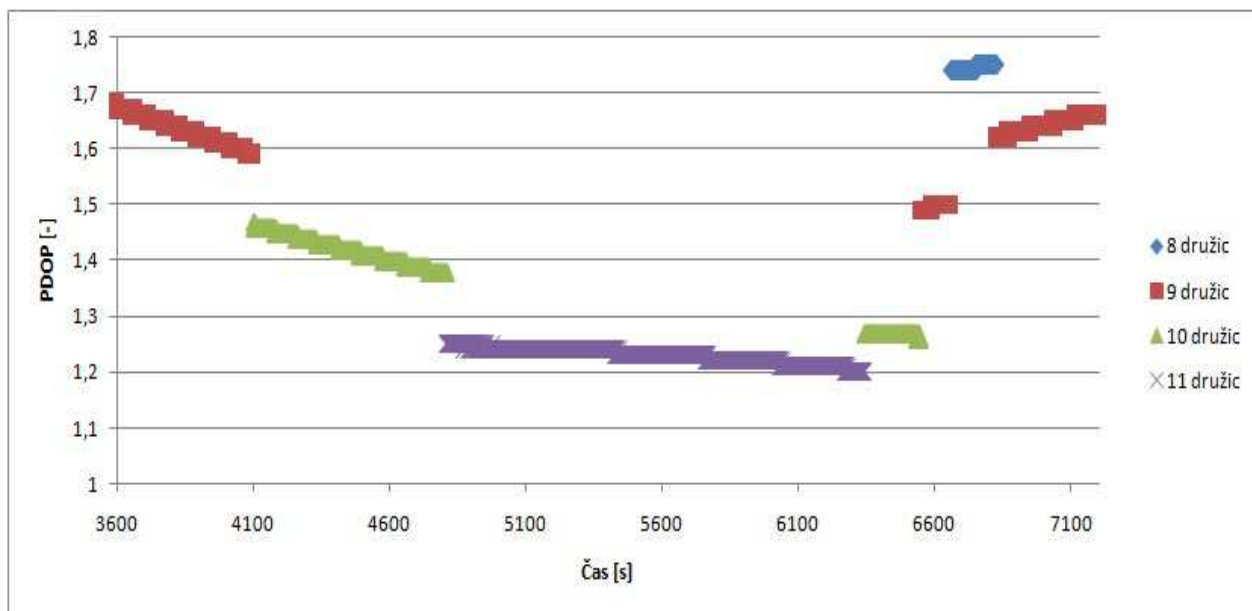
Naměřeno dne: 16.12.2013

Počátek měření: 14:26

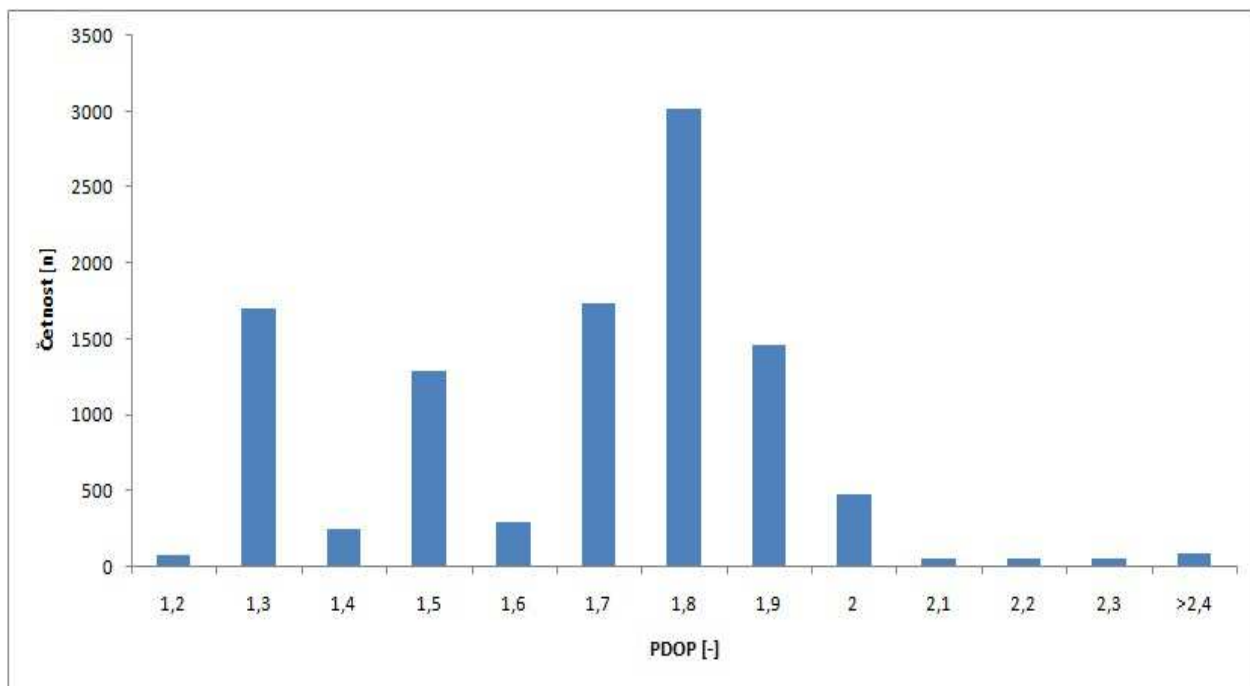
Specifikace lokality: Pole bez jakéhokoliv stínu pro GPS signál



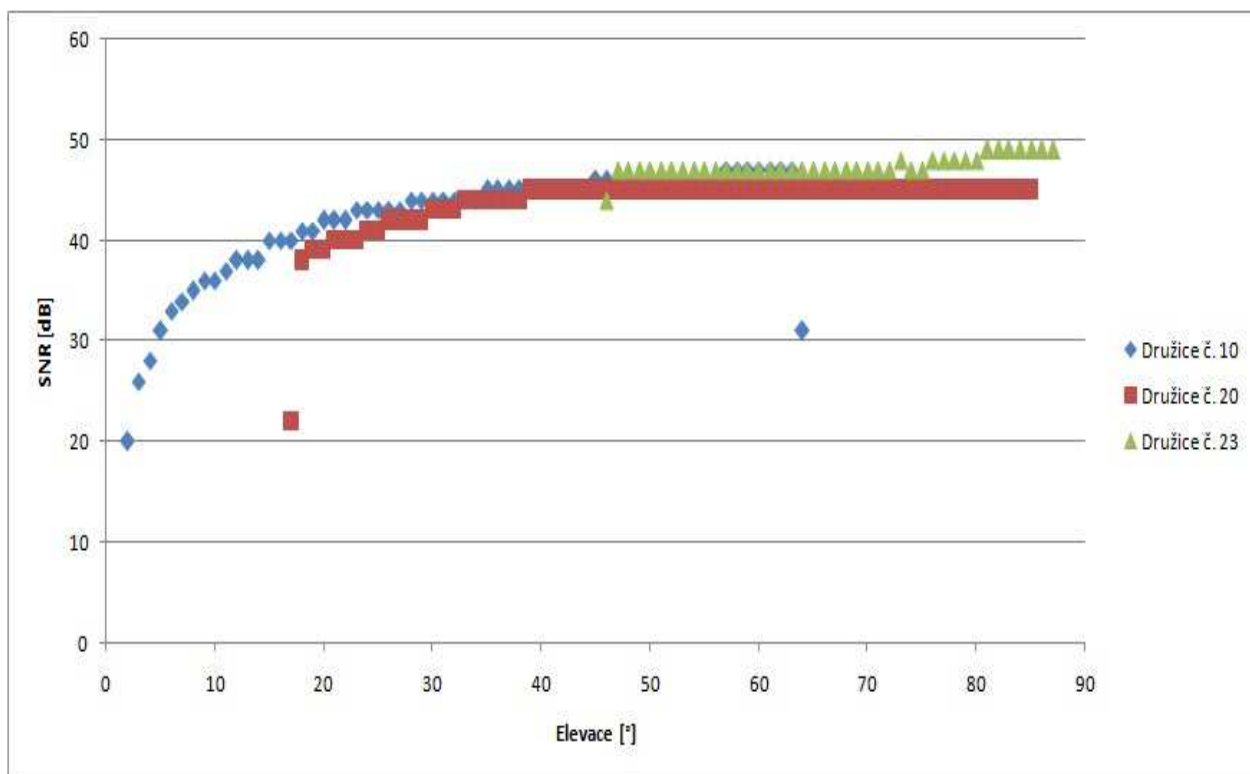
Graf 1: Počet viditelných družic v průběhu času celého měření – bez stínu



Graf 2: Závislost činitele PDOP na čase pro daný počet družic – bez stínu



Graf 3: Histogram PDOP – bez stínu



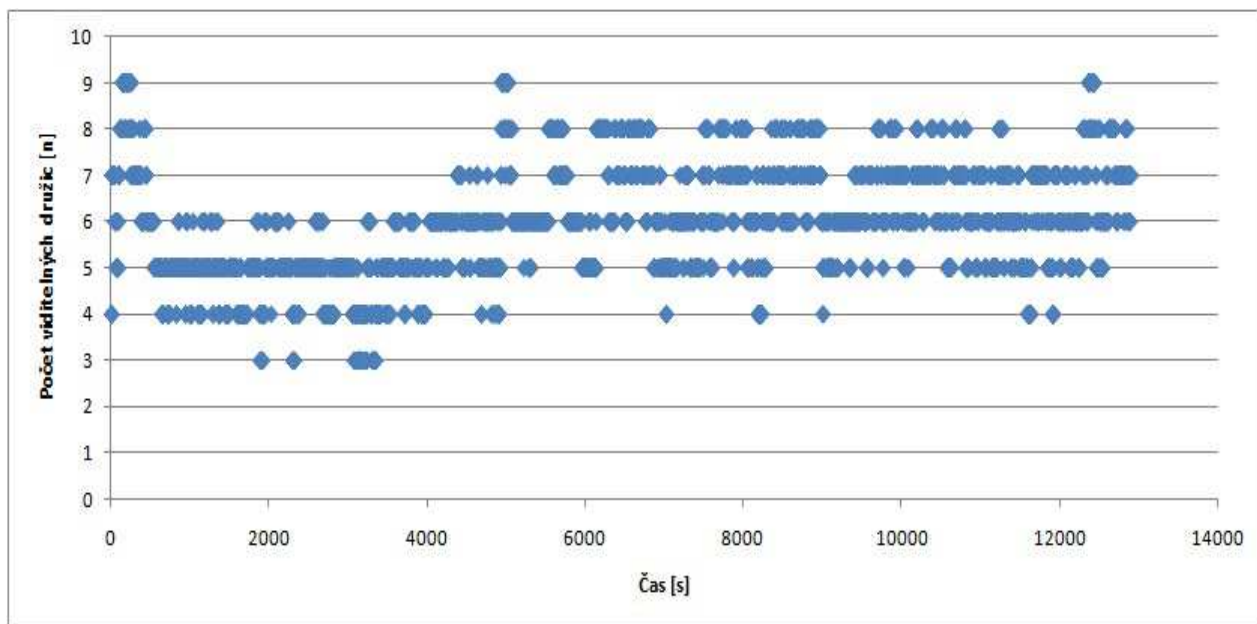
Graf 4: Závislost SNR na elevaci pro vybrané družice – bez stínu

6.3 Zastíněné místo - stín z určité světové strany

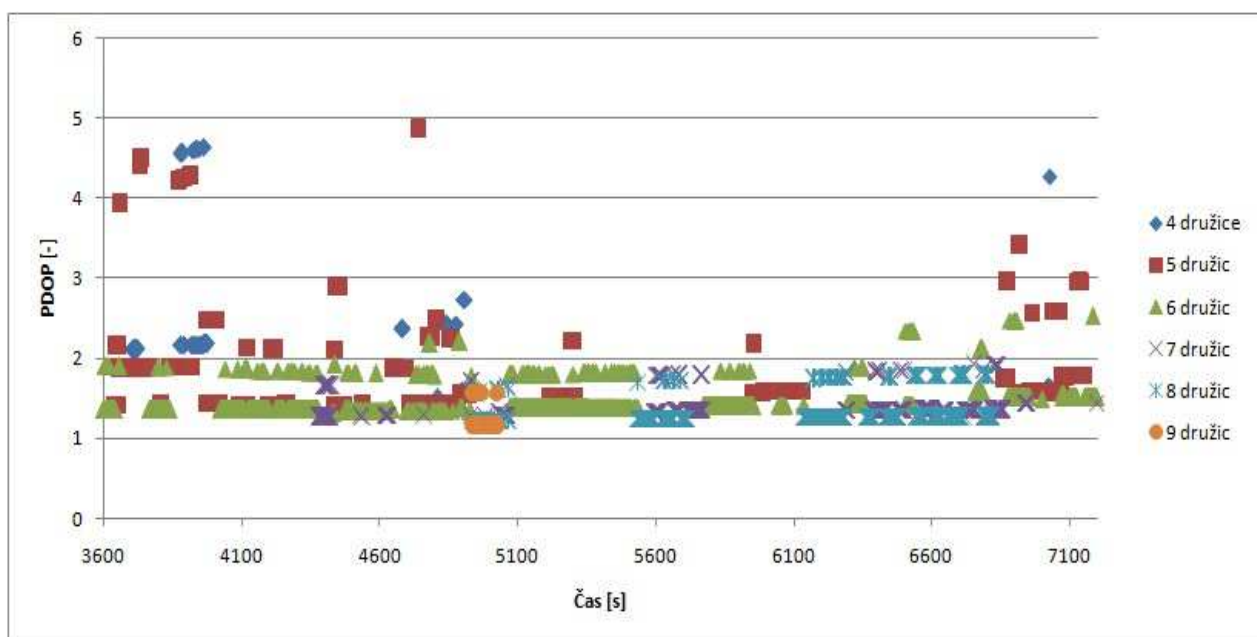
Naměřeno dne: 28.12.2013

Počátek měření: 23:24

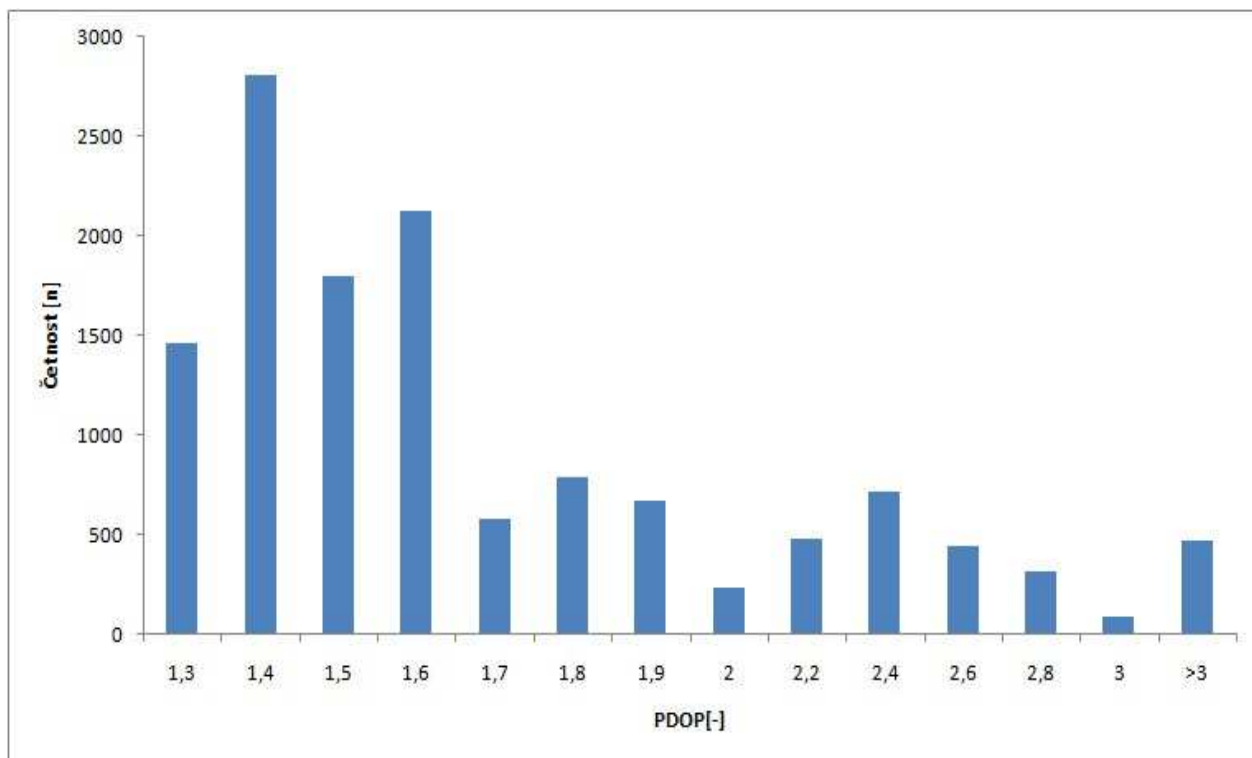
Specifikace lokality: Stínění budovou z jihu, výška stíněné budovy 10m



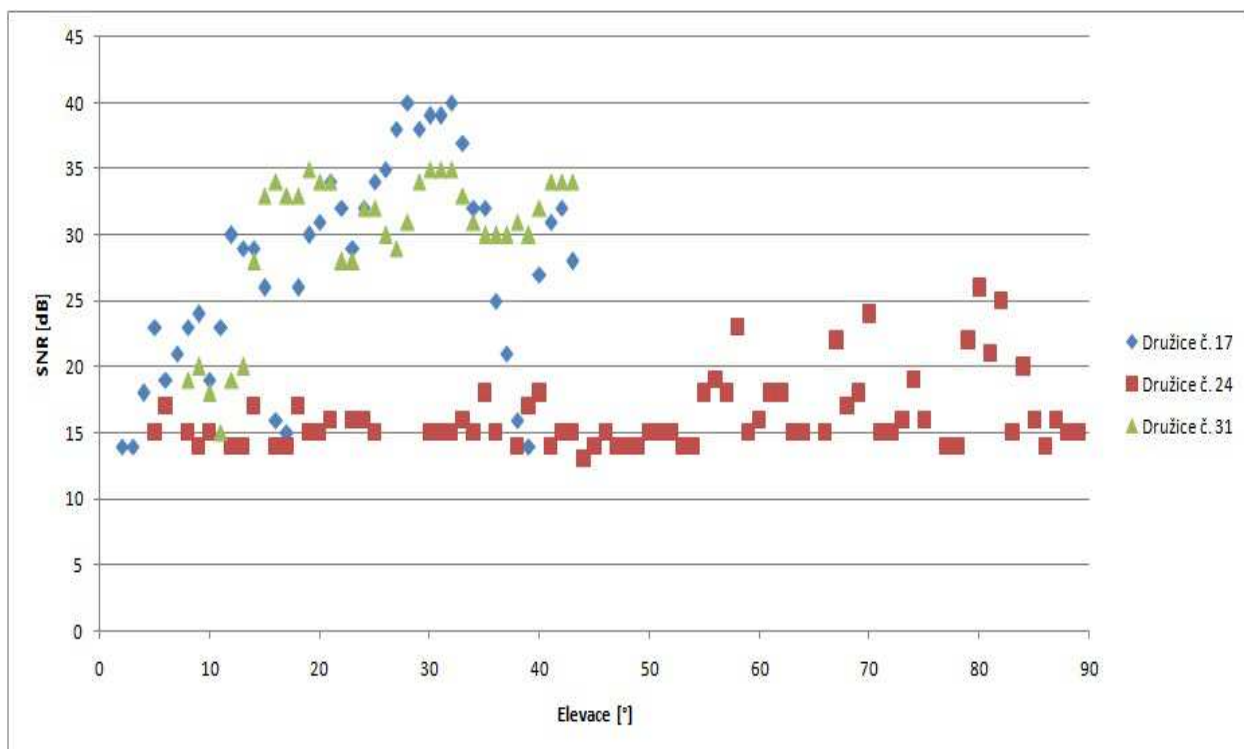
Graf 5: Počet viditelných družic v průběhu času celého měření – stín domu



Graf 6: Závislost činitele PDOP na čase pro daný počet družic – stín domu



Graf 7: Histogram PDOP – stín domu



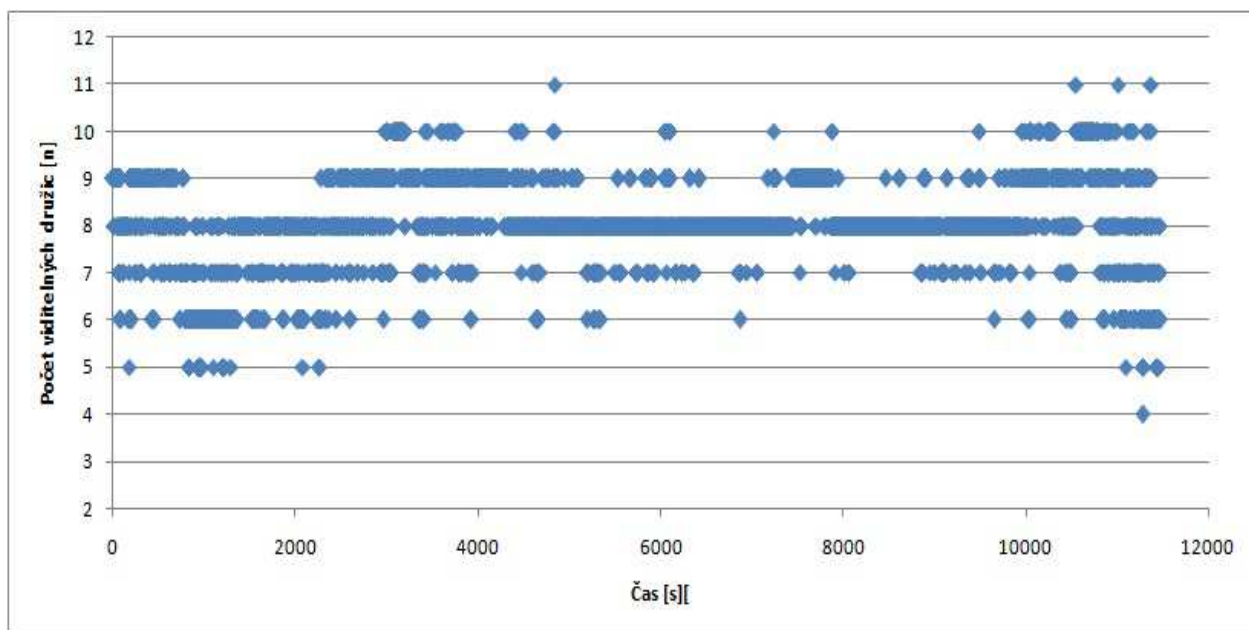
Graf 8: Závislost SNR na elevaci pro vybrané družice – stín domu

6.4 Zastíněné místo - stín mostu

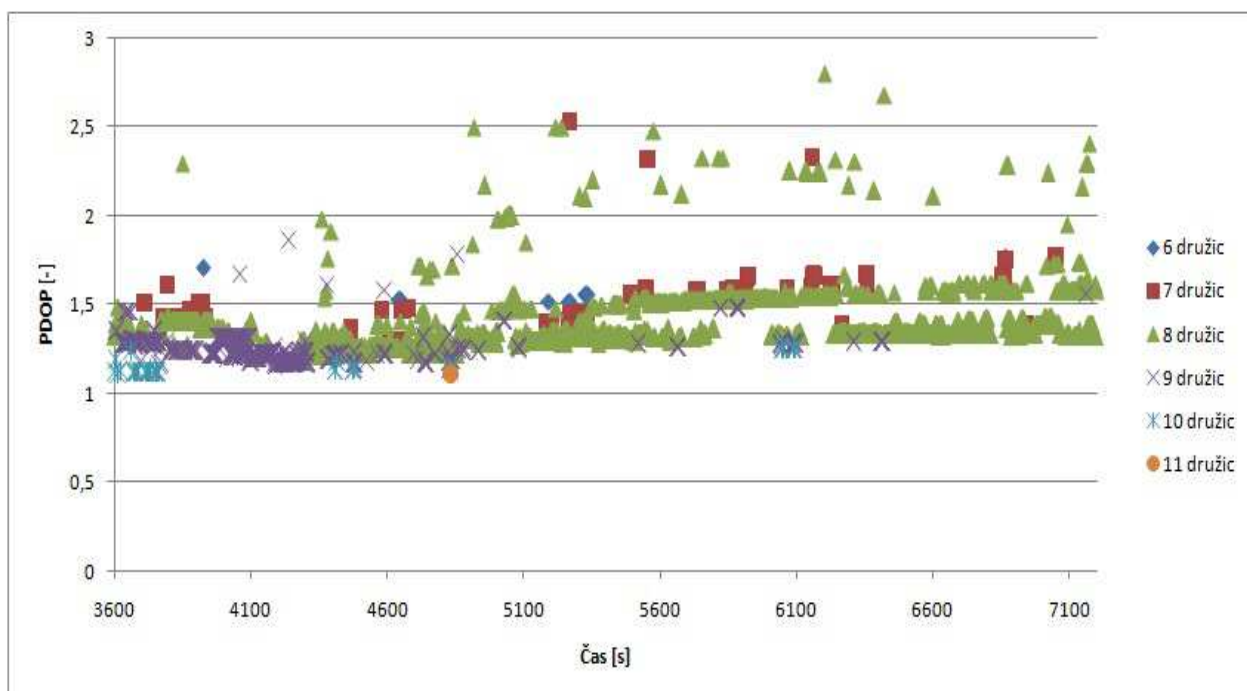
Naměřeno dne: 26.12.2013

Počátek měření: 15:38

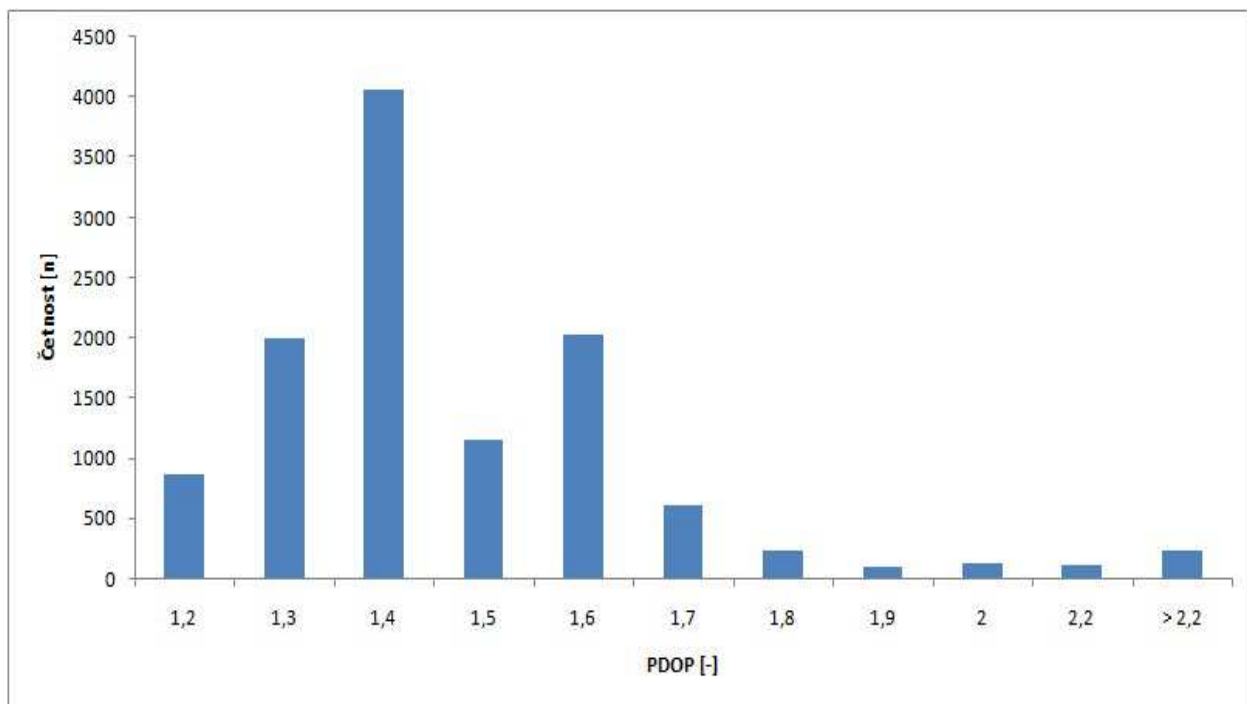
Specifikace lokality: Stín silničního mostu šířka asi 15 m



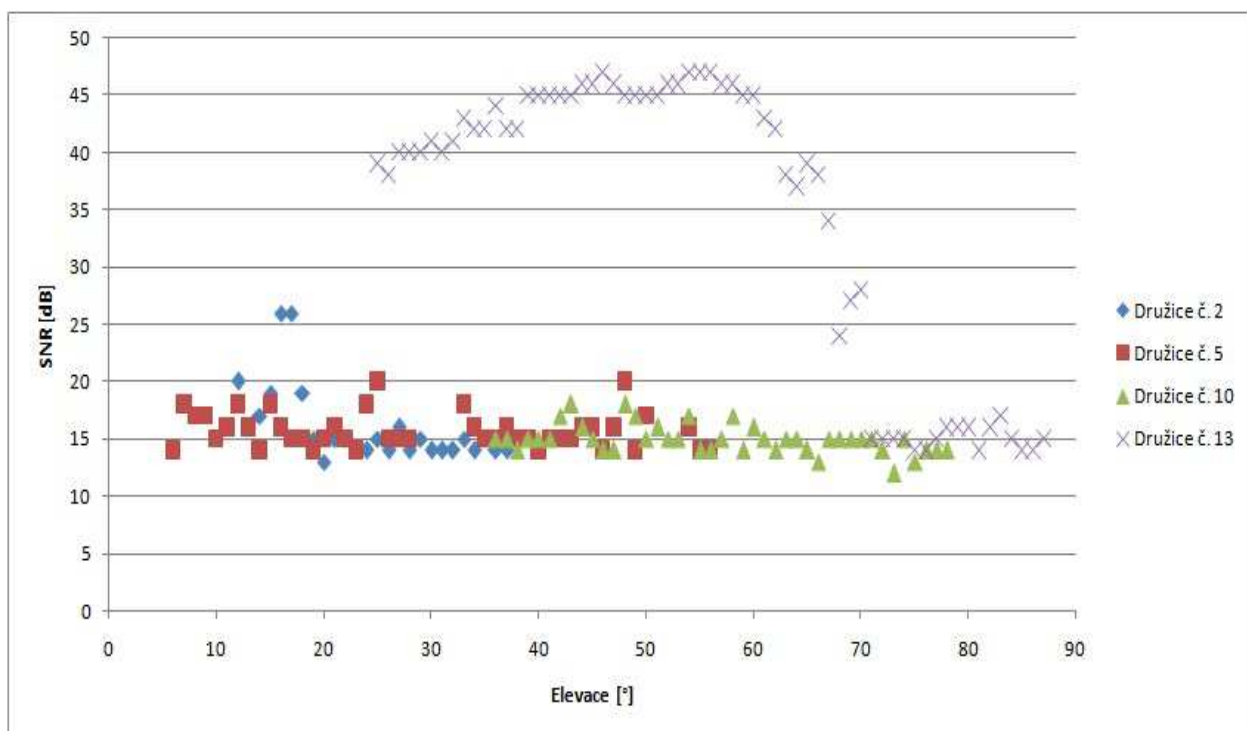
Graf 9: Počet viditelných družic v průběhu času celého měření – stín mostu



Graf 10: Závislost činitele PDOP na čase pro daný počet družic – stín mostu



Graf 11: Histogram PDOP – stín mostu



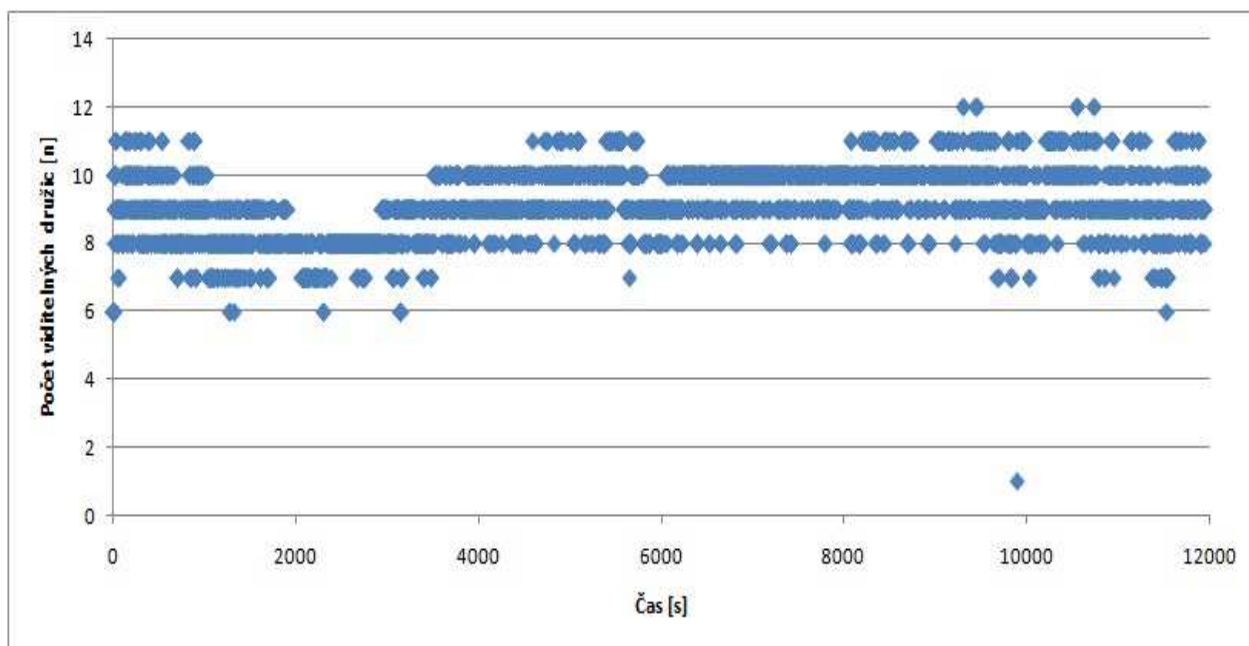
Graf 12: Závislost SNR na elevaci pro vybrané družice – stín mostu

6.5 Zastíněné místo - stín okolní vegetace

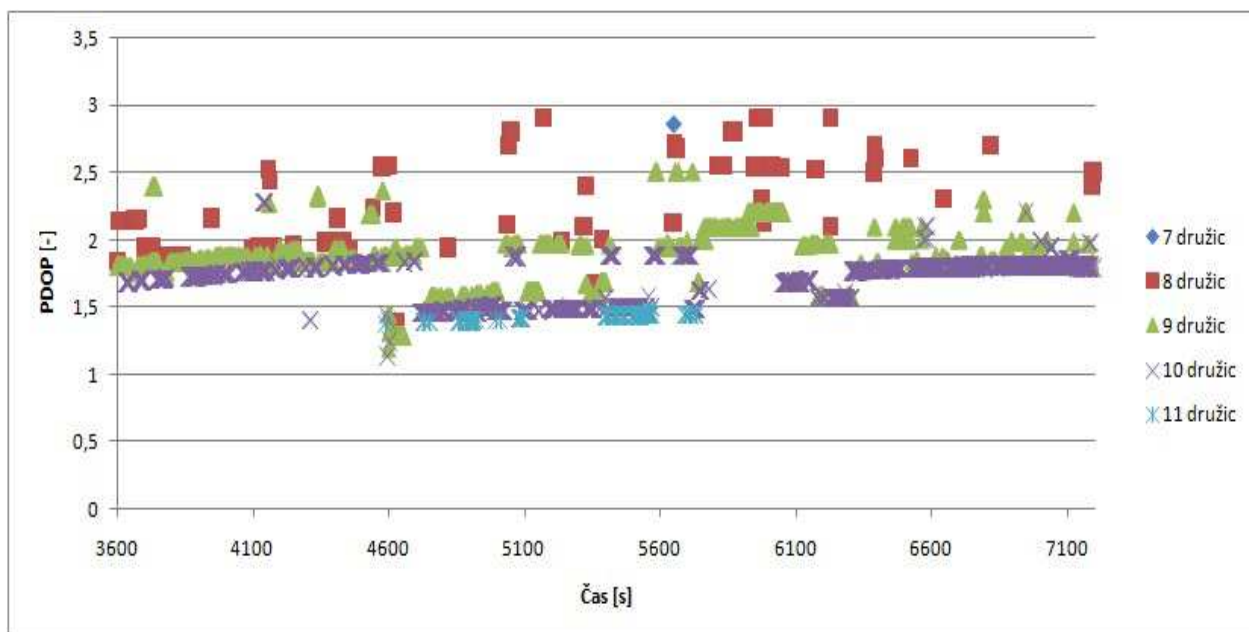
Naměřeno dne: 27.12.2013

Počátek měření: 15:15

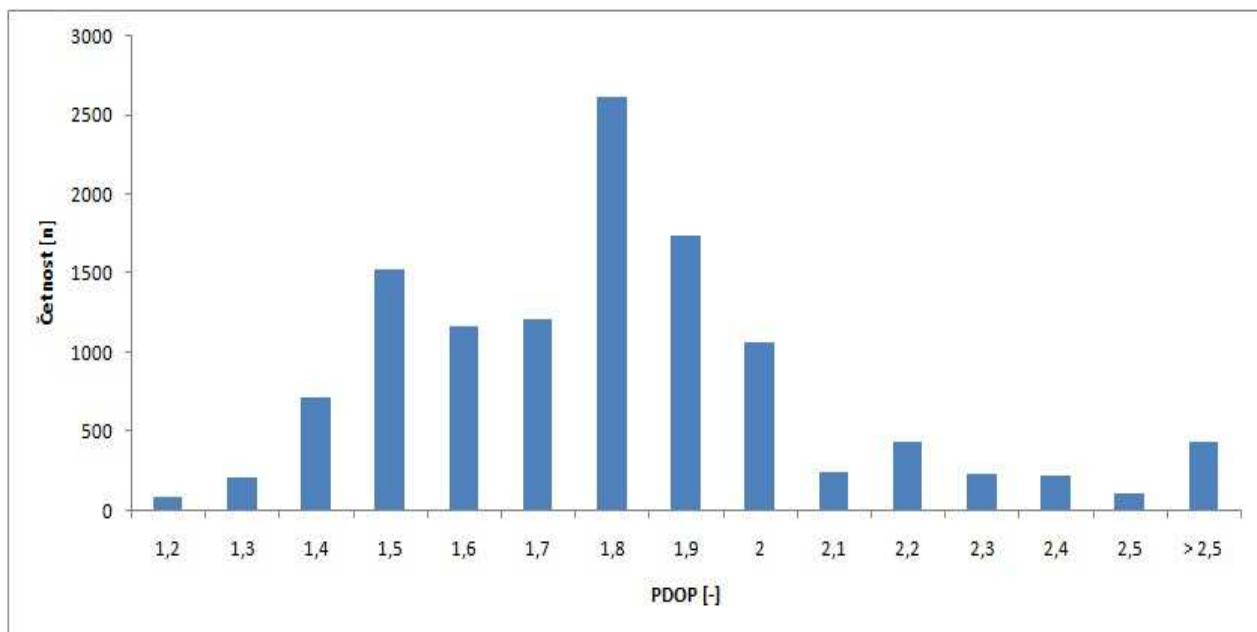
Specifikace lokality: Stín smíšeného lesu, listnaté stromy bez listů



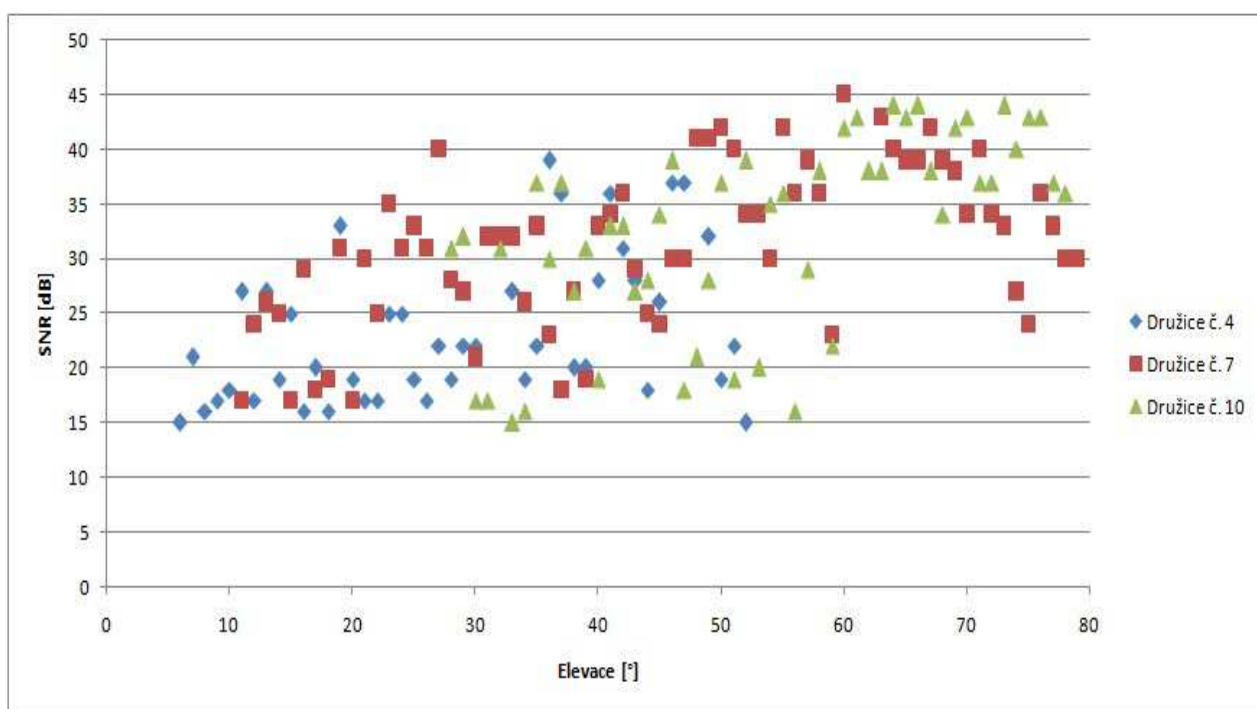
Graf 13: Počet viditelných družic v průběhu času celého měření – stín vegetace



Graf 14: Závislost činitele PDOP na čase pro daný počet družic – stín vegetace



Graf 15: Histogram PDOP – stín vegetace



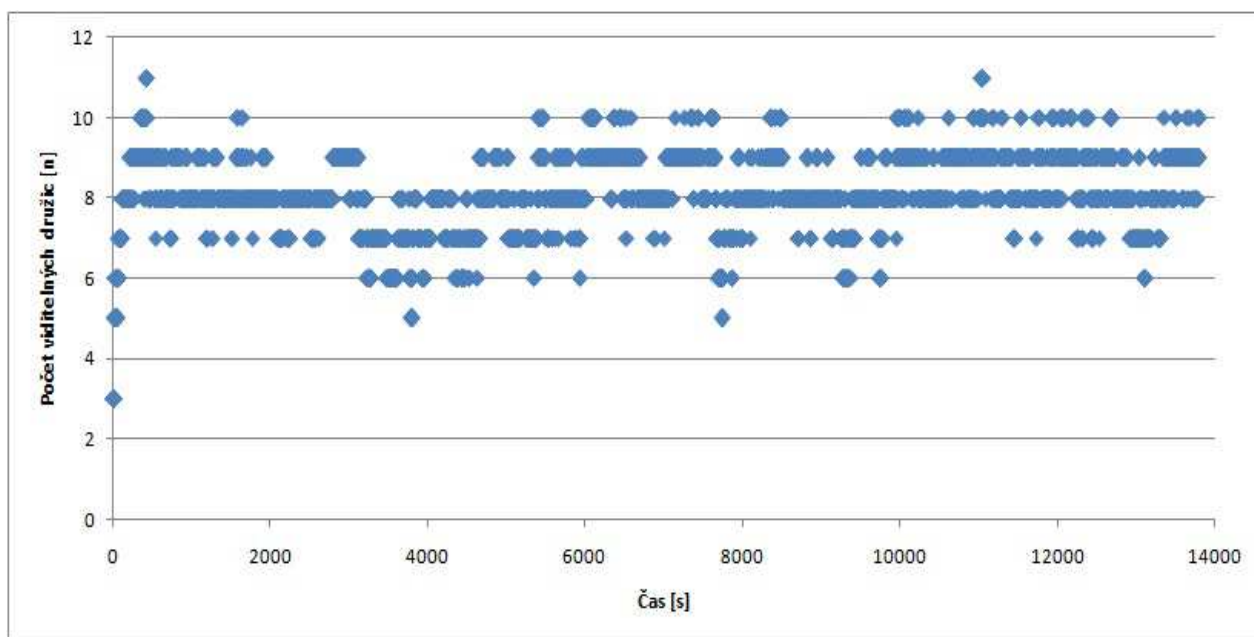
Graf 16: Závislost SNR na elevaci pro vybrané družice – stín vegetace

6.6 Městská zástavba

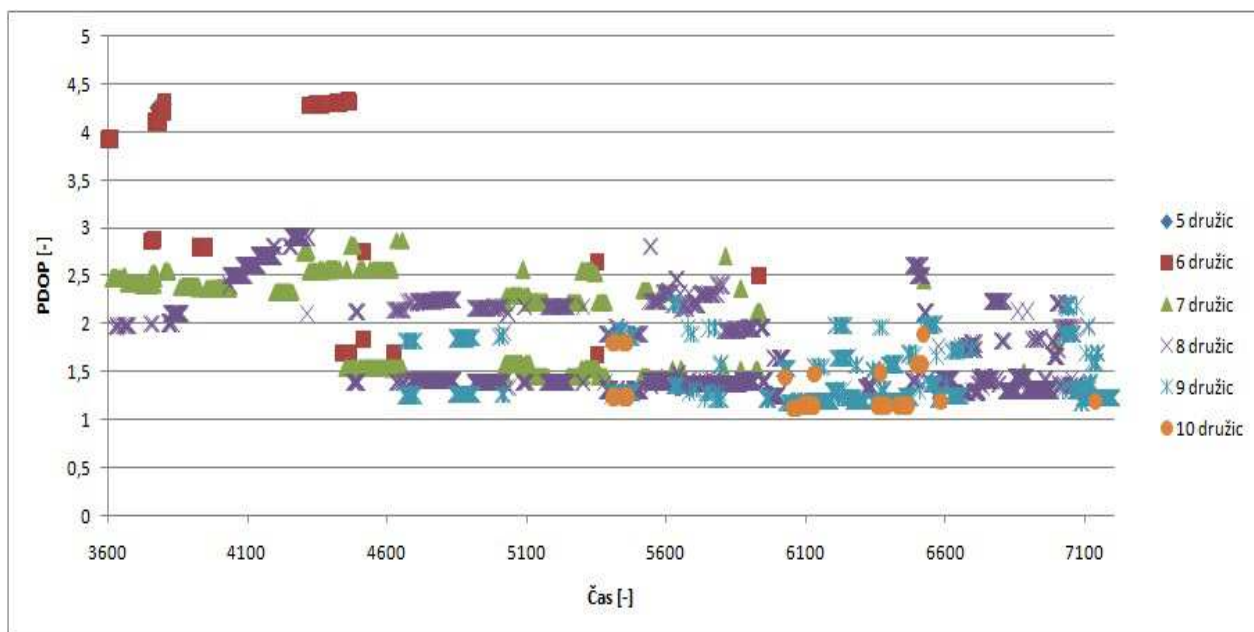
Naměřeno dne: 25.12.2013

Počátek měření: 15:06

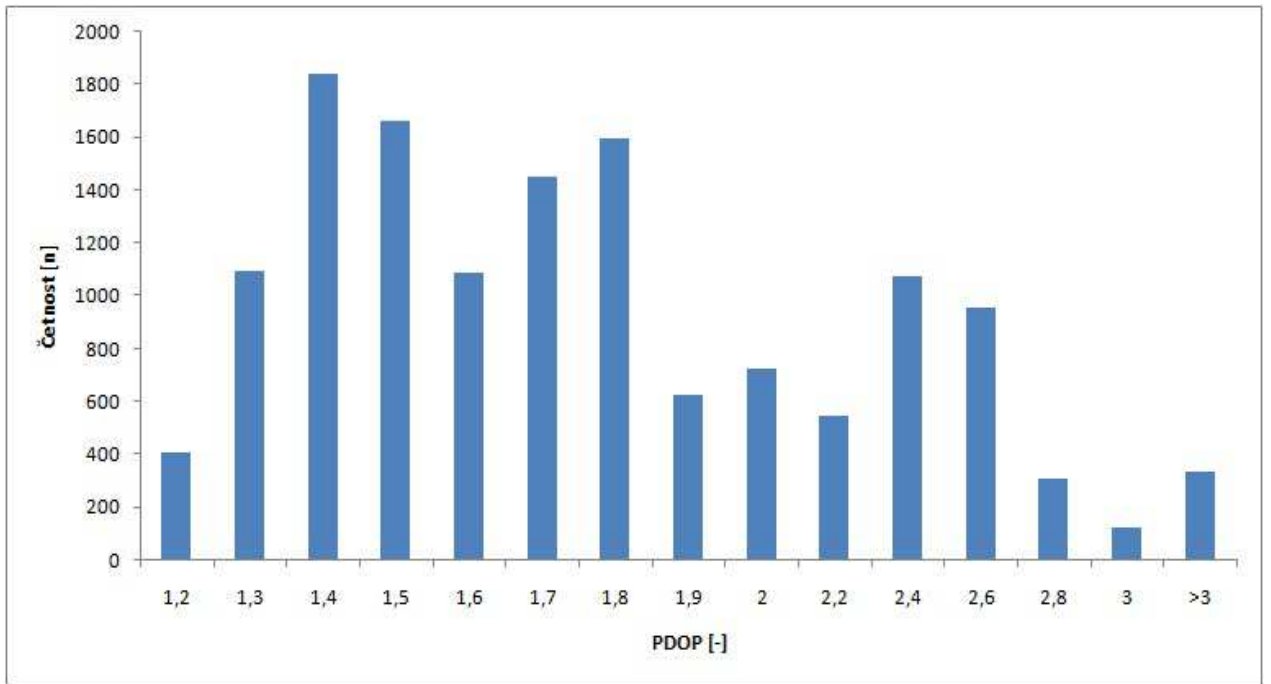
Specifikace lokality: Stín městské zástavby ze severu a z jihu, budovy o přibližné výšce 20 m



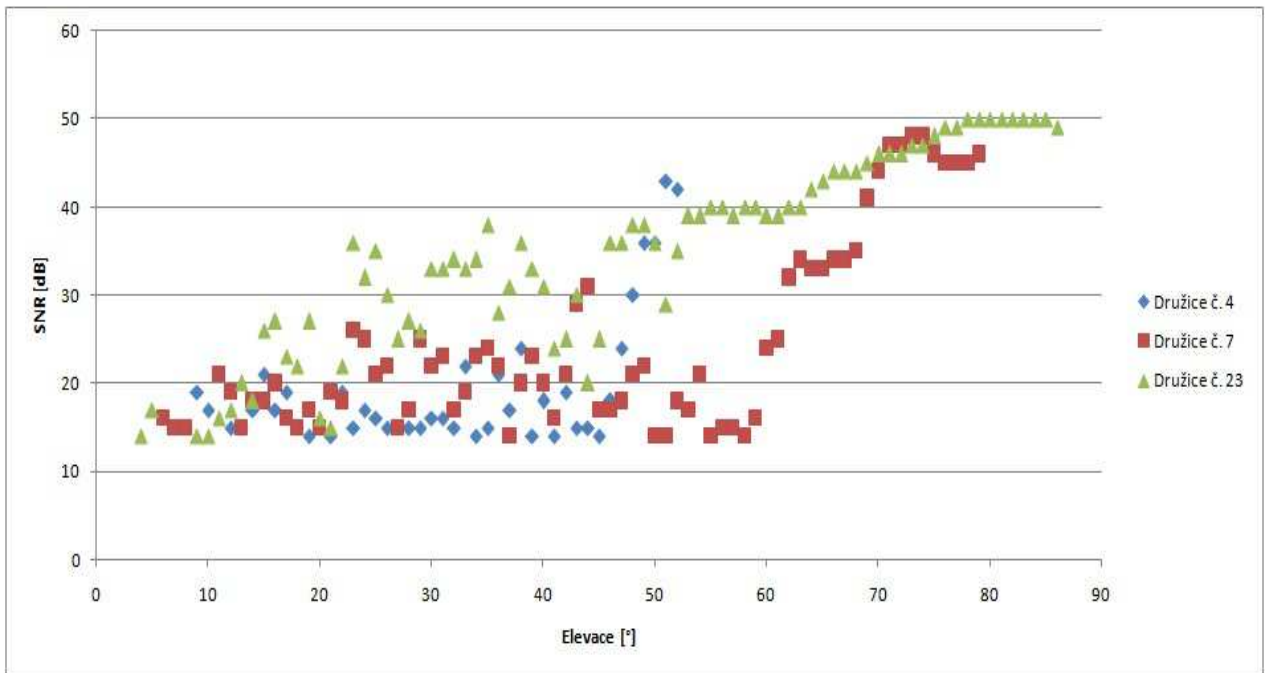
Graf 17: Počet viditelných družic v průběhu času celého měření – městská zástavba



Graf 18: Závislost činitele PDOP na čase pro daný počet družic – městská zástavba



Graf 19: Histogram PDOP – městská zástavba



Graf 20: Závislost SNR na elevaci pro vybrané družice – městská zástavba

7. Závěr

V rámci této bakalářské práce jsem nahlédl do problematiky GNSS. Z těchto systémů jsem se nejvíce seznámil s GPS.

Zjistil jsem, že systém GPS je mnohem starší než jsem si původně myslel, obsahuje mnoho prvků, které se do budoucna budou v budoucnu rozvíjet.

Jedním z výsledků této práce bylo naměření dat, pomocí GPS přijímače BT-Q1000 Travel Recorder, a navržení skriptu v programu MATLAB pro filtrování NMEA zpráv. Pomocí tohoto skriptu lze NMEA zprávy lehce profiltrovat a roztřídit tak jednotlivé věty NMEA zprávy.

Dalším výsledkem této práce je analýza profiltrovaných dat. Díky programu MS Excel jsem jednotlivé věty analyzoval a následně vytvořil grafy závislostí, díky kterým lze srovnat měřené lokality.

Z hlediska viditelnosti družic nejlépe dopadla lokalita bez stínu pro GPS signál. V této lokalitě bylo nejčastěji vidět 9 a více družic (graf 1). V ostatních případech převládá viditelnost 8 družic či méně (grafy 5, 9 a 17). Byl jsem překvapen velkým množstvím viditelných družic, v případě stínu vegetace (graf 13), avšak toto vysoké množství bude nejspíš způsobeno výběrem lokality. V letním období, kdy by na sobě listnaté stromy měly listy, by byl výsledek jistě odlišný.

Pomocí grafů jsem určil, že v lokalitě bez stínu, je PDOP nízké, s největší četností se pohybuje kolem 1,8. Dosahuje však i nižších docela četných hodnot 1,3 a 1,5 (graf 3). Nejhorše dopadla lokalita s městskou zástavbou, kde se činitel nejčastěji pohybuje kolem hodnoty 1,4 až 2, avšak velmi často se PDOP pohybuje kolem 2,5 (graf 18). Tato vysoká hodnota by měla být způsobena odrazy signálu o blízké budovy. Velký vliv na hodnotu PDOP má i okolní vegetace – největší výskyt hodnoty 1,8 (graf 15), ačkoliv šlo o les smíšený. Zdá se, že stín mostu nemá zas tak velký vliv na činitel PDOP (graf 11), PDOP je v této lokalitě velice nízké – pohybuje se kolem hodnoty 1,4. V případě stínu z určitého směru je výsledek nejasný, v prvním měření dosahuje velmi nízkých čísel, tj. 1,4 – 1,6 (graf 7), ale v druhém měření (viz příloha na CD – stindomu_2_020114) PDOP má největší výskyt 1,8 – 2,4. V druhém měření činitel PDOP má četné zastoupení i v hodnotách vyšších jak 3.

Z posledních grafů lze říci, že pro lokalitu bez stínu získáme od družice silnější signál, pokud přesáhne elevaci 20° (graf 4). V lokalitě stíněné určitou stranou (graf 8) lze vidět, že družice poskytující kvalitní signál přešly do stínu a signál se zcela ztratil (družice č. 17 a 31). Zatímco stále viditelná družice č. 24, která je vidět po celou dobu měření, nedosahuje tak kvalitního signálu, hodnota kolem 15 dB, jako ostatní. Tato družice byla sledována pod azimutem 157° (viz příloha na CD – stindomu_1_281213) a přestala být sledována pod azimutem 300° . Toto měření bylo stíněno budovou z jihu, daná družice byla stíněna touto budovou a ta způsobila menší hodnotu SNR. V případě stínu vegetace všechny 3 družice naznačují, že jejich signál byl rušen nezávisle na jejich

elevaci (graf 16). Rušení v této lokalitě je zřejmě silně závislé na poloze okolní vegetace (hustota lesa atd.) a na ročním období (výskyt listů u listnatých stromů). Síla signálu v případě městské zástavby je silně ovlivněná elevací družice (za předpokladu, že dráha družice není rovnoměrná se směrem silnice a zároveň neprochází hlavníkem). Při malé elevaci je SNR velmi nízké, s elevací SNR roste (graf 20). V tomto měření je zapotřebí, alespoň elevace 50° pro družici č. 23 a 60° pro družici č. 7, pod těmito úhly již vystoupili ze stínu okolních budov. U lokality se stínem mostu lze na družici č. 5 (graf 12) lze vidět, jak most ovlivňuje sílu signálu, hodnoty SNR většinou nepřesáhly hodnotu 20 dB. V některých případech dokonce signál i vypadl.

Bohužel kvůli časovým problémům jsem nebyl schopen měřit ve více lokalitách a nestihl jsem zpracovat grafy pro závislost SNR na elevaci pro všechny lokality a všechny dostupné družice.

Na vypracovaných grafech jsem si ověřil některé vlastnosti GPS signálu. Dostupnost a přesnost této, ačkoliv velice pokročilé technologie, je velmi závislá na okolním prostředí. Tuto roli nelze zanedbávat a měli bychom si tuto vlastnost uvědomit.

8. Použitá literatura

1. **GNSS – Global Navigation Satellite System** [online] Odbor kosmických technologií a družicových systémů [2013] Dostupné z: www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/

2. **Vejražka F., Hrdina Z., Pánek P.:** Rádiové určování polohy : Družicový systém GPS / 1. Vyd. Praha : ČVUT, 1995, 267 s. : ISBN 80-01-01386-3.

3. **GPS** [online] VaccCZ [2013] Dostupné z: <http://www.vacc-cz.org/wiki/index.php/GPS>

4. **Globální družicový polohový systém** [online] Wikipedia.org. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Globální_družicový_polohový_systém

5. **GPS (Global Positioning System, globální polohový systém)** [online]. CAGI [vid. 4.2.2012]. Dostupné z: http://gislib.upol.cz/educagi/index.php?option=com_content&view=article&id=99:gps&catid=58:prodr-info&Itemid=90

6. **Dilution of precision (GPS)** [online]. Wikipedia.org. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_\(GPS\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_(GPS))

7. **BT-Q1000 User Manual-V2.pdf** [online]. Qstarz International Co., Ltd .Dostupné z: <http://www.qstarz.com/download.php?t=4&m=BT-Q1000>

8. **NMEA Data** [online]. GPS information [vid. 4.2.2012]. Dostupné z: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>

9. **Příručka pro psaní vysokoškolských závěrečných prací** [online]. Ústřední knihovna ČVUT [říjen 2011] Dostupné z <http://knihovna.cvut.cz/studium/jak-psat-vskp/doporuceni/>

9. Přílohy

9.1 Příloha – skript

Skript je bez komentářů, s komentáři je obsažen na přiloženém CD.

```
clear all; close all; clc;

NMEA=fopen('nmea.txt', 'r');
pocet_radku = numel(textread('nmea.txt', '%1c%*[\n]'));
fseek(NMEA,0,'bof');
GGA_radek = 1;
GLL_radek = 1;
GSV_radek = 1;
GSA_radek = 1;
RMC_radek = 1;
VTG_radek = 1;
ZDA_radek = 1;
GSV_pocet = 1;
GSV_sloupec = 1;

for(i=1:pocet_radku)
veta=textscan(NMEA,'%*3c %c %c %c', 1, 'delimiter', ',', ...
    'EmptyValue', -Inf);
    znak_1=cell2mat(veta(1));
    znak_2=cell2mat(veta(2));
    znak_3=cell2mat(veta(3));

    if(znak_1 == 71)
        if(znak_2 == 71)
            GGA(GGA_radek,:) = textscan(NMEA,'%f %s %c %s %c %f %f
%f %f %c %f %c %f %s ', 1, 'delimiter', ',', ...
    'MultipleDelimsAsOne', 'n');
            fseek(NMEA,0,'cof');
            GGA_radek = GGA_radek+1;
        elseif(znak_2 == 76)
            GLL(GLL_radek,:) = textscan(NMEA,'%f %c %f %c %f %c %c
%s ', 1, 'delimiter', ',', ...
    'MultipleDelimsAsOne', 'n');
            fseek(NMEA,0,'cof');
            GLL_radek = GLL_radek+1;

        elseif(znak_2 == 83)
            if(znak_3 == 65)
                GSA(GSA_radek,:) = textscan(NMEA,'%c %f %f %f %f %f %f
%f %f %f %f %f %f %f %f %f %s ', 1, 'delimiter', ',', ...
    'EmptyValue', NaN);
                fseek(NMEA,0,'cof');
                GSA_radek = GSA_radek+1;
            else
                GSV_pocet = textscan(NMEA,'%*4c %f', 1, 'delimiter',
',', ...
    'EmptyValue', -Inf);
                usek=floor(cell2mat(GSV_pocet(1))/4);
                zbytek=mod(cell2mat(GSV_pocet(1)),4);
                for j=1:usek
                    for k=1:4
```

```

GSV(GSV_radek,GSV_sloupec:(GSV_sloupec+3)) = textscan(NMEA,'%f %f %f
%f ', 1 , 'delimiter', ',', ...
        'EmptyValue', NaN);
        fseek(NMEA,0,'cof');
        GSV_sloupec = GSV_sloupec+4;
    end
    GSV_check=textscan(NMEA,'%s', 1 , 'delimiter',
',', ...
        'EmptyValue', -Inf);
    GSV_vyrovnani= textscan(NMEA,'%*11c %f', 1
, 'delimiter', ',', ...
        %
        'EmptyValue', -Inf);
    end
    for l=1:zbytek
        GSV(GSV_radek,GSV_sloupec:(GSV_sloupec+3)) =
textscan(NMEA,'%f %f %f %f ', 1 , 'delimiter', ',', ...
        'EmptyValue', NaN);
        fseek(NMEA,0,'cof');
        GSV_sloupec = GSV_sloupec+4;

    end
    GSV_check=textscan(NMEA,'%s', 1 , 'delimiter', ',',
...
        'EmptyValue', -Inf);

        GSV_sloupec = 1;
        GSV_radek = GSV_radek+1;
    end
    elseif(znak_1 == 82)
        RMC(RMC_radek,:) = textscan(NMEA,'%f %c %s %c %s %c %f
%f %f %f %f %c %s ', 1 , 'delimiter', ',', ...
        'EmptyValue', NaN);
        fseek(NMEA,0,'cof');
        RMC_radek = RMC_radek+1;

    elseif(znak_1 == 86)
        VTG(VTG_radek,:) = textscan(NMEA,'%f %c %f %c %f %c %f
%c %s ', 1 , 'delimiter', ',', ...
        'EmptyValue', NaN);
        fseek(NMEA,0,'cof');
        VTG_radek = VTG_radek+1;

    elseif(znak_1 == 90)
        ZDA(ZDA_radek,:) = textscan(NMEA,'%f %f %f %f %f %s ',
1 , 'delimiter', ',', ...
        'EmptyValue', NaN);
        fseek(NMEA,0,'cof');
        ZDA_radek = ZDA_radek+1;
    end
end
xlswrite('Export.xls', GSV, 'GSV', 'A1');

```

9.2 Obsah přibaleného CD

Data na přiloženém CD jsou organizována následovně:

Nmea soubory

Obsahuje uložených 10 nmea souborů

Nazev je formátu: lokalita_č. měření_datum (např. bezstinu_1_161213)

Skript

Filtr.m

Filtr na filtrování nmea souborů

nmea.txt

txt soubor do kterého je nutné nakopírovat data určená k filtraci

Vyhodnocení

Obsahuje profiltrovaných 10 souborů ve formátu .xlsx

Tyto soubory obsahují grafy na listech graf 1, graf 2 a histogram, u 5 uvedených lokalitách (viz vyhodnocení) je obsažen i list s grafem závislosti SNR na elevaci.

Nazev je formátu: lokalita_č. měření_datum (např. bezstinu_1_161213)

Dále obsahuje popis.txt, což je textový soubor kde jsou popsány všechny měřené lokality