



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## ZAZNAMENÁVÁNÍ POLOHY VOZIDLA POMOCÍ DIFERENCIÁLNÍ GPS S BÁZOVOU STANICÍ

LOGGING OF VEHICLE'S POSITION BY A DIFFERENTIAL GPS WITH BASE STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matěj Vala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Straka

BRNO 2024



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Matěj Vala**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Straka**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Zaznamenávání polohy vozidla pomocí diferenciální GPS s bázovou stanicí

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro provádění experimentů na vozidle je vhodné znát jeho přesnou polohu. To lze realizovat pomocí systémů na bázi GPS. Přesnost běžných GPS je pro vědecké účely jízdní dynamiky vozidel nedostatečná. Při použití bázové GPS stanice je možné výrazně zvýšit přesnost a naměřená data použít při analýze manévrů vozidla.

#### Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem této práce je popis funkce GPS s bázovou stanicí. Mezi další cíle patří popis funkce samotné GPS a jejího historického vývoje, realizace měření pomocí GPS s bázovou stanicí a vyhodnocení naměřených dat. Práce bude obsahovat:

- rešerše systémů GPS a jejich historického vývoje,
- rešerše a popis funkce diferenciální GPS,
- realizace měření trasy vozidla běžnou a přesnou GPS,
- vyhodnocení naměřených dat.

#### Seznam doporučené literatury:

GREWAL, Mohinder S. (Mohinger Singh); ANDREWS, Angus P a BARTONE, Chris G. Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration. 3rd ed. Hoboken: John Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-44700-0.

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Předložená práce se zabývá studiem GPS, diferenciálního GPS a GPS s bázovou stanicí. V rešerši je kladen důraz na fungování, současný stav a budoucí vývoj těchto systémů. Dále práce přináší vlastní měření trasy vozidla pomocí různých GPS systémů. Při měření trasy byla využita bázová stanice, experimentální vozidlo, ADMA-G-PRO+, RT3000 a běžné GPS zařízení pro měření jízdní dynamiky. Měření bylo prováděno s korekcí a bez korekce. Analýza naměřených dat probíhala v softwaru Matlab v aplikaci TeleMatrix, kde se zaměřovala na různé parametry pro jednotlivé GPS systémy. První analýza vyhodnocuje měření trasy pomocí tří GPS systémů (RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení). Získané výsledky ukazují, jaký vliv má kvalita signálu, horizontální rychlost, počet satelitů, orientace vozidla, směrodatná odchylka headingu a status přesnosti při běžné jízdě a během specifických pojezdů pro různé GPS systémy. Druhá analýza vyhodnocuje RT3000 s korekcí a bez korekce pro různé manévry. Vyhodnocené výsledky ukazují, že RT3000 s korekcí poskytuje vyšší přesnost, než RT3000 bez korekce. RT3000 s korekcí vykazuje nižší směrodatnou odchylku headingu v rozsahu  $0,210^\circ - 2,228^\circ$ , což potvrzuje jeho vyšší přesnost ve srovnání s RT3000 bez korekce, kde se směrodatná odchylka headingu pohybuje v rozmezí  $0,384^\circ - 4,418^\circ$ .

## KLÍČOVÁ SLOVA

Globální polohový systém (GPS), diferenciální globální polohový systém (DGPS), bázová stanice, přesnost GPS, ADMA-G-PRO+, RT3000, jízdní dynamika vozidel

## ABSTRACT

The present work deals with the study of GPS, differential GPS and GPS with base station. The research focuses on the functioning, present status and future development of these systems. Further the thesis presents the actual measurement of the vehicle route using different GPS system. Base station, experimental vehicle, ADMA-G-PRO+, RT3000 and conventional GPS devices were used for the route measurement. The measurements were performed with and without correction. The analysis of the measured data was carried out in Matlab software in TeleMatrix, focusing on different parameters for each GPS system. The first analysis evaluates the route measurements using three GPS systems (RT3000, ADMA-G-PRO+ and a conventional GPS device). The results obtained show the effect of signal quality, horizontal speed, number of satellites, vehicle orientation, heading standard deviation and accuracy status during normal driving and during specific runs for the different GPS systems. The second analysis evaluates the RT3000 with and without correction for different manoeuvres. The evaluated results show that the RT3000 with correction provides higher accuracy than the RT3000 without correction. The RT3000 with correction shows a lower standard deviation of heading in the range of  $0.210^\circ - 2.228^\circ$ , confirming its higher accuracy compared to the RT3000 without correction, where the standard deviation of heading ranges from  $0.384^\circ - 4.418^\circ$ .

## KEYWORDS

Global Positioning System (GPS), Differential Global Positioning System (DGPS), base station, GPS accuracy, ADMA-G-PRO+, RT3000, vehicle dynamics

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VALA, Matěj. *Zaznamenávání polohy vozidla pomocí diferenciální GPS s bázovou stanicí*. Online, bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2024. Vedoucí práce Tomáš Straka. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157995>.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Straky a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 24. května 2024

.....

Matěj Vala

## PODĚKOVÁNÍ

Ing. Tomáši Strakovi, vedoucímu mé bakalářské práce, bych rád poděkoval za cenné a odborné rady, které jsem využil při zpracování této práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za plnou podporu během mého bakalářského studia.



# OBSAH

Úvod.....	12
<b>1 Rozbor výzkumného problému .....</b>	<b>13</b>
1.1 GNSS (Globální navigační satelitní systém).....	13
1.1.1 Galileo .....	14
1.1.2 BeiDou.....	14
1.1.3 GLONASS.....	15
1.1.4 GPS.....	15
1.1.5 Porovnání jednotlivých systému.....	16
1.2 Globální polohový systém (GPS).....	16
1.2.1 Historie systému GPS.....	17
1.2.2 Současný stav GPS .....	17
1.2.3 Budoucnost GPS.....	18
1.3 Segmenty systému GPS.....	18
1.3.1 Kosmický (vesmírný) segment.....	18
1.3.2 Řídicí segment .....	19
1.3.3 Uživatelský segment.....	20
1.4 Signály vysílané družicemi (satelity) .....	21
1.4.1 Navigační zprávy .....	22
1.5 Souřadnicové systémy a jejich typy .....	22
1.6 Typy GPS přijímačů .....	23
1.6.1 Turistické GPS přístroje .....	23
1.6.2 Automobilové GPS přístroje .....	24
1.6.3 Námořní GPS přístroje .....	25
1.6.4 Letecké GPS přístroje.....	25
1.6.5 Vojenské GPS přístroje .....	26
1.7 Přesnost GPS .....	26
1.7.1 Omezení přesnosti GPS.....	27
1.7.2 Požadavky přesnosti GPS.....	27
1.7.3 Zvýšení přesnosti GPS .....	28
1.8 Diferenciální GPS (DGPS).....	28
1.8.1 Výhody diferenciální GPS (DGPS).....	29
1.8.2 Nevýhody diferenciální GPS (DGPS).....	29
1.8.3 Použití diferenciální GPS (DGPS) .....	30
1.8.4 Rozdíl mezi GPS a DGPS (porovnání) .....	30
1.9 Princip fungování diferenciální GPS (DGPS).....	31
1.9.1 Referenční stanice.....	31
1.9.2 Zlepšení přesnosti DGPS.....	32
1.10 Bázová stanice (GPS s bázovou stanicí).....	32
1.10.1 Princip fungování GPS s bázovou stanicí .....	33
1.10.2 Výhody, nevýhody a použití GPS s bázovou stanicí.....	34
1.10.3 Bázové stanice v České republice .....	34
1.11 Využití GPS pro výzkum v oblasti dynamiky vozidel .....	34
1.11.1 Vehicle in the loop (VIL) .....	35
1.11.2 Měření na polygonu pomocí ADMA-G-PRO+ .....	35

<b>2</b>	<b>Analýza problému a cíl práce .....</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>Materiály a metody .....</b>	<b>37</b>
3.1	Bázová stanice.....	37
3.2	Experimentální vozidlo .....	38
3.3	ADMA-G-PRO+ .....	38
3.4	RT3000 a RT NAVsolve.....	39
3.5	Běžné GPS zařízení (komerční GPS).....	39
3.6	Porovnání ADMA-G-PRO+ , RT3000 a běžné GPS zařízení .....	39
3.7	Průběh měření trasy s experimentálním vozidlem .....	40
<b>4</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>41</b>
4.1	Trasa naměřených dat (okružní jízda).....	41
4.2	Eventy na trase naměřených dat (okružní jízda).....	42
4.3	Vyhodnocení dat pro RT3000 (okružní jízda) .....	43
4.3.1	Zeměpisná délka (lonRT) a šířka (latRT) pro RT3000.....	43
4.3.2	Horizontální rychlost pro RT3000 (vHRT) .....	44
4.3.3	Počet používaných satelitů pro RT3000 (GpsNumSats).....	45
4.3.4	Orientace vozidla pro RT3000 (headingRT) .....	46
4.3.5	Směrodatná odchylka headingu pro RT3000 (AngleHeadingStdev).....	47
4.3.6	Status přesnosti pro RT3000 (GpsPosMode).....	48
4.4	Vyhodnocení dat pro ADMA-G-PRO+ (okružní jízda) .....	49
4.4.1	Zeměpisná délka a šířka pro ADMA-G-PRO+.....	49
4.4.2	Horizontální rychlost pro ADMA-G-PRO+ (vHADMA).....	51
4.4.3	Počet satelitů pro ADMA-G-PRO+ (viditelných a používaných) .....	52
4.4.4	Orientace vozidla pro ADMA-G-PRO+ .....	53
4.4.5	Směrodatné odchylka headingu pro ADMA-G-PRO+ .....	54
4.4.6	Status přesnosti pro ADMA-G-PRO+ .....	55
4.5	Vyhodnocení dat pro běžné GPS zařízení (okružní jízda).....	55
4.5.1	Zeměpisná délka a šířka pro přední a zadní běžné GPS zařízení.....	56
4.5.2	Horizontální rychlost pro přední a zadní běžné GPS zařízení .....	58
4.5.3	Počet používaných satelitů pro přední a zadní běžné GPS zařízení .....	59
4.5.4	Ostatní veličiny pro přední a zadní běžné GPS zařízení .....	60
4.6	Kruhový objezd (event KO).....	60
4.6.1	Kruhový objezd vyhodnocený pomocí RT3000 .....	61
4.6.2	Kruhový objezd vyhodnocený pomocí ADMA-G-PRO+ .....	63
4.6.3	Kruhový objezd vyhodnocený pomocí předního a zadního běžného GPS.....	63
4.7	Trasa naměřených dat na parkovišti VUT s korekcí.....	65
4.7.1	Eventy na trase naměřených dat na parkovišti VUT s korekcí.....	66
4.7.2	Zeměpisná šířka a délka pro RT3000 s korekcí .....	67
4.7.3	Horizontální rychlost pro RT3000 s korekcí.....	67
4.7.4	Počet používaných satelitů pro RT3000 s korekcí.....	68
4.7.5	Orientace vozidla (heading) pro RT3000 s korekcí .....	69
4.7.6	Směrodatná odchylka headingu pro RT3000 s korekcí .....	70
4.7.7	Status přesnosti pro RT3000 s korekcí .....	71

---

4.8	Trasa naměřených dat na parkovišti VUT bez korekce.....	72
4.8.1	Eventy na trase naměřených dat na parkovišti VUT bez korekce.....	73
4.8.2	Zeměpisná délka a šířka pro RT3000 bez korekce.....	74
4.8.3	Horizontální rychlost pro RT3000 bez korekce .....	74
4.8.4	Počet používaných satelitů pro RT3000 bez korekce.....	75
4.8.5	Orientace vozidla (heading) pro RT3000 bez korekce.....	76
4.8.6	Směrodatná odchylka headingu pro RT3000 bez korekce .....	77
4.8.7	Status přesnosti pro RT3000 bez korekce .....	78
<b>5</b>	<b>diskuse.....</b>	<b>79</b>
5.1	Diskuse trasa naměřených dat (okružní jízda).....	79
5.2	Diskuse trasa naměřených dat (parkoviště VUT).....	80
	<b>Závěr .....</b>	<b>81</b>
	<b>Použité informační zdroje.....</b>	<b>82</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>90</b>

## ÚVOD

GPS (globální polohový systém) se stává v aktuální době důležitou součástí lidského života. GPS dává klíčová data o poloze a času. Tyto data se používají pro množství moderních procesů. Význam GPS neustále roste a stále se vylepšuje vzhledem k potřebám lidské společnosti. V dnešní době GPS systém už může být nedostatečný pro vědecké účely. Přesná poloha vozidla je důležitá pro provádění testů a experimentů na silnici. Standardní GPS systémy mají určité omezení ve své přesnosti (např. atmosférické podmínky a odraz od staveb). Pro přesnější výsledky je lepší možnost diferenciální GPS (DGPS). DGPS využívá básovou stanici, která má přesnou polohu. Básová stanice koriguje nepřesnosti, které jsou způsobené různými faktory. Díky tomuto dochází ke zvýšení přesnosti.

Cílem bakalářské práce je provést rešerši globálního polohového systému (GPS) a diferenciálního globálního polohového systému (DGPS). Dalším cílem bakalářské práce je obsáhlý popis a funkce GPS s básovou stanicí. Bakalářská práce se zabývá GNSS, GPS, historií systému, současným stavem, budoucností systému, segmenty systému, typy přijímačů, přesnosti GPS, básovou stanicí a technologickými inovacemi, které vedou ke zlepšení GNSS. Dále se práce zabývá popisem funkce diferenciální GPS.

Další část bakalářské práce je měření trasy pomocí běžné GPS a GPS s básovou stanicí. Trasa byla absolvována experimentálním vozidlem, které je vybaveno několika GPS systémy. Ve vozidle se nachází ADMA-G-PRO+, RT3000 a dvě totožné běžné GPS pro flotilové testování. Jedno běžné GPS zařízení je umístěno vzadu a druhé vpředu na experimentálním vozidle. V závěrečné části bakalářské práce jsou vyhodnocena naměřená data ze čtyř typů GPS (RT3000, ADMA-G-PRO+, dvě totožné běžné GPS zařízení). Tyto naměřená data slouží k porovnání jednotlivých typů GPS. Například porovnat jejich přesnost, orientaci a počet satelitů v různých prostředích (např. jak se jednotlivé GPS chovají na kruhovém objezdu).

V první kapitole bakalářské práce se nachází přehled současného stavu poznání (rešerše). Ze začátku první kapitoly se řeší GNSS, historie, aktuální stav, budoucnost, segmenty, signály, souřadnice, typy a přesnost systému GPS (Globální polohový systém). Dále se také v první kapitole píše o DGPS (Diferenciální globální polohový systém) a básových stanicích.

Ve druhé kapitole se nachází analýza problému a cíl práce. V této kapitole je popsána praktická část bakalářské práce, která se zabývá měřením trasy vozidla běžnou a přesnou GPS s básovou stanicí. Praktická část se také zaměřuje na vyhodnocení naměřených dat.

Ve třetí kapitole jsou uvedeny materiály a metody. Tato kapitola popisuje metody, které byly použity při měření dat. Třetí kapitola také popisuje postup samotného měření dat. Při měření trasy byla využita básová stanice, experimentální vozidlo, ADMA-G-PRO+, RT3000 a dvě totožné běžné GPS zařízení pro měření jízdní dynamiky.

Ve čtvrté kapitole se nachází vyhodnocení naměřených dat, které se provádělo v Matlabu (TeleMatrix). Data byla vyhodnocena podle různých kanálů pro RT3000, ADMA-G-PRO+ a dvě běžné GPS zařízení. Nejprve byla zpracována data, kde je RT3000, ADMA-G-PRO+ a dvě běžné GPS zařízení (bez časové synchronizace). V těchto datech se nachází okružní jízda po areálu VUT a jeho okolí (viz obr. 36). Dále byla zpracována data, kde je RT3000 s básovou stanicí a bez básové stanice. Tyto data byly naměřeny na parkovišti v areálu VUT (viz obr. 62). Pátá kapitola obsahuje diskusi, ve které je shrnuto, co vyplývá ze zpracovaných dat. Na konci bakalářské práce je napsaný závěr, který shrnuje celou bakalářskou práci.

# 1 ROZBOR VÝZKUMNÉHO PROBLÉMU

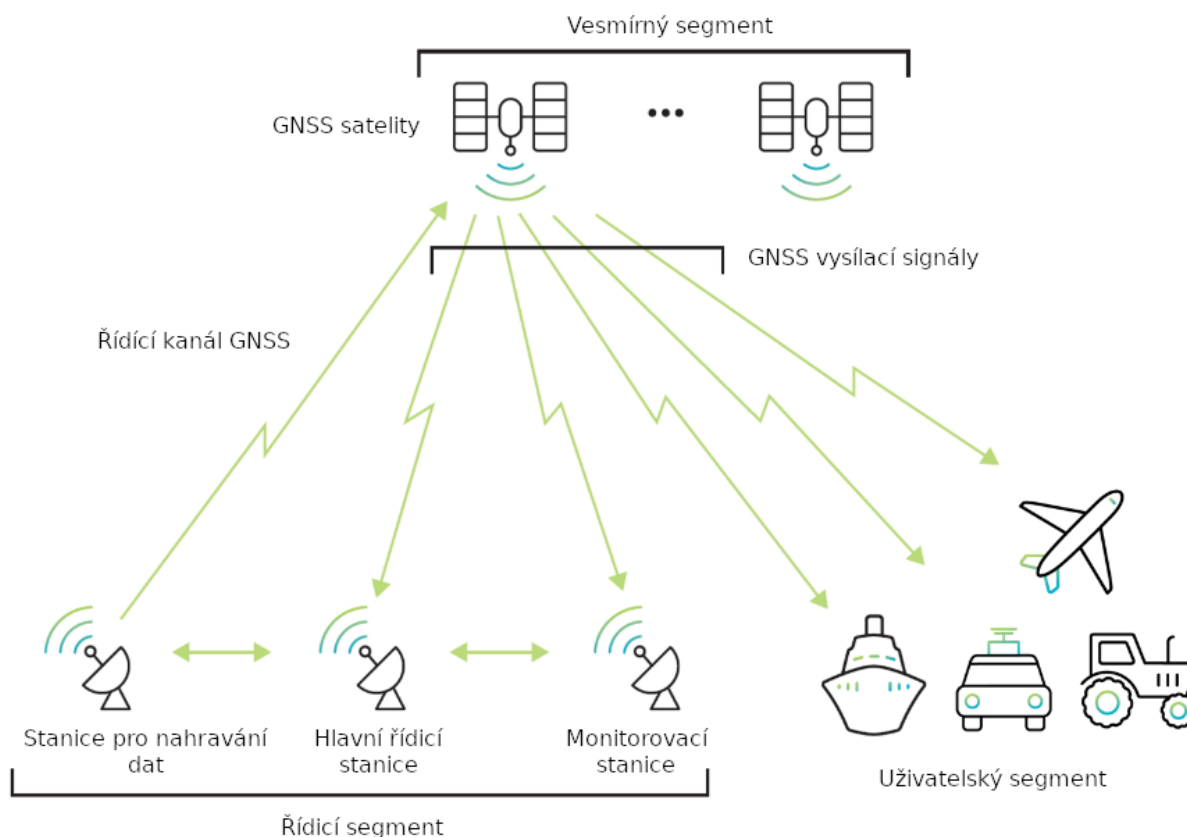
V první kapitole bakalářské práce se nachází přehled současného stavu poznání (rešerše). Ze začátku první kapitoly se řeší GNSS, historie, aktuální stav, budoucnost, segmenty, signály, souřadnice, typy a přesnost systému GPS (Globální polohový systém). Dále se také v první kapitole píše o DGPS (Diferenciální globální polohový systém) a bázevých stanicích.

## 1.1 GNSS (GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉM)

GNSS je zkratka pro globální navigační satelitní systém. Funguje jako síť satelitů, které vysílají signály s informacemi o poloze a čase. Signály jsou určeny pro přijímače GNSS. Přijímače využívají data k přesnému určení aktuální polohy. GNSS zajišťuje globální pokrytí. Mezi známé systémy patří Galileo (evropský), GPS (americký), GLONASS (ruský) a BeiDou (čínský). [1]

Výkon GNSS se hodnotí podle čtyř důležitých kritérií: přesnost, integrita, kontinuita a dostupnost. Systém má široké využití v různých odvětvích (např. mobilní navigace, zemědělství, automobilový průmysl a letecká doprava). [2]

Celkově se jedná o klíčový systém, který ovlivňuje náš každodenní život. Díky schopnosti poskytovat určení polohy s globálním dosahem má GNSS významný vliv na různé druhy moderního života. Schéma globálního navigačního satelitního systému je na obr. 1, kde se nachází jednotlivé části tohoto systému (viz kapitola 1.3). [1]



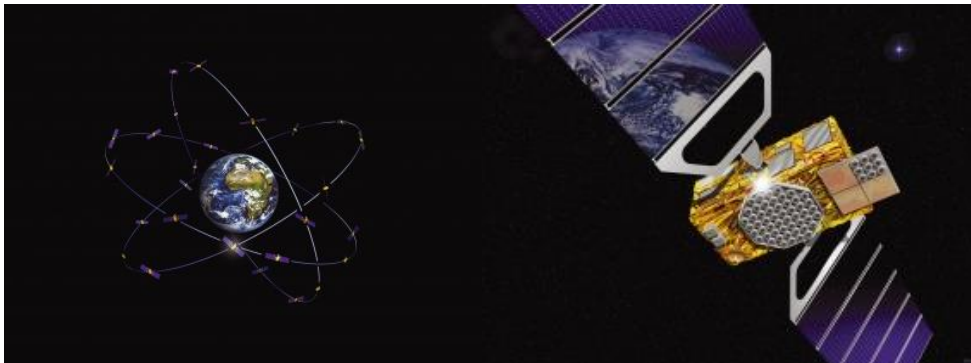
Obr. 1 Schéma globálního navigačního satelitního systému (upraveno) [1]

### 1.1.1 GALILEO

Galileo je evropský, globální a satelitní systém. Systém byl vytvořen Evropskou unií a kosmickou agenturou. Nese jméno po slavném italském astronomovi Galileu Galileovi. Představuje jeden ze čtyř hlavních systému GNSS. Galileo zajišťuje globální pokrytí. Je propojený s dalšími systémy GNSS. Jeho hlavním cílem je poskytovat přesné informace o poloze a čase pro různé aplikace (např. doprava, zemědělství a záchranné operace). [3]

Systém Galileo se skládá z 28 satelitů. Z nichž 24 je aktivních (v provozu) a 4 rezervní. Satelity jsou umístěné na oběžné dráze (MEO). Satelity jsou rovnoměrně rozloženy kolem rovníku. V každé ze tří orbitálních rovin se nachází 10 satelitů. Na *obr. 2* se vlevo nachází vesmírný segment a vpravo satelit Galileo pro lepší představu. [4]

Celkově je plánováno mít 30 satelitů [5]. Plán je optimalizovaný na 24 aktivních + 6 rezervních satelitů [5]. Rezervní satelity budou sloužit k náhradě rozbitých satelitů ve stejném orbitálním plánu. Díky tomuto se minimalizuje vliv selhání na kvalitu poskytovaných služeb systému a zlepšit se spolehlivost. [5; 6]



*Obr. 2* Vlevo vesmírný segment a vpravo satelit Galileo [6]

### 1.1.2 BEIDOU

BDS (BeiDou) je navigační družicový systém, který provozuje Čínská národní vesmírná agentura. Patří mezi globální navigační systémy, které určují polohu a synchronizují čas po celém světě. Druhá generace systému je složena z 16 satelitů. Slouží k určení polohy v oblasti Asie a Tichomoří. Systém funguje nezávisle na telefonním a internetovém připojení. Nicméně tyto technologie mohou zlepšit využitelnost poskytovaných informací. Na *obr. 3* se nachází satelit a pokrytí BeiDou v Asii pro lepší přehled. [7]

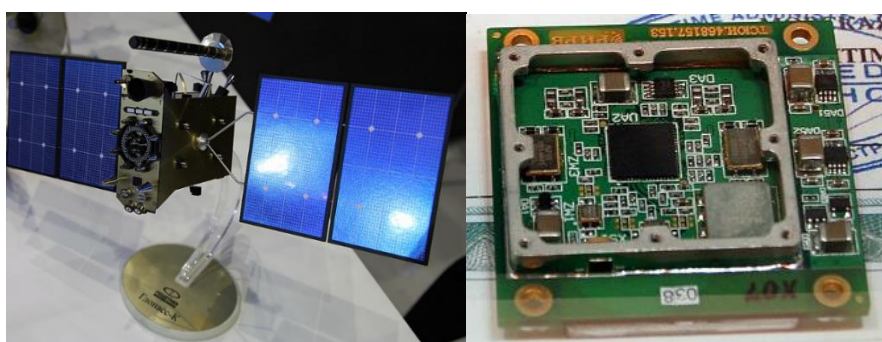


*Obr. 3* Vlevo zobrazení satelitu BeiDou a vpravo pokrytí BeiDou (BDS) [7]

### 1.1.3 GLONASS

GLONASS je ruský satelitní navigační systém. Systém funguje jako součást radionavigační satelitní služby. Poskytuje alternativu k systému GPS s podobným globálním pokrytím a přesností. GLONASS slouží pro vojenské a civilní účely. Spolupracuje s ostatními globálními navigačními systémy. Cílem systému je zlepšit přesnost určování polohy (např. v hustě obydlených oblastech nebo ve vysokých výškách). [8]

GLONASS je v provozu od roku 1993 [9]. První satelit byl vypuštěn v roce 1982 [9]. Skládá se z 24 aktivních + 3 náhradní satelity [8]. Tyto satelity jsou rozmístěny ve třech orbitálních rovinách. Přesnost pokrytí systému se pohybuje v rozmezí od 2,8 do 7,38 metrů [9]. Na obr. 4 je vidět model satelitu a přijímací modul GLONASS pro lepší vizualizaci. [8; 9]



Obr. 4 Vlevo model satelitu GLONASS a vpravo přijímací modul GLONASS [9]

### 1.1.4 GPS

GPS je revoluční navigační systém, který je vlastněný vládou Spojených států amerických. Systém poskytuje polohové a časové informace. Skládá se z 24 až 32 satelitů, které se nachází na střední oběžné dráze kolem Země. [10]

GPS dokáže přesně určit polohu pomocí přijímačů, které jsou umístěny na Zemi. Přijímače zachycují signály vysílané satelity. Systém je důležitý pro mnoho odvětví (např. mapování, průmyslová automatizace, námořní a letecká navigace). Od svého zavedení, které proběhlo v roce 1978 [10] a globální dostupnosti od roku 1994 [10]. GPS systém získal širokou popularitu a stal se základním prvkem běžného života. Na obr. 5 je vidět model satelitu a přijímač GPS pro lepší pochopení. [10; 11]



Obr. 5 Vlevo model satelitu GPS a vpravo přijímač GPS [11]

### 1.1.5 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMU

Každý systém GNSS má své jedinečné přednosti a omezení. GPS je nejrozšířenější a nabízí vysokou přesnost. GLONASS je ideální pro oblasti vysokých zeměpisných šířek. BeiDou dosahuje precizní přesnosti (úroveň milimetrů [12]) a je výhodný v Asii. Galileo má zase dobrou bezpečnost a vylepšenou přesnost i v náročných prostředích. V *tab. 1* se nachází porovnání jednotlivých systémů GNSS podle různých kritérií. Hlavní ovládání umožňuje propojení s GPS zařízením. Po orbitální rovině se pohybuje kosmický objekt (např. satelit). Sklon je úhel mezi orbitální rovinou a rovinou zemského rovníku. Opakování dráhy je čas, po kterém se satelity vrátí do původní polohy. Frekvenční pásmo je rozsah frekvencí, které jsou určeny pro přenos signálu. [12; 13; 14]

*Tab. 1* Porovnání jednotlivých systémů GNSS podle různých kritérií (upraveno) [14]

GNSS	GPS	GLONASS	BEIDOU	GALILEO
Hlav. ovl. [-]	1	1	1	2
Satelity [-]	30	24	35	30
Orbit. rov [-]	6	3	7	3
Sklon [°]	55	64,8	55	56
Nad. výš. [km]	25 820	24 680	21 528	28 920
Opak. dr. [den]	1	8	7 až 10	10
Frekv. pás. [-]	L1 až L5	L1 až L3	B1I, B1C, B2a	L1, E6, L6, E5a, E5b

## 1.2 GLOBÁLNÍ POLOHOVÝ SYSTÉM (GPS)

Viz kapitola 1.1.4. V *tab. 2* se nachází přehled satelitů GPS, které byly vypuštěné do vesmíru. Blok je označení pro satelity, které byly vypuštěné ve stejném spouštěcím období. Podle *tab. 2* je v současné době funkčních 32 satelitů. Od roku 1978–1997 bylo vypuštěno 38 satelitů. Z těchto satelitů už není žádný funkční. Období 1997 až 2024 je v *tab.2*. [11]

*Tab. 2* Přehled vypuštěných satelitů GPS (upraveno) [11]

Blok	Období	Úspěch	Selhání	V přípravě	V současné době funkční
IIR [-]	1997–2004	12	1	0	7
IIR-M [-]	2005–2009	8	0	0	7
IIF [-]	2010–2016	12	0	0	12
IIIA [-]	2018–2024	6	0	4	6



### 1.2.1 HISTORIE SYSTÉMU GPS

GPS má své kořeny na konci 50. let [15], kdy vědci začali využívat posuny v rádiových signálech pro sledování satelitů (tzv. Dopplerův jev). Americké námořnictvo provedlo první experimenty s navigací pomocí satelitů v 60. letech [15]. V roce 1978 [16] byl spuštěn první navigační satelit systému NAVSTAR (původní název pro GPS). [15; 16]

Projekt GPS byl zahájen v roce 1973 [11]. Plné funkčnosti dosáhl v roce 1993 [11]. Původně byl určený pouze pro vojenské účely. Od 80. let [17] byl systém postupně otevřen i pro civilní uživatele. V roce 2000 [11] došlo k ukončení programu (program Selektivní dostupnost) vládou USA. Ukončení programu výrazně zlepšilo přesnost signálu, který je dostupný civilistům. Od té doby probíhá pravidelná modernizace systému. Cílem modernizace je zvyšovat jeho výkonnost a schopnost. [11; 17]

V průběhu 80. a 90. let [11] GPS technologie se rychle vyvinula. Postupně se dostala do různých civilních oblastí (např. mobilní telefony, automobily a záchranná služba). Díky postupnému zlepšování přesnosti a spolehlivosti se stala GPS nezbytným nástrojem pro navigaci, časování a vzdálené snímání. [11; 16; 17]

Celá historie GPS má hluboký dopad na moderní společnost. GPS ovlivňuje každodenní život, vědecký výzkum (např. při testování vozidel) i národní bezpečnost. Neustálý vývoj a široké využití GPS ukazuje její klíčovou roli ve světě. Na *obr. 6* je vidět vlevo vypuštění NAVSTARU, které proběhlo 14. února 1989 [17] (první družice GPS Block II na oběžné dráze). Dále se vpravo na *obr. 6* nachází systém NAVSTAR (uvedení do provozu 1990 [17]). [11; 17]



*Obr. 6* Vlevo vypuštění NAVSTARU a vpravo satelit systému NAVSTAR [17]

### 1.2.2 SOUČASNÝ STAV GPS

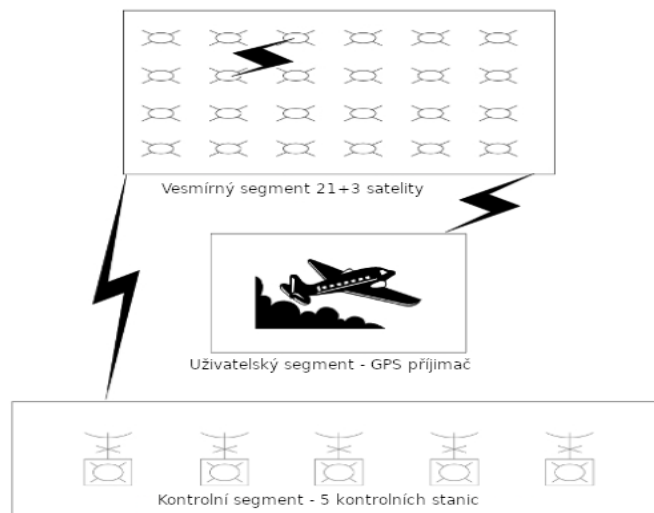
Nejnovější informace o stavu GPS jsou dostupné na webu Navigačního centra pobřežní stráže Spojených států amerických [18], kde se nachází aktualizace a podrobné informace. Objevují se občasné problémy s kvalitou signálu a nepřesnost polohy (např. vliv počasí). I navzdory tomuto GPS Operations Center [19] (Operační středisko GPS) nenalezlo žádné odchylky, které by mohly ovlivnit spojitost GPS signálu. Momentálně GPS je důležitým prvkem pro celosvětovou informační infrastrukturu. Jeho volná dostupnost vede k vývoji stovek aplikací, které ovlivňují mnoho oblastí. [18; 19; 20]

### 1.2.3 BUDOUCNOST GPS

V budoucnu se v oblasti této technologie schyluje k dalšímu pokroku. S mnoha novými inovacemi, které mají změnit způsob využití tohoto systému ve firmách. Zlepšení přesnosti (např. diferenciální GPS) a spolehlivosti zařízení. Propojení s 5G a využití umělé inteligence (AI). Hlavně umělá inteligence patří mezi klíčové trendy v oblasti sledování GPS. [21; 22]

### 1.3 SEGMENTY SYSTÉMU GPS

GPS systém se skládá ze tří hlavních segmentů: vesmírného (kosmického), řídicího a uživatelského [23]. Vesmírný segment zahrnuje 24 až 32 satelitů [11], které jsou umístěny na oběžné dráze Země. Řídicí segment sleduje satelity a dává jim upravené informace o orbitální dráze a čase. Uživatelský segment se skládá z GPS přijímačů, které zpracovávají navigační signály ze satelitů. Přijímač vypočítá polohu a čas. Na obr. 7 jsou vidět jednotlivé segmenty a jak jsou na sobě závislé. [11; 23]



Obr. 7 Segmenty systému GPS (upraveno) [23]

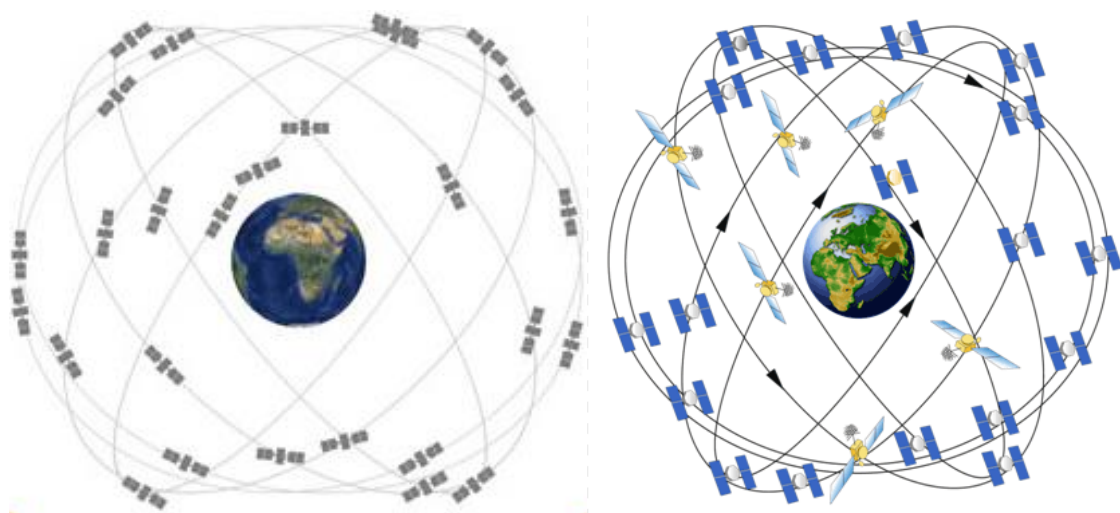
#### 1.3.1 KOSMICKÝ (VESMÍRNÝ) SEGMENT

Vesmírný segment GPS se skládá z 24 až 32 satelitů [23]. Tyto satelity vysílají rádiové navigační signály. Opakovaně vysílají navigační zprávu, kterou získali od řídicího systému. V tab. 3 se nachází vlastnosti a vývoj bloků satelitů. Životnost je označení, které říká, jak dlouho satelit vydrží funkční ve vesmíru [24]. [23; 24]

Tab. 3 Vlastnosti a vývoj jednotlivých bloků satelitů (upraveno) [24]

	Block II/IIA	Block IIR	Block IIR-M	Block IIF
Hmotnost [kilogram]	1 816	2 217	2 217	1 705
Výška a šířka [metr]	3,4 a 5,3	1,7 a 11,4	1,7 a 11,4	2,4 a 35,5
Životnost [rok]	7,5	10	10	12

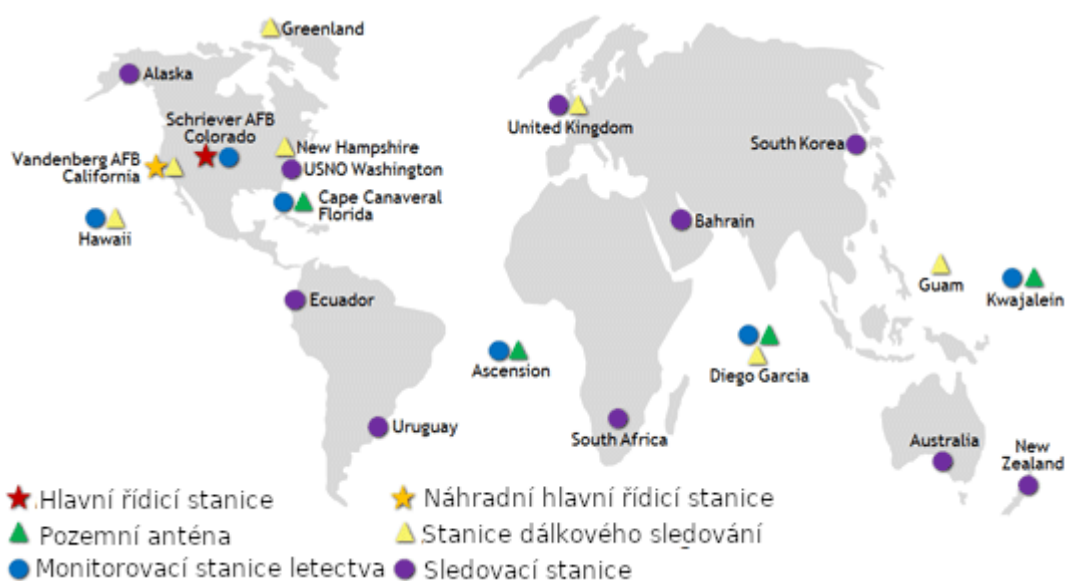
Dostatečný počet satelitů potřebných pro komunikaci zajišťuje jejich rozmístění okolo Země. Uživatelé vždy mají minimálně čtyři satelity ve viditelnosti z libovolného místa na Zemi (24 hodin denně) [24]. Tyto satelity obíhají po kruhových dráhách, které mají vysokou nadmořskou výšku (přibližně 20 200 km [25]). S rychlostí 3,9 km/s a nominální periodou oběhu (zhruba 12 hodin siderického času) se opakuje geometrie každý siderický den [24]. Na obr. 8 se vlevo nachází rozšířitelná satelitní konstelace, což je umělá síť družic ve vesmíru. Dále na obr. 8 vpravo je vidět soustava družic GPS pro lepší představu. [24; 25]



Obr. 8 Vlevo rozšířitelná satelitní konstelace [25] a vpravo soustava družic GPS [24]

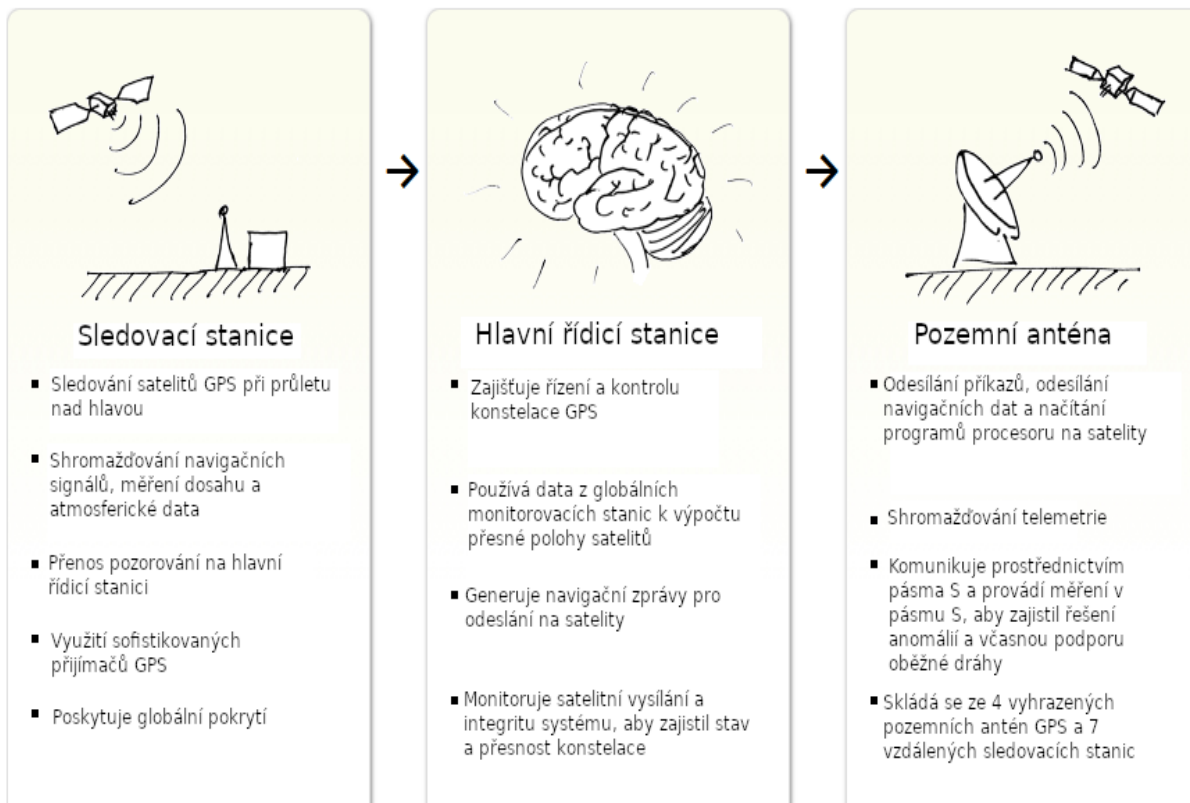
### 1.3.2 ŘÍDICÍ SEGMENT

Řídicí segment GPS sleduje pohyb satelitů a zajišťuje jim informace o orbitální dráze a čase. Skládá se z pozemních stanic, které systematicky monitorují tvar a rychlost oběžných drah satelitů. Toto je zásadní pro dosažení maximální přesnosti GPS dat. Na obr. 9 se nachází rozmístění pozemních stanic a antén po celém světě. [25]



Obr. 9 Rozmístění pozemních stanic a antén po celém světě (upraveno) [25]

Segment je složen z pěti stanic [25]. Z toho jedna je hlavní řídicí stanice. Zbývající čtyři stanice sbírají data od satelitů a předávají je hlavní řídicí stanici [25]. V hlavní stanici jsou data analyzována, upravena a následně odeslána zpět k GPS satelitům. Hlavní řídicí stanice v Coloradu je zodpovědná za generování navigačních zpráv (viz kapitola 1.4.1) [26]. Zároveň monitoruje stav a zajišťuje její spolehlivé fungování. Řídicí segment je důležitý pro udržení přesnosti a spolehlivosti. Na *obr. 10* je vidět k čemu slouží sledovací stanice, hlavní řídicí stanice a pozemní anténa. [25; 26]

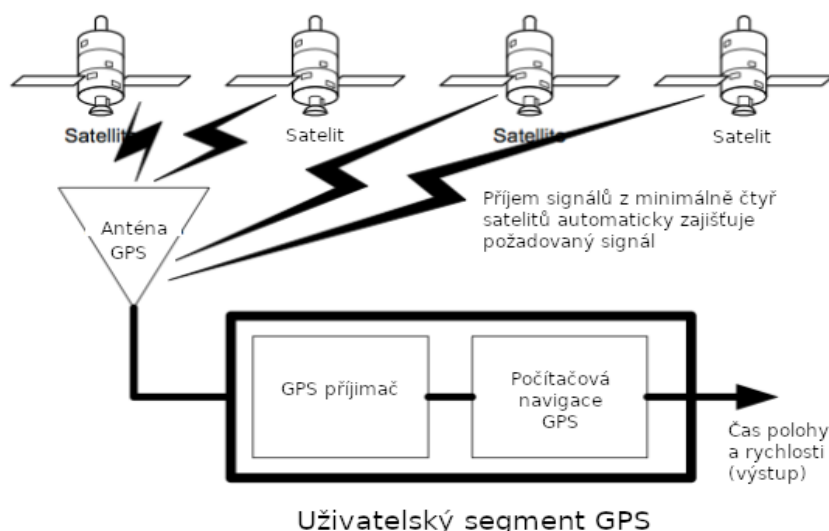


*Obr. 10* Popis vlastností pozemní antény, sledovací a hlavní stanice (upraveno) [25]

### 1.3.3 UŽIVATELSKÝ SEGMENT

Uživatelský segment GPS je tvořen přijímači, které zachytávají signály z GPS satelitů. Na základě tohoto stanovují polohu a čas uživatele. Princip fungování přijímačů spočívá v měření doby, kterou signál z každého satelitu putuje k přijímači. Toto umožňuje určit polohu. Návrh GPS přijímače se liší podle potřeb uživatele a finančních možností. Např. mohou to být jednokanálové, které pracují s jedním kanálem. Nebo vícekanálové, které jsou schopné zpracovat více signálu najednou. [25; 27]

V současné době počet uživatelů GPS není omezený a závisí pouze na dostupnosti signálu. Závisí také ještě na kapacitě GPS satelitů. Uživatelský segment GPS umožňuje širokou nabídku zařízení a aplikací. Toto zařízení a aplikace určuje polohu a čas pomocí signálu z GPS satelitů. Např. navigace v automobilech až po sledování pohybu zásilek. Využití je mnoho a zahrnuje široké použití ve všech různých odvětvích [27]. Na *obr. 11* se nachází popis uživatelského segmentu, který se skládá z antény, přijímače a navigace GPS. Uživatelský segment slouží k určení polohy a rychlosti [23]. [23; 27; 28]



Obr. 11 Uživatelský segment GPS (upraveno) [23]

#### 1.4 SIGNÁLY VYSÍLANÉ DRUŽICEMI (SATELITY)

GPS satelity (družice) vysílají rádiové navigační signály, které slouží GPS přijímačům. GPS přijímače jsou k určení polohy a času uživatele. Každý satelit vysílá data na dvou frekvencích. Jsou to frekvence L1 (1575,42 MHz [29]) a L2 (1227,60 MHz [29]). Satelit nese atomové hodiny, které poskytují extrémně přesný čas. Signály obsahují měřicí signály pro vzdálenost k satelitu. Dále obsahují navigační zprávy (viz kapitola 1.4.1), které zahrnují data pro výpočet polohy. [29]

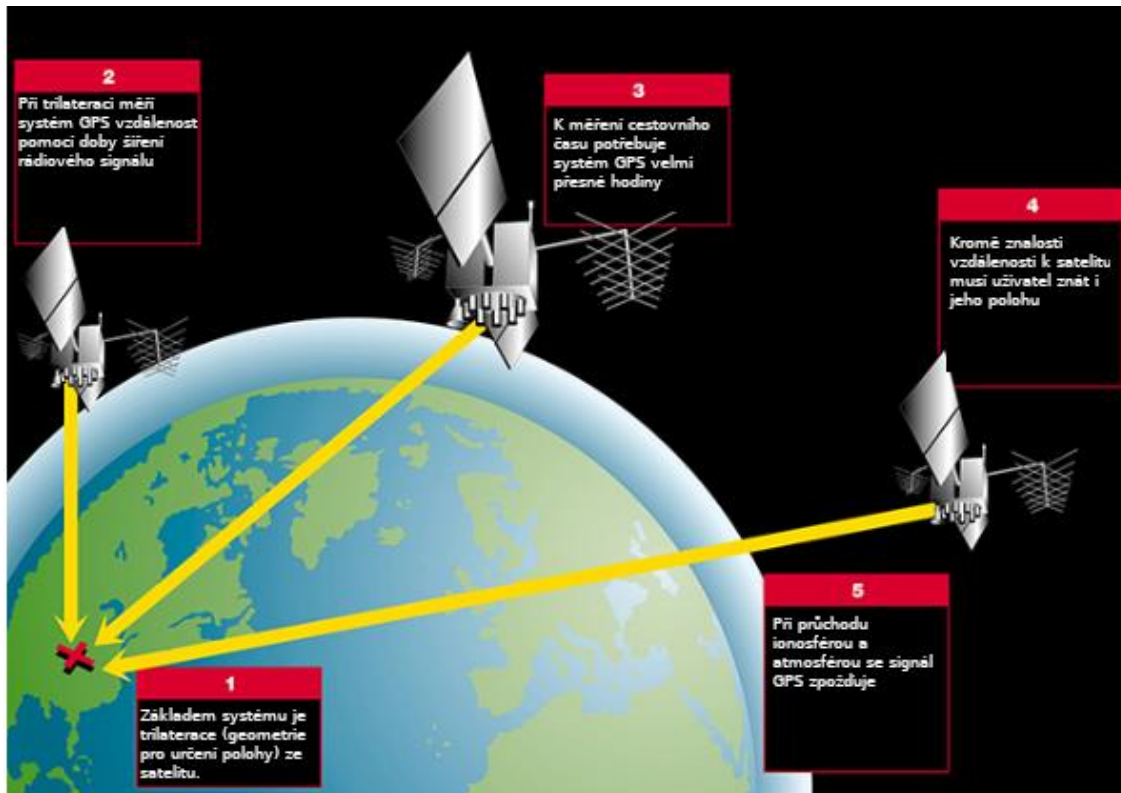
GPS signály se šíří metodou CDMA (metoda digitálního multiplexování), kde různé měřicí kódy identifikují satelity na stejné frekvenci [30]. Při průchodu atmosférou se signály setkávají s efekty (např. odklon paprsku a časová zpoždění šíření). Toto je důležité zahrnout při výpočtu uživatelské polohy [31]. V tab. 4 se nachází, jak se tvoří zprávy GPS podle části signálu a počtu slov pro lepší představu. Telemetrie je metoda, která umožňuje měření na dálku. Efemeridy jsou údaje o poloze objektů. Almanach nese data o poloze [30]. [30; 31]

Tab. 4 Formát zprávy GPS (upraveno) [30]

Část signálu [–]	Počet slov [–]	Popis [–]
1	1-2	Telemetrie a předávání slov
	3-10	Satelitní hodiny, vztah k času GPS (čas)
2-3	1-2	Telemetrie a předávání slov
	3-10	Efemeridy (přesná oběžná dráha družic)
4-5	1-2	Telemetrie a předávání slov
	3-10	Složka almanachu (oprava chyb)

### 1.4.1 NAVIGAČNÍ ZPRÁVY

Navigační zpráva je klíčovým prvkem GPS signálů, které jsou vysílány satelity. Zpráva poskytuje důležité údaje, které slouží pro určení polohy a času GPS přijímače. Obsahuje informace o datech, čase a stavu satelitu. Navíc zahrnuje data o ionosféře. Navigační zpráva je vysílána ve 30sekundových rámcích [32]. Každý rámec se skládá z pěti podrámců [32]. Jeden podrámec trvá 6 sekund [32]. Tato zpráva představuje hlavní komunikační prostředek mezi satelitem a GPS přijímačem [33]. Na *obr. 12* se nachází, jak funguje vysílání signálu (např. navigační zpráva) ze satelitů na GPS přijímač a co to ovlivňuje [31]. [30; 32; 33]

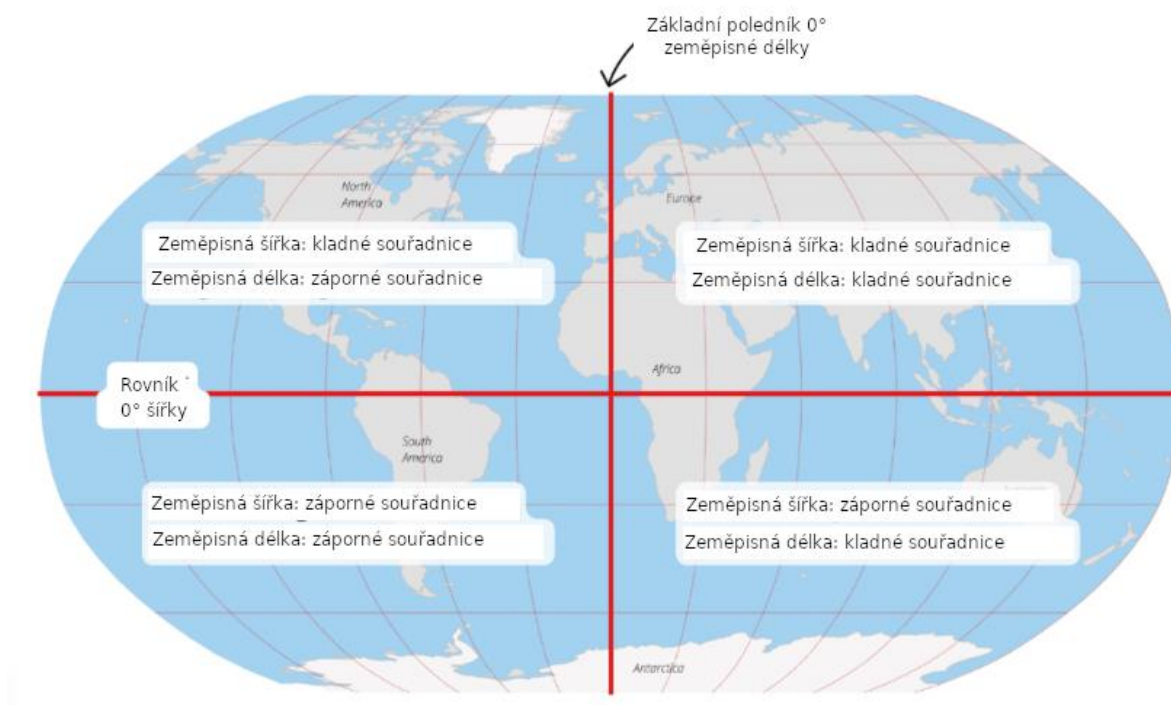


*Obr. 12* Vysílání GPS signálu (upraveno) [31]

## 1.5 SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY A JEJICH TYPY

Geografický souřadnicový systém (GCS) je referenční rámec, který slouží k určení polohy na Zemi [34]. Nepoužívá kartézské, ale úhlové měření, které je založené na zeměpisné šířce a délce. Nejběžněji používaný GCS je Světový geodetický systém 1984 (WGS 84), který slouží pro většinu GIS aplikací a GPS přijímačů [35]. [34; 35; 36]

GPS souřadnice obvykle kombinují zeměpisnou šířku a délku [36]. Zeměpisná šířka vyjadřuje stupně, které udávají vzdálenost na sever a jih od rovníku. Zatímco zeměpisná délka měří stupně, které zobrazují vzdálenost na východ a západ od počátečního poledníku [37]. Tyto souřadnice jdou vyjádřit různými způsoby. Například jako desetinné stupně nebo stupně, minuty a sekundy [37]. GPS přijímače obvykle používají zeměpisné souřadnice šířky a délky. Existují i další souřadnicové systémy (například UTM). Volba závisí na typu map, používaném souřadnicovém systému a snadnosti použití [38]. Na *obr. 13* je vidět, kde se nachází kladná a záporná šířka a délka pro lepší přehled [36]. [36; 37; 38]



Obr. 13 Zeměpisná délka a šířka (upraveno) [36]

## 1.6 TYPY GPS PŘIJÍMAČŮ

GPS přijímače lze rozdělit do různých kategorií podle různých kritérií. Přijímače mohou být samostatné nebo využívat korekci. Dále jsou obecné, univerzální přijímače nebo postavené speciálně pro určité aplikace. Další rozdělení je více-konstelační nebo jedno-konstelační. Výhodnější jsou více-konstelační, protože přistupují k signálům z více satelitními systémy. Přijímače lze rozdělit podle jejich účelu (např. navigační, měřicí a časovací). Přijímače také rozdělit jako statické nebo dynamické. Přijímače lze také konfigurovat podle kanálu (např. sekvenční a vícekanalové). Také je lze rozdělit podle pracovního režimu. [39; 40]

### 1.6.1 TURISTICKÉ GPS PŘÍSTROJE

GPS zařízení pro turisty jsou v různých podobách (např. ruční GPS, GPS hodinky a chytré telefony s GPS funkcí). Tyto zařízení jsou navrženy, aby poskytovali turistům sledování v reálném čase a spolehlivou navigaci. [41]

Jako příklad lze uvést zařízení Trackimo GPS [42]. Trackimo je malý sledovací přístroj, který lze připevnit k osobě. Toto zařízení poskytuje přesná data o poloze [42]. Další příklad je GPS tracker, který má zabudované tlačítko SOS [43]. Tlačítko slouží pro okamžité vyslání výstražného signálu. GPS tracker zajišťuje bezpečnost. [43]. [42; 43]

Ruční GPS zařízení (např. od Garminu) jsou oblíbené pro venkovní aktivity (např. turistika, lov a kajakářství). Jsou výhodné díky své schopnosti navigovat i v oblastech, kde není signál a mobilní síť [41]. Specializované GPS zařízení nabízejí výhody jako je odolnost, dlouhá baterie a lepší přesnost mapování. Tyto lepší zařízení jsou určeny pro vážné cestovatele [43]. Na obr. 14 se vlevo nachází Garmin inReach Mini 2, který posílá satelitní zprávy a naviguje (musí se spárovat s chytrým mobilem) [41]. Dále se na obr. 14 vpravo nachází Garmin Foretrex 801, který má velkou výdrž baterie [41]. [41; 43]



Obr 14 Turistické GPS přístroje od Garminu [41]

### 1.6.2 AUTOMOBILOVÉ GPS PŘÍSTROJE

Na trhu jsou k dispozici různá GPS zařízení, která jsou určena pro automobily. Tyto zařízení mají široký výběr funkcí. Je to sledování v reálném čase, monitorování jízdových návyků a poskytování přesných údajů o poloze. [44]

Mezi populární výrobce GPS zařízení pro auta patří Garmin, Bouncie a BrickHouse Security. Cena GPS zařízení se pohybuje od 20 \$ (500 Kč) do 100 \$ (2400 Kč) [44]. Skutečné náklady jsou ještě větší. Většina GPS zařízení vyžaduje měsíční nebo roční předplatné. Průměrná cena za základní plán je zhruba 25 \$ (600 Kč) měsíčně. [44]

GPS se dělí na dva typy. Je to zařízení v reálném čase a s časovým zpožděním. Zařízení v reálném čase poskytuje okamžitě informace. S časovým zpožděním ukládají data pro budoucí použití. GPS zařízení lze umístit různými způsoby. [44]

Výběr nejlepších GPS zařízení pro rok 2024 zahrnuje různé modely (např. Garmin Drive 53, Garmin DriveSmart 86, Garmin DriveCam 76 a Garmin Zumo XT 2). Tyto všechny modely nabízí širokou škálu funkcí (např. živá doprava, počasí a kamerový systém). Na obr. 15 je vidět vlevo Garmin Drive 53, který je cenově nejdostupnější. Dále na obr. 15 se vpravo nachází Garmin DriveCam 76, který je nejlepší pro vestavěnou palubní kameru. [45]



Obr. 15 Automobilní GPS přístroje od Garminu [45]



### 1.6.3 NÁMOŘNÍ GPS PŘÍSTROJE

Ruční GPS zařízení pro lodě jsou přenosné nástroje, které pomáhají uživatelům při navigaci na vodních plochách. Jedná se o přesné polohové informace. Důležité funkce jsou odolnost, vodotěsnost, propojení s námořními mapami, dobrá čitelnost a snadné ovládnání. [46]

Oblíbené značky jako Garmin nabízejí širokou nabídku GPS jednotek pro lodě [47]. Tyto GPS přístroje nabízí různé funkce (např. elektronické mapování, celosvětový základní mapy a propojení s elektronickými námořními mapami) [46]. Tato zařízení jsou navržena pro náročné podmínky na moři. Přístroje poskytují přesné a spolehlivé navigační schopnosti [46]. Na *obr. 16* se vlevo nachází Garmin eTrex 32x, který obsahuje vnitrozemské vodní cesty. Vpravo na *obr. 16* je vidět Garmin quatix 7X, který má námořní mapy [46]. [46; 47]



*Obr. 16* Námořní GPS přístroje od Garminu [46]

### 1.6.4 LETECKÉ GPS PŘÍSTROJE

GPS zařízení v letadlech jsou klíčová pro navigování a určování polohy v leteckém průmyslu [48]. Globální polohovací systém (GPS) poskytuje přesné informace o poloze. GPS je hlavním prostředkem, kterým se naviguje v oceánském vzdušném prostoru a určitých vzdálených oblastech [49]. Přijímače GPS využívají data ze čtyř satelitů k výpočtu navigačních hodnot (např. vzdálenost, směr a rychlost vůči Zemi) [48]. Garmin nabízí široký výběr GPS produktů pro leteckou dopravu (např. autopilot) [47]. Na *obr. 17* je vlevo vidět hlavní letový displej a vpravo navigační obrazovka [48]. [47; 48; 49]



*Obr. 17* Vlevo hlavní letový displej a vpravo navigační obrazovka [48]

### 1.6.5 VOJENSKÉ GPS PŘÍSTROJE

Vojenské GPS zařízení jsou specializované přijímače, které jsou navrženy pro použití v armádě. Tyto zařízení slouží k navigaci, určení polohy a sledování vojenských operací. Jsou odolná proti náročným podmínkám na bojišti. Disponují různými funkcemi (např. šifrování dat a ochrana proti rušení). [50; 51]

Mezi populární ruční GPS přijímače, které jsou používány americkým Ministerstvem obrany patří AN/PSN-13 Defense Advanced GPS Receiver (DAGR) [52]. Tento vojenský přijímač pracuje s dvojitou frekvencí. Je vybaven bezpečnostním hardwarem, který umožňuje dekódování šifrovaných GPS signálů [52]. Další společnost BAE Systems také nabízí širokou nabídku vojenských GPS zařízení (např. varianty s kódem M, které splňují potřeby jednotek v různých operacích) [53]. Vlevo na *obr. 18* se nachází přesný lehký přijímač GPS, který je určen pro vojenské operace [51]. Dále vpravo na *obr. 18* je vidět obranný pokročilý přijímač GPS, který se používá také v armádě [51]. [51; 52; 53]

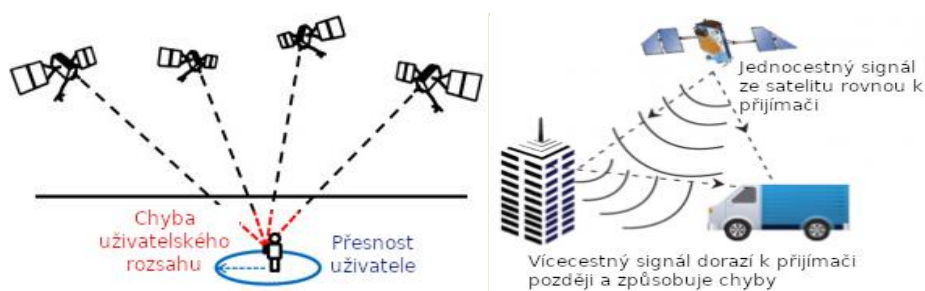


*Obr. 18* Vlevo lehký přesný GPS přijímač a vpravo obranný pokročilý GPS přijímač [51]

### 1.7 PŘESNOST GPS

Přesnost GPS zařízení může být ovlivněna několika faktory. Za ideálních podmínek (pod otevřeným nebem) je schopné GPS zařízení určit polohu s přesností přibližně 3 až 5 metrů [54]. V reálném prostředí, kde jsou překážky (např. budovy a stromy) se přesnost sníží na 10 až 20 metrů [54]. Přesnost GPS ovlivňuje několik faktorů (např. počet satelitů v dosahu, geometrie satelitů, atmosférické podmínky a kvalita přijímače) [54]. [54; 55]

Technologie jako diferenciální GPS (DGPS), kinematické určování polohy v reálném času (RTK) a asistenční GPS (A-GPS) mohou zlepšit přesnost GPS [54]. DGPS zlepšuje přesnost na 1 až 3 metry [54]. RTK dokáže zlepšit přesnost až na 1 centimetr [54]. Vojenské GPS zařízení také nabízejí vysokou úroveň přesnosti. Například DAGR je vojenský přijímač, který má duální frekvenci s vysokou přesností [56]. Na *obr. 19* se vlevo nachází chyba rozsahu (URE) a přesnost uživatele. URE je měřítkem přesnosti dosahu [55]. Vpravo je vidět na *obr. 19* rozdíl mezi jednocestným a dvoucestným signálem [56]. [54; 55; 56]

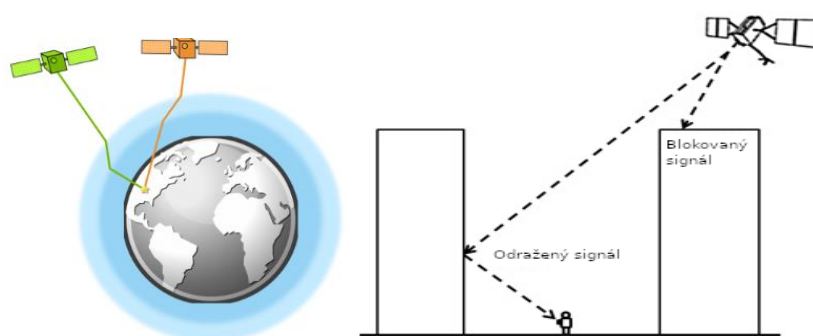


*Obr. 19* Vlevo přesnost uživatele (upraveno) [55] a vpravo rozdíl signálu (upraveno) [56]

### 1.7.1 OMEZENÍ PŘESNOSTI GPS

Přesnost GPS může být ovlivněna řadou faktorů. Například překážky (budovy, mosty a stromy), použití zařízení v interiérech a podzemí. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou odrazy signálu od budov a stěn, rušení v rádiových signálech, výkyvy v atmosférických podmínkách, dostupnost a kvalita signálu od satelitů [57]. Smartphony s GPS dosahují přesnosti do 4,9 metrů [55] v otevřených oblastech. Jejich přesnost klesá v prostředí s vysokou koncentrací staveb, mostů a stromů [55]. [55; 57]

Pokročilí uživatelé optimalizují přesnost GPS pomocí přijímačů, které obsahují duální frekvence. Systémy posílení signálu umožní měření v reálném čase s přesností na úrovni centimetrů [55]. Dlouhodobé pozorování i na úrovni milimetrů [55]. Regulační orgány (FAA) vyžadují od GPS přijímače horizontální přesnost 16 metrů a lepší [57]. Na *obr. 20* se vlevo nachází lom signálu v atmosféře a vpravo blokový a odražený signál [58]. [55; 57; 58]

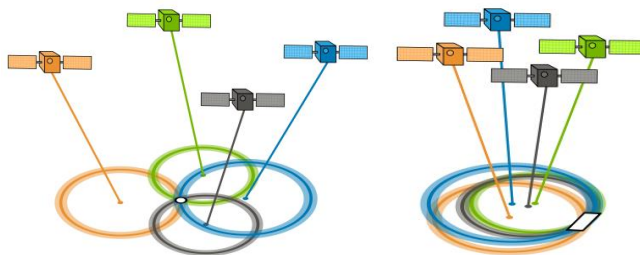


*Obr. 20* Vlevo lom signálu [58] a vpravo ovlivněné signály budovou (upraveno) [55]

### 1.7.2 POŽADAVKY PŘESNOSTI GPS

Přesnost GPS se liší podle konkrétního použití a technologií. Moderní GPS přijímače dosahují horizontální přesnosti 3 metry [58] a vertikální přesnosti 5 metrů [58]. Některé rozšířené systémy GPS nabízejí ještě lepší přesnost. Jsou to speciální dvou frekvenční přijímače. Tyto speciální zařízení umožňují přesnost na úrovni centimetrů a milimetrů [55]. [55; 58]

Americká vláda slibuje, že poskytne GPS s přesností na úrovni 2 metrů s 95 % pravděpodobností (jedná se o všechny funkční satelity) [55]. Mobilní telefony s GPS mají přesnost do 4,9 metrů [55] za příznivých podmínek. Přesnost může klesat poblíž staveb, stromů a mostů [55]. GPS může také ovlivnit mnoho faktorů (viz kapitola 1.7.1). Vlevo na *obr. 21* je vidět, že pokud jsou satelity na obloze rozptýleny má GPS přijímač z pohledu pozorovatele dobrou GDOP (přesnost uživatele), ale na *obr. 21* vpravo je zase vidět, že pokud jsou satelity blízko u sebe, mají špatnou GDOP, což výrazně snižuje kvalitu signálu [58]. [55; 58]



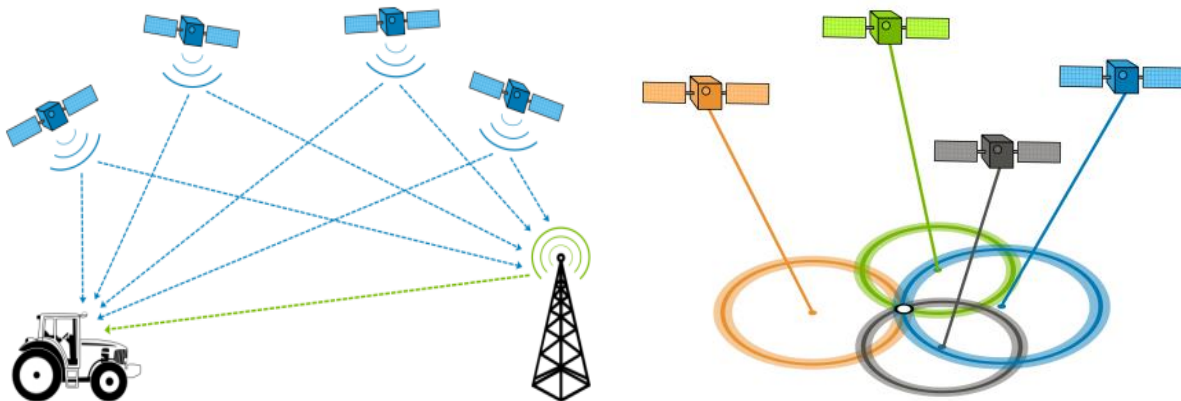
*Obr. 21* Vlevo satelity na obloze rozptýlené a vpravo blízko u sebe [58]

### 1.7.3 ZVÝŠENÍ PŘESNOSTI GPS

Pro zvýšení přesnosti musí mít GPS přijímač neomezený výhled na oblohu (maximální viditelnost satelitů). Dále pro lepší přesnost se musí GPS přijímač vyhnout oblastem, které ruší signál (např. místa s blízkými překážkami nebo odrazivé povrchy). GPS přijímač se také musí správně nastavit. Například prahové nastavení, které je určené pro optimalizování příjmu signálu. Pro aplikace, které vyžadují vysokou přesnost. Je vhodné použít dvou frekvenční přijímače a systémy ke zlepšení přesnosti GPS. U GPS s ručním počítačem se musí upravit nastavení mapy. Nastavení mapy musí odpovídat přijímači GPS. [59]

Při vývoji mobilních aplikací se integrují data ze senzorů (např. akcelerometr). Tyto data jsou využita k predikci polohy [58]. Na telefonech se systémem Android je možné provést kalibraci kompasu. Tato kalibrace zlepšuje přesnost určení polohy [60]. Na telefonech s Androidem lze povolit režim vysoké přesnosti. Tento režim slouží pro vylepšení určení polohy pomocí Wi-Fi a mobilní sítě [60]. Například použitím DGPS nebo satelitním systémem augmentace (SBAS). Těmito systémy lze také zvýšit přesnost [58]. [58; 60]

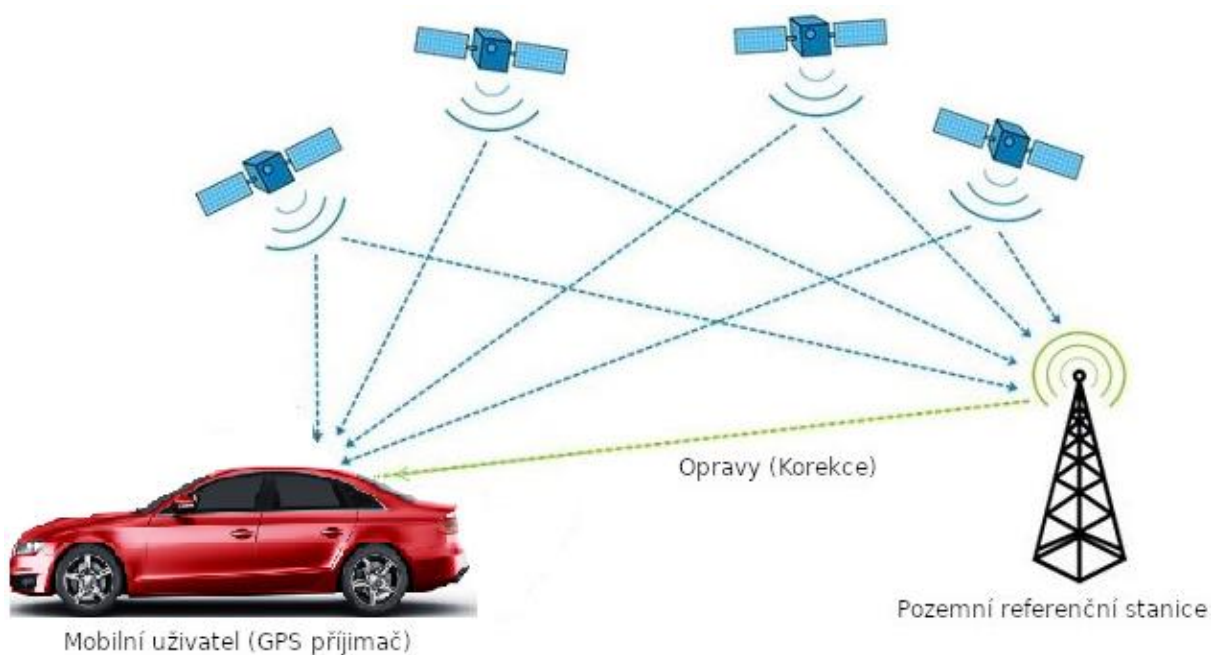
Tyto přístupy mohou pomoci snížit časté příčiny chyb GPS (např. blokování signálu satelitu, atmosférické podmínky a odrazy signálu) [59]. Vlevo na obr. 22 je DGPS, která zlepšuje přesnost pomocí dvou přijímačů, protože pozemní přijímač může provádět přesné měření chyb a vpravo se nachází systém SBAS, který zvyšuje přesnost, integritu a dostupnost signálů ze stávajících globálních družicových navigačních systémů [58]. [58; 59]



Obr. 22 Vlevo DGPS a vpravo SBAS [58]

## 1.8 DIFERENCIÁLNÍ GPS (DGPS)

Diferenciální GPS (DGPS) je technika, která se používá ke zlepšení přesnosti dat o poloze [61]. Tyto data se získají pomocí globálního navigačního systému (GPS). DGPS měří chyby v GPS signálech na referenční stanici. Následně posílá korekce uživatelům [62]. Tyto korekce se poté aplikují na GPS data, která jsou zaznamenána uživatelským přijímačem. Díky tomuto dochází k významnému zvýšení přesnosti. DGPS může zlepšit přesnost zhruba z 15 metrů na 1 až 3 centimetry [61]. Toto je velice užitečné pro aplikace, které vyžadují vysokou přesnost (např. námořní navigace a vědecký výzkum) [63]. Na obr. 23 se nachází DGPS, která se skládá z referenční stanice (koriguje chyby) a GPS přijímače. Satelity posílají signál na přijímač a referenční stanici. V referenční stanici se signál koriguje a vzniká korekční rozdíl. Tento korekční rozdíl eliminuje chyby na GPS přijímači [64]. [61; 62; 63]



Obr. 23 Princip fungování diferenciální GPS (upraveno) [64]

### 1.8.1 VÝHODY DIFERENCIÁLNÍ GPS (DGPS)

DGPS dosahuje přesnosti na úrovni centimetrů [65]. Je to velice přesné na rozdíl od standardní GPS, která má přesnost několik metrů [66]. DGPS vylepšuje bezpečnost letecké a námořní navigace. Například snižuje riziko nehod a zajišťuje přesnější přistání [65]. DGPS umožňuje efektivnější plánování a provádění tras. Toto vede například ke snížení spotřeby paliva, zvýšení produktivity v zemědělství a zkrácení doby cestování [65]. DGPS zlepšuje procesy zaměřování a tvorby map. Toto usnadňuje vytváření detailních a přesných map a hodnocení hranic pozemku [65]. DGPS dokáže minimalizovat účinky rušení signálu (jako je např. rušení rádiových frekvencí) [65]. [65; 66]

### 1.8.2 NEVÝHODY DIFERENCIÁLNÍ GPS (DGPS)

I při použití DGPS zůstávají některé chyby. Jsou to například chyby způsobené atmosférickými jevy a chyby přijímače [65]. Instalace a údržba DGPS jsou drahé. Vyžadují nastavení, provoz referenčních stanic a specializované vybavení [65]. Pro zajištění většího pokrytí území je nutná instalace více základních stanic nebo referenčních stanic [65]. Přesnost určení polohy klesá, když roste vzdálenost mezi DGPS a GPS přijímačem [65]. Přenos a příjem dat vnáší určité zpoždění do procesu. Toto je důležitým faktorem zejména v reálném prostředí (např. autonomní vozidla) [67]. Signály DGPS jsou citlivé na rušení a falešné signály. Toto snižuje spolehlivost a přesnost systému [67]. DGPS není ideální, když satelitní signály jsou slabé. Toto právě nastává uvnitř budov nebo pod zemí [67]. V tab. 5 se nachází shrnutí výhod (viz kapitola 1.8.1) a nevýhod diferenciální GPS pro lepší přehled a porovnání. Mezi výhody patří zlepšená přesnost, zvýšená bezpečnost, efektivní plánování tras, vylepšené zaměřování a potlačení rušení signálu. Zatímco nevýhody jsou náklady, pokrytí, zpoždění v reálném čase, náchylnost k rušení a atmosférické chyby [65]. [65; 67]

Tab. 5 Shrnutí výhod a nevýhod DGPS [65]

<b>Výhody [-]</b>	Přesnost	Bezpečnost	Efektivita	Zaměřování	Potlač. sig.
<b>Nevýhody [-]</b>	Náklady	Pokrytí	Zpoždění	Nách. k ruš.	Atm. chyby

### 1.8.3 POUŽITÍ DIFERENCIÁLNÍ GPS (DGPS)

Diferenciální GPS (DGPS) je technika, která se používá ke zlepšení přesnosti dat o poloze GPS. DGPS měří chyby v signálech GPS na referenčních stanicích. Vzniklé korekce předává uživatelům. Mezi výhody patří zlepšená přesnost (viz kapitola 1.8.1). [61; 62]

DGPS má také nějaké nevýhody (viz kapitola 1.8.2). Diferenciální GPS se běžně používá v oboru zeměměřičství, stavebnictví, mapování, navigace a inženýrství. Také se často objevuje ve vojenských a námořních aplikacích. [65; 66]

### 1.8.4 ROZDÍL MEZI GPS A DGPS (POROVNÁNÍ)

GPS poskytuje přesnost 10 až 15 metrů a má globální pokrytí [68]. Používá jediný přijímač. Je také mnohem levnější než DGPS. Signály GPS jsou ovlivněny různými faktory (např. selektivní dostupnost, časování satelitů a chyba šířícího signálu) [69]. [68; 69]

DGPS má vyšší přesnost (zhruba 10 centimetrů [64]). Ale zase jeho pokrytí je lokální (kolem 100 kilometrů [64]). Skládá se ze dvou přijímačů [70]. Jedná se o referenční přijímač (nepohyblivý) a mobilní přijímač (pohyblivý). DGPS upravuje chyby v signálech GPS. Jsou to například chyby orbitálních parametrů a zpoždění atmosféry. DGPS je dražší než GPS [70]. V tab. 6 se nachází porovnání standardní GPS a diferenciální GPS [65]. [64; 65; 70]

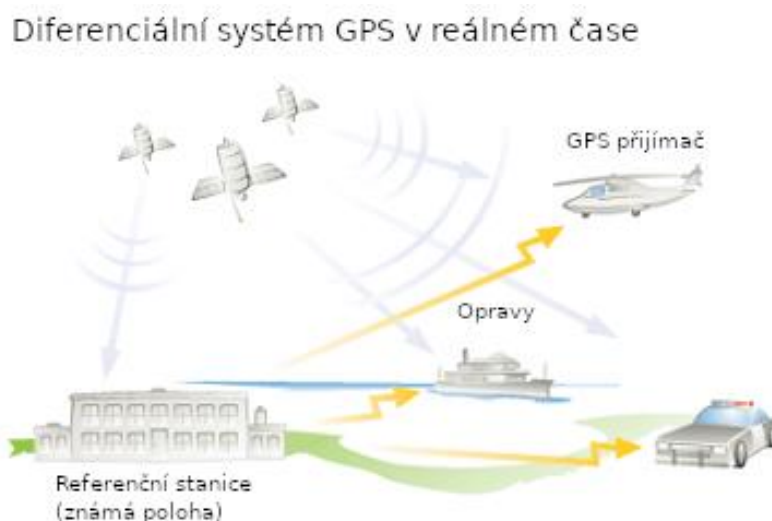
Tab. 6 Porovnání GPS a DGPS v různých parametrech (upraveno) [65]

Parametry	Standardní GPS	Diferenciální GPS
<b>Přesnost [-]</b>	Do několika jednotek metrů	V řádu jednotek centimetrů
<b>Korekční údaje [-]</b>	Nepoužívá korekční údaje z referenčních stanic	Spoléhá na korekční údaje z referenčních stanic
<b>Náklady [-]</b>	Cenově a široce dostupné	Dražší
<b>Pokrytí [-]</b>	Glob. pokrytí dost. po celém světě	Závisí na dost. referenčních stanic
<b>Zpoždění [-]</b>	Poskytuje informace v reálném čase bez výrazného zpoždění	Přináší určité zpoždění v důsledku přenosu/příjmu korekčních dat
<b>Aplikace [-]</b>	Vhodné pro obecnou navigaci a každodenní služby založené na poloze	Používá se v kritických oblastech přesnosti, jako je geodézie, zemědělství a letectví

## 1.9 PRINCIP FUNGOVÁNÍ DIFERENCIÁLNÍ GPS (DGPS)

Diferenciální GPS (DGPS) měří chyby v signálech GPS na referenční stanici. Následně koriguje tyto chyby. Tyto korekce posílá uživateli. Referenční stanice určí svou polohu na základě satelitních signálů. Poté ji porovná se svou známou pozicí. Nakonec se tento rozdíl aplikuje na GPS data, které jsou zaznamenána druhým GPS přijímačem (mobilní přijímač). Toto výrazně zlepšuje přesnost určení polohy. [61; 63]

DGPS systém se skládá z referenčních stanic a GPS přijímačů [61]. Referenční stanice jsou umístěny na Zemi. Tato stanice vypočítá rozdíl a aplikuje ho na GPS data. Přenosný GPS přijímač přijímá signály ze satelitů. Tyto signály použije k určení polohy uživatele [62]. DGPS výrazně zlepšuje přesnost GPS dat o poloze. Zlepšuje přesnost z 15 metrů na 3 centimetry [61]. Toto zařízení je velmi prospěšné v různých oborech [63]. Na *obr. 24* se nachází princip fungování diferenciální GPS v reálném čase pro lepší pochopení [62]. [61; 62; 63]



*Obr. 24* Diferenciální systém GPS v reálném čase (upraveno) [62]

### 1.9.1 REFERENČNÍ STANICE

GPS referenční stanice je nejmodernější typ GPS systému [71]. Stanice urychluje běžné aktivity v reálném čase. Také poskytuje uživateli centimetrovou přesnost [72]. Dokáže poskytnout přesné polohové údaje (stačí jediná stanice poblíž velkého města) [72]. Tyto údaje jsou pro zeměměřiče, záchranné týmy a veřejné služby. Každá stanice obsahuje GPS přijímač, komunikační zařízení a anténu [71]. Je chráněna odolnou schránkou. Funguje neustále a z trvalého místa sleduje viditelné GPS satelity a přenáší data pomocí mobilní sítě a internetu. Referenční stanice se nachází například v Michiganu a dalších regionech [72]. Vlevo na *obr. 25* je vidět pevná referenční stanice DGPS. Dále vpravo na *obr. 25* se nachází přenosná referenční stanice DGPS, která se používá v zemědělství [61]. [61; 71; 72]

V České republice je síť referenčních stanic, které slouží pro přesné určení polohy. Tato síť se nazývá CZEPOS [73]. Síť je spravována Zeměměřickým úřadem [73]. CZEPOS se skládá z 28 stálých stanic, které jsou umístěny na území České republiky [73]. CZEPOS také obsahuje 27 zahraničních stanic [73]. V České republice se referenční stanice nachází například v Plzni, Praze, Brně, Ostravě, Liberci, Jihlavě a Karlových Varech [74]. [73; 74]



Obr. 25 Vlevo pevná referenční stanice a vpravo přenosná referenční stanice DGPS [61]

### 1.9.2 ZLEPŠENÍ PŘESNOSTI DGPS

Pomocí technologie Real-time kinematic (RTK), která využívá korekčního signálu k okamžitému výpočtu měření DGPS [61]. Toto umožňuje dosáhnout velké přesnosti (jednotky centimetrů) [61]. Měření DGPS lze zpracovat pomocí specializovaného softwaru [75]. Tento postup spočívá v porovnání neznámých bodů s body, které jsou známe [75]. Toto také výrazně zlepšuje přesnost. [61; 75]

DGPS pro široké oblasti (WADGPS) je systém. Jedná se o formu DGPS, která používá více referenčních stanic. Tímto se snižují chyby v čase i prostoru a zvyšuje se přesnost. Propojení GPS s dalšími satelitními systémy (např. GLONASS, Galileo a BeiDou). Toto může zvýšit přesnost v náročných prostředích, kde je dostupnost signálu velice špatná. Multikanálové GPS přijímače zpracovávají data z několika kanálů současně. Toto taky zvyšuje přesnost. [76]

### 1.10 BÁZOVÁ STANICE (GPS S BÁZOVOU STANICÍ)

Bázová stanice je pevné místo, které přijímá signály od GPS satelitů [77]. Tyto signály slouží pro výpočet přesných poloh [77]. Stanice obsahuje anténu, přijímač a zařízení, které zaznamenává GPS data [78]. Poloha báze stanice je přesně určena. Opravuje měření z mobilních přijímačů kvůli dosažení vyšší přesnosti. Báze stanice lze využít pro GPS v reálném čase (RTK) [78]. Stanice dosahuje centimetrové přesnosti [78]. [77; 78]

Bázové stanice jsou klíčové pro všechny aplikace, které vyžadují velkou přesnost. Je to například stavebnictví a mapování [79]. Stanice se instalují na centrálním místě s optimálním pokrytím [78]. Anténa má volný výhled na oblohu ve všech různých směrech [78]. Základna se umísťuje hodně vysoko, protože se minimalizují chyby, které jsou způsobené odrazem signálu [78]. Vlevo na obr. 26 je vidět báze stanice, což je přijímač GPS, který je umístěn na známém místě [80]. Dále vpravo na obr. 26 se nachází virtuální báze stanice, což je vysoce přesné zařízení, které se připojuje prostřednictvím buňky [80]. [78; 79; 80]





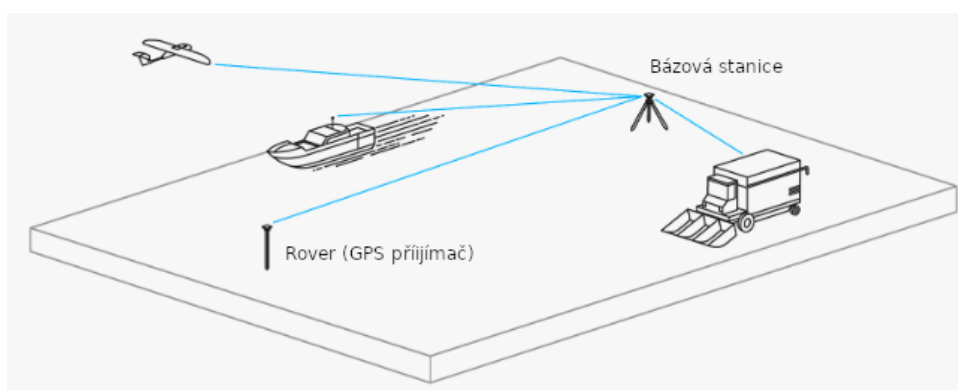
Obr. 26 Vlevo básová stanice (GPS přijímač) a vpravo virtuální básová stanice [80]

### 1.10.1 PRINCIP FUNGOVÁNÍ GPS S BÁZOVOU STANICÍ

Bázové stanice spolupracují s GPS rovery [79]. Slouží k vylepšení přesnosti a spolehlivosti. Básová stanice je pevný GPS přijímač, který je umístěn na známém místě a sbírá data (např. GPS měření) [77]. Následně vypočítá korekční faktor, který odstraní chyby v GPS signálech [77]. Tyto korekce jsou okamžitě odeslány roverům. Rover je mobilní GPS přijímač, který využívá pozicování a geodetické práce [79]. [77; 79]

Bázová stanice je klíčová pro dosažení vysoké přesnosti. Jedná se o přesnost v řádu jednotek centimetrů [77]. Tato přesnost není možná s pouhým GPS přijímačem. Korekční data lze využít v reálném čase pomocí metody RTK (kinematické určování polohy v reálném čase) nebo zpracovat data na počítači [81]. Stanice se umísťují na místa, kde je optimální signál. Musí mít volný výhled na oblohu. Toto všechno zajišťuje přesné měření [77]. [77; 81]

Bázové stanice jsou trvalé, dočasné nebo používané denně (podle potřeb projektu). Přijímače jsou integrované nebo modulární s oddělenými anténami [78]. Součástky básové stanice se umísťují na zabezpečené a chráněné místo [78]. Na obr. 27 se nachází básová stanice. Úkolem základny je zůstat na jednom místě a posílat korekce na pohyblivý přijímač (rover) [81]. K jedné základně se může připojit libovolný počet roverů, pokud jejich vstupní nastavení odpovídá výstupu základny [81]. [78; 81]



Obr. 27 Princip fungování básové stanice (upraveno) [81]

### 1.10.2 VÝHODY, NEVÝHODY A POUŽITÍ GPS S BÁZOVOU STANICÍ

Bázové stanice zlepšují přesnost GPS a umožňují korekci lepší než 5 metrů [77]. Poskytují také možnosti pro dosažení ještě vyšší přesnosti [77]. Jsou využitelné v různých odvětvích. Kalibrace více jednotek z jedné stanice zvyšuje efektivitu a snižuje náklady [79]. [77; 79]

Nastavení bázových stanic se provádí manuálně a je časově náročné [80]. Mají kratší dosah rádiových signálů [80]. Signály GPS mohou být ovlivněny překážkami a atmosférickými podmínkami [82]. Provoz vyžaduje specializované znalosti. Je docela nákladný, protože vyžaduje speciální vybavení [82]. [80; 82]

Jsou využívány v geodetickém měření, zemědělství, stavebnictví a navigaci. Zajišťují přesné určení polohy a také sledování různých pohybů v terénu. [77; 79]

### 1.10.3 BÁZOVÉ STANICE V ČESKÉ REPUBLICĚ

V České republice se nacházejí bázové stanice GOPE, které tvoří důležitou roli při navigaci v ČR. Tyto bázové stanice obsahují senzory a antény, které přijímají signály ze satelitů. Přesné umístění těchto stanic většinou nejsou veřejně dostupné. Důvodem je, že poskytují klíčové informace. Např. jedna z těchto stanic se nachází v Geodetické observatoři Pecný, kde se měří tíhové zrychlení. Vlevo na *obr. 28* je vidět stabilizační bod, který se nachází na střeše hlavní budovy této observatoře. Dále vpravo na *obr. 28* se nachází anténa, která přijímá signály ze satelitů. [83]



*Obr. 28* Stanice GOPE v Geodetické observatoři Pecný [83]

### 1.11 VYUŽITÍ GPS PRO VÝZKUM V OBLASTI DYNAMIKY VOZIDEL

Ve výzkumu dynamiky vozidel se používá GPS systém stále častěji, protože poskytuje cenné informace. GPS systém umožňuje pozorovat hodně parametrů (např. rychlost, poloha, zrychlení, odpor vzduchu a valivý odpor) [84]. Zpracované data z GPS slouží k pochopení dynamického chování vozidel. Dále zpracovaná data také slouží k pochopení chování vozidla za různých podmínek [85]. [84; 85]

V tomto odstavci se nachází příklady využití GPS pro výzkum v oblasti dynamiky vozidel. Pomocí GPS dat lze odhadnout valivý odpor a odpor vzduchu [84]. Software openGTS nabízí zpracování dat v Google Maps [84]. Toto umožňuje analýzu dat z GPS systému [84]. GPS data, která jsou spojena s vozidlem [85]. Tyto data umožňují posoudit výkonnost vozidla a bezpečnostní opatření podle různých okolností [85]. [84; 85]

### 1.11.1 VEHICLE IN THE LOOP (VIL)

Vehicle in the Loop (VIL) je metoda testování, která propojuje hardwarové a softwarové simulace. Pomocí reálných testů na silnici, které probíhají v automobilovém průmyslu se tvoří tyto simulace. Simulace představuje virtuální prostředí s reálným vozidlem. Tato simulace slouží k ověřování pokročilých systému, které se používají pro asistenci řidiče. [86]

VIL slouží ke snížení nákladu a času, protože se vytvoří virtuální prostředí (simulace). Výhoda je, že se nemusí vytvářet reálné testovací prostředí [86]. VIL také poskytuje testování softwarových systému [86]. Test VIL probíhá na uzavřené trati. Používá se skutečné vozidlo. Na toto vozidlo se provádí různé simulace. Toto poskytuje účinnost systému vozidla. VIL podporuje systém, který je určený pro rozsáhlé silniční testy [86]. Propojení mezi simulací a reálným světem umožňuje přesný testovací scénář [86]. Vlevo na *obr. 29* je vidět skutečné vozidlo, které se nachází na uzavřené trati. Dále vlevo na *obr. 29* se také nachází virtuální prostředí (simulace) [87]. Pomocí této simulace je možné provádět různé situace se skutečným vozidlem. Vpravo na *obr. 29* se nachází interiér testovacího vozidla. Uvnitř vozidla řidič má obrazovku, kde vidí virtuální prostředí (simulaci) [87]. [86; 87]

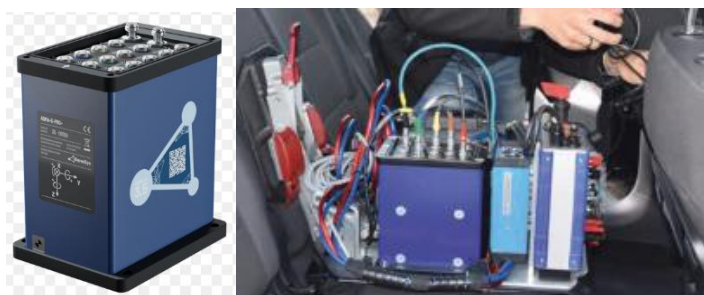


*Obr. 29* Vehicle in the Loop (VIL) testování na uzavřeném okruhu [87]

### 1.11.2 MĚŘENÍ NA POLYONU POMOCÍ ADMA-G-PRO+

ADMA-G-PRO+ je zkratka, která znamená Automotive Dynamic Motion Analyzer (automobilový dynamický analyzátor pohybu). ADMA-G-PRO+ je systém, který byl vyroben pro testování dynamiky vozidel. ADMA-G-PRO+ se používá v automobilovém průmyslu. Měří zrychlení, rychlost a polohu ve všech třech rozměrových osách. Pomocí ADMA-G-PRO+ je možné změřit směr jízdy, úhly bočního skluzu, úhly náklonu a úhlové zrychlení. [88]

ADMA-G-PRO+ se používá při testování vozidla na polygonu (zkušební trasa). Je stabilní a odolná proti vibracím. Díky tomuto je ADMA-G-PRO+ vhodná pro hodnocení dynamiky vozidel. ADMA-G-PRO+ se používá pro stavební stroje, motoristický sport a při měření trasy. Na *obr. 30* je vidět ADMA-G-PRO+, která se nachází v experimentálním vozidle. [88]



*Obr. 30* ADMA-G-PRO+ [88]

## 2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Ve druhé kapitole se nachází analýza problému a cíl práce. V této kapitole je popsána praktická část, která se zabývá měřením trasy vozidla běžnou a přesnou GPS (RT3000, ADMA-G-PRO+ a dvě totožné běžné GPS pro měření jízdní dynamiky) s bázovou stanicí. Praktická část se také zaměřuje na vyhodnocení naměřených dat. Naměřená data pomocí RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžného GPS zařízení byly vyhodnoceny v Matlabu. Praktická část obsahuje také diskusi, kde se nachází porovnání jednotlivých typů GPS systému. Porovnáno je RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení v různých situacích. Například jak jsou tyto GPS systémy přesné při brzdění vozidla. Tato část je rozdělena do několika fází.

První fáze byla rozbor výzkumného problému (rešerše). Hlavním cílem této fáze byl popis funkce GPS s bázovou stanicí. Dalším cílem byl popis funkce samostatné GPS, jejího historického vývoje a diferenciální GPS. Rozbor výzkumného problému pomohl porozumět problému, který je řešen v praktické části (viz celá kapitola 1).

Druhá fáze bylo měření trasy vozidla běžnou a přesnou GPS s bázovou stanicí. Měření se uskutečnilo 29.3.2024 v Brně. Nejprve byla na kopci postavena bázová stanice, která byla následně průměrovaná po dobu půl hodiny. Měření trasy probíhalo v experimentálním vozidle, které je vybaveno několika senzory a GPS systémy. V experimentálním vozidle je nainstalováno RT3000, ADMA-G-PRO+ a dvě běžné GPS zařízení. Jedno běžné GPS zařízení je umístěné vpředu a druhé vzadu na experimentálním vozidle. Nejprve byla provedena zkušební jízda po areálu VUT, aby bylo ověřeno, že měřicí systém správně funguje. Poté byla provedena okružní jízda po areálu VUT a jeho okolí (viz *obr. 36*). Během této jízdy se prováděly různé pojezdy a manévry. Například několik objetí kruhového objezdu (viz *obr. 36*). Celá okružní jízda byla s korekcí (bázová stanice zapnuta). Nakonec bylo využito prázdné parkoviště, kde se uskutečnily další různé manévry (viz *obr. 62*). Na parkovišti se udělalo několik stejných otoček s experimentálním vozidlem. Po každé otočce se vozidlo zastavilo a znovu se rozjelo (viz *obr. 62*). Toto měření probíhalo s korekcí a bez korekce (prvně byla bázová stanice vypnuta a poté zapnuta). Celé měření trasy proběhlo úspěšně a bez komplikací. Jednotlivé materiály a metody, které byly použity při měření trasy jsou popsány v kapitole 3, kde se také nachází srovnání použitých GPS systému.

Ve třetí fázi se nachází vyhodnocení naměřených dat, které se provádělo v Matlabu (TeleMatrix). Data byla vyhodnocena podle různých kanálů pro RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení. Nejprve byla zpracována data, kde se nachází RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení bez časové synchronizace. V těchto datech se nachází okružní jízda po areálu VUT a jeho okolí (viz *obr. 36*). Dále byla zpracována data, kde je RT3000 s bázovou stanicí a bez bázové stanice. Tyto data byly naměřeny na parkovišti v areálu VUT (viz *obr. 62*). Nejprve byly vyhodnoceny data (okružní jízda) zvláště pro RT3000, ADMA-G-PRO+ a dvě běžné GPS zařízení. Poté se analyzovaly data pro RT3000 s bázovou stanicí a bez bázové stanice (viz celá kapitola 4). V závěrečné části bakalářské práce jsou vyhodnocená data porovnaná. Jedná se o porovnání jednotlivých GPS systému v různých situacích. Například jak se jednotlivé GPS systémy chovají na kruhovém objezdu nebo při brzdění experimentálního vozidla. Dále se také srovnávají data s korekcí a bez korekce pro RT3000 (viz celá kapitola 5).

Ve čtvrté fázi vlastní práce se nachází diskuse, která obsahuje, co vyplývá ze zpracovaných dat. Diskuse obsahuje porovnání jednotlivých GPS systému v různých situacích. Například jak se RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení chová na kruhovém objezdu nebo při brzdění experimentálního vozidla (viz celá kapitola 5).

### 3 MATERIÁLY A METODY

Ve třetí kapitole jsou uvedeny materiály a metody. Tato kapitola popisuje metody, které byly použity při měření dat. Třetí kapitola také popisuje, jak probíhalo samotné měření dat. Při měření trasy bylo využito experimentální vozidlo, bázeová stanice, ADMA-G-PRO+, RT3000 a dvě běžné GPS zařízení pro měření jízdní dynamiky.

#### 3.1 BÁZOVÁ STANICE

Bázeová stanice byla postavena na kopci u atletického stadionu v areálu VUT, aby zajistila lepší signál. Bázeová stanice byla umístěná ve vhodné výšce, aby byla dosažena co nejlepší kvalita signálu. Následně proběhlo průměrování, které trvalo půl hodiny. Průměrování znamená, že bázeová stanice hledá svoji přesnou polohu. Průměrování bylo nastaveno přes notebook. Vlevo nahoře na *obr. 31* je vidět bázeová stanice, která je nainstalována na kopci v areálu VUT. Bázeová stanice se skládá ze stativu a satelitu. Pomocí kabelu je stanice napojena na napájecí zdroj. Vpravo nahoře na *obr.31* je zobrazený napájecí zdroj (baterie), který dodává energii bázeové stanici. Díky tomu bázeová stanice fungovala po celou dobu měření. Vlevo dole na *obr.31* je vidět GPS rádio (základní rádio), které je součástí bázeové stanice a komunikuje s experimentálním vozidlem. Vpravo dole na *obr.31* se nachází baterie, GPS rádio a anténa, která je přidělena na kufříku a přijímá signál. Anténa by měla mít volný výhled na oblohu ve všech směrech. Bázeová stanice fungovala po celou dobu měření trasy (viz kapitola 1.10).



Obr. 31 A) Bázeová stanice, B) Napájecí zdroj, C) Základní rádio, D) Baterie, anténa a rádio

### 3.2 EXPERIMENTÁLNÍ VOZIDLO

Experimentální vozidlo VW Multivan je speciální dodávka, která je využívána pro různé experimenty (např. testování pneumatik nebo měření pomocí ADMA na polygonu). Experimentální vozidlo je vybaveno několika senzory, které jsou umístěné na různých místech. Vnitřek experimentálního vozidla také obsahuje další zařízení (např. řídicí jednotka a GPS systémy). Vlevo na *obr. 32* je vidět experimentální vozidlo, které se nachází na parkovišti v areálu VUT, kde probíhalo měření dat. Vpravo na *obr. 32* se nachází vnitřek vozidla pro lepší představu. Dále vpravo na *obr. 32* je vidět řídicí jednotka (označeno číslem 1), RT3000 (označeno číslem 2) a ADMA-G-PRO+ (označeno číslem 3). Ve vozidle se ještě nacházejí dvě běžné GPS zařízení pro měření jízdní dynamiky.



*Obr. 32* Vlevo experimentální vozidlo VW Multivan a vpravo vnitřek vozidla

### 3.3 ADMA-G-PRO+

ADMA-G-PRO+ je zkratka, která znamená Automotive Dynamic Motion Analyzer (automobilový dynamický analyzátor pohybu). ADMA-G-PRO+ je systém, který je navržen pro testování dynamiky vozidel. Měří zrychlení, rychlost a polohu ve všech třech rozměrových osách. Pomocí ADMA-G-PRO+ je možné změřit směr jízdy, úhly bočního skluzu, úhly náklonu a úhlové zrychlení. Tento systém je odolný proti vibracím. ADMA-G-PRO je přesnější a lépe se osvědčuje při jízdě městem než RT3000. V *tab. 7* se nachází technická data ADMA. [88]

*Tab. 7* Technická data ADMA-G-PRO+ (upraveno) [88]

Parametry ADMA-G-PRO+	
Přesnost polohy [m]	0,01 / 0,20 / 0,60 / 1,20 / 1,50
Rozsah měření úhlu náklonu / sklonu / odklonu [°]	60 / 60 / ±180
Přesnost měření náklonu / odklonu / bočního skluzu [°]	0,01 / 0,015 / 0,05
Úhlové rozlišení [°]	0,005

### 3.4 RT3000 A RT NAVSOLVE

RT3000 je vysoce výkonný INS (inerciální navigační systém), který je určený pro ADAS (pokročilý asistenční řídicí systém). RT3000 poskytuje přesná data o poloze, orientaci a dynamice vozidla. RT3000 usnadňuje testování automobilů. RT3000 nabízí vysokou přesnost měření a efektivitu. Toto z něj dělá cenný nástroj pro testování vozidel. RT3000 nemá takovou přesnost jako ADMA-G-PRO+, ale je levnější. [89]

RT NAVsolve je aplikace, která je součástí softwaru NAVsuite poskytovaného společností Oxford Technical Solutions. Byla navržena tak, aby nahradila RT Post-Process. Aplikace nabízí funkce jako je například stahování souborů surových dat, snížení driftu a oprava chyb konfigurace. RT NAVsolve je cenný nástroj pro zvýšení přesnosti a kvality dat shromážděných prostřednictvím produktů GNSS a stanic. Vlevo na *obr. 33* se nachází RT3000. Dále vpravo na *obr. 33* je vidět RT3000, které je nainstalováno v experimentálním vozidle. [90]



*Obr. 33* Vlevo RT3000 [89] a vpravo RT3000 v experimentálním vozidle

### 3.5 BĚŽNÉ GPS ZAŘÍZENÍ (KOMERČNÍ GPS)

Jedná se o vybrané konkrétní běžné GPS zařízení (komerční GPS), které se nachází v experimentálním vozidle. Běžné GPS zařízení je levný systém, který je možné nainstalovat ve větším množství pro flotilové testování. Tento systém také funguje samostatně a jeho ovládní je velmi jednoduché. [91]

V experimentálním vozidle se nachází dvě běžné GPS zařízení. Jedno běžné GPS zařízení je umístěné vpředu a druhé vzadu. Běžné GPS zařízení je levnější než ADMA-G-PRO+ a RT3000, ale zase má nejmenší přesnost. Další nevýhoda je, že běžné GPS zařízení má pouze základní kanály na vyhodnocení dat. Nedokáže změřit tolik veličin jako ADMA-G-PRO+ a RT.

### 3.6 POROVNÁNÍ ADMA-G-PRO+ , RT3000 A BĚŽNÉ GPS ZAŘÍZENÍ

Systém ADMA-G-PRO+ je zařízení, které se používá pro testování dynamiky vozidel. Systém kombinuje data GPS a IMU (inerciální měřicí jednotka) [92]. Toto zařízení také poskytuje přesné informace o poloze a orientaci. Systém ADMA-G-PRO+ se používá k testování vozidel [92]. RT3000 je vysoce výkonný inerciální navigační systém [89]. RT3000 poskytuje přesná data o poloze, orientaci a dynamice vozidla. RT3000 nabízí vysokou přesnost měření a efektivitu. RT3000 se používá pro přesné určení polohy a testování vozidel [89].

ADMA-G-PRO+ je nejpřesnější zařízení. Druhé nejpřesnější zařízení je RT3000. Běžná GPS je levnější než ADMA-G-PRO+ a RT3000. Nejdražší GPS systém je ADMA-G-PRO+. Běžné GPS zařízení má pouze základní kanály na vyhodnocení dat jízdní dynamiky. ADMA-G-PRO+ a RT3000 má více kanálů, protože dokážou naměřit více veličin než běžná GPS. Na *obr. 34* je zobrazena ADMA-G-PRO+, RT3000 a běžná GPS pro lepší srovnání těchto zařízení.



Obr. 34 A) ADMA-G-PRO+ [88], B) RT3000 [89], C) Běžné GPS zařízení [91]

### 3.7 PRŮBĚH MĚŘENÍ TRASY S EXPERIMENTÁLNÍM VOZIDLEM

Měření se uskutečnilo 29.3.2024 v Brně. Nejprve byla na kopci postavena bázová stanice, která byla následně průměrovaná po dobu půl hodiny. Měření trasy probíhalo v experimentálním vozidle, které je vybaveno několika senzory a GPS systémy. Ve vozidle je nainstalováno RT3000, ADMA-G-PRO+ a dvě běžné GPS zařízení pro měření jízdní dynamiky. Nejprve byla provedena zkušební jízda po areálu VUT, aby bylo ověřeno, že všechno funguje. Poté byla provedena okružní jízda po areálu VUT a jeho okolí (viz obr. 36). Během této jízdy se prováděly různé pojezdy a manévry. Například několik objetí kruhového objezdu (viz obr. 36). Celá okružní jízda byla s korekcí (bázová stanice zapnuta). Nakonec bylo využito prázdné parkoviště, kde se uskutečnily další různé manévry (viz obr. 62). Na parkovišti bylo vykonáno několik stejných otoček s vozidlem. Po každé otočce se vozidlo zastavilo a znovu se rozjelo (viz obr. 62). Toto měření probíhalo s korekcí a bez korekce. Na obr. 35 je vidět několik dalších fotek z měření trasy (viz kapitola 2).



Obr. 35 A) Anténa, B) Satelit, C) Experimentální vozidlo, D) ADMA ve vozidle



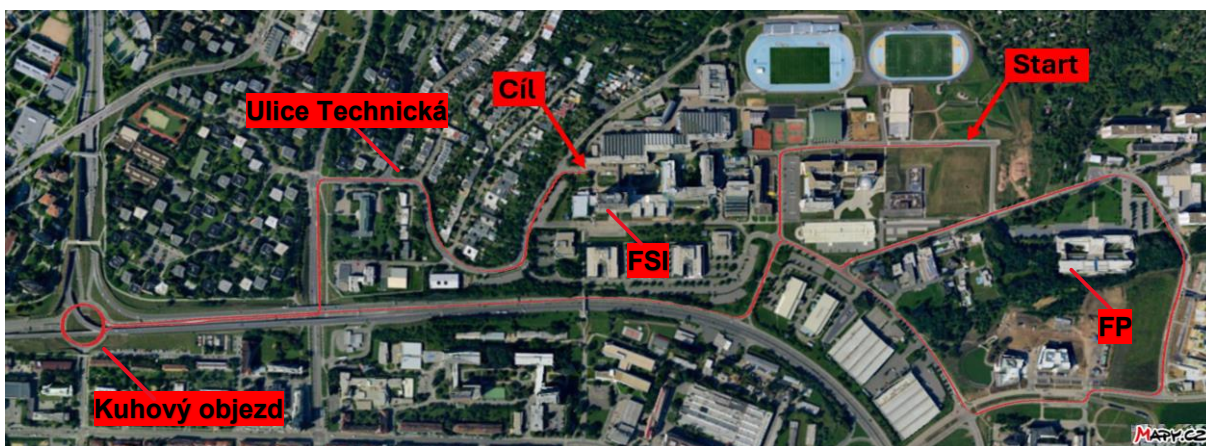
## 4 VÝSLEDKY

Ve čtvrté kapitole se nachází vyhodnocení naměřených dat, které se provádělo v Matlabu (TeleMatrix). Data byla vyhodnocena podle různých kanálů pro RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení. Nejprve byla zpracována data, kde je RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení bez časové synchronizace. V těchto datech se nachází okružní jízda po areálu VUT a jeho okolí (viz obr. 36). Dále byla zpracována data, kde je RT3000 s bázovou stanicí a bez bázové stanice. Tyto data byly naměřeny na parkovišti v areálu VUT (viz obr. 62). Pátá kapitola obsahuje také diskusi, ve které je shrnuto, co vyplývá ze zpracovaných dat. Na konci bakalářské práce je napsaný závěr.

### 4.1 TRASA NAMĚŘENÝCH DAT (OKRUŽNÍ JÍZDA)

V této podkapitole se nachází trasa, která byla absolvovaná experimentálním vozidlem pro lepší přehled. Jedná se o měření trasy, které probíhalo po areálu VUT a jeho okolí (viz obr. 36). Tato trasa byla změřena RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžným GPS zařízením. Po dobu celého měření trasy byla zapnuta bázová stanice (korekce chyb). Na obr. 36 je vidět začátek a cíl trasy. Měření trasy začalo u atletického stadionu, poté byl změřen menší okruh kolem fakulty podnikatelské (FP) a kolejí Pod Palackým Vrchem. Dále trasa pokračovala na hlavní silnici směr kruhový objezd. Na kruhovém objezdu bylo provedeno několik objetí, pak bylo odbočeno z kruhové objezdu směr fakulta strojního inženýrství (FSI). Nakonec bylo odbočeno směr ulice Technická a měření trasy skončilo u fakulty strojního inženýrství (FSI).

Další cíl praktické části bylo určit zajímavá místa na této měřené trase (viz obr.36). Například zajímavé místo je kruhový objezd, protože nad kruhovým objezdem jsou dva mosty. Cílem je porovnat, jak se v tomto místě chová ADMA-G-PRO+, RT3000 a běžné GPS zařízení (např. přesnost GPS, počet satelitů a orientace vozidla). Na měřené trase se nachází další zajímavá místa. Například, jak se jednotlivé GPS systémy chovají při brzdění kvůli odbočení (např. kvalita signálu). Data se vyhodnocují podle různých kanálů v TeleMatrixu. TeleMatrix je program v Matlabu, který slouží k vyhodnocování dat jízdní dynamiky. V TeleMatrixu se může pomocí různých kanálů analyzovat např. počet satelitů, horizontální rychlost a orientace vozidla pro různé GPS systémy (např. RT3000 pro měření jízdní dynamiky).



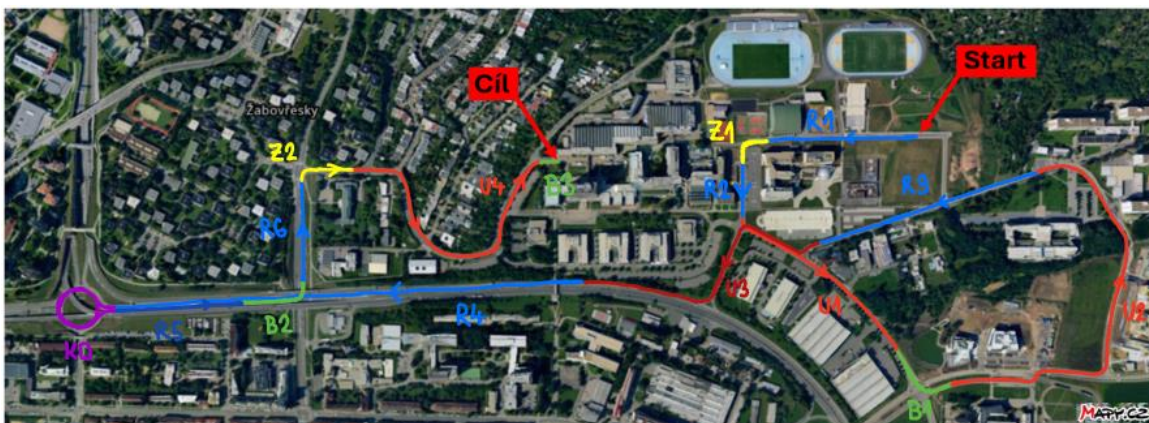
Obr. 36 Trasa naměřených dat (upraveno) [93]

## 4.2 EVENTY NA TRASE NAMĚŘENÝCH DAT (OKRUŽNÍ JÍZDA)

V dalším kroku naměřená trasa byla rozdělena na několik částí. Rozdělení trasy se provedlo v Matlabu (TeleMatrix) pomocí eventů. Rozdělení naměřené trasy na několik částí bylo vytvořeno podle *obr. 38*. Na *obr.38* se nachází zeměpisná délka a šířka. V *obr. 38* byla zvolena specifická část naměřené trasy. Poté se na této označené trase vytvořil event (událost). Například se označil úsek R1 (viz *obr. 37*). Poté se vytvořil první event (událost) v Matlabu. První event obsahuje část naměřené trati R1. Takhle se postupně vytvořilo všech 16 eventů. Všechny vytvořené eventy (události) se nachází na *obr. 37*.

Naměřená trasa je rozdělena na 16 částí. Měřená trasa byla rozdělena na roviny, zatáčky, brždění, kruhový objezd a úseky. Na *obr. 37* se nachází šest rovin (R1, R2, R3, R4, R5, R6), dvě zatáčky (Z1, Z2), tři brždění (B1, B2, B3), jeden kruhový objezd (KO) a čtyři úseky (U1, U2, U3, U4). Rovina je část trati, která nemá žádné větší zatáčky (např. event R1). Zatáčka je část trati, která většinou spojuje dvě roviny (např. event Z1). Brždění je část trati, kde došlo k velkému zpomalení (např. event B2). Úsek je část trati, kde se nachází sekvence několik zatáček za sebou (např. event U3). Kruhový objezd (KO) se objel pětkrát s vozidlem.

První event trati je rovina R1, která se nachází u atletického stadionu. Na eventu R1 se GPS systémy zinicilizovaly (chvilku trvalo, než měřily úplně přesně). Druhý event tvoří zatáčka Z1, která spojuje dvě roviny (R1 a R2). V zatáčce Z1 se změnila orientace vozidla (heading). Třetí event je rovina R2, která se nachází vedle FEKT. Čtvrtý event je první úsek U1. Tento úsek má dvě zatáčky. Pátý event se skládá z brždění B1. Důvodem tohoto velkého zpomalení je odbočení na vedlejší silnici. Šestý event je nejdelší úsek U2. Tento úsek tvoří několik zatáček za sebou. Sedmý event je rovina R3, která se nachází u FP. Osmý event obsahuje úsek U3, který má několik prudkých zatáček. Tento úsek vede na hlavní silnici. Devátý event tvoří rovina R4, která se nachází na hlavní silnici. Tato rovina vede ke kruhovému objezdu. Desátý event obsahuje kruhový objezd (KO). Tento event je důležitý, co se týče vyhodnocení naměřených dat. Důvodem je, že nad kruhovým objezdem se nachází dva mosty, které ovlivňují kvalitu signálu a přesnost měření. Cílem je porovnat, jak se v tomto eventu chovají jednotlivé GPS systémy. Jedenáctý event je rovina R5, která se nachází na hlavní silnici. Dvanáctý event se skládá z brždění B2. Důvodem tohoto velkého zpomalení je přednost protijedoucím autům. Třináctý (rovina R6) a čtrnáctý (zatáčka Z2) event vede na ulici Technickou. Patnáctý event se nachází na ulici Technické. Jedná se o úsek U4, který má několik zatáček za sebou. Poslední event je brždění B3. Důvodem brždění je zastavení kvůli závoře. Podle *obr. 37* je vidět, jak se značí eventy (R – modře, Z – žlutě, U – červeně, B – zeleně a KO – fialově).



*Obr. 37* Eventy na trase naměřených dat (upraveno) [93]

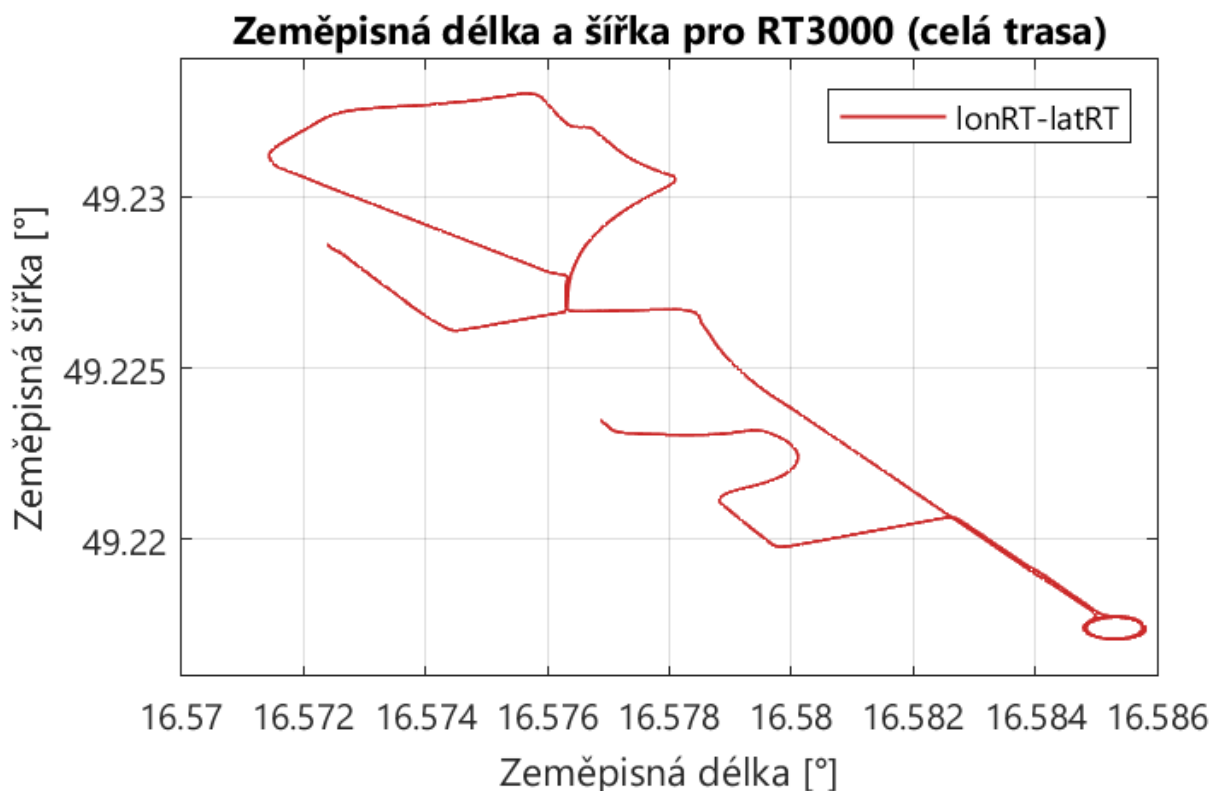
### 4.3 VYHODNOCENÍ DAT PRO RT3000 (OKRUŽNÍ JÍZDA)

V další podkapitole se nachází vyhodnocení naměřené trasy, která byla změřena RT3000. Naměřená data byla vyhodnocena v TeleMatrixu podle různých kanálů pro RT3000. V těchto naměřených datech se vyhodnocovala zeměpisná šířka, zeměpisná délka, počet satelitů, orientace vozidla, směrodatná odchylka headingu, status přesnosti a rychlost. Cílem této podkapitoly je popsát, jak se RT3000 chová na měřené trase (např. kruhový objezd).

#### 4.3.1 ZEMĚPISNÁ DÉLKA (LONRT) A ŠÍŘKA (LATRT) PRO RT3000

Graf na *obr. 38* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu lonRT (zeměpisná délka) a latRT (zeměpisná šířka). Zeměpisná šířka vyjadřuje stupně, které udávají vzdálenost na sever a jih od rovníku [37]. Zatímco zeměpisná délka měří stupně, které zobrazují vzdálenost na východ a západ od počátečního poledníku (viz kapitola 1.5) [37].

Graf na *obr. 38* ukazuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce pro RT3000. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Na *obr. 38* je trasa, která byla absolvována s experimentálním vozidlem. Jedná se o okružní jízdu po areálu VUT a jeho okolí (viz *obr. 36*). Trasa byla změřena pomocí RT3000. *Obr. 38* ukazuje jaká je kvalita signálu mezi satelity a RT3000 (červená trajektorie). Podle *obr. 38* je vidět, že kvalita signálu je dobrá, protože nedochází k žádným výpadkům ani nepřesnostem během jízdy. V dalších podkapitolách je vidět, že kvalita signálu je v některých místech špatná (viz kapitola 4.6). Například kruhový objezd, protože nad kruhovým objezdem se nachází dva mosty nebo oblasti, kde je velká koncentrace budov. Důvodem kvalitního signálu na *obr. 38* je vzdálenější pohled na měřenou trasu. Při bližším pohledu např. na kruhový objezd je vidět nepřesnost během jízdy (vychýlení), což znamená horší kvalitu signálu mezi satelity a RT3000 (viz kapitola 4.6).

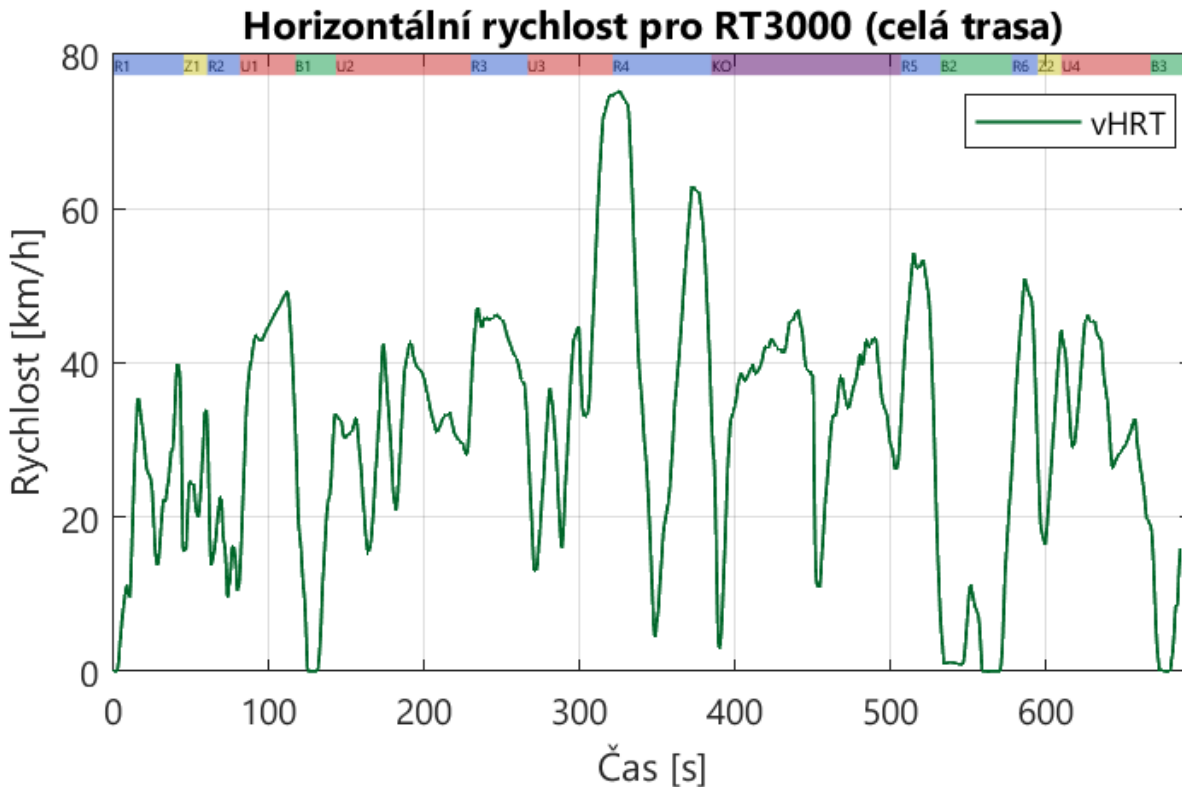


*Obr. 38* Graf zeměpisné délky a šířky pro RT3000 (celá trasa)

### 4.3.2 HORIZONTÁLNÍ RYCHLOST PRO RT3000 (vHRT)

Graf na *obr. 39* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu vHRT (horizontální rychlost RT3000). Rychlost je veličina, která říká, jak se mění pozice tělesa v čase. Graf na *obr. 39* ukazuje závislost rychlosti na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y rychlost. Dále na *obr. 39* se nachází jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 39* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

V eventech B1, B2 a B3 došlo k úplnému zastavení a následnému rozjetí vozidla. Důvodem tohoto zastavení je přednost protijedoucím vozidlům (event B1 a B2) a zastavení kvůli závoře (event B3). V eventu KO (kruhový objezd) se volily různé rychlosti, aby se zjistilo, jak se budou chovat jednotlivé GPS systémy při kroužení v různých rychlostech v závislosti na tom, co dovolil provoz. V eventu KO došlo prvně k zpomalení na 7 km/h. Poté došlo k zrychlení na 45 km/h a pak k rychlému zabrzdění na 12 km/h. Pak se zase začalo zrychlovat na 42 km/h a zpomalilo se až při výjezdu z kruhového objezdu. V eventu R1 došlo k rozjetí vozidla na 35 km/h a zpomalilo se až před zatáčkou Z1. Dále v eventu R4 se vykonala maximální rychlost (75 km/h). Event R4 se nachází na hlavní silnici. V eventu R4 je také vidět rychlé zabrzdění na 6 km/h z této maximální rychlosti. Před zatáčkou Z1 a Z2 (žlutý event) došlo ke zpomalení a následnému zrychlení. V eventech U1, U2, U3 a U4 se střídá zrychlení a zpomalení rychlosti. Důvodem tohoto střídání rychlostí je několik zatáček za sebou, kde některé jsou méně prudké a některé více. V místech, kde je nižší rychlost (eventy B1, B2 a B3) je nižší přesnost. Důvodem je, že GPS systémy mají problém s určením své přesné polohy, když vozidlo stojí na místě.

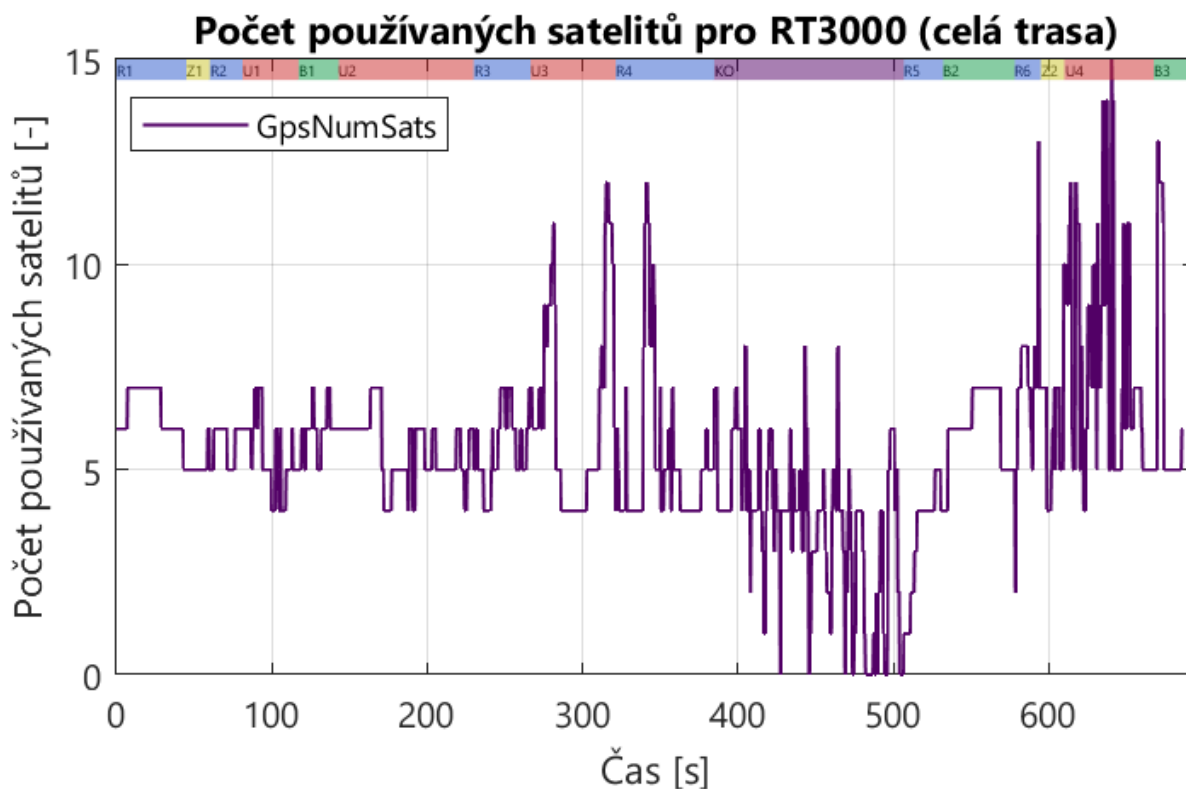


*Obr. 39* Graf horizontální rychlosti pro RT3000 (celá trasa)

### 4.3.3 POČET POUŽÍVANÝCH SATELITŮ PRO RT3000 (GpsNumSats)

Graf na *obr. 40* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsNumSats (počet satelitů). Počet používaných satelitů je pojem, který říká kolik používá GPS přijímač satelitů z určitého místa. Větší počet satelitů bude v místech, kde je málo překážek. Zatímco menší počet satelitů se bude nacházet v místě, kde je hodně budov nebo mostů (např. event KO). Graf na *obr. 40* ukazuje závislost počtu satelitů na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y počet používaných satelitů. Dále na *obr. 40* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 40* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

Podle *obr. 40* je vidět, že eventy R1, Z1, R2, U1, B1, U2 a R3 mají podobný počet satelitů. Eventy R1, U1, B1, U2 a R3 mají 7 satelitů v určité části těchto eventů. V eventech U1, U2 a R3 se nachází i 4 satelity v nějaké části tohoto eventu. V těchto eventech (R1 až R3) nedochází k takovému rozdílu jako v dalších eventech (např. event U3). Dále v eventech U3 a R4 je vidět už větší rozdíl v určitých fázích těchto eventů. Například event U3, kde je 11 satelitů a pak následuje propad na 4 satelity. Takových propadů při měření nastalo více. Tyto propady mohou být způsobené nějakou překážkou (např. budova nebo most). Pak následuje event KO (viz kapitola 4.6.1). Na kruhovém objezdu se nachází nejmenší počet satelitů. Je to nejhorší event, co se týče počtu satelitů. Na tomto eventu se vyskytují i místa, kde je nula satelitů. To znamená žádný signál. Toto je způsobené tím, že nad kruhovým objezdem se nachází dva mosty. Poté následují eventy R5, B2, R6, Z2 a U4. Počet satelitů se postupně zvedá v těchto eventech. Na těchto eventech je i několik propadů. Nejvíce satelitů se nachází na eventu U4, kde je 14 satelitů. Nejlepší eventy, co se týče počtu satelitů jsou R6, Z2 a U4. Důvodem je, že na těchto eventech je dobrý signál a výhled na oblohu. V posledním eventu B3 dojde k velkému propadu (5 satelitů). Jednou z možností velkého propadu je nějaká překážka.

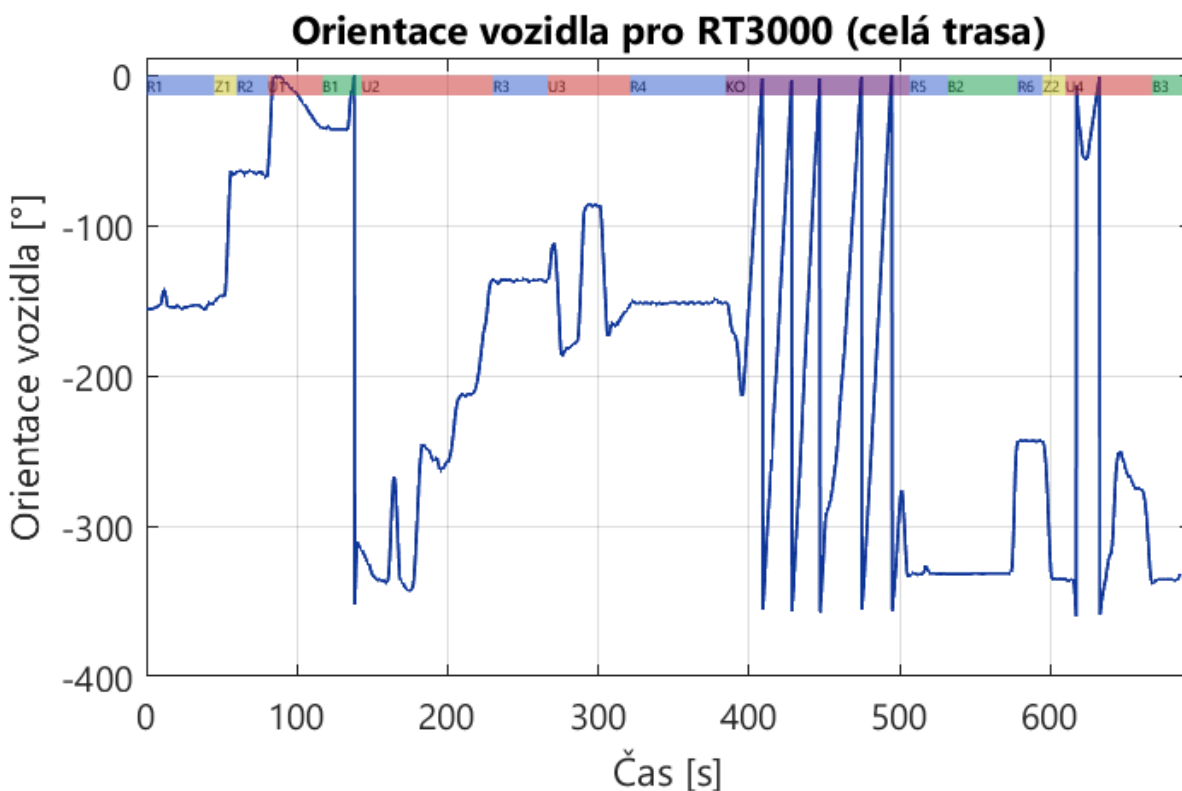


*Obr. 40* Graf počet používaných satelitů pro RT3000 (celá trasa)

#### 4.3.4 ORIENTACE VOZIDLA PRO RT3000 (HEADINGRT)

Graf na *obr. 41* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu headingRT (orientace vozidla). Heading (orientace vozidla) je termín, který se používá k označení směru jízdy [89]. Orientace (heading) vyjadřuje směr, kterým se pohybuje experimentální vozidlo. Jedná se o souřadný systém, který má pevný bod. Od tohoto pevného bodu se heading změní podle toho, jak se mění směr jízdy vozidla. Heading se měří ve stupních. Stupně se pohybují od  $0^\circ$  (sever) přes  $90^\circ$  (východ),  $180^\circ$  (jih) až po  $270^\circ$  (západ) a pak zpět na  $360^\circ$  v souřadném systému [89]. Graf na *obr. 41* ukazuje závislost orientace vozidla na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y orientace vozidla. Dále na *obr. 41* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 41* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

V eventech R1, R2, R3, R4, R5 a R6 (modrý eventy) se orientace vozidla mění minimálně (malé výchylky). Důvodem tohoto je, že v těchto eventech R je směr jízdy pořád stejný. Také event B3 má minimální výchylky. To značí, že tam je rovina. V dalších eventech Z1, U1, B1, U2, U3, B2, Z2 a U4 je vidět, že orientace vozidla se mění hodně (velké výchylky). Velké změny nastávají kvůli zatáčkám, které se nachází v těchto eventech. Největší změna nastala v eventech B1 a U4, kde se orientace vozidla změnila ze  $2^\circ$  na  $352^\circ$ . Tato velká změna nastala díky prudkým zatáčkám, které se nachází v těchto eventech. Dalším eventem je KO (kruhový objezd). Na kruhovém objezdu se udělalo s vozidlem pět otoček, proto se v tomto eventu nachází pět podobných křivek, které následují za sebou. Křivka se mění zhruba od  $5^\circ$  do  $350^\circ$ . Tímto způsobem se křivka změní pětkrát, protože bylo uděláno pět otoček na kruhovém objezdu. V *obr. 41* je vidět, že orientace je v záporných stupních. Důvodem záporných stupňů je, že je tento kanál takovýmto způsobem použit dále pro výpočty v multibody systému experimentálního vozidla, ale význam orientace vozidla to nemění.

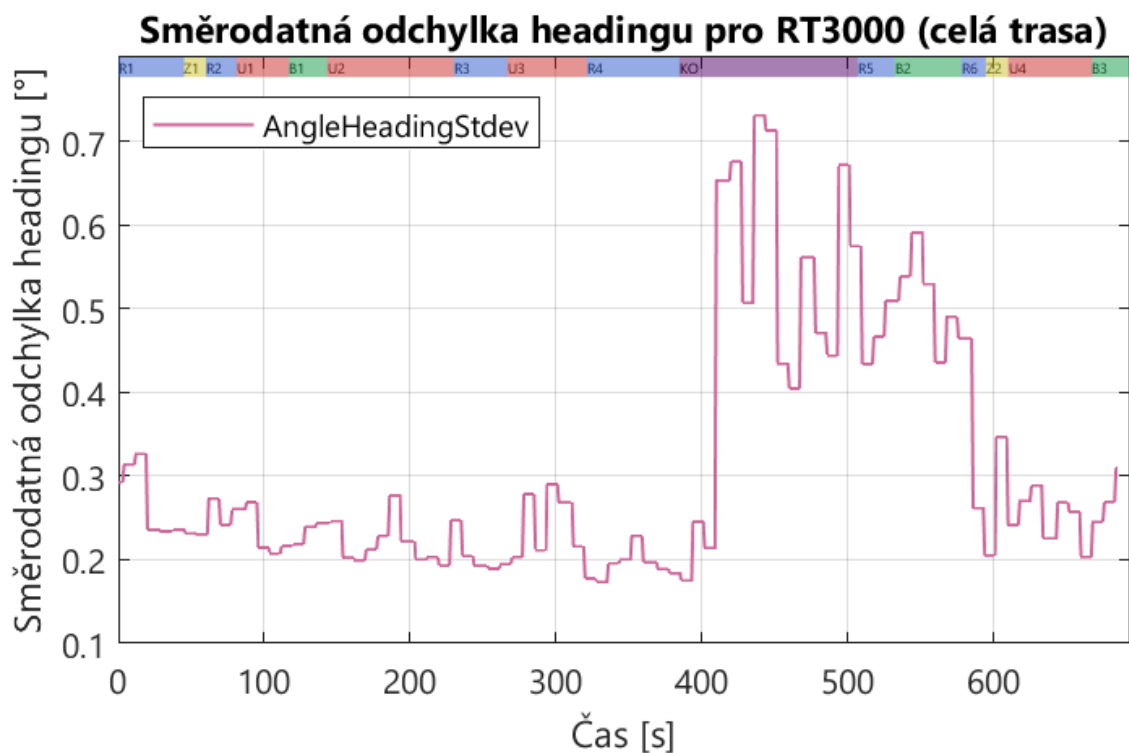


*Obr. 41* Graf orientace vozidla pro RT3000 (celá trasa)

#### 4.3.5 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA HEADINGU PRO RT3000 (ANGLEHEADINGSTDEV)

Graf na *obr. 42* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu AngleHeadingStdev (směrodatná odchylka headingu). Heading (orientace vozidla) je termín, který se používá k označení směru jízdy [89]. Orientace (heading) vyjadřuje směr, kterým se pohybuje experimentální vozidlo (viz kapitola 4.3.4). Směrodatná odchylka headingu určuje rozptyl směru, kterým se vozidlo pohybuje. Udává také měřítko, jak moc se tento směr může lišit od skutečného směru [89]. To znamená, čím menší je směrodatná odchylka, tím přesnější je GPS systém. Zatímco větší směrodatná odchylka znamená horší přesnost. Graf na *obr. 42* ukazuje závislost směrodatné odchylky headingu na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y směrodatná odchylka headingu. Dále na *obr. 42* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 42* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

V eventu R1 je vidět, že směrodatná odchylka (stdev) prvně stoupne na hodnotu  $0,326^\circ$  a pak klesne na  $0,235^\circ$ . Toto je způsobené tím, že GPS systém se ziniculuje (hledá svoji přesnou polohu). V dalších eventech Z1, R2, U1, B1, U2, R3, U3 a R4 se hodnoty směrodatné odchylky pohybují od  $0,199^\circ$  do  $0,277^\circ$ . Jednou z možností, proč vznikají skoky, je zpomalení vozidla. V těchto eventech je dobrá přesnost ve srovnání s dalšími eventy (např. event KO). Event KO má nejhorší hodnoty směrodatné odchylky. V tomto eventu se nachází nejhorší hodnoty (např. hodnota  $0,731^\circ$ ). Důvodem těchto špatných hodnot je, že nad kruhovým objezdem jsou dva mosty, které zhorší směrodatnou odchylku headingu. V dalších eventech R5, B2 a R6 hodnoty směrodatné odchylky nejsou pořád ideální. V těchto eventech se hodnoty postupně zlepšují z  $0,574^\circ$  na  $0,262^\circ$ . Horší hodnoty nastávají v těchto eventech kvůli tomu, že GPS systém se ziniculuje po kruhovém objezdu. V eventech Z2, U4 a B3 je zase dobrá směrodatná odchylka. Hodnoty se zde pohybují od  $0,203^\circ$  do  $0,374^\circ$ . Na konci eventu B3 je vidět zase zhoršení směrodatné odchylky kvůli zastavení.



*Obr. 42* Graf směrodatné odchylky headingu pro RT3000 (celá trasa)

#### 4.3.6 STATUS PŘESNOSTI PRO RT3000 (GpsPosMODE)

Graf na *obr. 43* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsPosMode (status přesnosti GPS). Status přesnosti určuje míru přesnosti a spolehlivosti signálu z GPS [89]. Status přesnosti nabývá hodnot od 0 do 7. Čím nižší je hodnota, tím je přesnost nižší. Zatímco vyšší hodnota znamená lepší spolehlivost a přesnost. Když se v *obr. 43* vyskytují hodnoty 0 až 4, tak to znamená, že báze stanice nekoriguje data. Důvodem těchto nízkých hodnot může být, že vozidlo je mimo dosah báze stanice. Pokud se v *obr. 43* objevují hodnoty 5 a 6, tak to znamená, že báze stanice počítá korekční faktor a zpřesňuje naměřená data. V *tab. 8* se nachází vysvětlení všech hodnot, kterých může nabývat status přesnosti (hodnoty 0 až 7).

V *tab. 8* se nachází vysvětlení jednotlivých režimů statusu přesnosti. SBAS zvyšuje přesnost, integritu a dostupnost signálů ze stávajících globálních družicových navigačních systémů (GNSS) [58]. Real – time kinematic (RTK) využívá korekčního signálu k okamžitému výpočtu měření DGPS (diferenciální GPS) [61]. RTK dokáže zlepšit přesnost až na 1 centimetr [54].

*Tab. 8* Definice jednotlivých režimů pro status přesnosti (upraveno) [89]

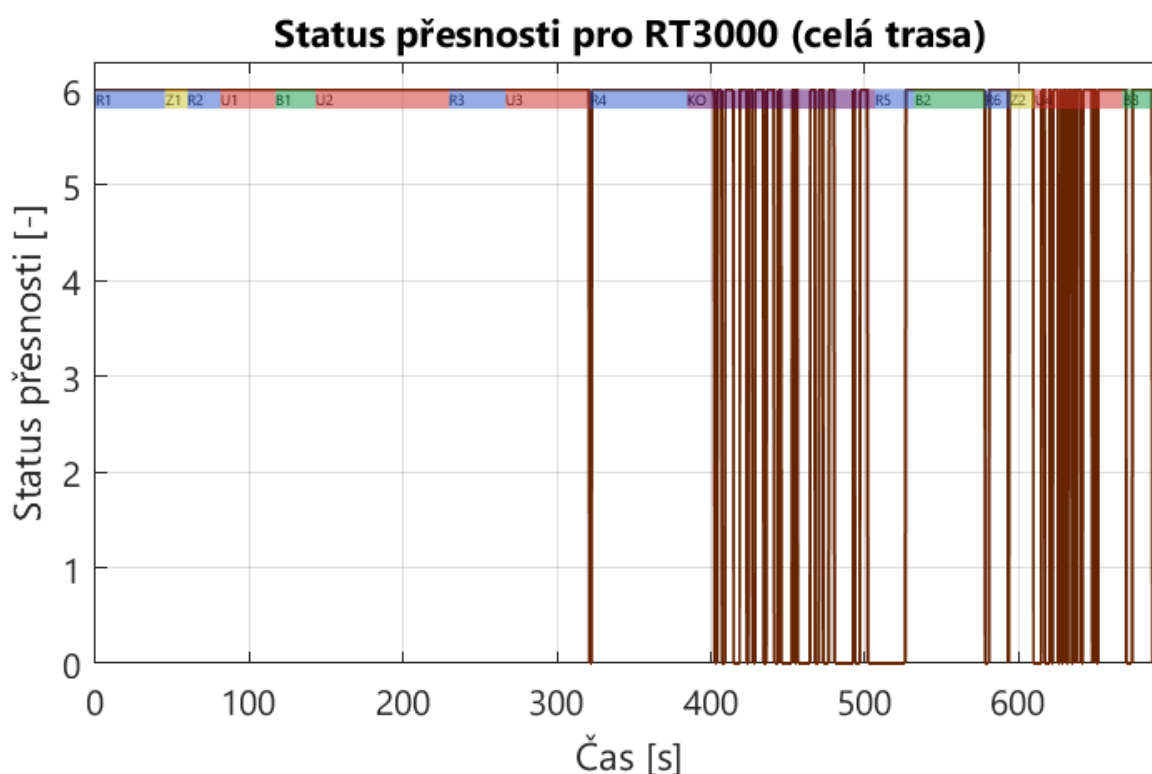
Hodnota	Definice
0	System GPS není schopen měření provést (žádný signál)
1	System GPS řeší nejednoznačnosti a hledá platné řešení ( fáze vyhledávání)
2	Měření GPS je založeno na Dopplerově měření (technika k určení rychlosti)
3	Měření GPS nemá žádné další externí korekce (funguje samostatně)
4	Při měření GPS se používá kódově fázová diferenciální korelace (souvztažnost)
5	Při měření GPS byly použity diferenciální korekce (opravy dat) nosné fáze L1, které poskytly řešení nejasností (RTK)
6	Při měření GPS byly použity diferenciální korekce L1/L2 s nosnou fází, která poskytla řešení s celočíselnou nejasností (RTK)
7	SBAS (satelitní systém augmentace)

Graf na *obr. 43* ukazuje závislost statusu přesnosti na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y status přesnosti. Dále na *obr. 43* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 43* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brzdění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

V eventech R1, Z1, R2, U1, B1, U2, R3, U3 a R4 je většinou status přesnosti 6 (velice dobrá přesnost). Tato dobrá přesnost v těchto eventech je způsobená tím, že tyto eventy se nachází v oblastech, kde je malá koncentrace budov a v dosahu báze stanice (viz *obr. 36*). Výjimkou je event R4, kde se status přesnosti zhorší na 0. Důvodem tohoto zhoršení může být překážka mezi báze stanicí a vozidlem (např. strom nebo budova).



Event KO (viz kapitola 4.6.1) má několik propadů statusu přesnosti ze 6 na 0. Je to jeden z nejhorších eventů, co se týče statusu přesnosti. Důvodem těchto propadů jsou dva mosty, které se nachází nad kruhovým objezdem. V tomto eventu je špatná přesnost GPS (viz kapitola 4.3.5). V eventech R5, B2 a R6 jsou dobré a špatné úseky. V eventu B2 se nachází úsek, kde je status přesnosti 6. V eventu R5 se nachází úsek, kde je status přesnosti 0. Tohle je způsobeno kvůli zinicizování GPS po výjezdu z kruhového objezdu. V dalších eventech Z2, U4 a B3 je vidět hodně propadů. Hlavně event U4 má špatné hodnoty (hodně propadů na nulu). V těchto eventech mohou být špatné hodnoty kvůli těmto faktorům. První faktor je, že tyto eventy jsou v místech, kde je hodně budov. Druhý faktor je větší vzdálenost mezi vozidlem a bázovou stanicí. Vozidlo je mimo dosah bázové stanice.



Obr. 43 Graf statusu přesnosti pro RT3000 (celá trasa)

#### 4.4 VYHODNOCENÍ DAT PRO ADMA-G-PRO+ (OKRUŽNÍ JÍZDA)

V další podkapitole se nachází vyhodnocení naměřené trasy, která byla změřena ADMA-G-PRO+. Naměřená data byla vyhodnocena v TeleMatrixu podle různých kanálů pro ADMA-G-PRO+. V těchto naměřených datech se vyhodnocovala zeměpisná šířka, zeměpisná délka, počet satelitů, orientace vozidla, status přesnosti a rychlost. Cílem této podkapitoly je popsat, jak se ADMA-G-PRO+ chová na měřené trase (např. kruhový objezd).

##### 4.4.1 ZEMĚPISNÁ DÉLKA A ŠÍŘKA PRO ADMA-G-PRO+

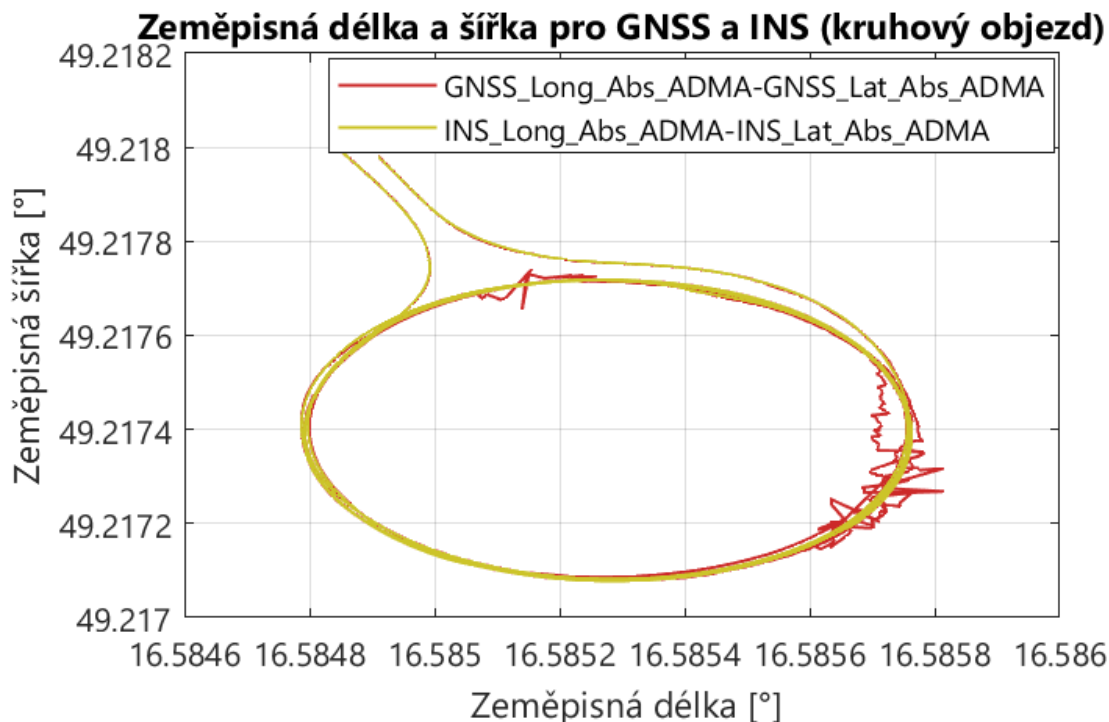
Zeměpisná délka (long) a šířka (lat) se vyhodnocuje podle dvou kanálů. První kanál je GNSS\_Long\_Abs\_ADMA (zeměpisná délka) a GNSS\_Lat\_Abs\_ADMA (zeměpisná šířka). Druhý kanál je INS\_Long\_Abs\_ADMA (zeměpisná délka) a INS\_Lat\_Abs\_ADMA (zeměpisná šířka). GNSS jsou data, která jsou přijata z přijímače GNSS [92]. Nedochází k žádné synchronizaci s inerciálními údaji o poloze (poloha ADMA nebo výška vozidla). Tyto data vykazují časové zpoždění oproti inerciálním údajům o poloze [92].

Zatímco INS (inerciální navigační systém) představuje nejlepší dostupnou polohu z hlediska přesnosti, dostupnosti, časového zpoždění na základě všech dostupných senzorů a systému [92]. INS umožňuje vypočítat polohu v místech, kde není GPS signál (např. tunel nebo pod mostem). V místě, kde je to potřeba, INS používá pomocné výpočty pro lepší přesnost [92].

Rozdíl mezi kanály GNSS (bez synchronizace s inerciálními údaji) a INS (inerciální navigační systém) je na *obr. 44*, který ukazuje zeměpisnou délku a šířku pro GNSS a INS. Jedná se o kruhový objezd (event KO). Graf na *obr. 44* ukazuje závislost zeměpisné délky a šířky pro ADMA-G-PRO+. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Dále v *obr. 44* se nachází dvě trajektorie (červená a žlutá). Červená trajektorie vyjadřuje kanál, který byl vytvořen pomocí GNSS\_Long\_Abs\_ADMA (zeměpisná délka) a GNSS\_Lat\_Abs\_ADMA (zeměpisná šířka). Zatímco žlutá trajektorie ukazuje kanál, který byl vytvořen pomocí INS\_Long\_Abs\_ADMA (zeměpisná délka) a INS\_Lat\_Abs\_ADMA (zeměpisná šířka).

V *obr. 44* je vidět, že červená trajektorie je v určitých částech kruhového objezdu hodně vychýlená. To znamená, že v těchto místech je nepřesnost během jízdy (špatný signál). Důvodem špatného signálu je, že v těchto úsecích se nachází mosty a kanál GNSS nepoužívá žádné pomocné výpočty, když vypadne signál. Zatímco žlutá trajektorie je v těchto místech bez vychýlení. To znamená, že v těchto místech je kvalitní signál. Kvalitní signál v těchto úsecích je kvůli tomu, že kanál INS používá inerciální senzory v místech, kde není signál. Z *obr. 44* plyne, že INS zlepšuje kvalitu signálu v místech, kde je velice špatný signál.

Pokud by se vyhodnotila zeměpisná šířka a délka pro celou naměřenou trasu. Výsledek by byl podobný jako v podkapitole 4.3.1, kde se nachází zeměpisná délka a šířka pro RT3000. Signál by vypadal podobně jako na *obr. 38* (bez vychýlení). Na *obr. 44* je vidět, že když se udělá bližší pohled na kruhový objezd, tak signál se vychyluje (červená trajektorie), což znamená, že v těchto místech je horší kvalita signálu. Takových úseku je na trati více (např. event B2).



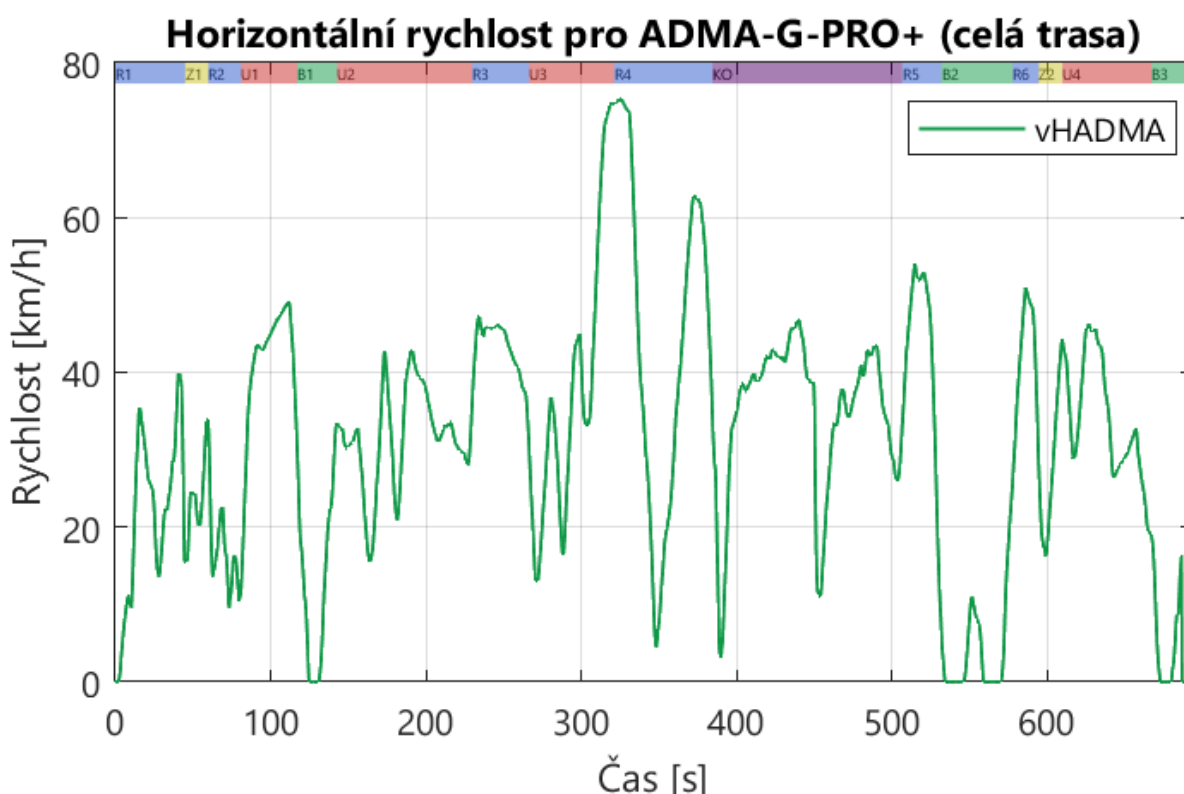
*Obr. 44* Graf zeměpisné délky a šířky pro GNSS a INS (kruhový objezd)

#### 4.4.2 HORIZONTÁLNÍ RYCHLOST PRO ADMA-G-PRO+ (vHADMA)

Graf na *obr. 45* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu vHADMA (horizontální rychlost ADMA-G-PRO+). Kanál vHADMA musel být vytvořen pomocí dalších kanálů. Horizontální rychlost ADMA (vHADMA) byla vytvořena pomocí kanálů INS\_Vel\_Frame\_X\_ADMA a INS\_Vel\_Frame\_Y\_ADMA. Tyto kanály obsahují údaje o rychlosti vozidla v souřadnicovém systému, které byly vypočteny zařízením ADMA-G-PRO+ v ose x a y [92]. Pomocí Pythagorovy věty byla vytvořena vHADMA (horizontální rychlost ADMA-G-PRO+). Nakonec se ještě celý nový kanál vHADMA vynásobil 3,6. Díky tomuto má nový kanál vHADMA stejnou jednotku jako vHRT (horizontální rychlost RT3000).

Rychlost je veličina, která říká, jak se mění pozice tělesa v čase. Graf na *obr. 45* ukazuje závislost rychlosti na čase pro ADMA-G-PRO+. Na ose x je čas a na ose y rychlost. Dále na *obr. 45* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 45* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

Podle *obr. 45* je vidět, že horizontální rychlost ADMA-G-PRO+ je podobná jako pro RT3000. To znamená, že všechny eventy budou mít podobnou horizontální rychlost pro RT3000 i ADMA-G-PRO+. V místech, kde je nižší rychlost (eventy B1, B2 a B3) je nižší přesnost. Důvodem je, že GPS systémy nemohou najít svoji přesnou polohu, když vozidlo stojí na místě. Jak se horizontální rychlost chová v jednotlivých eventech se nachází v podkapitole 4.3.2, která obsahuje horizontální rychlost RT3000 pro celou měřenou trasu.

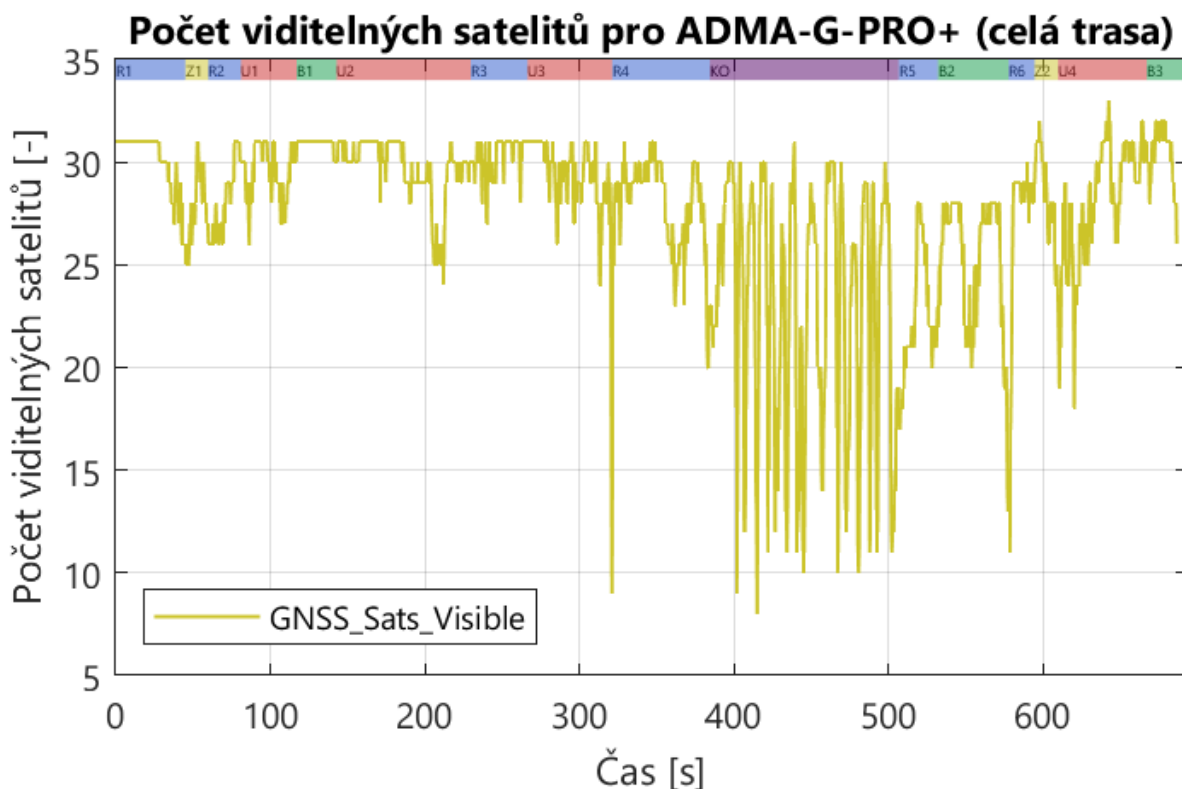


*Obr. 45* Graf horizontální rychlosti pro ADMA-G-PRO+ (celá trasa)

#### 4.4.3 POČET SATELITŮ PRO ADMA-G-PRO+ (VIDITELNÝCH A POUŽÍVANÝCH)

Graf na *obr. 46* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GNSS\_Sats\_Visible (počet viditelných satelitů). Počet viditelných satelitů je pojem, který říká kolik vidí GPS přijímač satelitů z určitého místa. Větší počet satelitů bude v místech, kde je málo překážek. Zatímco menší počet satelitů se bude nacházet v místě, kde je hodně budov nebo mostů (např. event KO). Graf na *obr. 46* ukazuje závislost počtu viditelných satelitů na čase pro ADMA-G-PRO+. Na ose x je čas a na ose y počet viditelných satelitů. Dále na *obr. 46* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 46* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

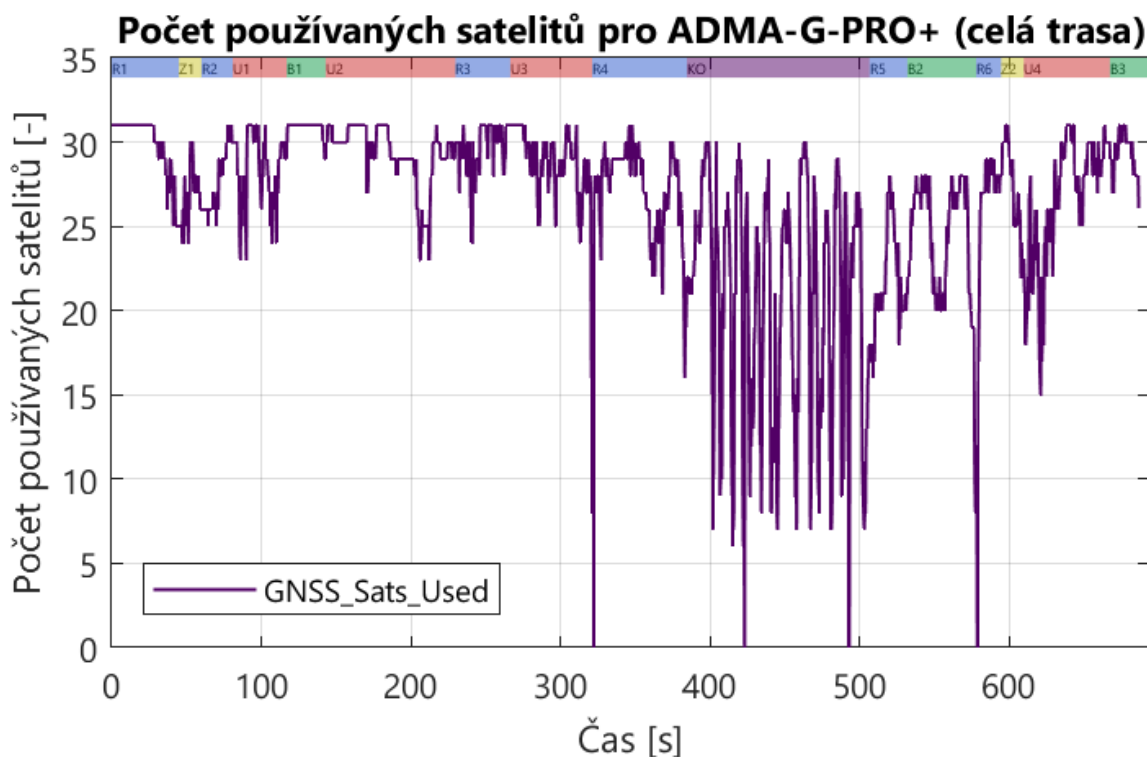
Podle *obr. 46* je vidět, že eventy R1, Z1, R2, U1, B1, U2, R3 a U3 mají podobný počet satelitů. V těchto eventech se počet viditelných satelitů pohybuje od 25 do 31. Větší propady jsou v eventech R1 (25 satelitů), U2 (24 satelitů) a U3 (9 satelitů). Tyto propady mohou vzniknout kvůli překážkám (např. budova, strom a most) nebo špatnému signálu. Tyto eventy jsou na tom dobře, co se týče počtu viditelných satelitů. V eventu R4 se začne počet viditelných satelitů zhoršovat. Postupně klesne až na 20 satelitů. Důvodem toho může být opět nějaká překážka. Event KO je nejhorší event, protože tam jsou největší skoky. V tomto eventu je několik propadů z 30 na 12 satelitů. Tyto propady jsou způsobené tím, že nad kruhovým objezdem se nachází dva mosty, které přerušují kvalitu signálu. V eventu KO se nachází i nejhorší hodnota na celé měřené trase (8 satelitů). V následujících eventech R5, B2, R6, Z2, U4 a B3 se počet viditelných satelitů zvedá. Na těchto eventech je i hodně propadů (např. event B2). Nejvíce viditelných satelitů se nachází v eventu U4, kde je v jednom místě 32 satelitů. Důvodem velkého počtu viditelných satelitů v tomto eventu je, že vozidlo má dobrý výhled na oblohu. V posledním eventu B3 dojde k propadu z 31 na 26 satelitů. Důvodem může být zase nějaká překážka nebo horší kvalita signálu.



*Obr. 46* Graf počet viditelných satelitů pro ADMA-G-PRO+ (celá trasa)

Graf na *obr. 47* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GNSS\_Sats\_Used (počet používaných satelitů). Počet používaných satelitů je pojem, který říká kolik GPS přijímač používá satelitů z určitého místa. Větší počet používaných satelitů bude v místech, kde je málo překážek. Zatímco menší počet používaných satelitů se bude nacházet v místě, kde je hodně budov nebo mostů (např. event KO). Graf na *obr. 47* ukazuje závislost počtu používaných satelitů na čase pro ADMA-G-PRO+. Na ose x je čas a na ose y počet používaných satelitů. Dále na *obr. 47* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 47* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brzdění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

Na *obr. 47* je vidět podobný graf jako na *obr. 46*. To znamená, že ADMA-G-PRO+ používá stejný počet satelitů, který vidí po většinu doby naměřené trasy. Například event R1, který je po většinu doby stejný v obou grafech. Jsou tam i místa, kde ADMA-G-PRO+ vidí více satelitů, než používá. Například začátek eventu R6, kde ADMA-G-PRO+ vidí 12 satelitů, ale používá 0 satelitů. Další příklad je začátek eventu R4, kde ADMA-G-PRO+ vidí 8 satelitů, ale opět používá 0 satelitů. Rozdíl viditelných a používaných satelitů je dobře také vidět na kruhovém objezdu (event KO), kde je velký rozdíl mezi viditelnými a používanými satelity ve dvou místech (viz kapitola 4.6.2). Rozdíly mezi viditelnými a používanými satelity se nachází i v dalších eventech, ale nejsou tak velké.



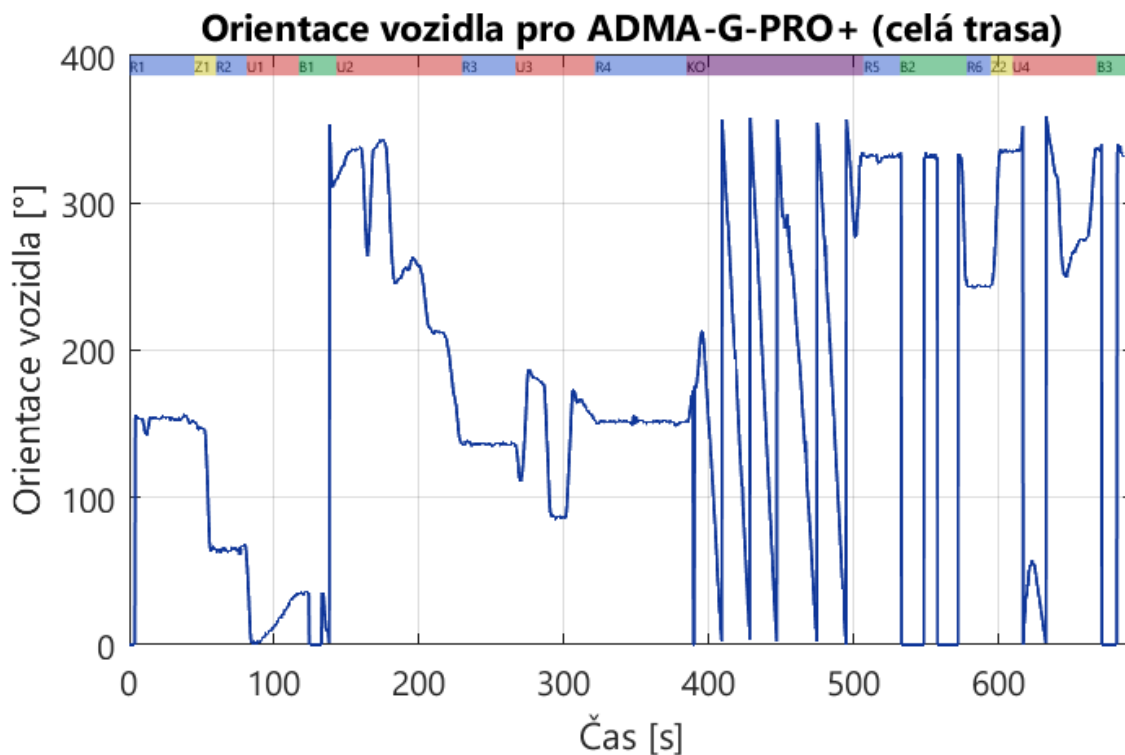
*Obr. 47* Graf počet používaných satelitů pro ADMA-G-PRO+ (celá trasa)

#### 4.4.4 ORIENTACE VOZIDLA PRO ADMA-G-PRO+

Graf na *obr. 48* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GNSS\_COG\_ADMA (orientace vozidla). Heading (orientace vozidla) je termín, který se používá k označení směru jízdy [89]. Orientace (heading) vyjadřuje směr, kterým se pohybuje experimentální vozidlo. Jedná se o souřadný systém, který má pevný bod. Od tohoto pevného bodu se heading (orientace vozidla) změní podle toho, jak se mění směr jízdy vozidla.

Heading se měří ve stupních. Stupně se pohybují od  $0^\circ$  (sever) přes  $90^\circ$  (východ),  $180^\circ$  (jih) až po  $270^\circ$  (západ) a pak zpět na  $360^\circ$  v souřadném systému [89]. Graf na *obr. 48* ukazuje závislost orientace vozidla na čase pro ADMA-G-PRO+. Na ose x je čas a na ose y orientace vozidla. Dále na *obr. 48* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 48* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

Podle *obr. 48* je vidět, že orientace vozidla ADMA-G-PRO+ je podobná jako pro RT3000. Orientace vozidla pro RT3000 se nachází na *obr. 41*. To znamená, že všechny eventy budou mít podobnou orientaci vozidla pro RT3000 i ADMA-G-PRO+. Výjimka jsou eventy B1, B2 a B3, kde orientace vozidla spadne do nuly kvůli zastavení vozidla. Jak se orientace vozidla chová v jednotlivých eventech se nachází v podkapitole 4.3.4, která obsahuje orientaci vozidla RT3000 pro celou měřenou trasu. Na *obr. 48* je vidět, že orientace vozidla nabývá kladných hodnot. Zatímco na *obr. 41* má orientace vozidla záporné hodnoty. Na orientaci vozidla to nemá žádný vliv a oba grafy (RT3000 i ADMA-G-PRO+) jsou podobné, akorát zrcadlově převráceny. Důvodem záporných stupňů je, že je tento kanál takovýmto způsobem použit dále pro výpočty v multibody systému experimentálního vozidla, ale význam headingu to nemění.



*Obr. 48* Graf orientace vozidla pro ADMA-G-PRO+ (celá trasa)

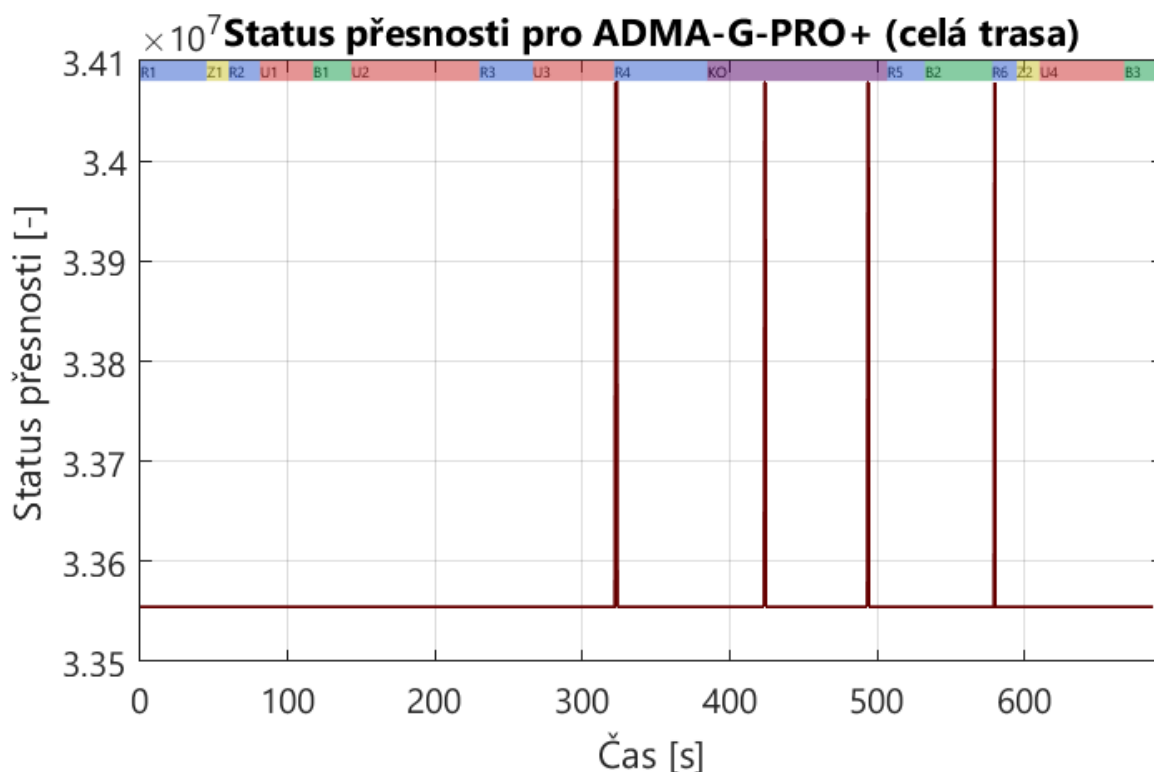
#### 4.4.5 SMĚRODATNÉ ODCHYLKA HEADINGU PRO ADMA-G-PRO+

Směrodatná odchylka headingu určuje rozptyl směru, kterým se vozidlo pohybuje. Udává také měřítko, jak moc se tento směr může lišit od skutečného směru [89]. To znamená, čím menší je směrodatná odchylka, tím přesnější je GPS systém. Zatímco větší směrodatná odchylka znamená horší přesnost. Bohužel měřicí řetězec nebyl nastaven na snímání kanálu pro směrodatnou odchylku headingu pro ADMA-G-PRO+ a tak není možné ho vyhodnotit jako v podkapitole 4.3.5. Výrobce ale deklaruje přesnost  $0,015^\circ$  [88], tak že se dá očekávat, že směrodatná odchylka ADMA-G-PRO+ bude řádově přesnější než v případě RT3000.

#### 4.4.6 STATUS PŘESNOSTI PRO ADMA-G-PRO+

Graf na *obr. 49* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GNSS\_Reciever\_Status\_ADMA (status přesnosti GPS). Status přesnosti určuje míru přesnosti a spolehlivosti signálu z GPS [89]. Graf na *obr. 49* ukazuje závislost statusu přesnosti na čase pro ADMA-G-PRO+. Na ose x je čas a na ose y status přesnosti. Dále, na *obr. 49* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 49* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brzdění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

Podle *obr. 49* je vidět, že graf, který vznikl pomocí kanálů GNSS\_Reciever\_Status\_ADMA nabývá hodnot, které těžko vyhodnotit. Zatímco u RT3000, status nabýval hodnot 0 až 7 (viz kapitola 4.3.6), zde tento kanál nabývá hodnot v rádech  $10^7$ . To je zapříčiněno chybným přepočtem ze signálu na výsledné celočíselné hodnoty v řádu jednotek jako u RT3000. Z naměřeného kanálu je vidět pouze to, že se úroveň přesnosti ADMA-G-PRO+ držela takřka po celou dobu stejně. Tak že se dá předpokládat, že status přesnosti ADMA-G-PRO+ bude mít lepší hodnoty než RT3000. Status přesnosti pro RT3000 se nachází v podkapitole 4.3.6.



*Obr. 49* Graf statusu přesnosti pro ADMA-G-PRO+ (celá trasa).

#### 4.5 VYHODNOCENÍ DAT PRO BĚŽNÉ GPS ZAŘÍZENÍ (OKRUŽNÍ JÍZDA)

V další podkapitole se nachází vyhodnocení naměřené trasy, která byla změřena běžným GPS zařízením. Naměřená data byla vyhodnocena v TeleMatrixu podle různých kanálů pro běžné GPS zařízením. V těchto naměřených datech se vyhodnocovala zeměpisná šířka, zeměpisná délka, počet satelitů a rychlost. Cílem této podkapitoly je popsat, jak se běžné GPS zařízením chová na měřené trase. Ve vozidle se nachází dvě běžné GPS zařízením. Jedno se nachází vpředu (přední běžné GPS zařízením) a druhé vzadu (zadní běžné GPS zařízením). Přední a zadní běžné GPS zařízením má odlišnou přesnost, což znamená, že každé naměří něco trochu jiného.

Běžné GPS zařízení je levný systém, který je možné nasadit ve větším množství pro flotilové testování. Také funguje samostatně a jeho ovládaní je velmi jednoduché. Nevýhoda běžného GPS zařízení je, že nedokáže změřit tolik veličin jako RT3000 a ADMA-G-PRO+. To znamená, že běžné GPS zařízení má pouze základní kanály na vyhodnocení dat jízdní dynamiky (např. zeměpisná délka, zeměpisná šířka a počet satelitů). Běžné GPS zařízení je samostatný měřicí řetězec, a protože funguje nezávisle na zbytku měřícího řetězce, tak je potřeba pro vzájemné porovnání naměřené kanály časově synchronizovat. To znamená, že probíhá v jiném čase než ADMA-G-PRO+ a RT3000. Časová synchronizace se provedla proto, aby vyhodnocená data pomocí běžného GPS zařízení mohla být porovnaná s RT3000 a ADMA-G-PRO+. Prováděly se dvě synchronizace pro přední a zadní běžné GPS zařízení. Synchronizace se provedla pomocí kanálu ay\_AF (zrychlení v ose y pro přední běžné GPS zařízení) a aYVRT (vertikální zrychlení v ose y pro RT3000). Tyto kanály se umístily do společného grafu. Ve společném grafu šlo vidět o kolik je běžné GPS zařízení zpožděné oproti RT3000. Zjistilo se, že běžné GPS zařízení je posunuté o 8398 s oproti RT3000. Poté se tato hodnota nastavila na offset osy x pro všechny kanály předního běžného GPS zařízení. Offset x znamená, že osa x byla posunuta o hodnotu, která byla zadaná. Pro zadní běžné GPS zařízení se synchronizace provedla úplně stejně.

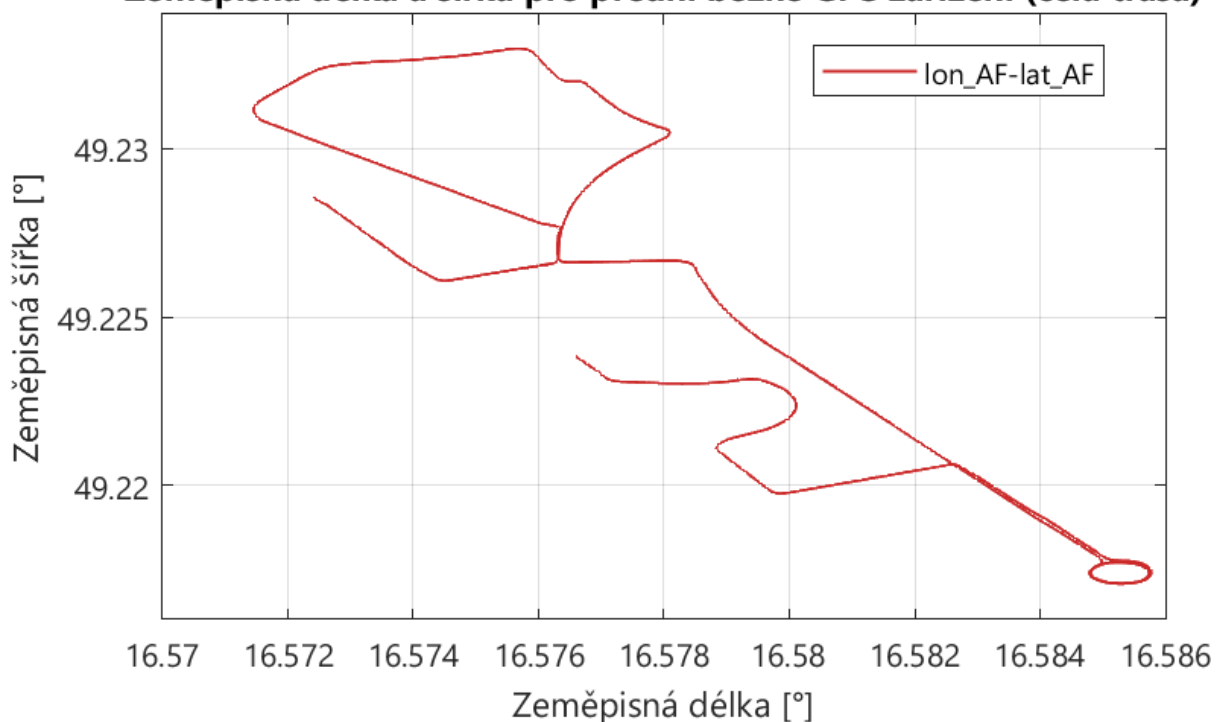
#### 4.5.1 ZEMĚPISNÁ DÉLKA A ŠÍŘKA PRO PŘEDNÍ A ZADNÍ BĚŽNÉ GPS ZAŘÍZENÍ

Graf na *obr. 50* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu lon\_AF (zeměpisná délka) a lat\_AF (zeměpisná šířka). Zeměpisná šířka vyjadřuje stupně, které udávají vzdálenost na sever a jih od rovníku [37]. Zatímco zeměpisná délka měří stupně, které zobrazují vzdálenost na východ a západ od počátečního poledníku [37].

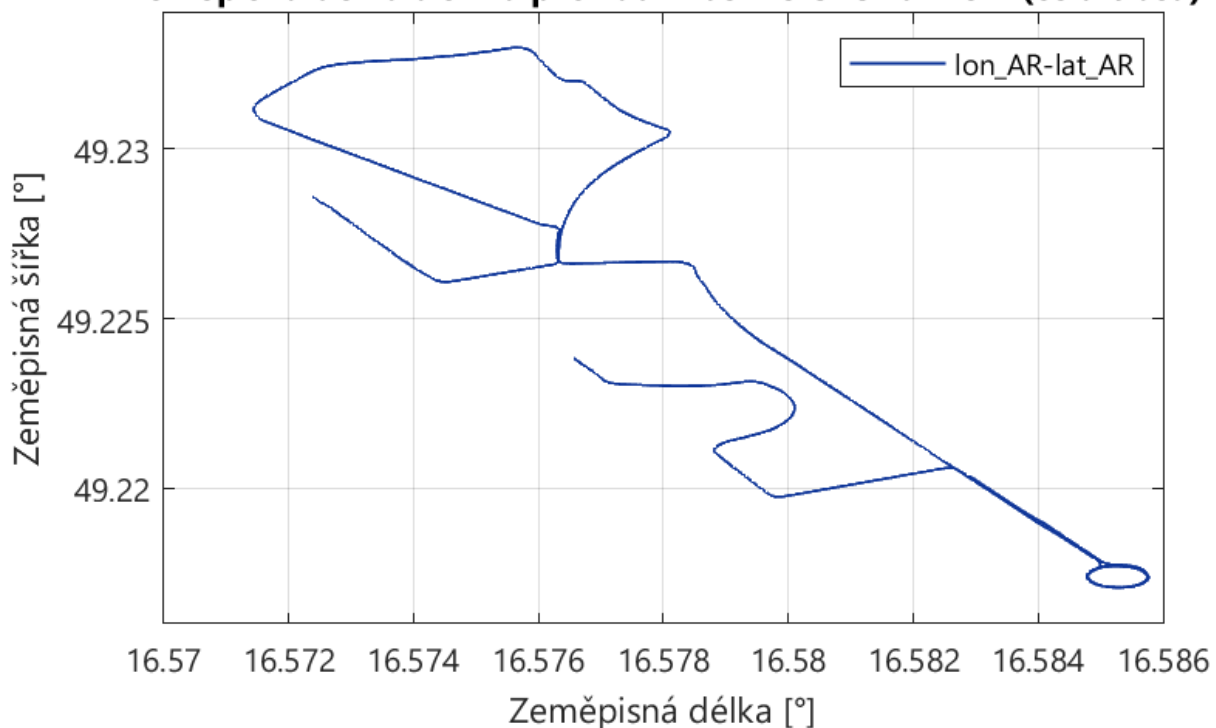
Graf na *obr. 50* ukazuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce pro přední běžné GPS zařízení. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Na *obr. 50* je trasa, která byla absolvována experimentálním vozidlem. Jedná se o okružní jízdu po areálu VUT a jeho okolí (viz *obr. 36*). Trasa byla změřena pomocí předního běžného GPS zařízení. *Obr. 50* ukazuje jaká je kvalita signálu mezi satelity a předním běžným GPS zařízením (červená trajektorie). Podle *obr. 50* je vidět, že kvalita signálu je dobrá, protože nedochází k žádným výpadkům ani nepřesnostem během jízdy. Po většinu trati je signál dobrý a červená trajektorie není vychýlená. V dalších podkapitolách je vidět, že signál je v některých místech špatný (viz kapitola 4.6.3). Například místa, kde se hodně zpomalí (eventy B1, B2 a B3) a kruhový objezd (event KO), protože nad kruhovým objezdem se nachází dva mosty, které kazí kvalitu signálu. Důvodem kvalitního signálu na *obr. 50* je vzdálenější pohled na měřenou trasu. Při bližším pohledu např. na kruhový objezd nebo na místa, kde vozidlo hodně zpomalí je vidět nepřesnost během jízdy (vychýlení trajektorie), což znamená horší kvalitu signálu mezi satelity a běžným GPS zařízením (viz kapitola 4.6.3).

Graf na *obr. 51* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu lon\_AR (zeměpisná délka) a lat\_AR (zeměpisná šířka). Graf na *obr. 51* ukazuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce pro zadní běžné GPS zařízení. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Na *obr. 51* je trasa, která byla absolvována experimentálním vozidlem (viz *obr. 36*). Trasa byla změřena pomocí zadního běžného GPS přístroje. *Obr. 51* ukazuje jaká je kvalita signálu mezi satelity a zadním běžným GPS zařízením (modrá trajektorie). Podle *obr. 51* je vidět že signál je hodně podobný s *obr. 50*. To znamená, že kvalita signálu zadního a předního běžného GPS zařízení je hodně podobná, ale v některých místech se mírně liší (viz kapitola 4.6.3). Důvodem tohoto může být odlišné umístění v experimentálním vozidle nebo odlišná přesnost. To znamená, že každé běžné GPS zařízení naměří něco trochu jiného.



**Zeměpisná délka a šířka pro přední běžné GPS zařízení (celá trasa)**

Obr. 50 Graf zeměpisné délky a šířky pro přední běžné GPS zařízení (celá trasa)

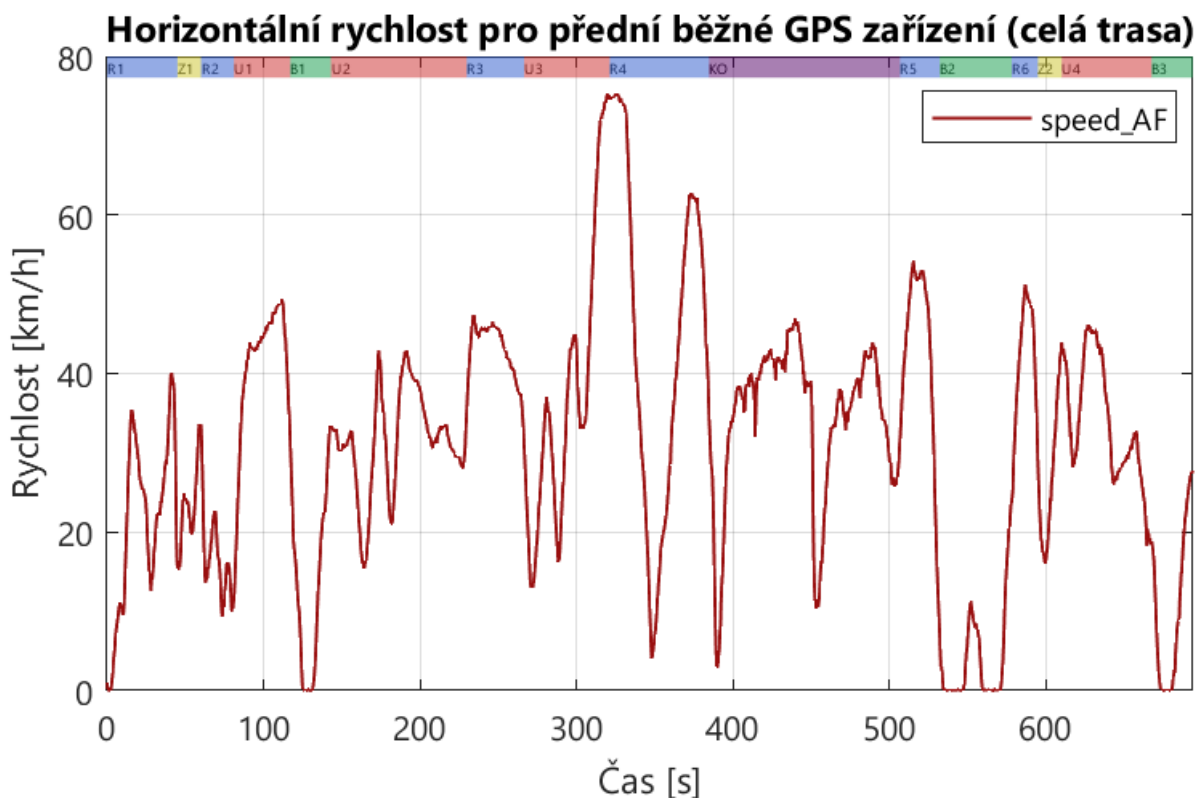
**Zeměpisná délka a šířka pro zadní běžné GPS zařízení (celá trasa)**

Obr. 51 Graf zeměpisné délky a šířky pro zadní běžné GPS zařízení (celá trasa)

#### 4.5.2 HORIZONTÁLNÍ RYCHLOST PRO PŘEDNÍ A ZADNÍ BĚŽNÉ GPS ZAŘÍZENÍ

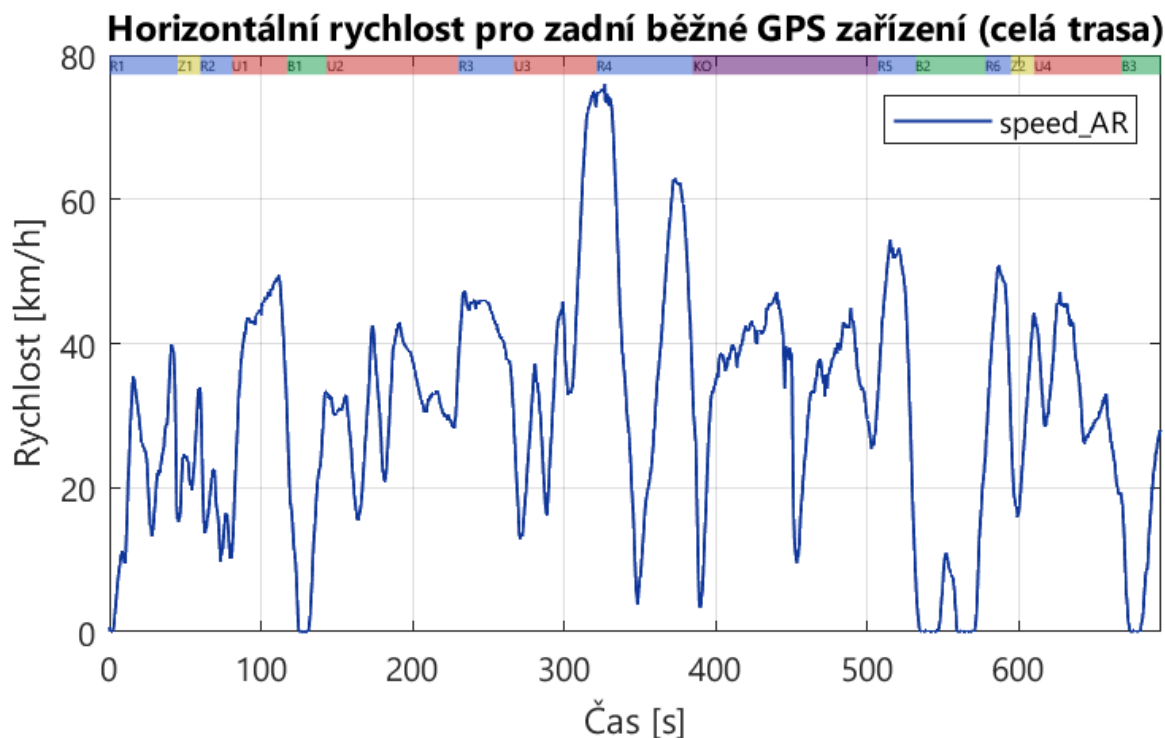
Graf na *obr. 52* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí `speed_AF` (horizontální rychlost předního běžného GPS zařízení). Rychlost je veličina, která říká, jak se mění pozice tělesa v čase. Graf na *obr. 52* ukazuje závislost rychlosti na čase pro přední běžné GPS zařízení. Na ose x je čas a na ose y rychlost. Dále na *obr. 52* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na *obr. 52* je celkově 16 eventů. Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z – žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

Podle *obr. 52* je vidět, že horizontální rychlost předního běžného GPS zařízení je podobná jako pro RT3000 a ADMA-G-PRO+. To znamená, že všechny eventy budou mít podobnou horizontální rychlost pro přední běžné GPS zařízení, RT3000 i ADMA-G-PRO+. V nějakém místě se může rychlost předního běžného GPS zařízení mírně lišit od RT3000 a ADMA-G-PRO+. Důvodem tohoto může být, že běžné GPS zařízení nemá takovou přesnost jako RT3000 a ADMA-G-PRO+. V místech, kde je nižší rychlost (eventy B1, B2 a B3) je horší přesnost. Důvodem je, že GPS systémy nemohou najít svoji přesnou polohu, když vozidlo stojí na místě. Jak se horizontální rychlost chová v jednotlivých eventech se nachází v podkapitole 4.3.2, která obsahuje horizontální rychlost RT3000 pro celou měřenou trasu.



*Obr. 52* Graf horizontální rychlosti pro přední běžné GPS zařízení (celá trasa)

Graf na *obr. 53* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí `speed_AR` (horizontální rychlost zadního běžného GPS zařízení). Graf na *obr. 53* ukazuje závislost rychlosti na čase pro zadní běžné GPS zařízení. Podle *obr. 53* je vidět že rychlost je hodně podobná s *obr. 52*. To znamená, že rychlost zadního a předního běžného GPS zařízení je podobná, ale v některých místech se mírně liší (např. event KO). Důvodem tohoto rozdílu může být, že běžné GPS zařízení jsou umístěna na jiných místech v experimentálním vozidle nebo také odlišná přesnost těchto zařízení.

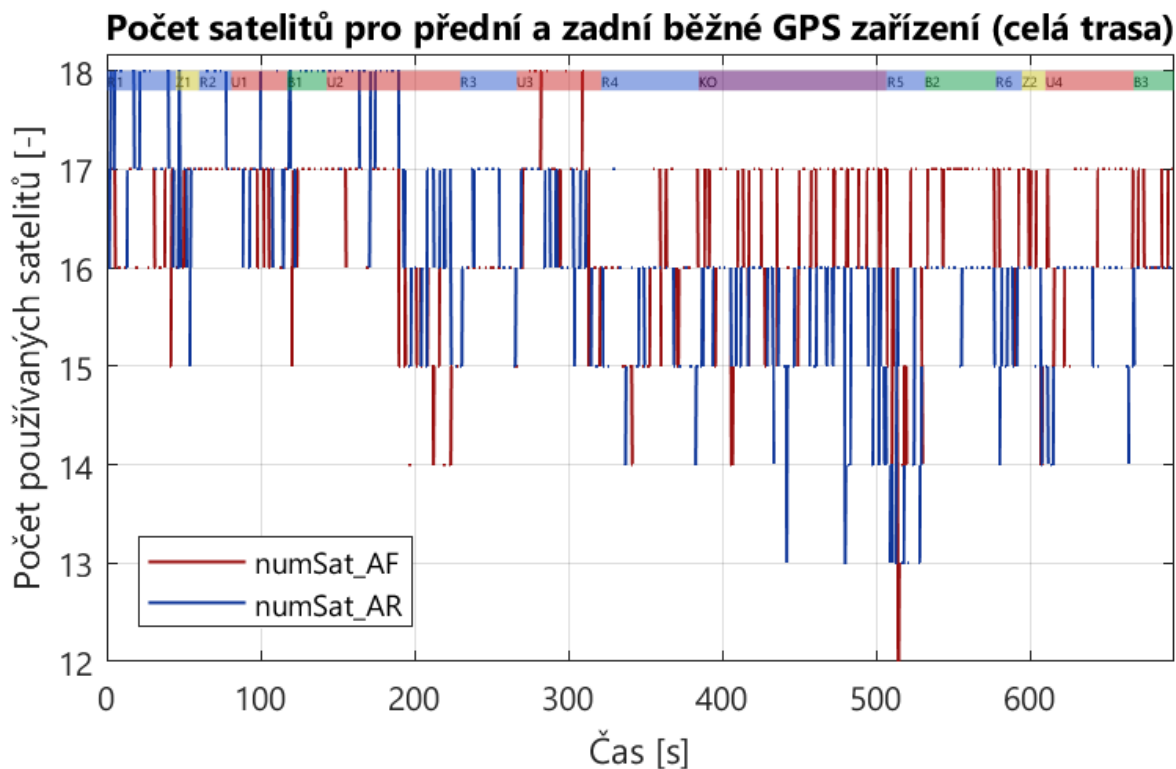


Obr. 53 Graf horizontální rychlosti pro zadní běžné GPS zařízení (celá trasa)

#### 4.5.3 POČET POUŽÍVANÝCH SATELITŮ PRO PŘEDNÍ A ZADNÍ BĚŽNÉ GPS ZAŘÍZENÍ

Graf na obr. 54 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu numSat\_AF (počet satelitů pro přední běžné GPS zařízení) a numSat\_AR (počet satelitů pro zadní běžné GPS zařízení). Počet používaných satelitů je pojem, který říká kolik používá GPS přijímač satelitů z určitého místa. Větší počet satelitů bude v místech, kde je málo překážek. Zatímco menší počet satelitů se bude nacházet v místech, kde je hodně budov nebo mostů (např. event KO). Graf na obr. 54 ukazuje závislost počtu používaných satelitů na čase pro přední a zadní běžné GPS zařízení. Na ose x je čas a na ose y počet používaných satelitů. Na obr. 54 jsou dvě křivky (červená a modrá). Červená křivka (numSat\_AF) vyjadřuje počet satelitů pro přední běžné GPS zařízení a modrá křivka (numSat\_AR) pro zadní běžné GPS zařízení. Dále na obr. 54 jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.2). Na obr. 54 je celkově 16 eventů (událostí). Eventy se dělí na roviny (R – modře), zatáčky (Z - žlutě), brždění (B – zeleně), kruhový objezd (KO – fialově) a úsek (U – červeně).

Obvykle se všechny kanály v TeleMatrixu zobrazují jako body, které jsou poté proloženy nějakou křivkou. Na obr. 54 je vidět, že aproximace jednotlivých bodů nějakou křivkou nefunguje správně. Důvodem tohoto může být nějaká chyba, která se nachází v zobrazení nastavení těchto kanálů. I přesto, že se vyhodnocená data nepřeložily křivkou, tak jde něco z toho vyčíst. V eventech R1, Z1, R2, U1, B1, U2, R3, U3 a R4 se pohybuje počet používaných satelitů od 14 do 18. V eventu KO se počet používaných satelitů pohybuje v rozmezí 13 až 17. V tomto eventu se také nachází dva propady. Důvodem těchto propadů je, že nad kruhovým objezdem jsou dva mosty, které kazí kvalitu signálu. V dalších eventech R5, B2, R6, Z2, U4 a B3 se počet používaných satelitů pohybuje v rozsahu 14 až 17 satelitů. Výjimka je event R5, kde dojde k propadu ze 17 na 12 používaných satelitů. Na obr. 54 je vidět, že počet používaných satelitů pro přední a zadní běžné GPS zařízení se mírně liší. Důvodem může být odlišné umístění nebo odlišná přesnost těchto zařízení.



Obr. 54 Graf počet používaných satelitů pro přední a zadní běžné GPS zařízení (celá trasa)

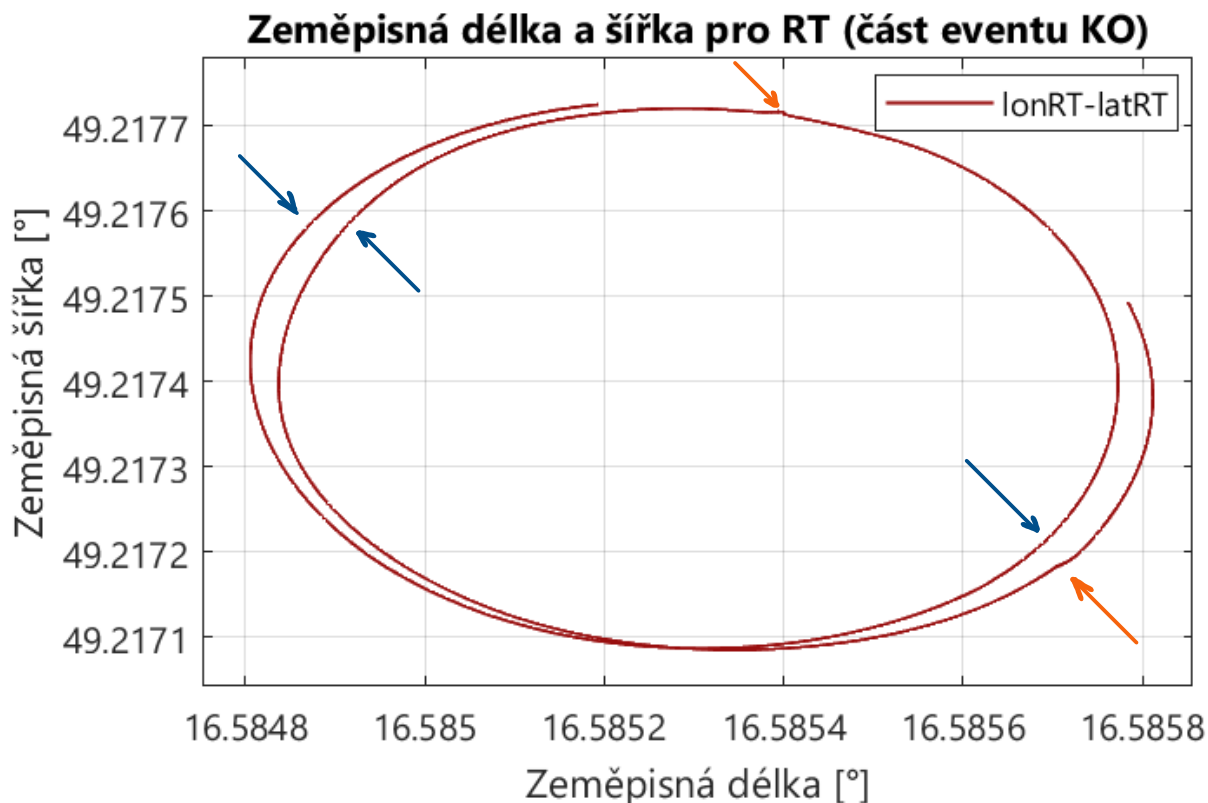
#### 4.5.4 OSTATNÍ VELIČINY PRO PŘEDNÍ A ZADNÍ BĚŽNÉ GPS ZAŘÍZENÍ

Přední i zadní běžné GPS zařízení je levný GPS systém, který nedokáže změřit tolik veličin jako RT3000 a ADMA-G-PRO+. To znamená, že přední a zadní běžné GPS zařízení má pouze základní kanály. Právě kanály pro orientaci vozidla, směrodatnou odchylku headingu (orientace vozidla) a status přesnosti pro přední a zadní běžné GPS zařízení se mezi nimi nenachází, protože běžné GPS zařízení nedokáže změřit všechny potřebné veličiny, proto aby mohly být tyto kanály vyhodnoceny pro běžné GPS zařízení.

#### 4.6 KRUHOVÝ OBJEZD (EVENT KO)

V této podkapitole se nachází popis eventu KO. Event KO je kruhový objezd, který byl s experimentálním vozidlem objet pětkrát dokola. V této podkapitole se nachází vyhodnocení tohoto eventu pomocí RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžného GPS zařízení. V této podkapitole se řeší některé kanály (např. lonRT a lat RT) a počet satelitu pro tento event KO.

Graf na obr. 55 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu lonRT (zeměpisná délka) a latRT (zeměpisná šířka). Zeměpisná šířka vyjadřuje stupně, které udávají vzdálenost na sever a jih od rovníku [37]. Zatímco zeměpisná délka měří stupně, které zobrazují vzdálenost na východ a západ od počátečního poledníku [37]. Graf na obr. 55 ukazuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce pro RT3000. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Na obr. 55 je část trasy, která byla absolvována s experimentálním vozidlem. Jedná se o část kruhového objezdu (viz obr. 36). Trasa byla změřena pomocí RT3000. Obr. 55 ukazuje jaká je kvalita signálu mezi satelity a RT3000 (červená trajektorie). Podle obr. 55 je vidět, že kvalita signálu je v některých místech špatná. Na obr. 55 je menší vychýlení červené trajektorie (označeno modrou šipkou) a větší vychýlení trajektorie (označeno oranžovou šipkou). Důvodem tohoto zhoršení signálu jsou dva mosty, které se nachází nad kruhovým objezdem.

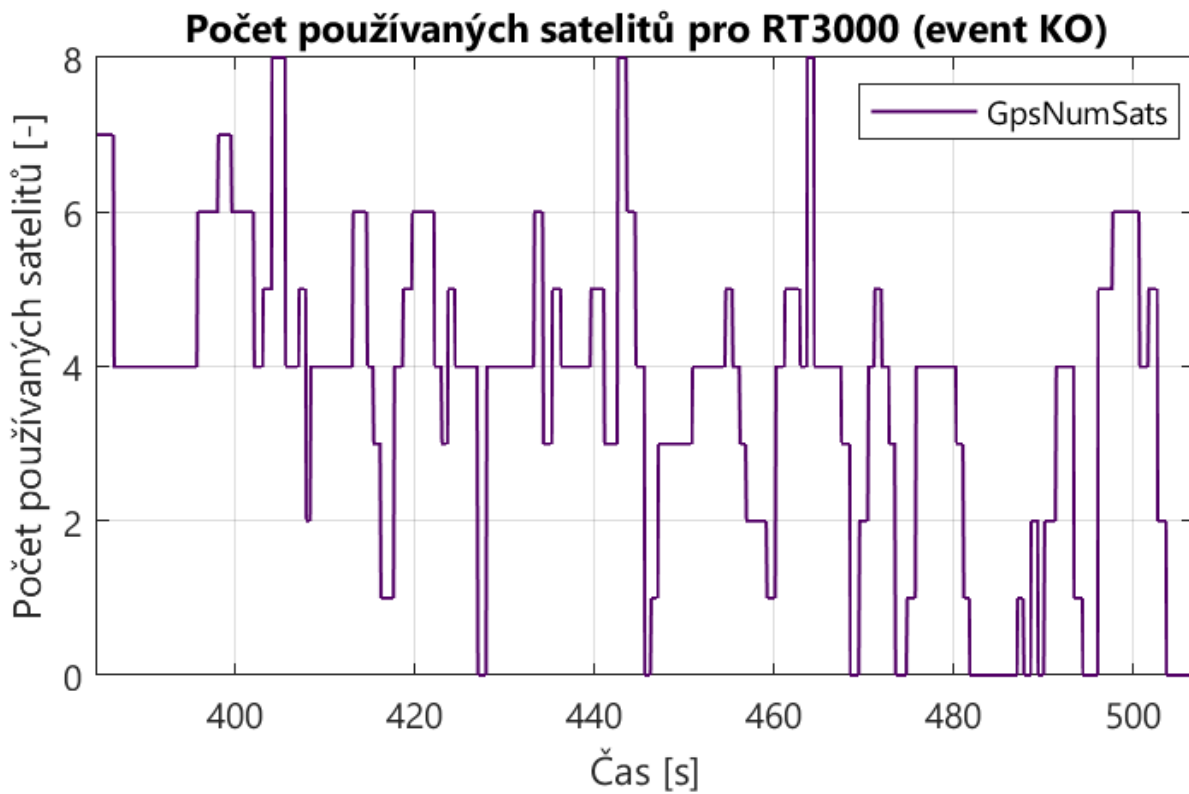


Obr. 55 Graf zeměpisné délky a šířky pro RT3000 (část eventu KO)

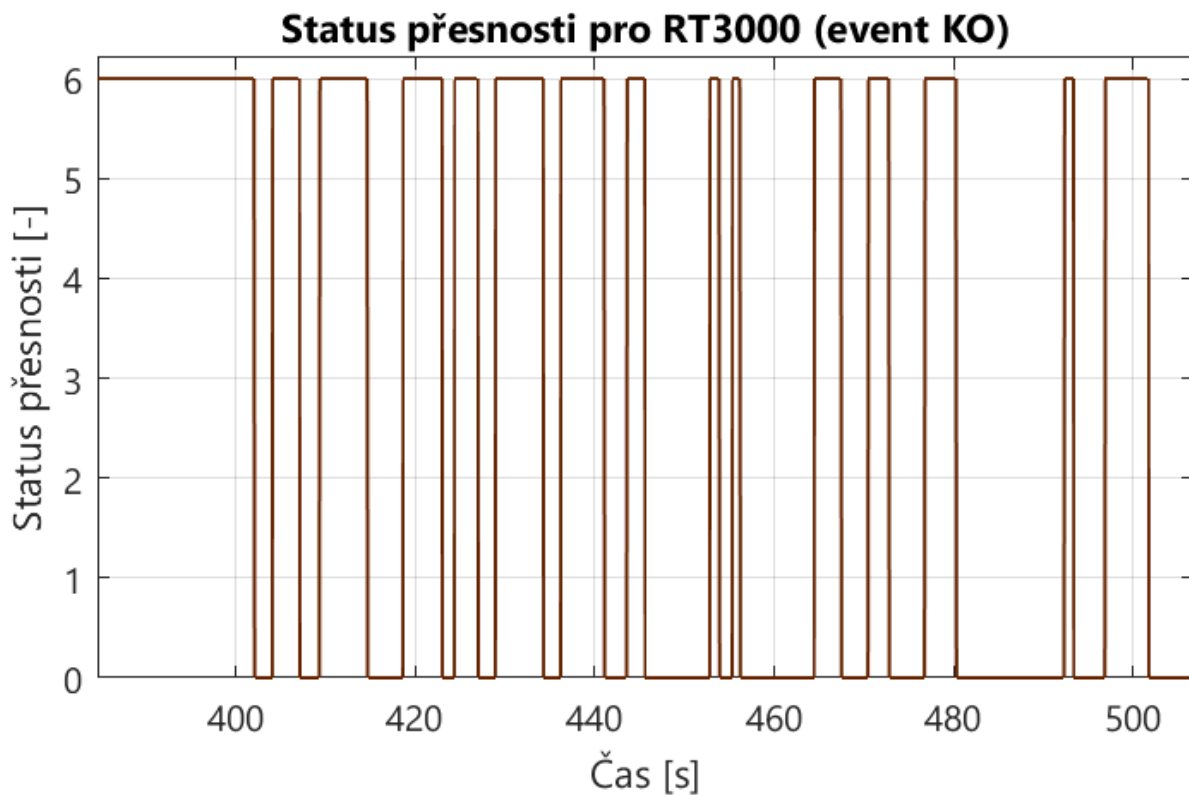
#### 4.6.1 KRUHOVÝ OBJEZD VYHODNOCENÝ POMOCÍ RT3000

Graf na obr. 56 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsNumSats (počet satelitů). Počet používaných satelitů je pojem, který říká kolik používá GPS přijímač satelitů z určitého místa. Větší počet používaných satelitů bude v místech, kde je málo překážek. Zatímco menší počet používaných satelitů se bude nacházet v místě, kde je hodně budov nebo mostů. Graf na obr. 56 ukazuje závislost počtu používaných satelitů na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y počet používaných satelitů. Na kruhovém objezdu se nachází nejméně satelitů. Je to nejhorší event, co se týče počtu používaných satelitů. Na tomto eventu se vyskytují i místa, kde se nachází nula satelitů. To znamená žádný signál. Toto je způsobené tím, že nad kruhovým objezdem se nachází dva mosty, které kazí kvalitu signálu mezi satelity a RT3000. V dalších eventech jsou lepší hodnoty a nedochází tam k takovým propadům. Důvodem toho je, že v těchto eventech je dobrý výhled GPS přijímače na oblohu (viz kapitola 4.3.3).

Graf na obr. 57 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsPosMode (status přesnosti GPS). Status přesnosti určuje míru přesnosti a spolehlivosti signálu z GPS [89]. Status přesnosti nabývá hodnot od 0 do 7. V tab.8 se nachází vysvětlení jednotlivých režimů pro status přesnosti. Hodnoty 0 až 4 znamenají, že básová stanice nekoriguje data. Důvodem těchto nízkých hodnot může být, že experimentální vozidlo je mimo dosah básové stanice. Hodnoty 5 a 6 udávají, že básová stanice počítá korekční faktor a zpřesňuje naměřená data. Na obr. 57 se nachází status přesnosti pro RT3000 (event KO). Graf na obr. 57 ukazuje závislost statusu přesnosti na čase pro RT3000. Event KO má několik propadů ze 6 na 0. Je to jeden z nejhorších eventů, co se týče statusu přesnosti. Důvodem těchto propadů jsou dva mosty, které se nachází nad kruhovým objezdem. V podkapitole 4.3.6 se nachází status přesnosti RT3000 pro celou měřenou trasu s experimentálním vozidlem.



Obr. 56 Graf počet používaných satelitů pro RT3000 (event KO)

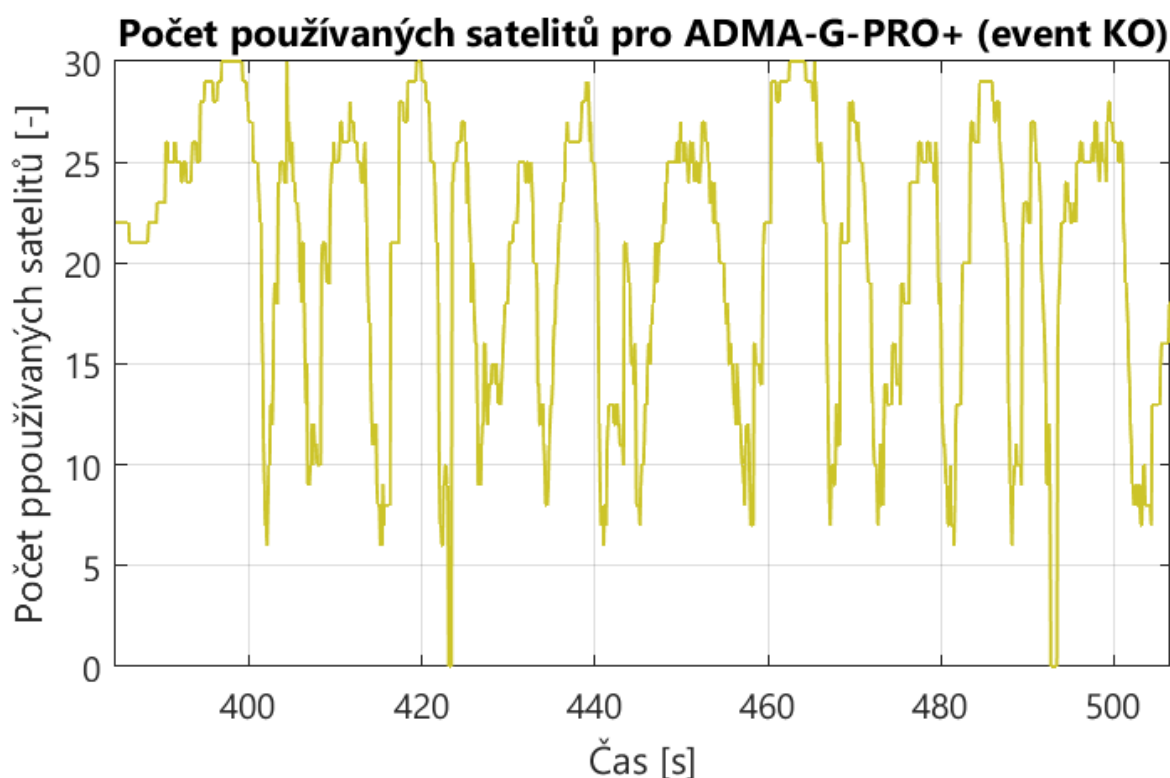


Obr. 57 Graf statusu přesnosti pro RT3000 (event KO)

#### 4.6.2 KRUHOVÝ OBJEZD VYHODNOCENÝ POMOCÍ ADMA-G-PRO+

Zeměpisná délka a šířka pro GNSS a INS (kruhový objezd) se nachází v podkapitole 4.4.1. V této podkapitole se také nachází rozdíl mezi GNSS a INS. Graf na *obr. 58* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu Gps\_Sats\_Used (počet používaných satelitů). Počet používaných satelitů je pojem, který říká kolik GPS přijímač používá satelitů z určitého místa. Větší počet satelitů bude v místech, kde je málo překážek. Zatímco menší počet satelitů se bude nacházet v místě, kde je hodně budov nebo mostů (např. event KO). Graf na *obr. 58* ukazuje závislost počtu použitých satelitů na čase pro ADMA-G-PRO+. Na ose x je čas a na ose y počet používaných satelitů.

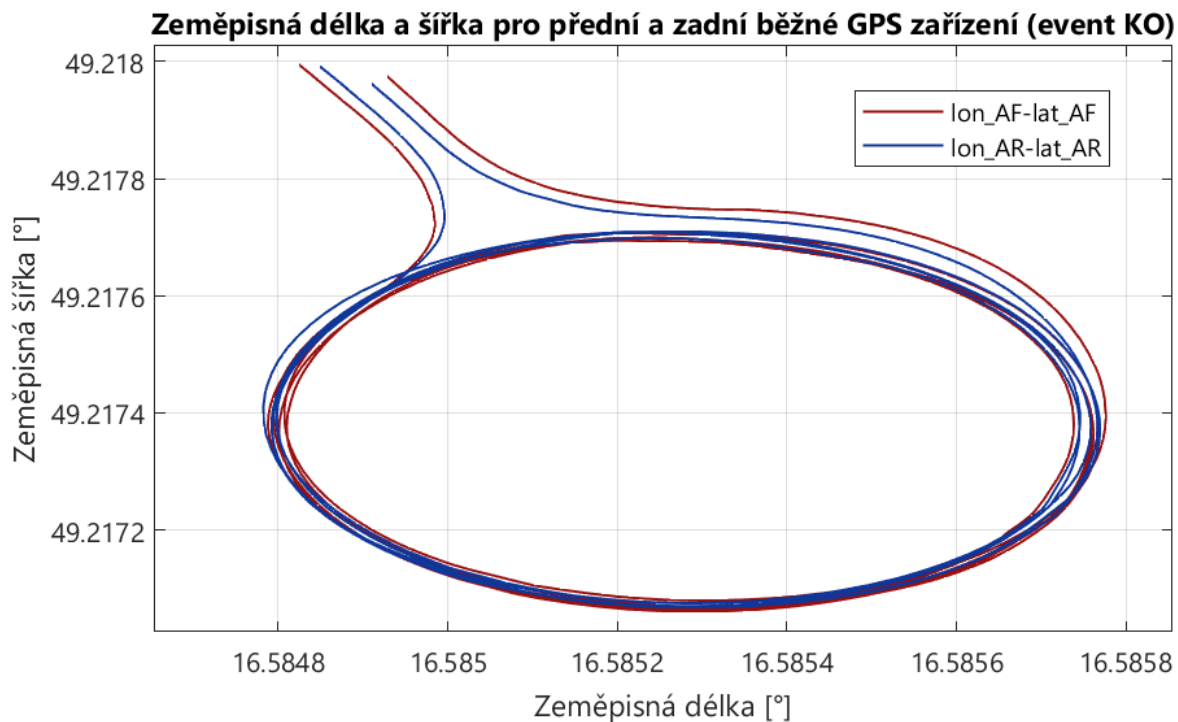
Event KO je nejhorší event, protože tam jsou největší skoky. V tomto eventu je i propad z 30 na 0 satelitů. Tyto propady jsou způsobené tím, že nad kruhovým objezdem se nachází dva mosty, které ruší signál. Podle *obr. 58* je vidět, že ADMA-G-PRO+ má více používaných satelitů a nemá tolik propadů na 0 satelitů jako RT3000 v eventu KO. Ostatní eventy nemají takové propady a mají více používaných satelitů (viz kapitola 4.4.3).



*Obr. 58* Graf počet používaných satelitů pro ADMA-G-PRO+ (event KO)

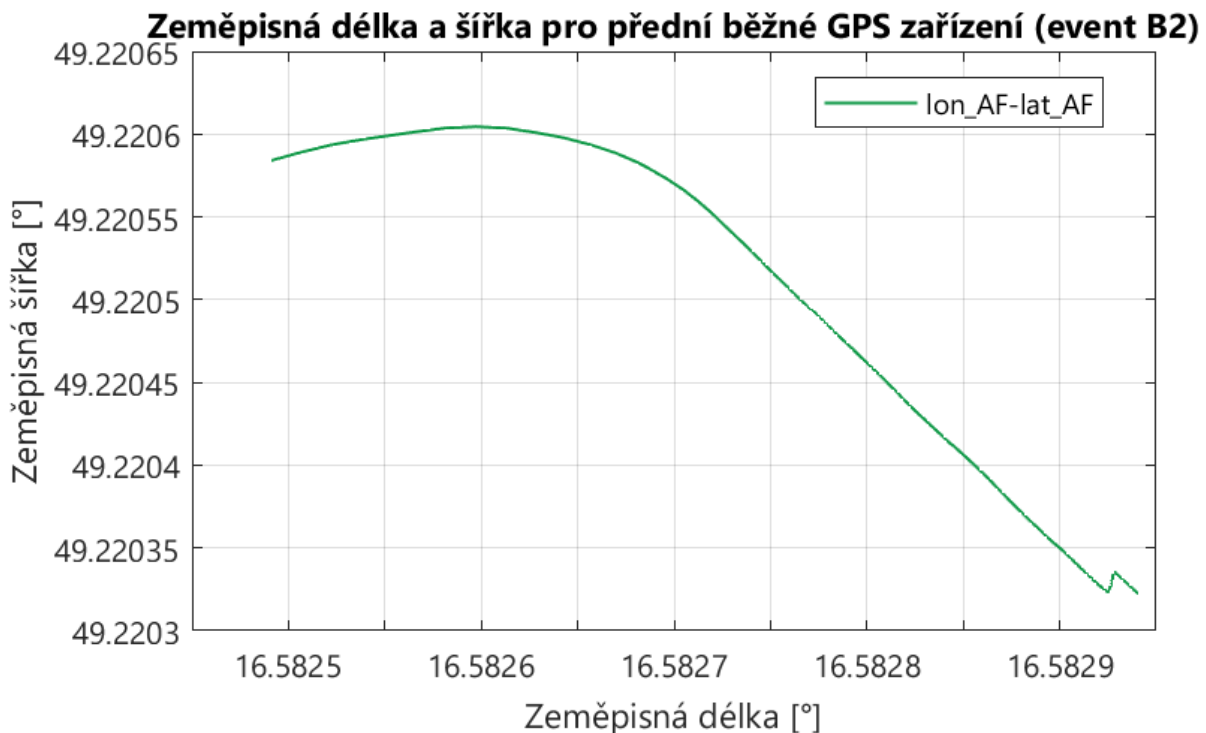
#### 4.6.3 KRUHOVÝ OBJEZD VYHODNOCENÝ POMOCÍ PŘEDNÍHO A ZADNÍHO BĚŽNÉHO GPS

Graf na *obr. 59* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálů lon\_AF, lat\_AF, lon\_AR a lat\_AR. Pomocí kanálů lon\_AF a lat\_AF byla vytvořena červená trajektorie (přední běžné GPS zařízení). Druhá modrá trajektorie byla vytvořena pomocí lon\_AR a lat\_AR. Graf na *obr. 59* ukazuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce pro obě běžné GPS zařízení. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Na *obr. 59* se nachází kruhový objezd, který byl absolvován s experimentálním vozidlem (viz *obr. 36*). Podle *obr. 59* je vidět, že kvalita signálu se pro přední a zadní běžné GPS zařízení mírně liší. Důvodem tohoto může být odlišné umístění ve vozidle a také odlišná přesnost těchto zařízení.



Obr. 59 Graf zeměpisné délky a šířky pro přední a zadní běžné GPS zařízení (event KO)

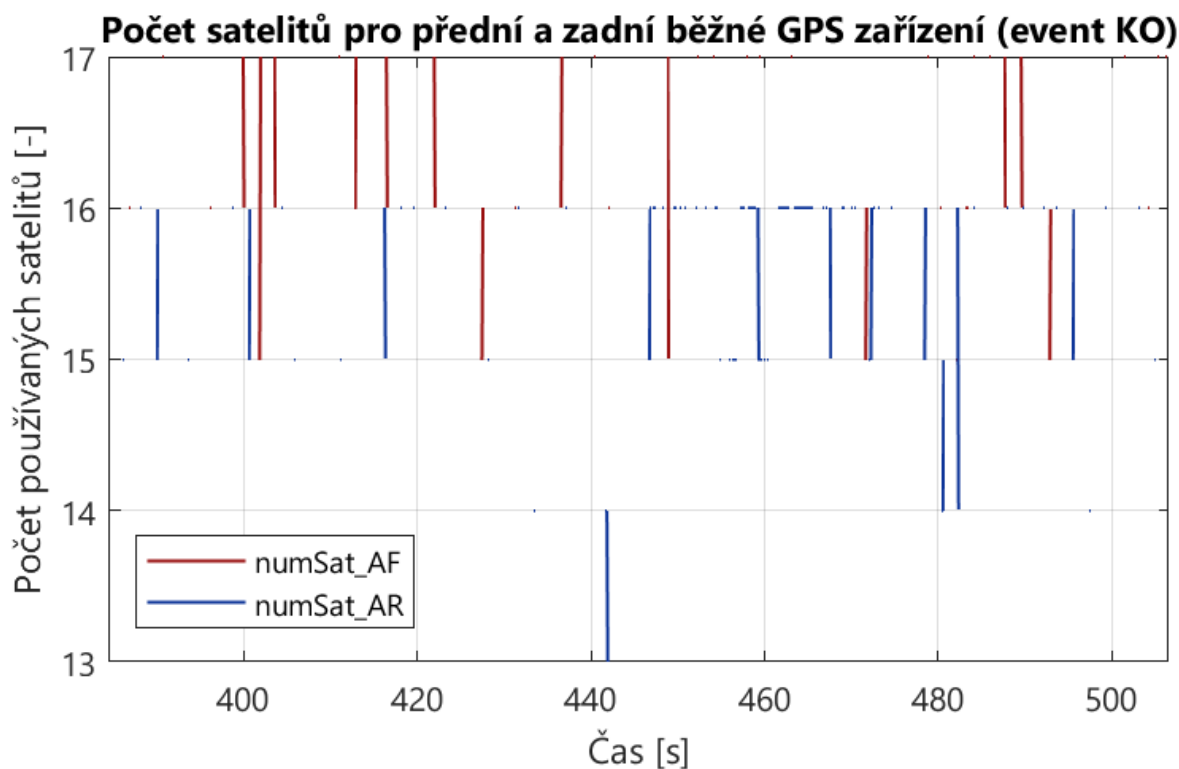
Na obr. 60 se nachází zeměpisná délka a šířka pro přední běžné GPS zařízení (event B2). V tomto eventu je vidět vychýlení zelené trajektorie signálu, což znamená, že v tomto místě je špatný signál. Důvodem špatného signálu v eventu B2 je zpomalení kvůli odbočení na vedlejší silnici. Zeměpisná délka a šířka pro celou trasu se nachází v podkapitole 4.5.1.



Obr. 60 Graf zeměpisné délky a šířky pro přední běžné GPS zařízení (event B2)



Graf na *obr. 61* byl vytvořen pomocí kanálů `numSat_AF` a `numSat_AR`. Počet satelitů je pojem, který říká kolik používá GPS přijímač satelitů z určitého místa. Graf na *obr. 61* ukazuje závislost počtu satelitů na čase pro přední a zadní běžné GPS zařízení (event KO). Na ose x je čas a na ose y počet používaných satelitů. Na *obr. 61* jsou dvě křivky (červená a modrá). Červená křivka (`numSat_AF`) vyjadřuje počet satelitů pro přední běžné GPS zařízení a modrá křivka (`numSat_AR`) pro zadní běžné GPS zařízení. Na *obr. 61* je vidět, že nefunguje aproximace bodů křivkou kvůli špatnému nastavení zobrazení kanálu (viz kapitola 4.5.3).



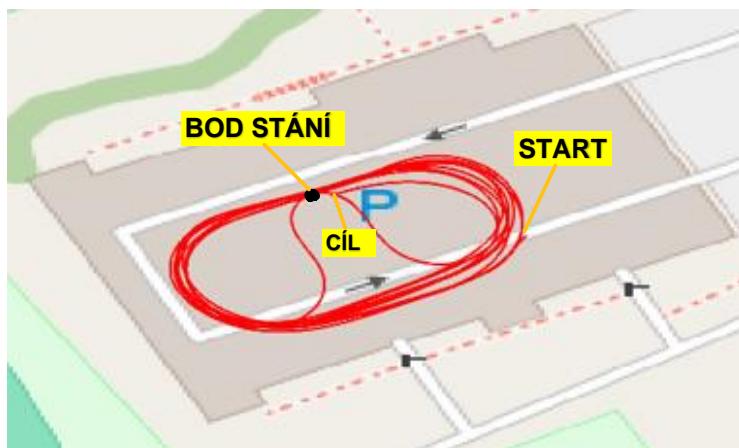
*Obr. 61* Graf počet používaných satelitů pro přední a zadní běžné GPS zařízení (event KO)

#### 4.7 TRASA NAMĚŘENÝCH DAT NA PARKOVIŠTI VUT S KOREKČÍ

V této podkapitole se nachází trasa, která byla absolvovaná s experimentálním vozidlem. Jedná se o měření trasy, které probíhalo na parkovišti v areálu VUT (viz *obr. 62*). Tato trasa byla změřena pomocí RT3000 s korekcí (bázová stanice byla zapnuta). V této podkapitole se nachází vyhodnocení dat pomocí RT3000 s korekcí. Měření se uskutečnilo na prázdném parkovišti, kde se prováděly různé manévry (viz *obr. 62*). Na parkovišti se udělalo několik podobných otoček s vozidlem. Po každé otočce se vozidlo zastavilo a znovu se rozjelo.

Na *obr. 62* se nachází začátek a konec naměřené trasy, které probíhalo s korekcí. Dále na *obr. 62* je vidět bod stání, který označuje místo, kde vozidlo vždycky zastaví a znovu se rozjede a poté, co udělá otočku, tak se zase zastaví v tomto bodě.

Dalším cílem bylo rozdělit naměřenou trasu na několik částí. Rozdělení trasy se provedlo v Matlabu (TeleMatrix) pomocí eventů. Rozdělení naměřené trasy na několik částí se udělalo podle *obr. 64*, kde se nachází změřená trasa, která byla absolvována s vozidlem. V *obr. 64* se označila vždycky nějaká část naměřené trasy. Poté se na této označené trase vytvořil event. Celkově na této naměřené trase bylo vytvořeno 22 eventů (viz kapitola 4.7.1).

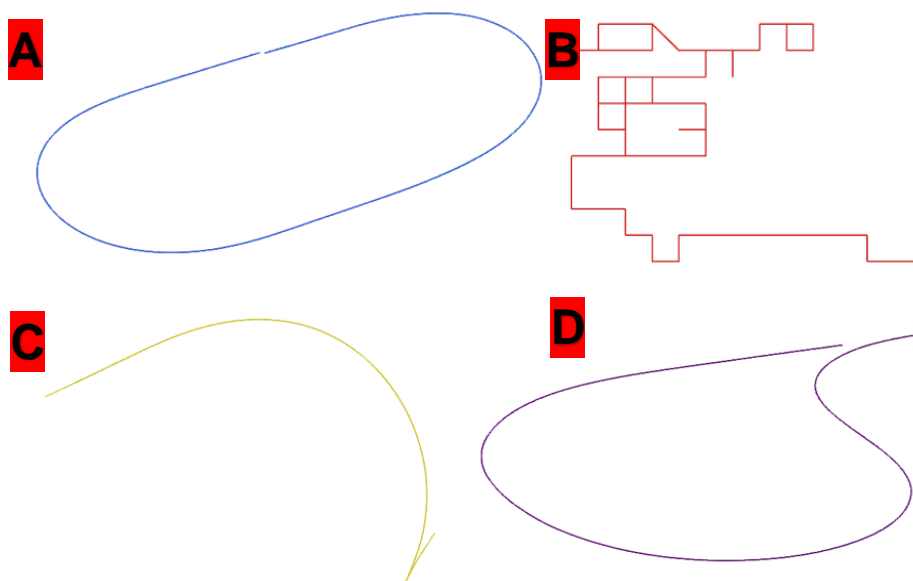


Obr. 62 Naměřená trasa na parkovišti v areálu VUT s korekcí [93]

#### 4.7.1 EVENTY NA TRASE NAMĚŘENÝCH DAT NA PARKOVIŠTI VUT S KOREKCI

Prvně byl vytvořen graf (viz obr. 64) pomocí kanálů lonRT (zeměpisná délka) a latRT (zeměpisná šířka). Graf na obr. 64 vyjadřuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce. Poté v tomto grafu byla označena nějaká část naměřené trati. Na této označené části byl vytvořen event. Například se označil úsek O1 (viz obr. 63). Poté se vytvořil event (událost) v TeleMatrixu. První event obsahuje část naměřené trati O1. Takhle se postupně vytvořilo všech 22 eventů, které dávají dohromady celou naměřenou trasu.

Naměřená trasa je rozdělena na 22 částí. Měřená trasa byla rozdělena na otočky, stání, půl otočku a manévry. Na celé měřené trati se nachází jedenáct stání (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11), jedna půl otočka (P1), osm celých otoček (O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8) a dva manévry (M1, M2). Vlevo nahoře na obr. 63 se nachází event O1. Zbytek eventů O je hodně podobných jako event O1. Vpravo nahoře je vidět signál eventu S4, který je velice špatný. Důvodem špatného signálu je, že vozidlo stojí na místě a GPS systém nemůže najít svoji přesnou polohu. To znamená, že ve všech eventech S je signál špatný. Dále vlevo dole na obr. 63 se nachází event P1 a vpravo dole je vidět manévr M1.

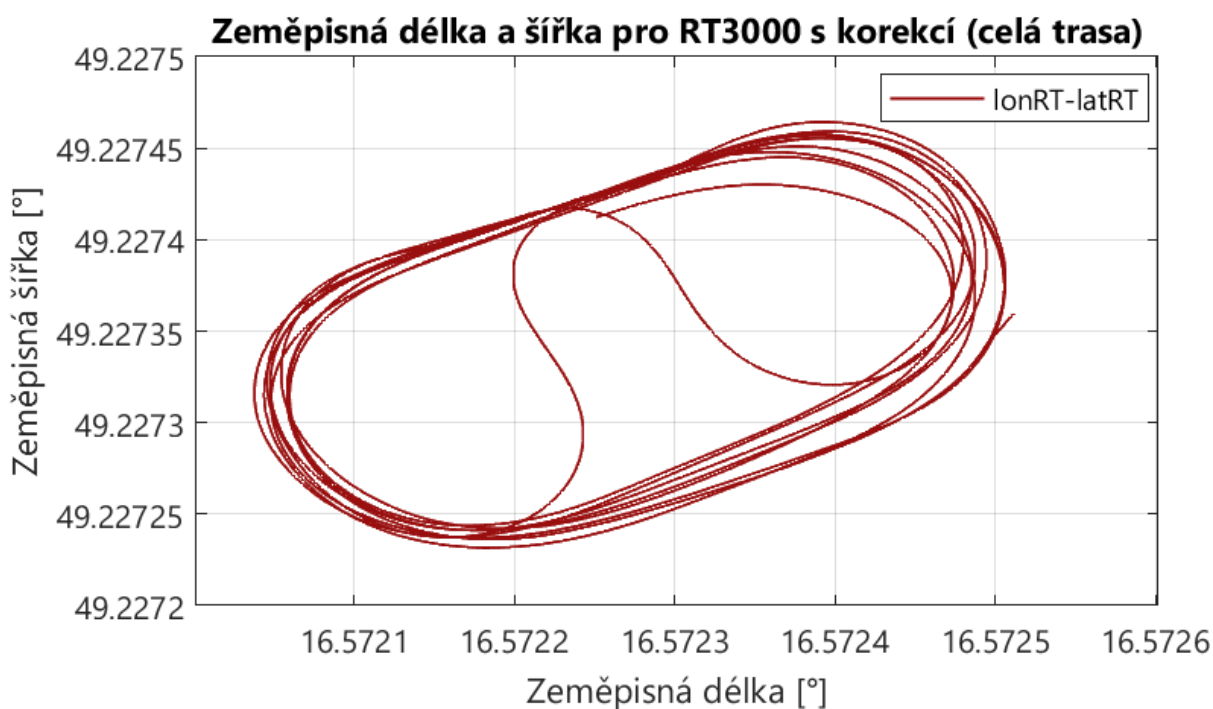


Obr. 63 A) Event O1, B) Event S4, C) Event P1, D) Event M1

#### 4.7.2 ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA A DÉLKA PRO RT3000 S KOREKČÍ

Graf na *obr. 64* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu lonRT (zeměpisná délka) a latRT (zeměpisná šířka). Zeměpisná šířka vyjadřuje stupně, které udávají vzdálenost na sever a jih od rovníku [37]. Zatímco zeměpisná délka měří stupně, které zobrazují vzdálenost na východ a západ od počátečního poledníku [37].

Graf na *obr. 64* ukazuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce pro RT3000. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Na *obr. 64* je trasa, která byla absolvována s experimentálním vozidlem. Jedná se o jízdu na parkovišti v areálu VUT (viz *obr. 62*). Trasa byla změřena pomocí RT3000 s korekcí (bázová stanice zapnuta). *Obr. 64* ukazuje jaká je kvalita signálu mezi satelity a RT (červená trajektorie). Podle *obr. 64* je vidět, že kvalita signálu je dobrá, protože nedochází k žádným výpadekům ani nepřesnostem během jízdy. V podkapitole 4.7.1 je vidět, že kvalita signálu je v eventech S velice špatná (viz *obr. 63*). Důvodem špatného signálu v těchto eventech je, že vozidlo stojí na místě a GPS systém nemůže kvůli tomu najít svoji přesnou polohu. Důvodem kvalitního signálu na *obr. 64* je vzdálenější pohled na měřenou trasu. Při bližším pohledu např. na event S4 je vidět vychýlení červené trajektorie signálu, což znamená horší kvalitu signálu mezi satelity a RT (viz *obr. 63*).

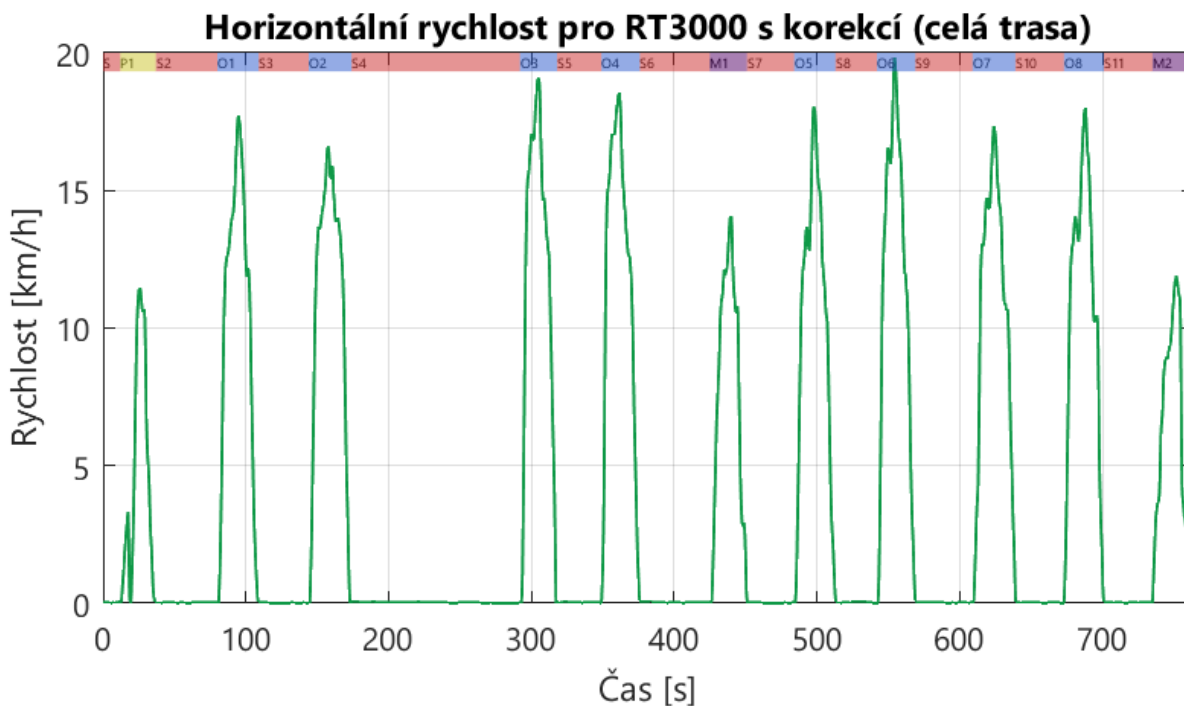


*Obr. 64* Graf zeměpisné délky a šířky pro RT3000 s korekcí (celá trasa)

#### 4.7.3 HORIZONTÁLNÍ RYCHLOST PRO RT3000 S KOREKČÍ

Graf na *obr. 65* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu vHRT (horizontální rychlost RT3000). Rychlost je veličina, která říká, jak se mění pozice tělesa v čase. Graf na *obr. 65* ukazuje závislost rychlosti na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y rychlost. Čas je v sekundách a rychlost v kilometrech za hodinu. Dále na *obr. 65* jsou vidět jednotlivé eventy (viz kapitola 4.7.1). Na *obr. 65* je celkově 22 eventů. Eventy se dělí na půl otočky (P – žlutě), stání (S – červeně), otočky (O – modře) a manévry (M – fialově).

V eventech S (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 a S11) došlo k úplnému zastavení. To znamená, že v těchto eventech je rychlost 0 km/h. Dále v eventech O (O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7 a O8) prvně dochází k zrychlení na maximální rychlost a pak k prudkému zabrzdění. Například event O1, kde nejprve vozidlo zrychlí z 0 km/h na 17 km/h (maximální rychlost tohoto eventu). Poté z této maximální rychlosti zpomalí na 0 km/h. Ve všech ostatních eventech O je to hodně podobné, akorát se liší maximální rychlostí v těchto eventech. V eventech P1, M1 a M2 je to také hodně podobné jako v eventech O. Nejprve se zrychlí a poté se zpomalí.

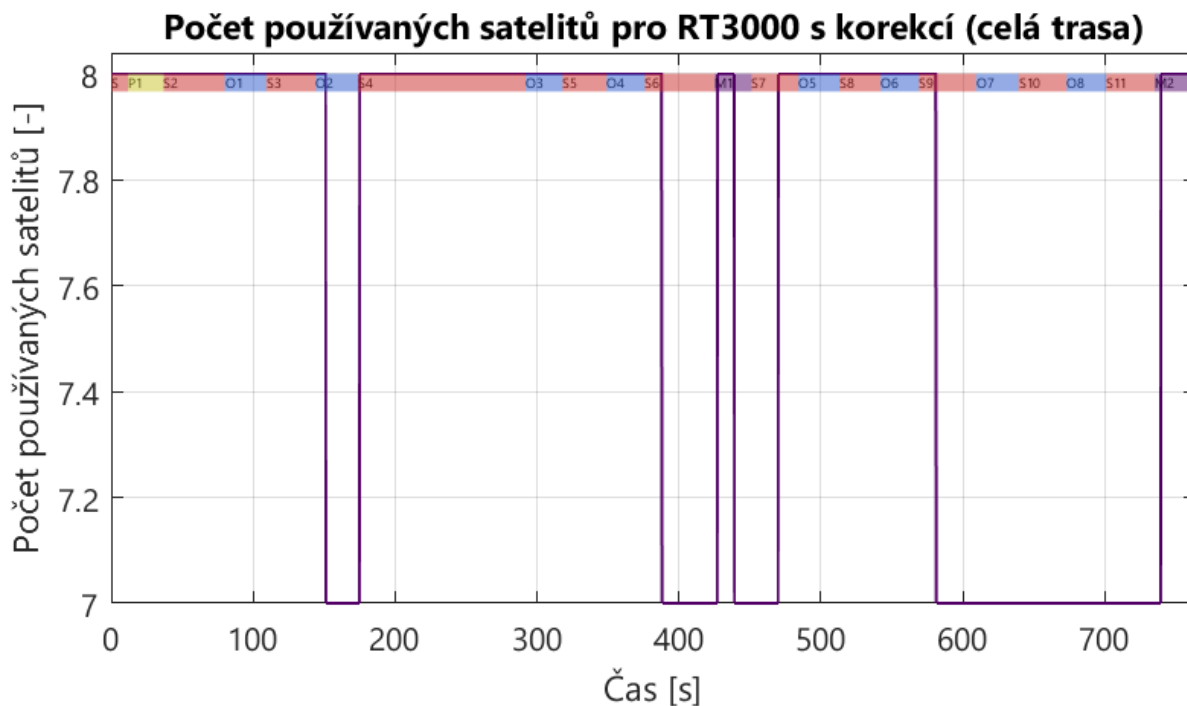


Obr. 65 Graf horizontální rychlosti pro RT3000 s korekcí (celá trasa)

#### 4.7.4 POČET POUŽÍVANÝCH SATELITŮ PRO RT3000 S KOREKČÍ

Graf na obr. 66 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsNumSats (počet používaných satelitů). Počet používaných satelitů je pojem, který říká kolik používá GPS přijímač satelitů z určitého místa. Větší počet používaných satelitů bude v místech, kde je málo překážek. Zatímco menší počet používaných satelitů se bude nacházet v místě, kde je hodně budov nebo mostů. Graf na obr. 66 ukazuje závislost počtu používaných satelitů na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y počet používaných satelitů. Dále na obr. 66 je celkově 22 eventů. Eventy se dělí na půl otočky (P – žlutě), stání (S – červeně), otočky (O – modře) a manévry (M – fialově).

Na měřené trati se vyskytuje 7 nebo 8 satelitů. V eventech S1, P1, S2, O1 a S3 je v každé části těchto eventů 8 satelitů. První propad z 8 satelitů na 7 se nachází v eventu O2. V dalších eventech S4, O3, S5, O4 je zase 8 satelitů. V eventech S6, M1 a S7 dojde k propadu na 7 satelitů (event S6), poté se to zase zlepší na 8 satelitů (event M1) a nakonec dojde zase k propadu na 7 satelitů (event S7). V dalších eventech O5, S8 a O6 je počet satelitů zase 8. V eventech S9, O7, S10, O8 a S11 dojde k zhoršení na 7 satelitů. V posledním eventu M2 se zase počet satelitů zlepší na 8. Důvodem propadu na obr. 66 může být nějaká překážka, která kazí dobrý výhled na oblohu (např. strom nebo most).



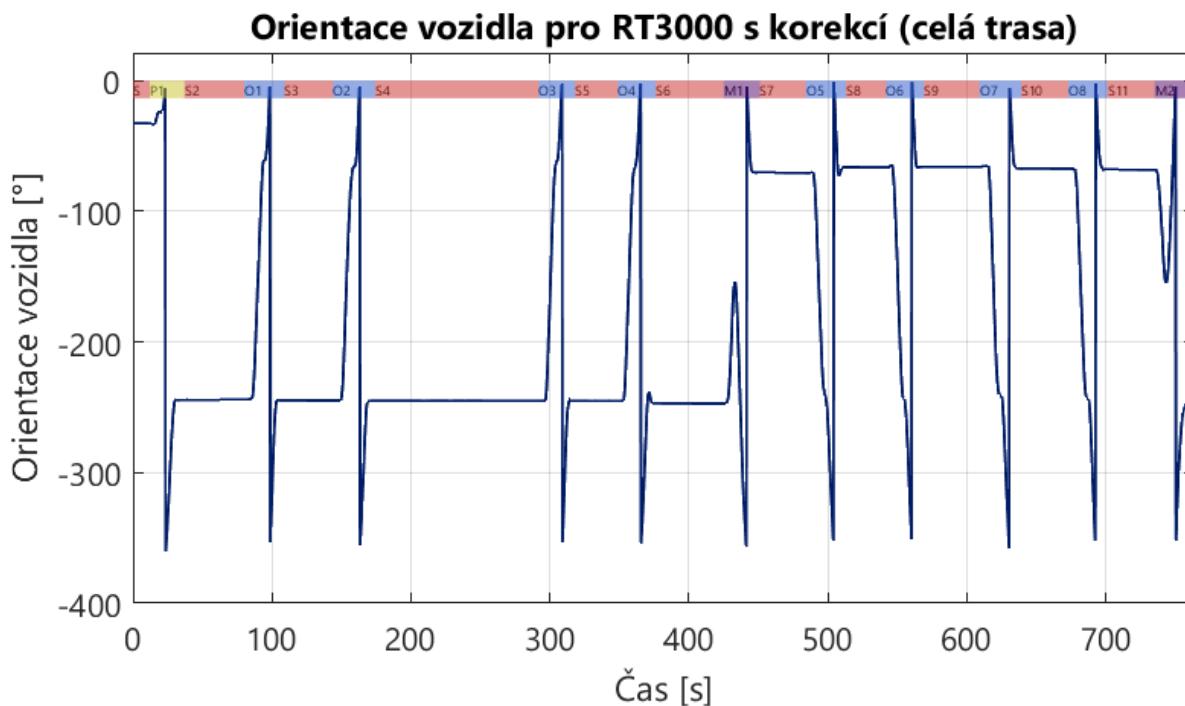
Obr. 66 Graf počet používaných satelitů pro RT3000 s korekcí (celá trasa)

#### 4.7.5 ORIENTACE VOZIDLA (HEADING) PRO RT3000 S KOREKCÍ

Graf na obr. 67 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu headingRT (orientace vozidla). Heading (orientace vozidla) je termín, který se používá k označení směru jízdy [89]. Orientace (heading) vyjadřuje směr, kterým se pohybuje experimentální vozidlo. Jedná se o souřadný systém, který má pevný bod. Od tohoto pevného bodu se heading změní podle toho, jak se mění směr jízdy vozidla. Heading se měří ve stupních. Stupně se pohybují od  $0^\circ$  (sever) přes  $90^\circ$  (východ),  $180^\circ$  (jih) až po  $270^\circ$  (západ) a pak zpět na  $360^\circ$  v souřadném systému [89]. Graf na obr. 67 ukazuje závislost orientace vozidla na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y orientace vozidla. Dále na obr. 67 je celkově 22 eventů. Eventy se dělí na půl otočky (P – žlutě), stání (S – červeně), otočky (O – modře) a manévry (M – fialově).

V eventech S (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 a S11) se orientace vozidla mění minimálně (malé výchylky). Důvodem tohoto je, že v těchto eventech S vozidlo stojí na místě a nepohybuje se. To znamená, že se nemění směr jízdy vozidla. V eventu P1 se změní orientace vozidla kvůli půl zatáčce. V eventech O1, O2, O3 a O4 dojde k podobné změně headingu. V těchto eventech se změní heading z  $5^\circ$  na  $354^\circ$ . Důvodem této změny je otočka s vozidlem. V eventu M1 taky dojde ke změně orientaci vozidla. Důvodem této změny je manévr, který je na obr. 63. V dalších eventech O5, O6, O7 a O8 dochází také ke změně orientace vozidla. V těchto eventech se orientace vozidla změní z  $358^\circ$  na  $8^\circ$ . V těchto eventech je opačný směr jízdy (otočky) jako v eventech O1, O2, O3, O4. V posledním eventu M2 dochází ke změně orientace vozidla kvůli podobnému manévru, který je na obr. 63.

V obr. 67 je vidět, že orientace je v záporných stupních. Důvodem záporných stupňů je, že je tento kanál takovýmto způsobem použit dále pro výpočty v multibody systému experimentálního vozidla, ale význam orientace vozidla to nemění. Z grafu na obr. 67 vyplývá, že orientace vozidla se mění pouze v eventech, kde je nějaká změna směru jízdy.

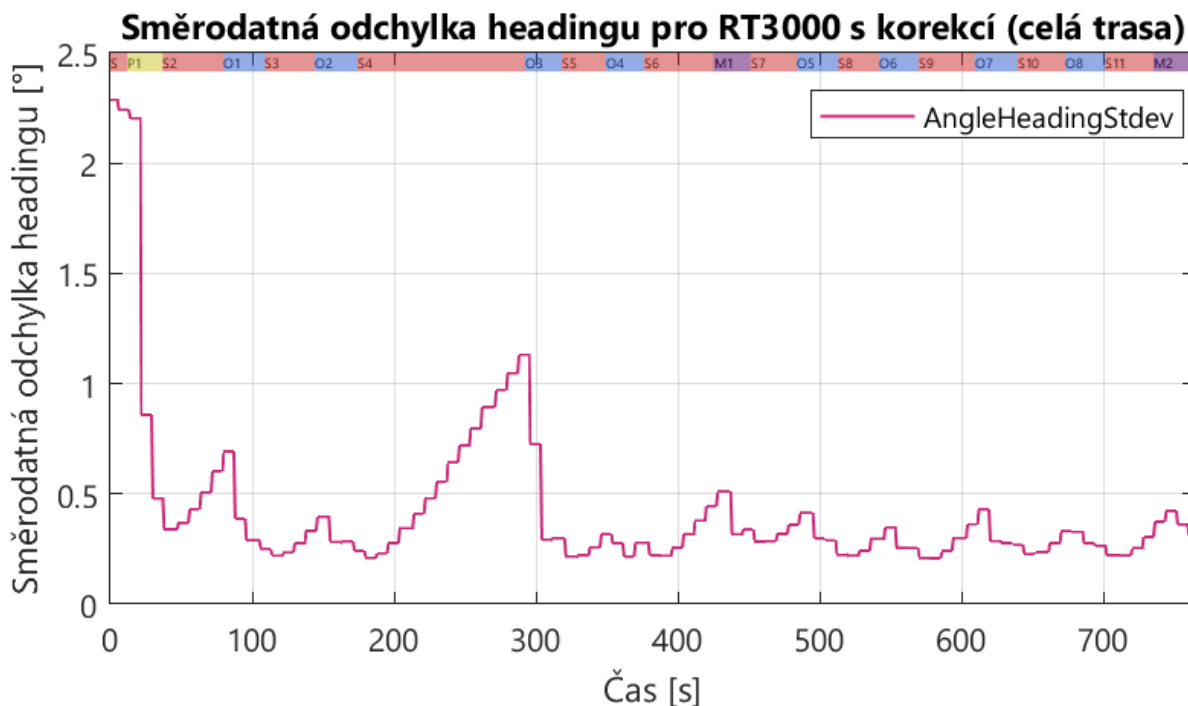


Obr. 67 Graf orientace vozidla pro RT3000 s korekcí (celá trasa)

#### 4.7.6 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA HEADINGU PRO RT3000 S KOREKCÍ

Graf na obr. 68 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu AngleHeadingStdev (směrodatná odchylka headingu). Heading (orientace vozidla) je termín, který se používá k označení směru jízdy [89]. Orientace (heading) vyjadřuje směr, kterým se pohybuje experimentální vozidlo (viz kapitola 4.7.5). Směrodatná odchylka headingu určuje rozptyl směru, kterým se vozidlo pohybuje. Udává také měřítko, jak moc se tento směr může lišit od skutečného směru [89]. To znamená, čím menší je směrodatná odchylka, tím přesnější je GPS systém. Zatímco větší směrodatná odchylka znamená horší přesnost. Graf na obr. 68 ukazuje závislost směrodatné odchylky headingu na čase pro RT3000. Na ose x je čas a na ose y směrodatná odchylka headingu. Čas je v sekundách a směrodatná odchylka headingu ve stupních. Dále na obr. 68 je celkově 22 eventů. Eventy se dělí na půl otočky (P – žlutě), stání (S – červeně), otočky (O – modře) a manévry (M – fialově).

V eventech S1 a P1 se nachází nejhorší hodnota směrodatné odchylky headingu pro celou měřenou trasu ( $2,228^\circ$ ). V eventu P1 se tato hodnota zlepšila na  $0,481^\circ$ . Důvodem horších hodnot na začátku měřené trasy je, že se GPS systém inicializuje (chvilku potrvá, než bude měřit přesně). Dále v eventech S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 a S11 dojde k zhoršení směrodatné odchylky headingu. Důvodem tohoto zhoršení v těchto eventech je, že vozidlo stojí na místě a kvůli tomu GPS systém nemůže najít svoji přesnou polohu. Podle obr. 68 je vidět, že čím déle stojíme na místě, tím více stoupá směrodatná odchylka headingu. Toto je vidět v eventu S4, což je nejdelší úsek, co se týče stání na místě. V tomto eventu hodnota směrodatné odchylky headingu stoupne z  $0,210^\circ$  na  $1,132^\circ$ . V eventu S2, kde je kratší stání na místě. V tomto eventu hodnota směrodatné odchylky headingu stoupne z  $0,340^\circ$  na  $0,692^\circ$ . V dalších eventech O1, O2, O3, O4, M1, O5, O6, O7, O8 a M2 jsou dobré hodnoty směrodatné odchylky headingu. V těchto eventech se směrodatná odchylka headingu zlepšila díky tomu, že vozidlo je v pohybu. Hodnoty v těchto eventech se pohybují mezi  $0,217^\circ$  až  $0,320^\circ$ . V těchto místech je dobrá přesnost, protože je zde nízká směrodatná odchylka headingu (orientace vozidla).



Obr. 68 Graf směrodatné odchylny headingu pro RT3000 s korekcí (celá trasa)

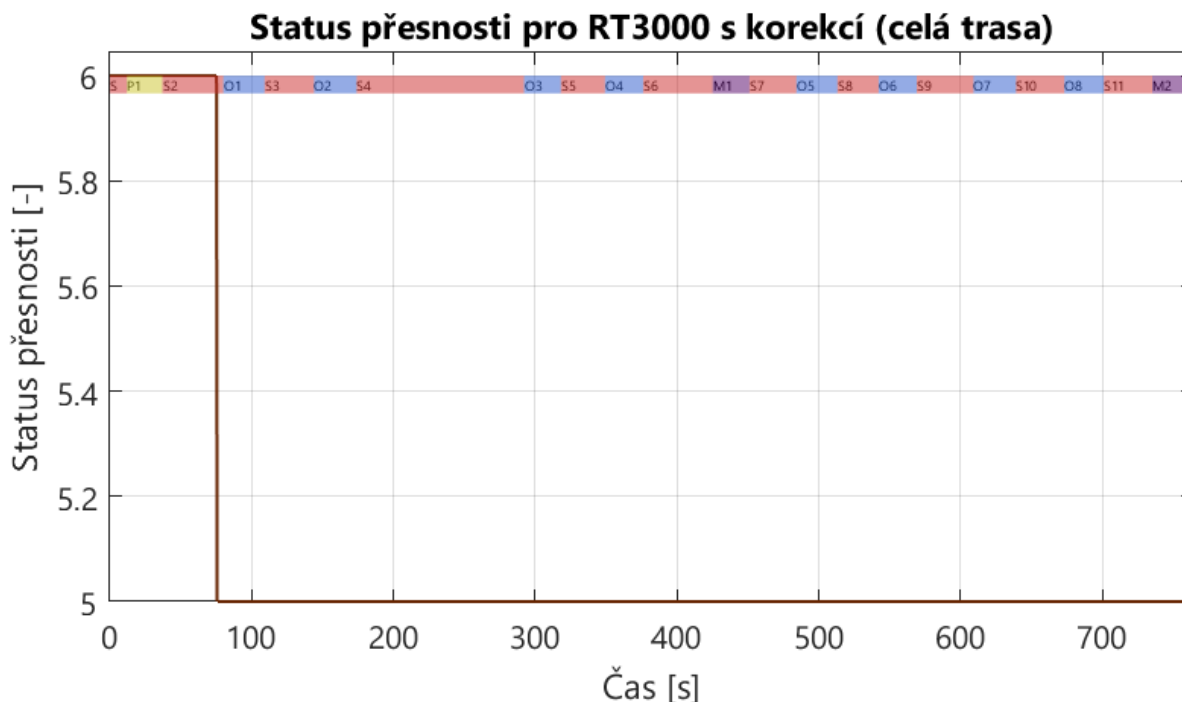
#### 4.7.7 STATUS PŘESNOSTI PRO RT3000 S KOREKCÍ

Graf na obr. 69 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsPosMode (status přesnosti GPS). Status přesnosti určuje míru přesnosti a spolehlivosti signálu z GPS [89]. Status přesnosti nabývá hodnot od 0 do 7. Čím nižší je hodnota, tím je přesnost nižší. Zatímco vyšší hodnota znamená lepší spolehlivost a přesnost. Když se v obr. 69 vyskytují hodnoty 0 až 4, tak to znamená, že básová stanice nekoriguje data. Důvodem těchto nízkých hodnot může být, že vozidlo je mimo dosah básové stanice. Pokud se v obr. 69 objevují hodnoty 5 a 6, tak to značí, že básová stanice počítá korekční faktor a zpřesňuje naměřená data. V tab. 8 se nachází vysvětlení všech hodnot, které může mít status přesnosti (viz kapitola 4.3.6)

Podle obr. 69 je vidět, že na celé naměřené trase se nachází pouze hodnoty statusu přesnosti 5 a 6. Hodnota statusu 5 značí, že při měření GPS byly použity diferenciální korekce (opravy dat) nosné fáze L1, které poskytly řešení nejasností (RTK) [89]. Zatímco hodnota statusu 6 značí, že při měření GPS byly použity diferenciální korekce L1/L2 s nosnou fází, která poskytla řešení s celočíselnou nejasností (RTK) [89]. Real – time kinematic (RTK) využívá korekčního signálu k okamžitému výpočtu měření DGPS (diferenciální GPS) [61]. RTK dokáže zlepšit přesnost až na 1 centimetr [54].

V eventech S1, P1 a S2 je status přesnosti 6. Na konci eventu S2 se status přesnosti změní z 6 na 5. Důvodem této změny může být nějaká překážka mezi básovou stanicí a GPS přijímačem. V dalších eventech O1, S3, O2, S4, O3, S5, O4, S6, M1, S7, O5, S8, O6, S9, O7, S10, O8, S11 a M2 je status přesnosti 5. Pokud status přesnosti nabývá hodnot 5 a 6, tak to znamená, že básová stanice koriguje chyby jako na obr. 69.

Podle obr. 69 je vidět, že parkoviště se nachází na místě, kde je málo překážek a blízko básové stanice, protože na obr. 69 není žádný propad na 0, což značí žádný signál. Například v podkapitole 4.3.6 je vidět, že status přesnosti má i hodnotu 0 kvůli mostům nad KO.

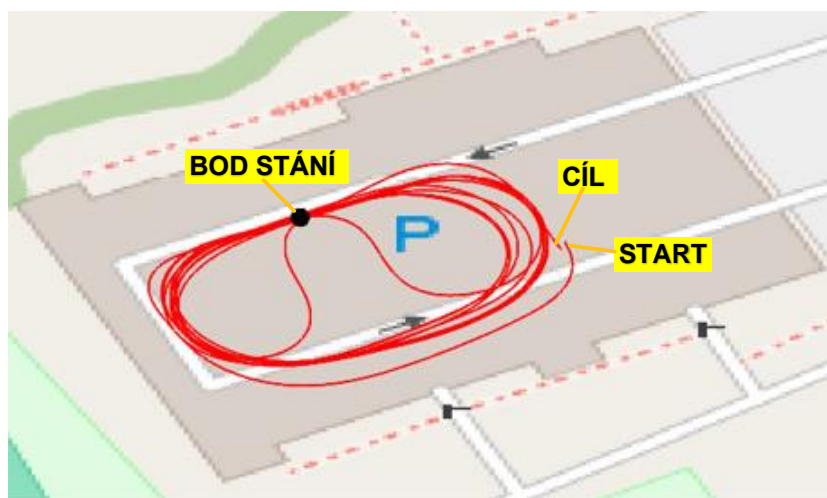


Obr. 69 Graf statusu přesnosti pro RT3000 s korekcí (celá trasa)

#### 4.8 TRASA NAMĚŘENÝCH DAT NA PARKOVIŠTI VUT BEZ KOREKCE

V této podkapitole se nachází trasa, která byla absolvovaná s experimentálním vozidlem. Jedná se o měření trasy, které probíhalo na parkovišti v areálu VUT (viz obr. 70). Tato trasa byla změřena pomocí RT3000 bez korekce (bázová stanice byla vypnuta). V této podkapitole se nachází vyhodnocení dat pomocí RT3000 bez korekce. Měření se uskutečnilo na prázdném parkovišti, kde se prováděly různé manévry (viz obr. 70). Na parkovišti se udělalo několik podobných otoček s vozidlem. Po každé otočce se vozidlo zastavilo a znova se rozjelo.

Na obr. 70 se nachází začátek a konec naměřené trasy, které probíhalo bez korekce. Dále na obr. 70 je vidět bod stání, který označuje místo, kde vozidlo vždycky zastaví a znova se rozjede a poté, co udělá otočku, tak se zase zastaví v tomto bodě.



Obr. 70 Naměřená trasa na parkovišti v areálu VUT bez korekce [93]

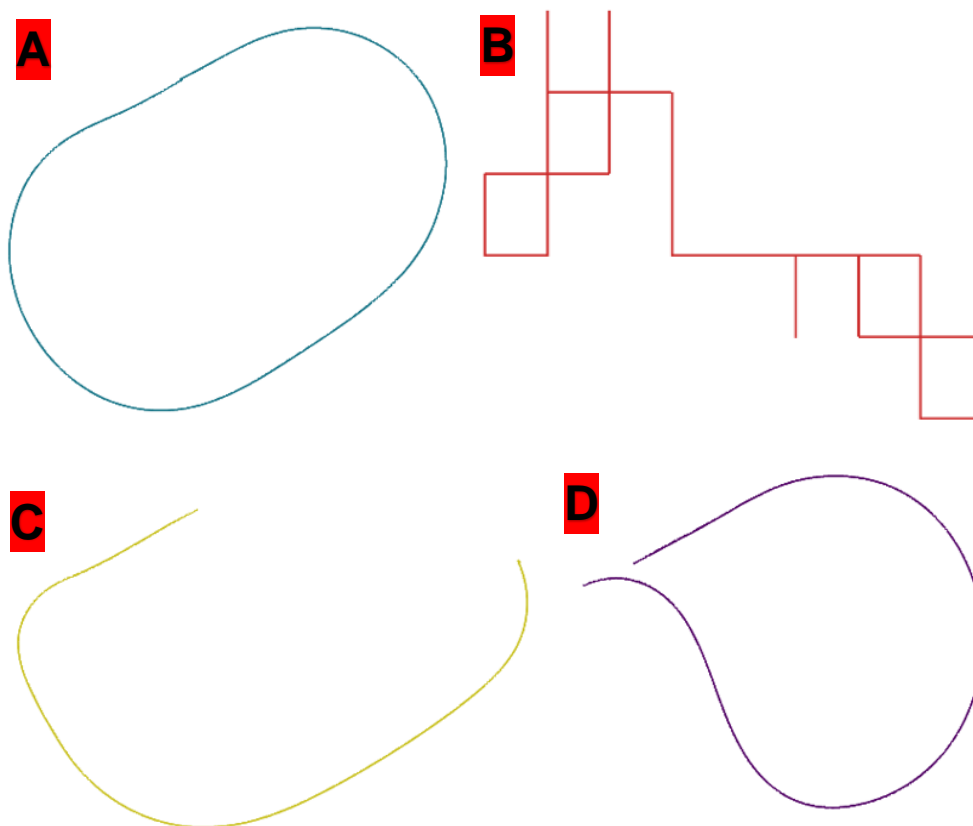


#### 4.8.1 EVENTY NA TRASE NAMĚŘENÝCH DAT NA PARKOVIŠTI VUT BEZ KOREKCE

Dalším cílem bylo rozdělit naměřenou trasu na několik částí. Rozdělení trasy se provedlo v Matlabu (TeleMatrix) pomocí eventů. Rozdělení naměřené trasy na několik částí se provedlo podle *obr. 72*, kde se nachází změřená trasa, která byla absolvována vozidlem. V *obr. 72* se označila vždycky nějaká část naměřené trasy. Poté se na této označené trase vytvořil event. Celkově na této naměřené trase bylo vytvořeno 22 eventů, tak že je to úplně stejně eventů jako při měření trasy s korekcí (viz kapitola 4.7.1).

Prvně byl vytvořen graf (viz *obr. 72*) pomocí kanálů lonRT (zeměpisná délka) a latRT (zeměpisná šířka). Graf na *obr. 72* vyjadřuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce. Poté v tomto grafu byla označena nějaká část naměřené trati. Na této označené části byl vytvořen event. Například se označil úsek O2 (viz *obr. 71*). Poté se vytvořil event (událost) v TeleMatrixu. První event obsahuje část naměřené trati O2. Takhle se postupně vytvořilo všech 22 eventů, které dávají dohromady celou naměřenou trasu.

Naměřená trasa je rozdělena na 22 částí. Měřená trasa byla rozdělena na otočky, stání, půl otočku a manévry. Na celé měřené trati se nachází jedenáct stání (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11), jedna půl otočka (P1), osm celých otoček (O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8) a dva manévry (M1, M2). Vlevo nahoře na *obr. 71* se nachází event O2. Zbytek eventů O je hodně podobných jako event O2. Vpravo nahoře je vidět signál eventu S5, který je velice špatný. Důvodem špatného signálu je, že vozidlo stojí na místě a GPS systém nemůže najít svoji přesnou polohu. To znamená, že ve všech eventech S je kvalita signálu špatná. Dále vlevo dole na *obr. 63* se nachází event P1 a vpravo dole je vidět manévr M1.

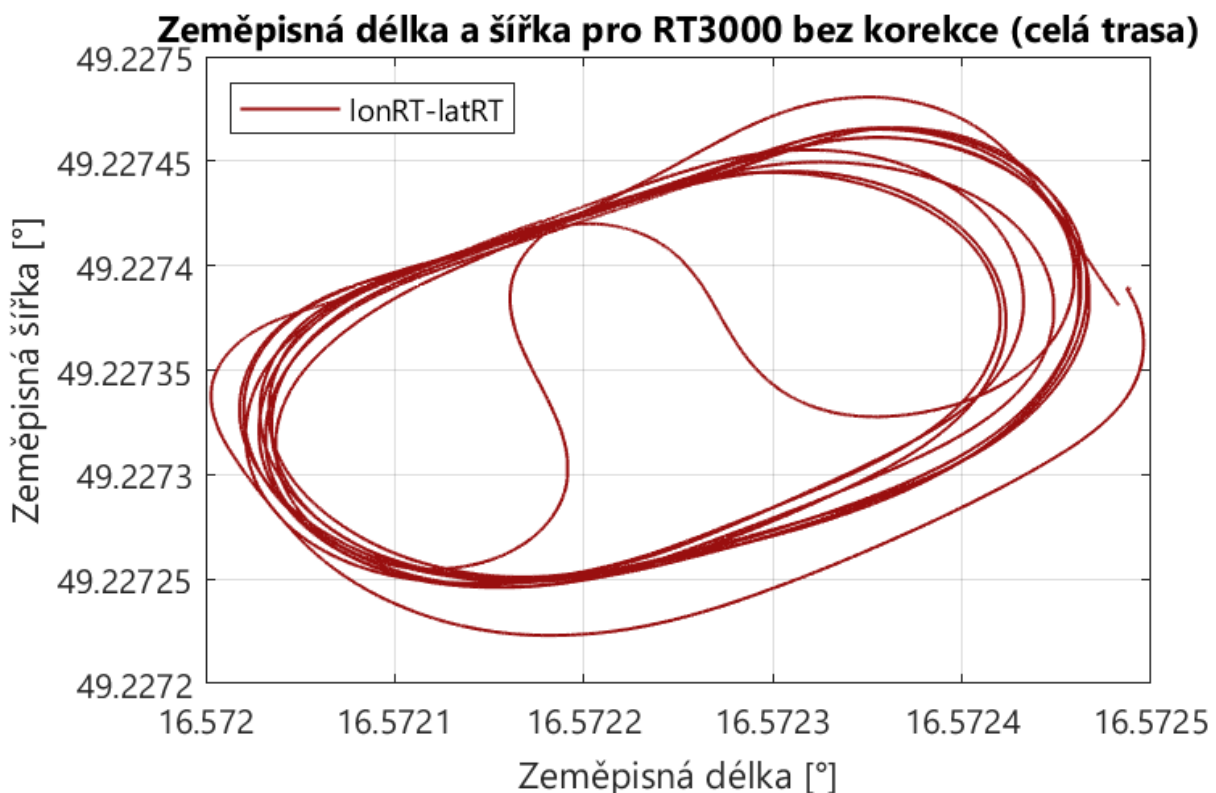


*Obr. 71* A) Event O2, B) Event S5, C) Event P1, D) Event M1

#### 4.8.2 ZEMĚPISNÁ DÉLKA A ŠÍŘKA PRO RT3000 BEZ KOREKCE

Graf na *obr. 72* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu lonRT (zeměpisná délka) a latRT (zeměpisná šířka). Zeměpisná šířka vyjadřuje stupně, které udávají vzdálenost na sever a jih od rovníku [37]. Zatímco zeměpisná délka měří stupně, které zobrazují vzdálenost na východ a západ od počátečního poledníku [37].

Graf na *obr. 72* ukazuje závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce pro RT3000. Na ose x je zeměpisná délka a na ose y zeměpisná šířka. Na *obr. 72* je trasa, která byla absolvována s experimentálním vozidlem. Jedná se o jízdu na parkovišti v areálu VUT (viz *obr. 70*). Trasa byla změřena pomocí RT3000 bez korekce (bázová stanice vypnuta). *Obr. 72* ukazuje jaká je kvalita signálu mezi satelity a RT3000 (červená trajektorie). Podle *obr. 72* je vidět, že kvalita signálu je dobrá, protože tam není žádné vychýlení červené trajektorie. V podkapitole 4.8.1 je vidět, že kvalita signálu je v eventech S velice špatná (viz *obr. 71*). Důvodem špatného signálu v těchto eventech je, že vozidlo stojí na místě a GPS systém nemůže kvůli to mu najít svoji přesnou polohu. Důvodem kvalitního signálu na *obr. 72* je vzdálenější pohled na měřenou trasu. Při bližším pohledu např. na event S5 je vidět vychýlení červené trajektorie signálu, což znamená horší kvalitu signálu mezi satelity a RT (viz *obr. 71*).

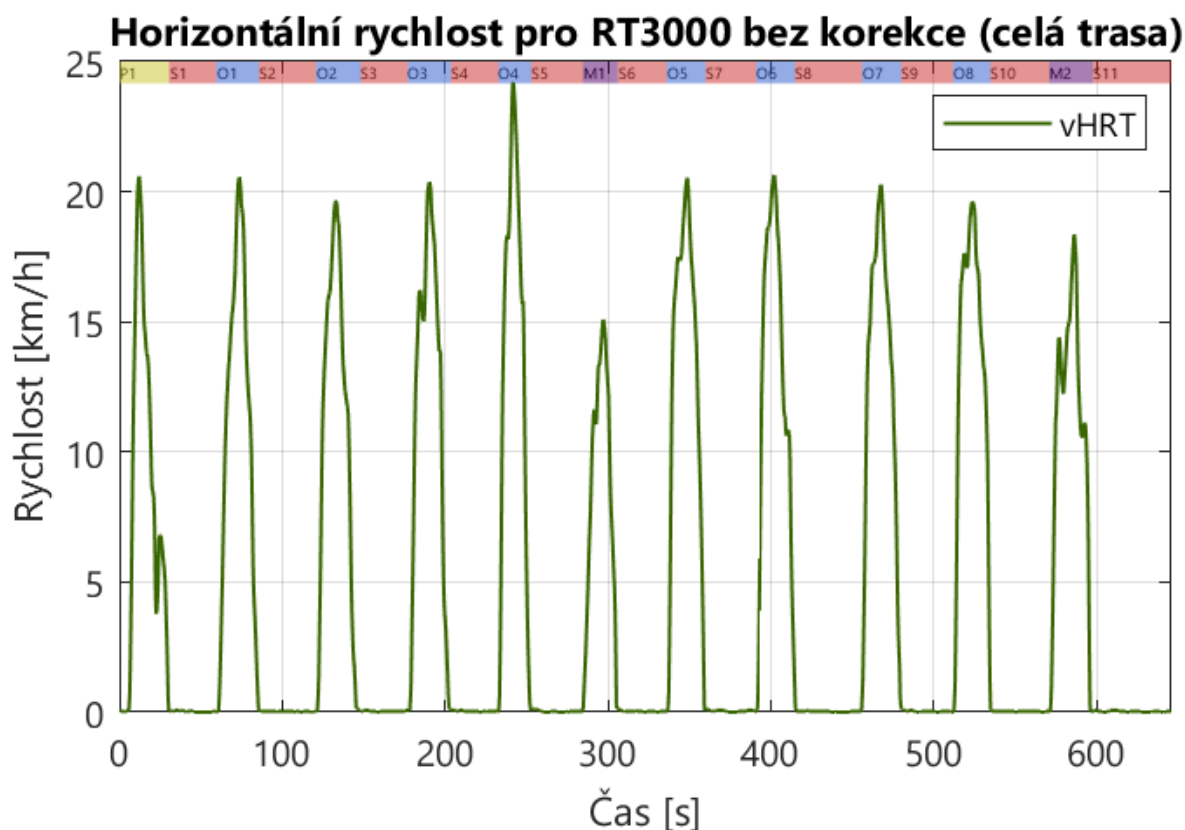


*Obr. 72* Graf zeměpisné délky a šířky pro RT3000 bez korekce (celá trasa)

#### 4.8.3 HORIZONTÁLNÍ RYCHLOST PRO RT3000 BEZ KOREKCE

Graf na *obr. 73* byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu vHRT (horizontální rychlost RT3000). Rychlost je veličina, která říká, jak se mění pozice tělesa v čase. Graf na *obr. 73* ukazuje závislost rychlosti na čase pro RT3000. Dále na *obr. 73* jsou vidět jednotlivé eventy. Na *obr. 73* je celkově 22 eventů. Eventy se dělí na půl otočky (P – žlutě), stání (S – červeně), otočky (O – modře) a manévry (M – fialově).

V eventech S (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 a S11) došlo k úplnému zastavení vozidla. To znamená, že v těchto eventech je rychlost 0 km/h. Dále v eventech O (O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7 a O8) prvně dochází k zrychlení na maximální rychlost a pak k prudkému zabrzdění z této maximální rychlosti. Například event O4, kde nejprve vozidlo zrychlí z 0 km/h na 24 km/h (maximální rychlost tohoto eventu). Poté z této maximální rychlosti zpomalí na 0 km/h. Ve všech ostatních eventech O je to hodně podobné, akorát se liší maximální rychlost v jednotlivých eventech O. V eventech P1, M1 a M2 je to také hodně podobné jako v eventech O. Nejprve se zrychlí a poté se zpomalí.

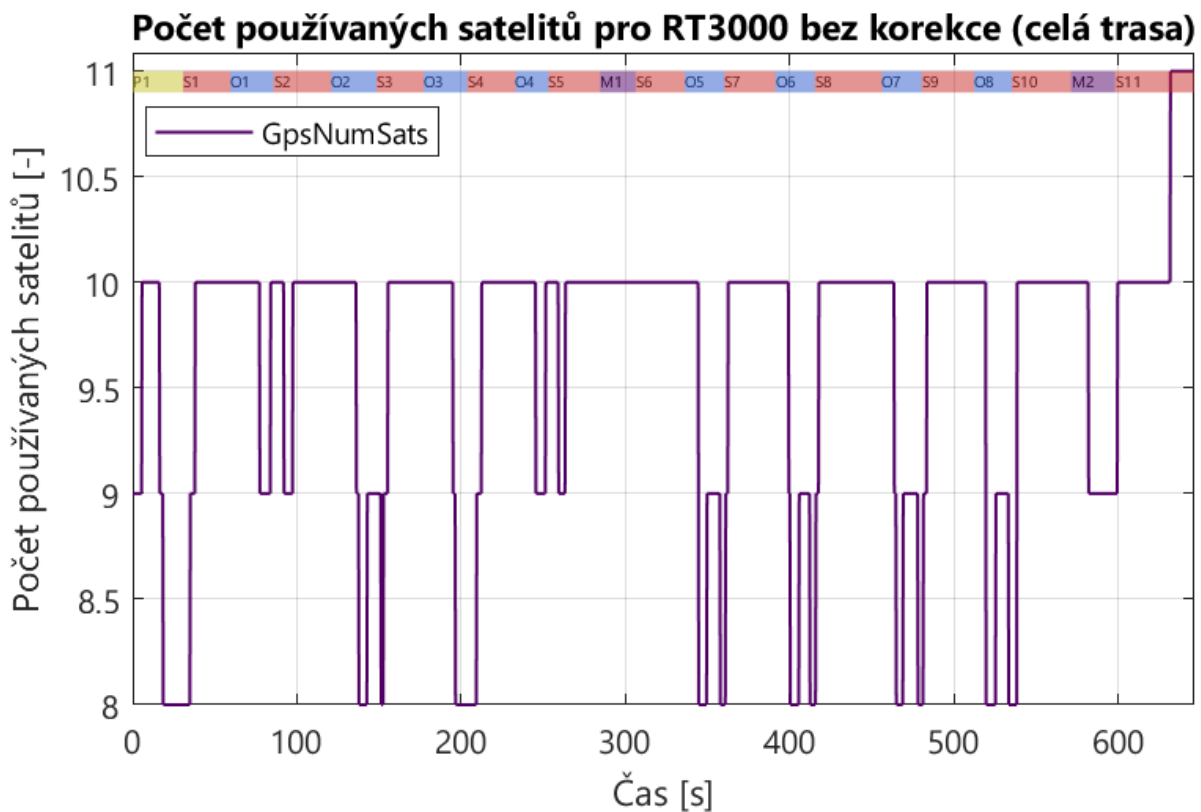


Obr. 73 Graf horizontální rychlosti pro RT3000 bez korekce (celá trasa)

#### 4.8.4 POČET POUŽÍVANÝCH SATELITŮ PRO RT3000 BEZ KOREKCE

Graf na obr. 74 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsNumSats (počet satelitů). Počet používaných satelitů je pojem, který říká kolik používá GPS přijímač satelitů z určitého místa (viz kapitola 4.7.4). Dále na obr. 74 je celkově 22 eventů. Těchto 22 eventů se skládá z jedenácti stání (S – červené eventy), jedné půl otáčky (P – žluté eventy), osmi otáček (O – modré eventy) a dvou manévru (M – fialové eventy).

Po většinu měřené trati je počet satelitů 10. Je tam několik propadů na 8 a 9 satelitů. Například event P1, kde je propad z 10 na 8 satelitů. V následujícím eventu S1 se zase počet satelitů zlepšil na 10. Další propady jsou v eventech O1 (z 10 na 9 satelitů), S2 (z 10 na 9 satelitů), O3 (z 10 na 8 satelitů), O4 (z 10 na 9 satelitů), S5 (z 10 na 9 satelitů) a M2 (z 10 na 9 satelitů). V eventech O2, O5, O6, O7 a O8 nejprve dojde k zhoršení z 10 na 8 satelitů, poté k zlepšení z 8 na 9 satelitů a pak následuje zase propad na 8 satelitů. Na konci těchto eventů se zase zlepšil počet satelitů na 10. V eventu S11 dojde k zlepšení na 11 satelitů. Důvodem propadů na obr. 74 může být nějaká překážka, která kazí dobrý výhled na oblohu (např. strom).



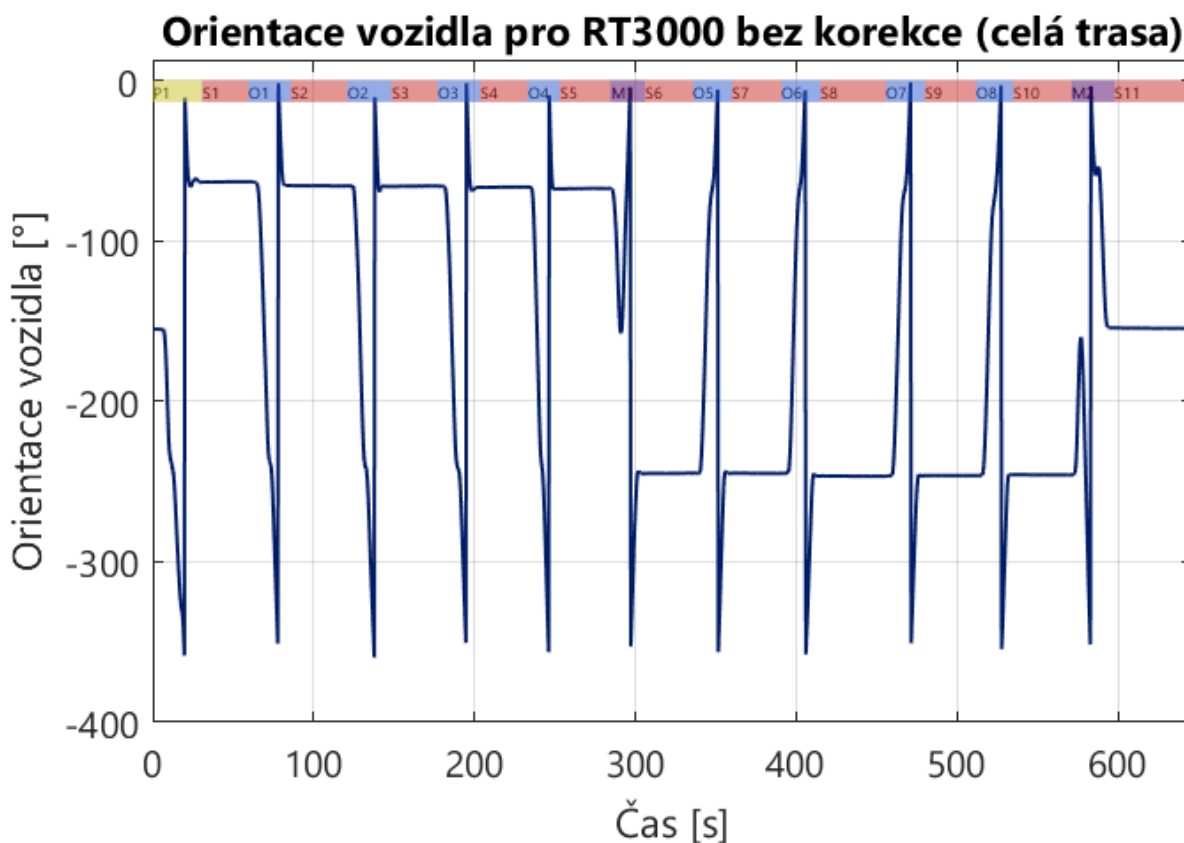
Obr. 74 Graf počet používaných satelitů pro RT3000 bez korekce (celá trasa)

#### 4.8.5 ORIENTACE VOZIDLA (HEADING) PRO RT3000 BEZ KOREKCE

Graf na obr. 75 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu headingRT (orientace vozidla). Heading (orientace vozidla) je termín, který se používá k označení směru jízdy [89]. Orientace (heading) vyjadřuje směr, kterým se pohybuje experimentální vozidlo (viz kapitola 4.7.5). Graf na obr. 75 ukazuje závislost orientace vozidla na čase pro RT3000. Dále na obr. 75 je celkově 22 eventů. Těchto 22 eventů se skládá z jedenácti stání (S – červené eventy), jedné půl otáčky (P – žluté eventy), osmi otáček (O – modré eventy) a dvou manévru (M – fialové eventy).

V eventech S (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 a S11) se orientace vozidla mění minimálně (malé výchylky). Důvodem tohoto je, že v těchto eventech S vozidlo stojí na místě a nepohybuje se. To znamená, že se nemění směr jízdy vozidla. V eventu P1 se změnila orientace vozidla kvůli půl zatačce. V eventech O1, O2, O3 a O4 dojde k podobné změně headingu. V těchto eventech se změnila heading z  $354^\circ$  na  $5^\circ$ . Důvodem této změny je otočka s vozidlem. V eventu M1 také dojde ke změně orientace vozidla. Důvodem této změny je manévr, který je na obr. 71. V dalších eventech O5, O6, O7 a O8 dochází také ke změně orientace vozidla. V těchto eventech se orientace vozidla změnila ze  $3^\circ$  na  $353^\circ$ . V těchto eventech je opačný směr jízdy (otočky) jako v eventech O1, O2, O3, O4. V posledním eventu M2 dochází ke změně orientace vozidla kvůli podobnému manévru, který je na obr. 71.

V obr. 75 je vidět, že orientace je v záporných stupních. Důvodem záporných stupňů je, že je tento kanál takovýmto způsobem použit dále pro výpočty v multibody systému experimentálního vozidla, ale význam orientace vozidla to nemění. Z grafu na obr. 75 vyplývá, že orientace vozidla se mění pouze v eventech, kde je nějaká změna směru jízdy.

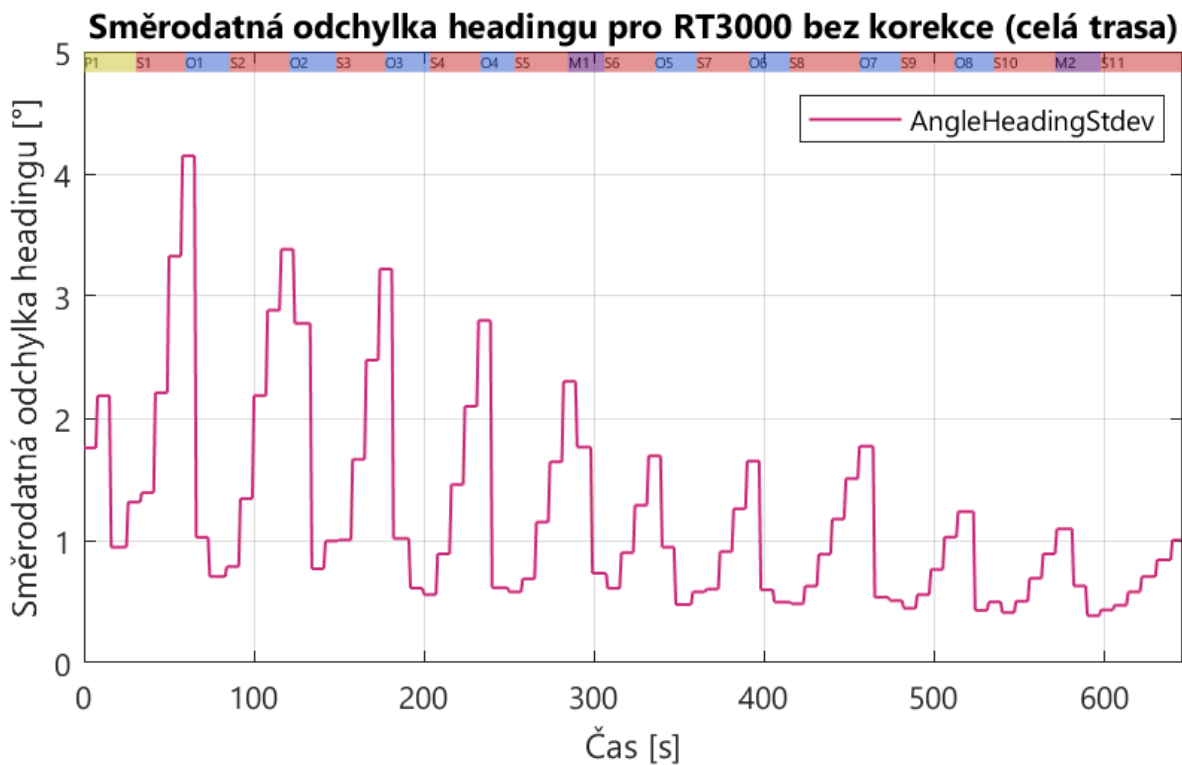


Obr. 75 Graf orientace vozidla pro RT3000 bez korekce (celá trasa)

#### 4.8.6 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA HEADINGU PRO RT3000 BEZ KOREKCE

Graf na obr. 76 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu AngleHeadingStdev (směrodatná odchylka headingu). Směrodatná odchylka headingu určuje rozptyl směru, kterým se vozidlo pohybuje. Udává také měřítko, jak moc se tento směr může lišit od skutečného směru [89] (viz kapitola 4.7.6). Graf na obr. 76 ukazuje závislost směrodatné odchylky headingu na čase pro RT3000. Dále na obr. 75 je celkově 22 eventů. Těchto 22 eventů se skládá z jedenácti stání (S – červené eventy), jedné půl otáčky (P – žluté eventy), osmi otáček (O – modré eventy) a dvou manévru (M – fialové eventy).

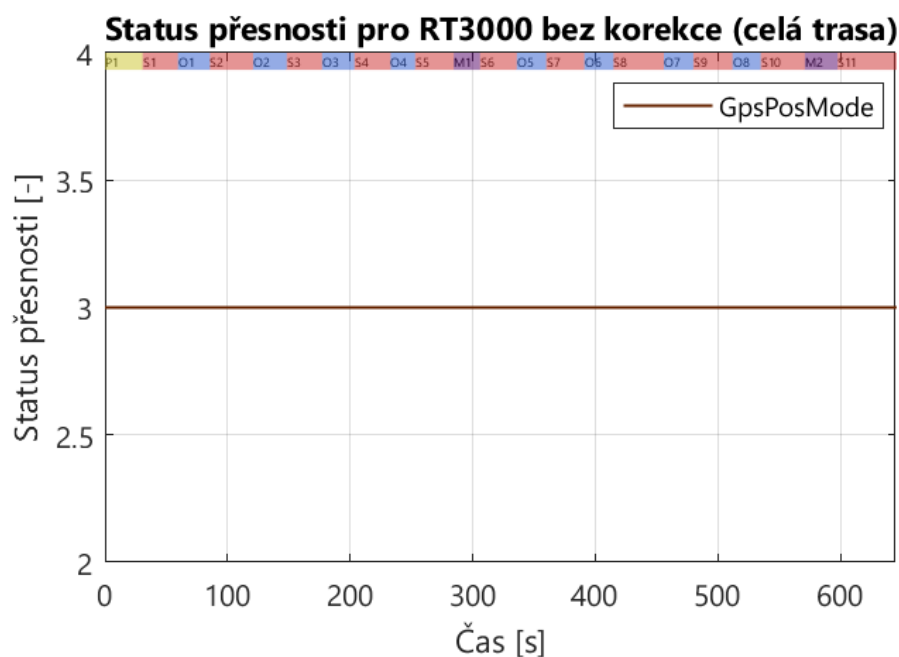
V eventu P1 se nachází horší hodnoty směrodatné odchylky headingu ( $2,185^\circ$ ). V tomto eventu se tato hodnota zlepšila na  $0,945^\circ$ . Důvodem horších hodnot na začátku měřené trasy je, že se GPS systém ziniculuje (chvilku potrvá, než bude měřit přesně). Dále v eventech S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 a S11 dojde k zhoršení směrodatné odchylky headingu. Důvodem tohoto zhoršení v těchto eventech je, že vozidlo stojí na místě a kvůli tomu GPS systém nemůže najít svoji přesnou polohu. Toto je vidět v eventu S4, což je úsek, kdy vozidlo stojí na místě. V tomto eventu hodnota směrodatné odchylky headingu stoupne z  $0,556^\circ$  na  $2,801^\circ$ . V eventu S1, kde se nachází nejhorší hodnota. V tomto eventu hodnota směrodatné odchylky headingu stoupne z  $1,314^\circ$  na  $4,148^\circ$ . V dalších eventech O1, O2, O3, O4, M1, O5, O6, O7, O8 a M2 jsou dobré hodnoty směrodatné odchylky headingu oproti dalším eventům. V těchto eventech se směrodatná odchylka headingu zlepšila díky tomu, že vozidlo je v pohybu. Hodnoty v těchto eventech se pohybují mezi  $0,384^\circ$  až  $0,945^\circ$ . V těchto místech je dobrá přesnost, protože je zde nízká směrodatná odchylka headingu (orientace vozidla).



Obr. 76 Graf směrodatné odchylky headingu pro RT3000 bez korekce (celá trasa)

#### 4.8.7 STATUS PŘESNOSTI PRO RT3000 BEZ KOREKCE

Graf na obr. 77 byl vytvořen v TeleMatrixu pomocí kanálu GpsPosMode (status přesnosti GPS). Status přesnosti určuje míru přesnosti a spolehlivosti signálu z GPS [89] (viz kapitola 4.7.7). Podle obr. 77 je vidět, že na celé měřené trase se nachází pouze hodnota stat. přesnosti 3. Hodnota statusu 3 říká, že měření GPS nemá žádné další externí korekce [89].



Obr. 77 Graf statusu přesnosti pro RT3000 bez korekce (celá trasa)

## 5 DISKUSE

### 5.1 DISKUSE TRASA NAMĚŘENÝCH DAT (OKRUŽNÍ JÍZDA)

V této podkapitole se nachází diskuse pro okružní jízdu. Jedná se o měření trasy, které probíhalo po areálu VUT a jeho okolí. Tato trasa byla změřena RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžným GPS zařízením. Po dobu celého měření trasy byla zapnuta básová stanice (korekce chyb). Analýza naměřených dat z jednotlivých eventů pro GPS systémy (RT3000, ADMA-G-PRO+ a dvě běžné GPS zařízení) přináší důležité poznatky o jejich chování v různých částech trasy. Kvalita signálu, horizontální rychlost, počet satelitů, orientace vozidla, směrodatná odchylka headingu (orientace vozidla) a status přesnosti jsou klíčové faktory, které ovlivňují přesnost měření.

Z analýzy dat je jasné, že kvalita signálu se liší v různých eventech. V některých částech trasy je signál dobrý bez větších výpadků během měření (např. event R1). Důvodem kvalitního signálu v těchto místech je dobrý výhled vozidla na oblohu (např. malá koncentrace budov). Zatímco v úsecích s překážkami (např. mosty nebo budovy) dochází k velkému zhoršení kvality signálu (např. event KO). Kvalita signálu se také snižuje vlivem brždění vozidla (např. event B2). Zhoršení signálu může negativně ovlivnit přesnost a spolehlivost měření.

Dalším důležitým faktorem je horizontální rychlost vozidla. Většina eventů má podobnou horizontální rychlost pro všechny GPS systémy (RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení). Horizontální rychlost pro běžné GPS zařízení se mírně liší, protože běžné GPS zařízení nejsou tak přesná jako RT3000 a ADMA-G-PRO+. Avšak v eventech, kde dochází k výraznému zpomalení (např. event B2) je nižší přesnost a spolehlivost měření.

Důležitou roli také hraje počet satelitů, které jsou dostupné pro každý GPS systém. Většina eventů má podobný rozsah počtu používaných satelitů pro všechny GPS systémy (málo propadů vlivem nějaké překážky). Zatímco v místech, kde jsou překážky (např. mosty) dochází k velkému propadu v počtu používaných satelitů (např. event KO). Tento propad může ovlivnit přesnost a spolehlivost měření. ADMA-G-PRO+ používá více satelitů než RT3000. Díky to mu může mít ADMA-G-PRO+ lepší přesnost než RT3000.

Analýza orientace vozidla ukazuje, že v eventech R (rovina) je směr jízdy stejný. To znamená, že orientace vozidla se nemění. Zatímco v oblastech, kde jsou často zatáčky (např. U3) dochází k větším změnám orientace vozidla. Na kruhovém objezdu (KO) proběhlo pět otoček. Toto výrazně ovlivní orientaci vozidla. Analýza těchto oblastí ovlivní přesnost a spolehlivost měření.

Směrodatná odchylka headingu se mění v různých částech měřené trasy. Na začátku (event R1) se zvýší kvůli inicializování GPS, ale pak se stabilizuje. Další eventy mají stabilní směrodatnou odchylku. Výjimka je kruhový objezd (KO), kde jsou hodnoty nejhorší kvůli dvou mostům nad KO. Po opuštění KO se systém stabilizuje. To znamená, že směrodatná odchylka se postupně zlepšuje v dalších eventech. Na konci se zase zhorší směrodatná odchylka kvůli zastavení vozidla. Nový systém ADMA-G-PRO+ by měl mít lepší směrodatnou odchylku než RT3000, ale zatím nebyl snímán kanál na směrodatnou odchylku ADMA-G-PRO+.

Status přesnosti je klíčovým ukazatelem spolehlivosti měření. Většina eventů má podobné hodnoty statusu přesnosti (málo propadů). Zatímco v místech, kde je horší kvalita signálu nebo větší vzdálenost vozidla od básové stanice dochází k zhoršení statusu přesnosti. Nový systém ADMA-G-PRO+ by měl mít lepší status přesnosti než RT3000, ale zatím nebyl kanál pro ADMA-G-PRO+ správně přepočten.

## 5.2 DISKUSE TRASA NAMĚŘENÝCH DAT (PARKOVIŠTĚ VUT)

V této podkapitole se nachází měření trasy vozidla na parkovišti v areálu VUT. Trasa byla změřena pomocí RT3000 s korekcí a bez korekce (prvně básová stanice zapnuta a poté vypnuta). Dále trasa byla rozdělena na několik eventů. Kvalita signálu, horizontální rychlost, počet satelitů, orientace vozidla, směrodatná odchylka headingu (orientace vozidla) a status přesnosti jsou klíčové faktory, které ovlivňují spolehlivost a přesnost měření.

RT3000 s korekcí poskytuje velkou spolehlivost a přesnost kvůli korekcím (oprava chyb), které jsou poskytované básovou stanicí. Tato technologie se používá v prostředích, kde je vysoká koncentrace budov a může docházet k odrazům signálu. Zatímco RT3000 bez korekce má nižší přesnost a spolehlivost. RT3000 bez korekce může být náchylné k chybám. Hlavně v prostředích, kde je hodně překážek (např. budov). Toto může vést k zhoršení polohy.

Během celé naměřené trasy byly zaznamenány různé kvality signálu. V eventech S (stání), kde vozidlo stojí na místě je špatná kvalita signálu. Důvodem špatného signálu v těchto eventech S je, že vozidlo stojí na místě a GPS systém nemůže najít svoji přesnou polohu. Zatímco v eventech O (otočka), P a M je lepší kvalita signálu, protože vozidlo je v pohybu.

V eventech S dochází k úplnému zastavení vozidla. V těchto eventech je rychlost 0 km/h. V eventech O, P (půl otočka) a M nejprve dojde k zrychlení na maximální rychlost. Poté z této maximální rychlosti se vozidlo zastaví. Eventy O se liší pouze různou maximální rychlostí.

Dále bylo sledováno, jak se mění orientace vozidla v jednotlivých eventech. Největší změny orientace vozidla nastaly v eventech O a M. Důvodem změny je směr jízdy vozidla v těchto eventech. Zatímco v eventech S se orientace vozidla nemění, protože vozidlo stojí na místě.

Analyzovaná byla také směrodatná odchylka headingu (orientace vozidla) v jednotlivých eventech. V eventech S je směrodatná odchylka headingu větší než v eventech M a O, což znamená, že v eventech S je nižší přesnost. Důvodem vysoké směrodatné odchylky headingu je, že v eventech S vozidlo stojí na místě. Zatímco v eventech M (manévr) a O jsou nižší hodnoty směrodatné odchylky, protože v těchto eventech se vozidlo pohybuje.

V tomto odstavci je porovnání směrodatné odchylky headingu pro RT3000 s korekcí a bez korekce. RT3000 s korekcí a bez korekce ukazuje velký rozdíl, co se týče v přesnosti polohy vozidla. RT3000 s korekcí nabývá nižších hodnot směrodatné odchylky headingu v jednotlivých eventech (viz kapitola 4.7.6). Díky to mu má RT3000 s korekcí lepší přesnost než RT3000 bez korekce, kde je vyšší směrodatná odchylka headingu (viz kapitola 4.8.6). Hodnoty pro RT3000 s korekcí se pohybují v rozmezí  $0,210^\circ$  až  $2,228^\circ$ . Zatímco hodnoty pro RT3000 bez korekce jsou v rozsahu  $0,384^\circ$  až  $4,148^\circ$ . Deklarovaná dosažitelná směrodatná odchylka headingu je podle výrobce  $0,250^\circ$  [88].

Na závěr byl zkoumán status přesnosti na celé měřené trase. Status přesnosti pro RT3000 s korekcí měl hodnoty 5 a 6. Hodnoty statusu 5 a 6 značí, že básová stanice upravovala data po celou dobu měření trasy. Zatímco RT3000 bez korekce má hodnotu statusu přesnosti pouze 3, což znamená, že básová stanice nekorigovala data celé měření.

Naměřená trasa (parkoviště VUT) pro RT3000 s korekcí a bez korekce, popis jednotlivých eventů se nachází v podkapitolách 4.7 a 4.8. Naměřená trasa (okružní jízda) pro RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení se nachází v podkapitolách 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 a 4.6.



## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá studiem GPS, diferenciálního GPS (DGPS) a GPS s báзовou stanicí. V rešerši je kladen důraz na funkci, současný stav a vývoj a budoucnost. Dále bylo provedeno měření trasy s různými GPS systémy (RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení). Při měření trasy byla využita báзовá stanice, experimentální vozidlo, ADMA-G-PRO+, RT3000 a běžné GPS zařízení (dvě komerční GPS). Nejprve byla provedena okružní jízda po areálu VUT a jeho okolí. Celá okružní jízda byla s korekcí (báзовá stanice zapnuta). Poté bylo využito prázdné parkoviště, kde se uskutečnily další různé manévry. Toto měření probíhalo s korekcí a bez korekce (prvně báзовá stanice zapnuta a poté vypnuta).

V praktické části se nachází vyhodnocení naměřených dat, které se provádělo v TeleMatrixu. Data byla vyhodnocena podle různých kanálů pro RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení. Nejprve byla zpracována data, kde je RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení. V těchto datech se nachází okružní jízda po areálu VUT a jeho okolí. Dále byla vyhodnocena data, kde je RT3000 s korekcí a bez korekce. Tyto data byly naměřeny na parkovišti v areálu VUT. V závěrečné části bakalářské práce jsou vyhodnocená data porovnaná. Jedná se o porovnání jednotlivých GPS systému v různých situacích. Například jak se jednotlivé GPS systémy chovají na KO. Dále se také porovnávají data s korekcí a bez korekce pro RT3000.

Z analýzy měření trasy okružní jízda pro RT3000, ADMA-G-PRO+ a běžné GPS zařízení vyplývá, že horizontální rychlost, počet satelitů, kvalita signálu, směrodatná odchylka headingu, status přesnosti a orientace vozidla má vliv na přesnost měření. Kvalita signálu se mění v jednotlivých úsecích trati. Lepší signál bude v úsecích, kde je dobrý výhled vozidla na oblohu. Zatímco horší signál bude v místech, kde je hodně překážek a při brždění vozidla. Horizontální rychlost je hodně podobná u všech GPS systému. Zpomalení vozidla může snížit přesnost. Počet satelitů se snižuje v místech, kde je hodně překážek. ADMA-G-PRO+ využívá více satelitů než RT3000 a běžné GPS zařízení, což zvyšuje přesnost. Orientace vozidla se mění při zatáčkách a na kruhovém objezdu. Směrodatná odchylka headingu má dobré hodnoty. Výjimkou je začátek měření, kde se směrodatná odchylka headingu mírně zhorší. Důvodem zhoršení je, že GPS systémy se musí inicializovat. Nejhorší hodnoty směrodatné odchylky headingu se nachází na kruhovém objezdu (KO) kvůli dvou mostům nad KO a po vyjetí z KO. Status přesnosti se snižuje v oblastech, kde je horší kvalita signálu. Dalším důvodem snížení může být, že báзовá stanice je mimo dosah vozidla. ADMA-G-PRO+ má potenciál poskytnout lepší přesnost než RT3000, ale je třeba se více seznámit s tímto GPS systémem, aby mohl být správně přepočtený kanál pro vyhodnocení statusu přesnosti pro ADMA-G-PRO+.

Z výsledků měřené trasy vozidla, které probíhalo na parkovišti v areálu VUT plyne, že RT3000 s korekcí má vyšší přesnost než RT3000 bez korekce. Důvodem vyšší přesnosti RT3000 s korekcí je, že má nižší směrodatnou odchylku headingu v jednotlivých eventech než RT3000 bez korekce. Hodnoty pro RT3000 s korekcí se pohybují v rozmezí  $0,210^\circ$  až  $2,228^\circ$ . Zatímco hodnoty pro RT3000 bez korekce jsou v rozsahu  $0,384^\circ$  až  $4,148^\circ$ . Deklarovaná dosažitelná směrodatná odchylka headingu je podle výrobce  $0,250^\circ$  [88]. V eventech, kde vozidlo stojí na místě je vidět zhoršení směrodatné odchylky headingu i kvality signálu. Zatímco v eventech, kde je vozidlo v pohybu je lepší směrodatná odchylka headingu. Důvodem zhoršení směrodatné odchylky headingu je, že GPS systémy nemůžou najít svoji přesnou polohu, když vozidlo stojí na místě. Hodnoty statusu přesnosti 5 a 6 ukazují, že RT3000 s korekcí bylo podporováno báзовou stanicí po celou dobu měření. Zatímco RT3000 bez korekce má hodnotu statusu 3 a to znamená, že báзовá stanice nekoriguje data. Pro zajištění maximální bezpečnosti je nezbytné využívat báзовou stanici.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HEXAGON. *What are Global Navigation Satellite Systems?* Online. NovAtel. C2024. Dostupné z: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/what-are-global-navigation-satellite-systems-gnss>. [cit. 2024-02-12].
- [2] EUSPA. *What is GNSS?* Online. EU Agency for the Space Programme. 2023. Dostupné z: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>. [cit. 2024-02-12].
- [3] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *Satellite navigation*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite\\_navigation](https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation). [cit. 2024-02-12].
- [4] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *List of Galileo satellites*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_Galileo\\_satellites](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Galileo_satellites). [cit. 2024-02-12].
- [5] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *Galileo (satellite navigation)*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_\(satellite\\_navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation)). [cit. 2024-02-12].
- [6] GMV. *Galileo Space Segment*. Online. Navipedia. 2011. Dostupné z: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo\\_Space\\_Segment](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Space_Segment). [cit. 2024-02-12].
- [7] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *BeiDou*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou>. [cit. 2024-02-12].
- [8] HEXAGON. *GLONASS (Global Navigation Satellite System), Russia*. Online. NovAtel. C2024. Dostupné z: <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/glonass>. [cit. 2024-02-12].
- [9] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *GLONASS*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>. [cit. 2024-02-12].
- [10] VENEZIA, Michael. *What is the Difference Between GNSS and GPS?* Online. Symmetry Electronics. 2015. Dostupné z: <https://www.symmetryelectronics.com/blog/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps/>. [cit. 2024-02-12].
- [11] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *Global Positioning System*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System). [cit. 2024-02-12].

- [12] RUTKOWSKI, Rob. *What's The Differences Between the 5 GNSS Constellations?* Online. Bliley. 2022. Dostupné z: <https://blog.bliley.com/the-differences-between-the-5-gnss-satellite-network-constellations>. [cit. 2024-02-12].
- [13] USER, Super. *GPS vs GLONASS vs Galileo vs BeiDou*. Online. GPS Server. C2024. Dostupné z: <https://www.gps-server.io/gps-vs-glonass-vs-galileo-vs-beidou>. [cit. 2024-02-12].
- [14] BHARDWAJ, Ashutosh. *Characteristics and features of global navigation satellite systems (GNSS) constellations*. Online. ResearchGate. 2020. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Characteristics-and-features-of-global-navigation-satellite-systems-GNSS-constellations\\_tbl2\\_345157051](https://www.researchgate.net/figure/Characteristics-and-features-of-global-navigation-satellite-systems-GNSS-constellations_tbl2_345157051). [cit. 2024-02-18].
- [15] WALKER, Jermaine. *Global Positioning System History*. Online. NASA. 2012. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/general/global-positioning-system-history/>. [cit. 2024-02-12].
- [16] G. MANNING, Catherine. *GPS*. Online. NASA. 2023. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/gps/>. [cit. 2024-02-12].
- [17] AEROSPACE. *A Brief History of GPS*. Online. Aerospace Corporation. C2024. Dostupné z: <https://aerospace.org/article/brief-history-gps>. [cit. 2024-02-12].
- [18] NAVIGATION CENTER. *GPS Problem Report Status*. Online. Navigation Center. 2024. Dostupné z: <https://www.navcen.uscg.gov/gps-problem-report-status>. [cit. 2024-02-12].
- [19] NAVIGATION CENTER. *GPS Constellation*. Online. Navigation Center. 2023. Dostupné z: <https://www.navcen.uscg.gov/gps-constellation>. [cit. 2024-02-12].
- [20] GPS.GOV. *GPS Applications*. Online. GPS.gov. 2014. Dostupné z: <https://www.gps.gov/applications/>. [cit. 2024-02-12].
- [21] ALEXIS. *The Future of GPS Tracking: Emerging Trends and Innovations*. Online. ZenduIT. 2023. Dostupné z: <https://zenduit.com/the-future-of-gps-tracking/>. [cit. 2024-02-12].
- [22] MADSEN, Kristian. *Future of GPS Tracking*. Online. Copenhagen Trackers. C2024. Dostupné z: <https://cphtrackers.com/blogs/news/future-of-gps-tracking>. [cit. 2024-02-12].
- [23] FLIGHT CREW GUIDE. *4. GPS Segments*. Online. Flight Crew Guide. C2024. Dostupné z: <https://flightcrewguide.com/wiki/navigation/gps/gps-segments/>. [cit. 2024-02-12].

- [24] GMV. *GPS Space Segment*. Online. Navipedia. 2011. Dostupné z: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS\\_Space\\_Segment](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Space_Segment). [cit. 2024-02-12].
- [25] GPS.GOV. *The Global Positioning System*. Online. GPS.gov. 2021. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/>. [cit. 2024-02-12].
- [26] DIBIASE, David a BAXTER, Ryan. *15. Control Segment*. Online. The Nature of Geographic Information. C2023. Dostupné z: [https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5\\_p16.html](https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5_p16.html). [cit. 2024-02-12].
- [27] GMV. *GPS User Segment*. Online. Navipedia. 2011. Dostupné z: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS\\_User\\_Segment](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_User_Segment). [cit. 2024-02-12].
- [28] U.S. AIR FORCE. *Introduction to Global Positioning System*. Online. U.S. Air Force. 2012. Dostupné z: <https://www.nh.gov/nhdfi/documents/introduction-to-global-positioning-system.pdf>. [cit. 2024-02-12].
- [29] GABOR, Michael. *GPS Overview*. Online. University of Texas at Austin. 2015. Dostupné z: [https://www.csr.utexas.edu/texas\\_pvw/midterm/gabor/gps.html](https://www.csr.utexas.edu/texas_pvw/midterm/gabor/gps.html). [cit. 2024-02-12].
- [30] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *GPS signals*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/GPS\\_signals](https://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals). [cit. 2024-02-12].
- [31] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *USA Banner*. Online. Federal Aviation Administration. 2022. Dostupné z: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks). [cit. 2024-02-12].
- [32] SANZ SUBIRANA; ZORNOZA a HERNANDEZ. *GPS Navigation Message*. Online. Navipedia. 2011. Dostupné z: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS\\_Navigation\\_Message](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Navigation_Message). [cit. 2024-02-12].
- [33] VAN SICKLE, Jan. *The Navigation Message*. Online. GEOG 862: GPS and GNSS for Geospatial Professionals. C2023. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1734>. [cit. 2024-02-12].
- [34] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *Geographic coordinate system*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic\\_coordinate\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_coordinate_system). [cit. 2024-02-13].
- [35] GISGEOGRAPHY. *Latitude, Longitude and Coordinate System Grids*. Online. GIS Geography. 2023. Dostupné z: <https://gisgeography.com/latitude-longitude-coordinates/>. [cit. 2024-02-13].

- [36] DEMPSEY, Caitlin. *Geographic Coordinate Systems*. Online. Geography Realm. 2022. Dostupné z: <https://www.geographyrealm.com/geographic-coordinate-system/>. [cit. 2024-02-13].
- [37] KIRVAN, Paul. *GPS coordinates*. Online. WhatIs. C1999-2024. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/GPS-coordinates>. [cit. 2024-02-13].
- [38] MAPTOOLS. *Selecting a Geographic Coordinate System*. Online. Maptools. C2024. Dostupné z: [https://www.maptools.com/selecting\\_a\\_coordinate\\_system](https://www.maptools.com/selecting_a_coordinate_system). [cit. 2024-02-13].
- [39] GMV. *GPS Receivers*. Online. Navipedia. 2011. Dostupné z: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS\\_Receivers](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Receivers). [cit. 2024-02-13].
- [40] ZORO. *What is a GPS receiver and the type of GPS receiver*. Online. Spring Technology. C2018-2024. Dostupné z: <https://www.spring-connectors.com/what-is-a-gps-receiver-and-the-type-of-gps-receiver.html/>. [cit. 2024-02-13].
- [41] ELLINGS, John a ABEGG, Jenny. *Best Handheld GPS of 2023*. Online. Switchback Travel. C2024. Dostupné z: <https://www.switchbacktravel.com/best-handheld-gps>. [cit. 2024-02-13].
- [42] TRACKIMO. *Know Where All Your Tour Members Are!*. Online. Trackimo. 2022. Dostupné z: <https://trackimo.com/>. [cit. 2024-02-13].
- [43] SARATH. *GPS Tracking device – a guide for travellers*. Online. PAJ GPS. 2020. Dostupné z: <https://www.paj-gps.com/gps-tracking-device-a-guide-for-travellers/>. [cit. 2024-02-13].
- [44] KASIERSKI, Ben a NOYES, Charles. *Best Car GPS Trackers*. Online. Motor1.com. 2023. Dostupné z: <https://www.motor1.com/products-services/auto-products/car-gps-tracker/>. [cit. 2024-02-13].
- [45] GREENWALD, Will. *The Best GPS Devices for 2024*. Online. PCMAG. 2024. Dostupné z: <https://www.pcmag.com/picks/the-best-gps-devices>. [cit. 2024-02-13].
- [46] TRAKKIT LLC. *5 Best Handheld Marine GPS: Set Sail with Confidence*. Online. Trakkit. C2024. Dostupné z: <https://trakkitgps.com/best-handheld-marine-gps-units/>. [cit. 2024-02-14].
- [47] GARMIN. *Handhelds*. Online. Garmin. C2024. Dostupné z: <https://www.garmin.com/en-US/c/marine/handhelds-gps-and-watches/>. [cit. 2024-02-14].

- [48] INTERNATIONAL VIRTUAL AVIATION ORGANISATION. *Generalities*. Online. IVAO Documentation Library. 2023. Dostupné z: [https://wiki.ivao.aero/en/home/training/documentation/Global\\_Positioning\\_System\\_-\\_GPS\\_Instrument](https://wiki.ivao.aero/en/home/training/documentation/Global_Positioning_System_-_GPS_Instrument). [cit. 2024-02-14].
- [49] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *Flight instruments*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Flight\\_instruments](https://en.wikipedia.org/wiki/Flight_instruments). [cit. 2024-02-14].
- [50] HERTZ SYSTEMS. *MILITARY GPS RECEIVERS*. Online. Hertz Systems | Kolejna witryna oparta na WordPressie. 2012. Dostupné z: <https://www.hertzsystems.com/en/product/military-gps-receivers/>. [cit. 2024-02-14].
- [51] TIME AND NAVIGATION. *Military Applications*. Online. Time and Navigation. 2015. Dostupné z: <https://timeandnavigation.si.edu/satellite-navigation/who-uses-satellite-navigation/military-applications>. [cit. 2024-02-14].
- [52] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *Defense Advanced GPS Receiver*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2023. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Defense\\_Advanced\\_GPS\\_Receiver](https://en.wikipedia.org/wiki/Defense_Advanced_GPS_Receiver). [cit. 2024-02-14].
- [53] ELHARD, Shaun. *Pioneering military GPS technology*. Online. GPS World - The Business and Technology of Global Navigation and Positioning. 2023. Dostupné z: <https://www.gpsworld.com/pioneering-military-gps-technology/>. [cit. 2024-02-14].
- [54] ODOHUE, Daniel. *How Accurate Is GPS*. Online. Mapscaping.com. 2023. Dostupné z: <https://mapscaping.com/how-accurate-is-gps/>. [cit. 2024-02-14].
- [55] U.S. SPACE FORCE. *GPS Accuracy*. Online. GPS.gov. 2022. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>. [cit. 2024-02-14].
- [56] GPS INSIGHT HELP CENTER. *How accurate is GPS technology?* Online. GPS Insight Help Center. C2005-2024. Dostupné z: <https://help.gpsinsight.com/deep-dive/how-accurate-is-gps-technology/>. [cit. 2024-02-14].
- [57] SPATIAL POST. *How Accurate Is GPS? Exploring Factors, Standards, and Improvements*. Online. Spatial Post. C2020. Dostupné z: <https://www.spatialpost.com/how-accurate-is-gps/>. [cit. 2024-02-14].
- [58] GISGEOGRAPHY. *GPS Accuracy: HDOP, PDOP, GDOP*. Online. GIS Geography. 2023. Dostupné z: <https://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath/>. [cit. 2024-02-14].
- [59] MOSS, David. *How to Get Better GPS Accuracy with Your Rugged Handheld*. Online. LinkedIn. 2022. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/how-get-better-gps-accuracy-your-rugged-handheld-david-moss>. [cit. 2024-02-14].

- [60] BHOJNAGARWALA, Ketaki. *Screen Rant*. Online. ScreenRant. 2022. Dostupné z: <https://screenrant.com/android-phone-gps-location-accuracy-improve-tips/>. [cit. 2024-02-14].
- [61] CONTRIBUTORS, Wikipedia. *Differential GPS*. Online. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2023. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Differential\\_GPS](https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_GPS). [cit. 2024-02-14].
- [62] CHIVERS, Morag. *Differential GPS Explained*. Online. Esri. 2003. Dostupné z: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/differential-gps-explained/>. [cit. 2024-02-14].
- [63] R.CLYNCH, James. *Differential GPS*. Online. A Short Overview of Differential GPS. 2001. Dostupné z: <https://www.oc.nps.edu/oc2902w/gps/dgpsnote.html>. [cit. 2024-02-14].
- [64] ALAKDHER, Tarek. *Difference Between GPS and DGPS*. Online. Tech Differences. C2024. Dostupné z: <https://techdifferences.com/difference-between-gps-and-dgps.html>. [cit. 2024-02-14].
- [65] WIRELESS WORLD. *What is dGPS / Differential Global Positioning System*. Online. Advantages of differential GPS. C2012. Dostupné z: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/DGPS-Differential-Global-Positioning-System.html>. [cit. 2024-02-14].
- [66] GISGEOGRAPHY. *Differential GPS: What It Is and How to Use It*. Online. GIS Geography. 2023. Dostupné z: <https://gisgeography.com/differential-gps/>. [cit. 2024-02-14].
- [67] BLOGGER. *ECSTUFF4U for Electronics Engineer*. Online. Ecstuff4u.com. C2017-2024. Dostupné z: <https://www.ecstuff4u.com/>. [cit. 2024-02-14].
- [68] GEEKSFORGEEKS. *Difference between GPS and DGPS*. Online. GeeksforGeeks. 2023. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-gps-and-dgps/>. [cit. 2024-02-14].
- [69] JAVATPOINT. *Difference Between GPS and DGPS*. Online. Wwww.javatpoint.com. C2011-2021. Dostupné z: <https://www.javatpoint.com/gps-vs-dgps>. [cit. 2024-02-14].
- [70] STUDYTONIGHT TECHNOLOGIES. *Difference between GPS and DGPS*. Online. Studytonight. C2024. Dostupné z: <https://www.studytonight.com/difference-between/gps-vs-dgps>. [cit. 2024-02-14].
- [71] ADVANCED NAVIGATION. *Reference station*. Online. Advanced Navigation. C2024. Dostupné z: <https://www.advancednavigation.com/glossary/reference-station/>. [cit. 2024-02-14].

- [72] STONE, William. *An Overview of GPS Continuously Operating Reference Stations*. Online. Ngs.noaa.gov. 2005. Dostupné z: [https://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/GPS\\_CORRS.html](https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/GPS_CORRS.html). [cit. 2024-02-14].
- [73] CZEPOS. *Služby Státní sítě permanentních stanic pro přesné určování polohy (CZEPOS)*. Online. ČÚZK. C2010. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1zsafd0xcbouxbqrxrozcvzv\)\)/Default.aspx?head\\_tab=sekc e-03-gp&lng=CZ&menu=36&mode=TextMeta&text=Aplikace\\_CZEPOS](https://geoportal.cuzk.cz/(S(1zsafd0xcbouxbqrxrozcvzv))/Default.aspx?head_tab=sekc e-03-gp&lng=CZ&menu=36&mode=TextMeta&text=Aplikace_CZEPOS). [cit. 2024-02-24].
- [74] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD. *Státní síť permanentních stanic pro přesné určování polohy*. Online. CZEPOS. 2020. Dostupné z: <https://czeapos.cuzk.cz/>. [cit. 2024-02-24].
- [75] KRASUSKI, Kamil a POPIELARCZYK, Dariusz. *A New Strategy for Improving the Accuracy of Aircraft Positioning Using DGPS Technique in Aerial Navigation*. Online. MDPI. 2021. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/15/4431>. [cit. 2024-02-15].
- [76] KIM, Jungbeom a SONG, Junesol. *Accuracy Improvement of DGPS for Low-Cost Single-Frequency Receiver Using Modified Flächen Korrektur Parameter Correction*. Online. MDPI. 2017. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2220-9964/6/7/222>. [cit. 2024-02-15].
- [77] NJ.GOV. *Bureau of GIS*. Online. Nj.gov. C1996-2024. Dostupné z: <https://www.nj.gov/dep/gis/faqgps.html>. [cit. 2024-02-15].
- [78] RECEIVERHELP.TRIMBLE.COM. *Base station operation guidelines*. Online. Receiverhelp.trimble.com. 2021. Dostupné z: [https://receiverhelp.trimble.com/r750-gnss/SetupGuidelines\\_BaseStnOpGuidelines.html](https://receiverhelp.trimble.com/r750-gnss/SetupGuidelines_BaseStnOpGuidelines.html). [cit. 2024-02-15].
- [79] CUNNINGHAM, Bill. *GPS ROVER AND BASE: FOR ALL-IMPORTANT ACCURACY, IT'S ALL ABOUT LOCATION*. Online. ECI Technologies. 2023. Dostupné z: <https://www.eci3d.com/blog/gps-rover-and-base-for-all-important-accuracy-its-all-about-location>. [cit. 2024-02-15].
- [80] BENNINGER, Sally. *VRS VS BASE STATION: WHICH IS THE RIGHT FIT FOR YOUR SITE?* Online. ECI Technologies. 2023. Dostupné z: <https://www.eci3d.com/blog/vrs-vs-base-station-which-is-the-right-fit-for-your-site>. [cit. 2024-02-16].
- [81] REACH RS/RS+. *How RTK works*. Online. Reach RS/RS. 2021. Dostupné z: <https://docs.emlid.com/reachrs/rtk-quickstart/rtk-introduction/>. [cit. 2024-02-16].
- [82] GEEKSFORGEEKS. *Advantages and disadvantages of GPS*. Online. GeeksforGeeks. 2022. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/advantages-and-disadvantages-of-gps/>. [cit. 2024-02-16].



- [83] GEODETICKÁ OBSERVATOŘ PECNÝ. *Permanentní GNSS stanice GOPE*. Online. WEBMASTER. 2018. Dostupné z: <https://oko.pecny.cz/vesog/stanice/gope.html>. [cit. 2024-02-24].
- [84] PREDA, Ion. *Vehicle Dynamics Study Based on GPS Devices*. Online. Ion Preda - Academia.edu. 2009. Dostupné z: [https://www.academia.edu/45977158/Vehicle\\_Dynamics\\_Study\\_Based\\_on\\_GPS\\_Devices](https://www.academia.edu/45977158/Vehicle_Dynamics_Study_Based_on_GPS_Devices). [cit. 2024-02-25].
- [85] ZUBAYER, Islam a ANWARI, Nafis. *Understanding the impact of vehicle dynamics, geometric and non-geometric roadway attributes on surrogate safety measure using connected vehicle data*. Online. ScienceDirect. C2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457523001720>. [cit. 2024-02-25].
- [86] MOBILITY INSIDER. *What is vehicle-in-the-loop testing?* Online. Aptiv. 2022. Dostupné z: <https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-is-vehicle-in-the-loop-testing>. [cit. 2024-02-25].
- [87] APPLUS. *Vehicle-in-the-loop testing*. Online. Applus+: [//www.applusidiada.com](https://www.applusidiada.com). C2018. Dostupné z: <https://www.applusidiada.com/global/en/what-we-do/service-sheet/Vehicle-in-the-loop-testing>. [cit. 2024-02-25].
- [88] EXTERNAL-ADMIN. *ADMA-G: Pro / Eco / Eco for Automotive/Railway*. Online. GeneSys Elektronik. C2024. Dostupné z: <https://genesys-offenburg.de/en/adma-g/>. [cit. 2024-02-25].
- [89] MANUALSLIB. *OXTS RT3000 User Manual page 5*. Online. ManualsLib. 2012. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1662173/Oxts-Rt3000.html?page=5#manual>. [cit. 2024-04-17].
- [90] LEVACK, Edward. *NAVsolve manual*. Online. OxTS Support. 2022. Dostupné z: <https://support.oxts.com/hc/en-us/articles/360000225449-NAVsolve-manual>. [cit. 2024-05-11].
- [91] MANUALSLIB. *Avisaro 4.0 Series Technical User's Manual page 53*. Online. ManualsLib. 2004. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1656513/Avisaro-4-0-Series.html>. [cit. 2024-05-10].
- [92] WAGNER, Tobias. *ADMA Manual*. Online. GeneSys Elektronik GmbH. 2023. Dostupné z: <https://genesys-offenburg.de/support/guides-and-manuals/adma/adma-manual/>. [cit. 2024-05-11].
- [93] MAPY.CZ. *Brno*. Online. Seznam.cz. 2023. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?>. [cit. 2024-05-08].

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ADAS	Pokročilý asistenční řídicí systém
ADMA	Automobilový dynamický analyzátor pohybu
AFSCN	Satelitní řídicí síť
A-GPS	Asistenční globální polohový systém
AI	Umělá inteligence
AngleHeadingStdev	Směrodatná odchylka orientace vozidla pro RT3000
ay_AF	Zrychlení v ose y pro přední běžné GPS zařízení
aYVRT	Vertikální zrychlení v ose y pro RT3000
B	Brzdění (event zpomalení – část naměřené trasy)
BDS	BeiDou (čínský navigační systém)
CDMA	Metoda digitálního multiplexování
CZEPOS	Služba Státní sítě permanentních stanic pro určení polohy
ČR	Česká republika
DAGR	Obranný pokročilý přijímač GPS
DGPS	Diferenciální globální polohový systém
Event	Jedna část měřené trasy
FAD	Regulační orgán
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
FP	Fakulta podnikatelská
FSI	Fakulta strojního inženýrství
GCS	Geografický souřadnicový systém
GDOP	Geometrické zředění přesnosti (šíření chyb)
GIS	Geografický informační systém
GNSS	Globální navigační satelitní systém
GNSS_COG_ADMA	Orientace vozidla pro ADMA-G-PRO+
GNSS_Lat_Abs_ADMA	Zeměpisná šířka GNSS pro ADMA-G-PRO+
GNSS_Long_Abs_ADMA	Zeměpisná délka GNSS pro ADMA-G-PRO+
GNSS_Reciever_Status_ADMA	Status přesnosti pro ADMA-G-PRO+
GNSS_Sats_Used	Počet použitých satelitů pro ADMA-G-PRO+
GNSS_Sats_Visible	Počet viditelných satelitů pro ADMA-G-PRO+
GOPE	Permanentní GNSS stanice
GPS	Globální polohový systém

GpsNumSats	Počet satelitů pro RT3000
GpsPosMode	Status přesnosti pro RT3000
heading	Orientace vozidla
headingRT	Orientace vozidla pro RT3000
IMU	Inerciální měřicí jednotka
INS	Inerciální navigační systém
INS_Lat_Abs_ADMA	Zeměpisná šířka INS pro ADMA-G-PRO+
INS_Long_Abs_ADMA	Zeměpisná délka INS pro ADMA-G-PRO+
INS_Vel_Frame_X_ADMA	Rychlost v ose x pro ADMA-G-PRO+
INS_Vel_Frame_Y_ADMA	Rychlost v ose y pro ADMA-G-PRO+
KO	Kruhový objezd
lat	Zeměpisná šířka
lat_AF	Zeměpisná šířka pro přední běžné GPS zařízení
lat_AR	Zeměpisná šířka pro zadní běžné GPS zařízení
latRT	Zeměpisná šířka pro RT3000
lon	Zeměpisná délka
lon_AF	Zeměpisná délka pro přední běžné GPS zařízení
lon_AR	Zeměpisná délka pro zadní běžné GPS zařízení
lonRT	Zeměpisná délka pro RT3000
M	Manévr vozidla (event – část naměřené trasy)
MEO	Střední oběžná dráha Země
NAVSTAR	Původní název pro GPS
NAVsuite	Software poskytovaný společností Oxford
NAVsolve	Aplikace, která zvyšuje přesnost
numSat_AF	Počet satelitů pro přední běžné GPS zařízení
numSat_AR	Počet satelitů pro zadní běžné GPS zařízení
O	Otočka (event – část naměřené trasy)
OC	Operační středisko GPS
P	Půl otočka (event – část naměřené trasy)
PLGR	Lehký přesný přijímač GPS
R	Rovina (event – část naměřené trasy)
RT	Inerciální navigační systém
RTK	Kinematické určování polohy v reálném čase

S	Stání vozidla (event – část naměřené trasy)
SBAS	Satelitní systém augmentace
SOS	Tísňový signál
speed_AF	Horizontální rychlost pro přední běžné GPS zařízení
speed_AR	Horizontální rychlost pro zadní běžné GPS zařízení
Stdev	Směrodatná odchylka
U	Úsek (event – část naměřené trasy)
URE	Chyba uživatelského rozsahu
UTM	Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic
vHADMA	Horizontální rychlost pro ADMA-G-PRO+
vHRT	Horizontální rychlost pro RT3000
VIL	Vehicle in the Loop (Vozidlo ve smyčce)
VUT	Vysoké učení technické
VW	Volkswagen
WADGPS	Diferenciální globální polohový systém pro široké oblasti
WGS 84	Světový geodetický systém 1984
Z	Zatáčka (event – část naměřené trasy)