

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra elektrotechniky a automatizace**



**Bakalářská práce**

**Návrh metody pro zpřesnění pozice GPS na pozemku**

**Nurbol Ilyassov**

© 2024 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Nurbol Ilyassov

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Návrh metody pro zpřesnění pozice GPS na pozemku**

Název anglicky

**Proposal of a method for refining the GPS position on the ground**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je porovnat metody určování polohy pomocí GPS a její zpřesňování. Výstupem práce bude návrh metody pro zpřesnění polohy na pozemku za využití platformy Arduino a HW ESP.

### Metodika

- 1) Prostudování problematiky určování polohy pomocí GPS a jeho nasazení
- 2) Seznámení se s metodami pro zpřesňování polohy pomocí GPS
- 3) Popis jednotlivých metod
- 4) Výběr vhodné metody na základě ekonomické analýzy
- 5) Sestavení zařízení a návrh SW pro možnost určování přesnější polohy

### Doporučený rozsah práce

50 stran, bez příloh

### Klíčová slova

GPS, ESP, zpřesnění lokace,

---

### Doporučené zdroje informací

1. BELL, Charles A. *Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi*. [New York, New York]: Apress, 2013. ISBN 1430258241.
  2. GPS AUTOPILOTY V ZEMĚDĚLSTVÍ (2009 : PRAHA, ČESKO), ; NACIOLNAL'NYJ UNİVERSITET "ČERNÌHÌVS'KAPOLÌTEHNÌKA", ; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ, ;
  3. LEADING FARMERS CZ (FIRMA). *GPS autopiloty v zemědělství : sborník z konference : v Praze, 22.10.2009*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů, 2009. ISBN 978-80-213-1993-6.
  4. HRDINA, Zdeněk; VEJRAŽKA, František; PÁNEK, Petr; ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
  5. ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA. *Rádiové určování polohy : (družicový systém GPS)*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01386-3.
  6. STEINER, Ivo; ČERNÝ, Jiří. *GPS od A do Z*. Praha: eNav, 2003. ISBN 80-239-0228-8.
- 

### Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

### Vedoucí práce

Ing. Jiří Kuře

### Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno

dne 8. 2. 2022

---

**doc. Ing. Miloslav Linda,**

**Ph.D.** Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno

dne 25. 3. 2022

---

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

děkan

V Praze dne 28. 02. 2024



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Návrh metody pro zpřesnění pozice GPS na pozemku" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.03.2024

---

## **Poděkování**

Rád(a) bych touto cestou poděkoval(a) Ruslanovi Iakhinovi, Dáši Iakhinově, obchodnímu řediteli formy GPS Dozor Janovi Karasovi, pánovi inženýrovi Jiřímu Kuřovi a studijní referentce paní Zástěrově. Opravdu jsem moc vděčný za to, že jsem vás potkal a že jste mi pomohli v mém studentském životě.

# Návrh metody pro zpřesnění pozice GPS na pozemku

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh a implementaci metody pro zpřesnění pozice GPS na pozemku s využitím mikrokontrolerů ESP8266 a vývojového prostředí Arduino. V práci jsou analyzovány existující metody zpřesňování polohy GPS a jejich aplikace v praktických scénářích. Projekt integruje hardware ESP8266 s GPS moduly pro sběr a zpracování polohových dat. Software je vyvíjen v Arduino IDE s využitím aplikace Blynk pro testování a vizualizaci získaných dat. Práce dále obsahuje ekonomickou a technickou analýzu, která hodnotí efektivitu, náklady a potenciální aplikace vytvořeného systému. Cílem práce je demonstrovat, jak lze s relativně nízkými náklady a dostupnými technologiemi vylepšit přesnost GPS, což má široké uplatnění v různých oblastech.

**Klíčová slova:** GPS, ESP8266, Poloha, Arduino, Elektronika, GPS moduly, IoT věci, programování, Blynk.

# **Proposal of a method for refining the GPS position on the ground**

## **Abstract**

This bachelor thesis focuses on the design and implementation of a method for improving GPS positioning accuracy on land using ESP8266 microcontrollers and the Arduino development environment. The work analyses existing methods for refining GPS positioning and their application in practical scenarios. The project integrates ESP8266 hardware with GPS modules for collecting and processing positional data. The software is developed in the Arduino IDE, utilizing the Blynk app for testing and visualization of the obtained data. Furthermore, the thesis includes an economic and technical analysis that evaluates the efficiency, costs, and potential applications of the developed system. The aim of the work is to demonstrate how GPS accuracy can be enhanced with relatively low expenses and available technologies, which has broad applications in various fields.

**Keywords:** GPS, ESP8266, Location, Arduino, Electronics, GPS modules, IoT things, Programming, Blynk.



# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce a metodika.....</b>	<b>2</b>
2.1 Cíl práce .....	2
2.2 Metodika .....	3
<b>Teoretická východiska .....</b>	<b>4</b>
3.1.1 Historie a vývoj.....	4
3.1.2 Principy fungování GPS .....	6
3.1.3 Faktory ovlivňující přesnost .....	9
3.2 Existující metody zpřesnění pozice GPS .....	15
3.2.1 Technologie a algoritmy zpracování signálu.....	20
3.2.2 Příklady využití a význam GNSS sítí v současnosti .....	23
3.2.3 Současné výzvy a výzkumné směry v GNSS.....	26
3.3 IDE Arduino a mikroprocesor ESP8266.....	29
3.3.1 Význam a použití Arduina.....	29
3.3.2 Význam a použití mikroprocesoru ESP .....	32
<b>4 Praktická část práce.....</b>	<b>36</b>
4.1 Softwarová stránka bakalářské práce .....	36
4.2 Hardwarová část.....	40
4.3 Testování zařízení .....	42
<b>5. Zhodnocení výsledků .....</b>	<b>44</b>
5.1 Změření přesnosti.....	44
5.2 Ekonomické zhodnocení .....	46
<b>6. Závěr.....</b>	<b>48</b>
<b>7. Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>50</b>
<b>8 Přílohy.....</b>	<b>52</b>
8.1 Kompletní program, pro určování.....	52
8.2 Python skript pro určování vzdálenosti.....	55

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Trilaterace.....	7
Obrázek 2 Nevhodné rozložení satelitů .....	11
Obrázek 3 Ideální rozložení satelitů .....	12
Obrázek 4 DGPS.....	16
Obrázek 5 Princip fungování RTK .....	17
Obrázek 6 Kvadrokoptéra na bázi Arduina, .....	30

Obrázek 7 Arduino integrované vývojové prostředí, .....	31
<i>Obrázek 8 Mikroprocesor ESP8266, 33</i>	
Obrázek 9 Šablony v aplikaci Blynk.....	37
Obrázek 10 DataStreamy v Blynku .....	38
Obrázek 11 Nastavení widgetů v Blynku .....	38
Obrázek 12 Ukázka virtuálního zařízení v Blynku .....	39
Obrázek 13 Ukázka přítomnosti ESP8266.....	39
Obrázek 14 Schéma hardwaru: ESP8266 a tři GPS moduly .....	40
Obrázek 15 Vybrání portů v Arduinu .....	42
Obrázek 16 Zobrazení zeměpisných souřadnic v Blynku.....	43

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Popis hodnot DOP.....	13
Tabulka 2 Zeměpisné souřadnice.....	44
Tabulka 3 Porovnání přesností.....	45
Tabulka 4 Ekonomické zhodnocení metod zpřesnění.....	47

## **Seznam diagramů**

Diagram 1 Struktura a vysílání signálu GPS .....	6
Diagram 2 Faktory ovlivňující přesnost GPS .....	9

# 1 Úvod

V současné době se přesnost určování polohy stala nezbytnou součástí mnoha technologických aplikací, které se dotýkají širokého spektra lidských aktivit: navigace, mapování, která jsou základem pro osobní i komerční dopravu, pokročilé logistické systémy zajišťující efektivní sledování a distribuci zboží, až po precizní zemědělství a environmentální monitorování – všechny tyto oblasti závisí na schopnosti určovat polohu s vysokou mírou přesnosti a spolehlivosti. Taktéž s rostoucím významem automatizace a autonomních systémů se požadavky na přesnost polohových dat neustále zvyšují, což vyžaduje neustálý vývoj a inovace v technologiích pro určování polohy.

Existují několik způsobů, jak polohu zpřesnit za využitím systémů jako Diferenciální GPS, Real-Time Kinematic a augmentačních systémů, ale tyto metody vyžadují vysoké náklady. V této souvislosti se framework Arduino a mikroprocesor ESP (v našem případě ESP8266) lze použít k aplikaci metody, která by polohu zpřesňovala za relativně nízké náklady. Pro tuto práci lze pomocí Arduina napsat program, který by sloužil pro poskytování dat, které pak lze převzít z hardwarové části mikroprocesoru ESP.

Tato práce je zaměřena na porovnání existujících metod určování polohy, identifikaci jejich klíčových omezení a na navržení nového, efektivnějšího řešení pro zlepšení přesnosti polohových údajů na pozemku. Výstupem této práce je návrh metody, která využívá potenciál a dostupnost Arduino a ESP hardwaru, a je zacílena na praktické aplikace s přidanou hodnotou v reálném světě.

Tento výzkum představuje kritický pohled na současné možnosti a omezení v technologiích pro určování polohy, a nabízí nový pohled na využití dostupných a cenově efektivních nástrojů pro zlepšení přesnosti polohových dat. S důrazem na praktickou aplikovatelnost navrhovaných řešení, práce klade základy pro budoucí vývoj a inovace v oblasti určování polohy, které mohou mít významný dopad na řadu technologických aplikací a průmyslových odvětví.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je provést komplexní porovnání existujících metod určování polohy pomocí systému GPS a identifikovat přístupy k jejich zpřesňování. V kontextu rostoucích požadavků na přesnost polohových údajů v mnoha aplikacích se práce zaměřuje na analýzu stávajících technologií a metodik, které se v současnosti používají k určování a zlepšení přesnosti polohových informací. Toto porovnání zahrnuje hodnocení technických parametrů, možností implementace, nákladové efektivity a potenciálních omezení každé z metod. Záměrem je identifikovat klíčové faktory, které ovlivňují přesnost určování polohy, a poskytnout ucelený přehled o stávajících řešeních v této oblasti.

Práce je zaměřena na vývoj a návrh nové metody pro zpřesnění polohy na pozemku, která využije potenciál a flexibilitu platformy Arduino a hardwarových modulů ESP. Tento výzkumný záměr vychází z předpokladu, že kombinace cenově dostupných, ale výkonných mikroprocesorů a modulů s připojením k internetu může přinést inovativní řešení pro zlepšení přesnosti GPS. Cílem je navrhnout systém, který bude schopen efektivně využívat dostupné technologie pro zpřesnění polohových dat, přičemž bude dbát na optimalizaci nákladů a snadnost implementace v praxi.

Specifické cíle této práce zahrnují:

- Analýzu a porovnání existujících metod určování polohy pomocí GPS, včetně diferenciálního GPS (DGPS), Real-time kinematic (RTK) systémů, nebo dalších technologií zpřesňování polohy.
- Návrh nové metody pro zpřesnění polohy na pozemku, která efektivně využívá hardware ESP a moduly GPS pro dosažení lepší přesnosti než standardní GPS řešení.
- Vyhodnocení praktické aplikovatelnosti a ekonomické efektivity navrhovaného řešení, s důrazem na jeho využití v reálných aplikacích.

Výstupem práce je nejen teoretický přehled a analýza, ale především praktický návrh, který slouží jako základ pro další výzkum a vývoj v oblasti zpřesňování polohových údajů. Navrhovaná metoda je podrobená testování a evaluaci, aby bylo možné ověřit její funkčnost a přesnost v porovnání s tradičními přístupy. Tímto způsobem práce přispívá k rozšíření stávajících znalostí o možnostech zpřesnění GPS a otevírá cestu k vývoji nových, efektivních a cenově dostupných řešení pro přesné určování polohy.

## 2.2 Metodika

Metodologie této bakalářské práce je strukturována do pěti klíčových fází, které umožňují systematický přístup k dosažení stanovených cílů:

### 1. Přehled základních principů GPS a jejího využití v praxi

Tato fáze zahrnuje rešerši a analýzu dostupné literatury a zdrojů, které se zabývají principy fungování systému GPS a jeho aplikacemi. Cílem je získat ucelený přehled o tom, jak systém GPS pracuje, jaké jsou jeho možnosti a omezení, a v jakých oblastech nachází své uplatnění.

### 2. Seznámení se s metodami pro zpřesňování polohy pomocí GPS

V této fázi se práce zaměří na shromažďování informací o různých metodách zpřesnění polohy, které jsou aktuálně využívány. Jsou zkoumány techniky jako diferenciální GPS (DGPS), Real-Time Kinematic (RTK) systémy, a další přístupy, které umožňují zvýšení přesnosti polohových údajů.

### 3. Popis jednotlivých metod

Tato etapa se soustředí na kritické porovnání jednotlivých metod zpřesnění. Cílem je identifikovat silné a slabé stránky každé techniky, jejich praktickou aplikovatelnost a specifické situace, ve kterých je jejich použití vhodné nebo nevhodné.

### 4. Výběr vhodné metody na základě ekonomické analýzy

V této fázi se provádí ekonomická analýza zkoumaných metod s cílem vybrat nejvhodnější přístup pro návrh zpřesnění polohy. Analyzovány jsou jak počáteční investiční náklady, tak i provozní náklady a očekávané přínosy z hlediska zvýšení přesnosti a spolehlivosti polohových dat.

### 5. Sestavení zařízení a návrh SW pro možnost určování přesnější polohy

Poslední fáze se zaměřuje na praktickou realizaci vybrané metody. Zahrnuje detailní popis konstrukce hardwarového zařízení a vývoj softwaru, který bude sloužit pro zpřesnění polohových údajů. Tato část se věnuje také testování navrženého systému, analýze získaných dat a vyhodnocení efektivity a přesnosti nově navržené metody.

## **Teoretická východiska**

### **3.1.1 Historie a vývoj**

System globálního pozicování (GPS), který představuje významný milník v historii technologického rozvoje, se začal vyvíjet v sedmdesátých letech dvacátého století jako reakce na vzrůstající potřebu americké armády po metodě, která by umožnila přesné určení polohy. Tento systém, původně vyvinutý s vojenským zaměřením, se postupem času stal základním prvkem pro širokou škálu civilních aplikací, sahajících od navigace, mapování, přes zemědělství, až po pokročilý vědecký výzkum.

První koncepce GPS systému byla založena na myšlence využití sítě satelitů obíhajících Zemi, které by vysílaly signály umožňující přesnou lokalizaci přijímačů umístěných na povrchu planety. Tento koncept postupně procházel etapami vývoje a zdokonalování, což vyústilo v důležité etapy, jež formovaly současnou podobu systému. Jedním z klíčových okamžiků v historii GPS bylo vypuštění prvního satelitu v roce 1978, což představovalo první krok k praktické realizaci systému. Následně byla postupně doplněna celá síť satelitů, která dnes zahrnuje 24 aktivních satelitů, což systému GPS umožňuje poskytovat nepřetržitou a globální službu.

Plná operativní schopnost systému GPS byla dosažena v roce 1993, kdy byl systém kompletně dokončen a zahrnoval plný počet satelitů potřebných pro zajištění nepřetržitého a celosvětového pokrytí. Tento moment představuje významný mezník v historii GPS, kdy se z vojenského projektu stal globálně využívaný systém, který dnes slouží milionům uživatelů po celém světě. Systém GPS, který byl původně zamýšlen jako vojenská technologie, tak překročil hranice svého původního určení a stal se klíčovým nástrojem pro nejrůznější civilní aplikace, otevírajícím nové možnosti v navigaci, geografickém mapování, zemědělství, vědě a mnoha dalších oblastech. (1) (2).

Zrušení selektivní dostupnosti (Selective Availability) v roce 2000 představuje jeden z významných mezníků v evoluci systému globálního pozicování (GPS), neboť tento krok zásadně zlepšil přesnost určování polohy pro civilní uživatele na celém světě. Tímto rozhodnutím bylo odstraněno úmyslné zhoršování signálu, což umožnilo civilním GPS přijímačům dosahovat mnohem vyšší úrovně přesnosti. Tento pokrok v oblasti dostupnosti a přesnosti GPS signálu otevřel dveře k rozvoji a implementaci široké škály nových aplikací

a služeb závislých na přesném určování polohy. Významně také přispěl k expanzi GPS technologie do nových oblastí a stimuloval inovace v řadě průmyslových odvětví (3).

V poslední době se značná pozornost věnuje integraci GPS s ostatními globálními navigačními satelitními systémy (GNSS), jako jsou ruský GLONASS, evropský Galileo a čínský BeiDou. Integrace těchto systémů přináší mnohostranné výhody, včetně zlepšení přesnosti, zvýšení spolehlivosti a rozšíření služeb určování polohy. To je obzvláště významné pro aplikace a služby, které vyžadují vysokou míru přesnosti a spolehlivosti, například v oblastech geodézie, navigace, osobní bezpečnosti a mnoha dalších. (4).

Současný vývoj v oblasti GPS a přidružených technologií zahrnuje také vylepšování algoritmů pro zpracování signálů, vývoj nových metod pro zpřesnění určování polohy a začlenění moderních technologických postupů. Mezi tyto inovace patří technologie jako Real-Time Kinematic (RTK), diferenciální GPS (DGPS) a různé augmentační systémy, které vylepšují základní signál GPS a poskytují uživatelům vyšší úroveň přesnosti. Kromě toho, vznikají i různé projekty „udělej si sám“ (DIY), které umožňují nadšencům a výzkumníkům experimentovat s vlastními řešeními pro zlepšení přesnosti GPS. V kontextu této bakalářské práce byly použity mikroprocesory ESP společně s GPS moduly jako cenově efektivní nástroje pro zpřesnění polohových údajů.

Tyto pokroky a inovace v oblasti GPS a GNSS technologií otevírají nové možnosti pro vývoj a implementaci pokročilých polohových služeb a aplikací, které jsou schopny uspokojit rostoucí požadavky na přesnost a spolehlivost v různých oblastech lidské činnosti.

### 3.1.2 Principy fungování GPS

System globálního pozicování (GPS) představuje technologický průlom, který umožnil přesné určování polohy na celém světě pomocí signálů vysílaných satelity. Principy fungování GPS se opírají o několik základních konceptů: každý satelit GPS vysílá signály, které jsou základem pro systém globálního pozicování. Tyto signály se skládají z několika klíčových komponent, které umožňují přesné určení polohy. Prvním z těchto komponent je pseudonáhodný kód, známý také jako „PRN“. Tento kód slouží k identifikaci signálu vysílaného konkrétním satelitem. Díky tomu, že každý satelit má svůj unikátní PRN, mohou GPS přijímače rozlišit mezi signály vysílanými různými satelity. Tento mechanismus je základem pro odolnost systému proti rušení a zajišťuje, že signál může být spolehlivě přijímán i v náročných podmínkách (5).

Další důležitou součástí signálu je navigační zpráva. Tato zpráva obsahuje informace o stavu satelitu, například zda je satelit funkční, jeho přesné orbity (efemeridy), a systémové informace, jako je čas v systému GPS a parametry, které umožňují přesný výpočet času (5).

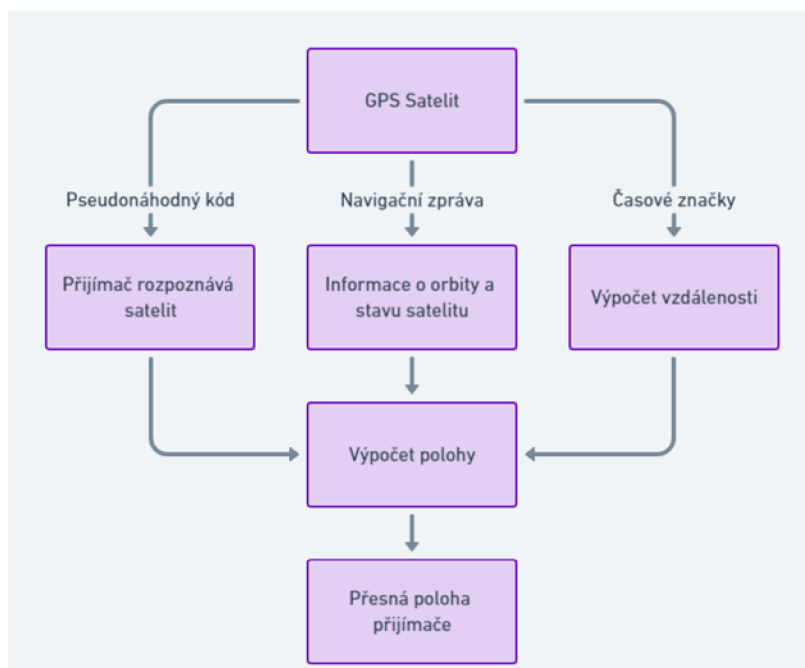
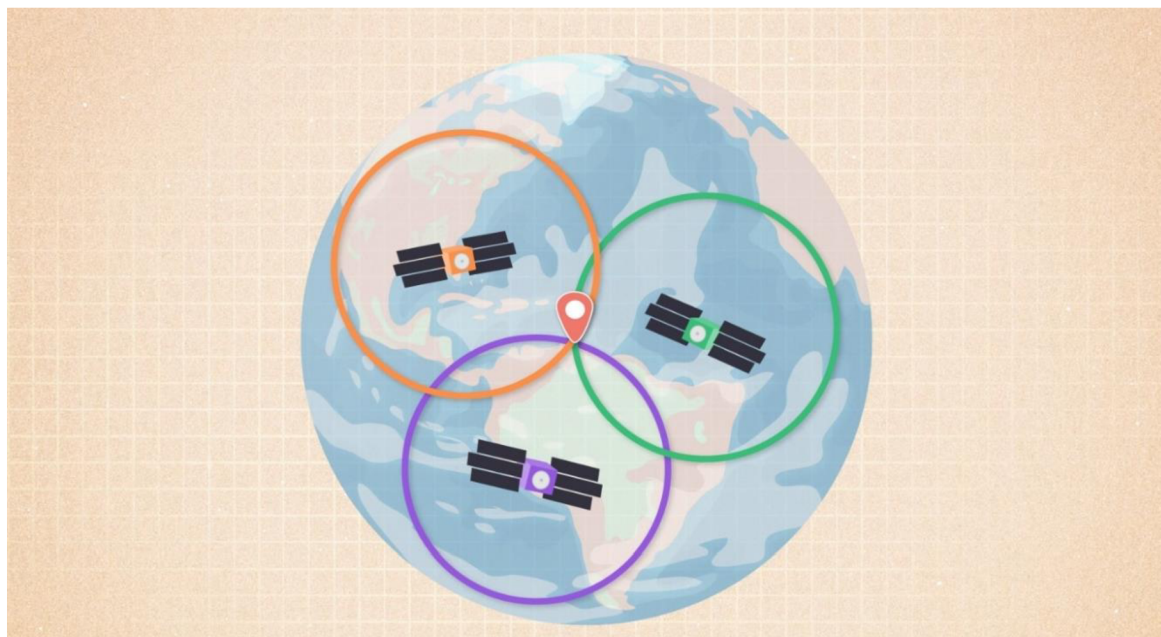


Diagram 1 Struktura a vysílání signálu GPS

Důležitým aspektem je i trilaterace (Obrázek 1), což je proces, který využívá měření vzdálenosti od tří nebo více satelitů k určení přesné polohy přijímače na Zemi. Každé měření vzdálenosti vytváří sféru kolem satelitu, na jejíž povrchu se musí nacházet přijímač. Průsečík



tří nebo více těchto sfér pak určuje přesnou polohu přijímače. V praxi je pro zvýšení přesnosti a odolnosti proti chybám často používáno více než tři satelity (6).



Obrázek 1 Trilaterace, Zdroj: <https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/activity/tracking-spacecraft-with-trilateration>

Další věc, která je základem pro všechny GNSS systémy – přesný čas. Každý satelit v systému je vybaven atomovými hodinami, které poskytují extrémně přesné časové značky pro signály vysílané satelitem. Tyto časové značky jsou nezbytné pro výpočet vzdálenosti od satelitu k přijímači, což je základní princip určování polohy v GNSS. Synchronizace mezi satelitními hodinami a hodinami v přijímači je rozhodující pro přesnost GNSS. Jakékoli rozdíly v čase mezi satelitem a přijímačem mohou vést k významným chybám v určení polohy. GNSS systémy proto používají sofistikované algoritmy pro synchronizaci času mezi satelity a přijímači, což umožňuje kompenzaci malých rozdílů v čase a zajišťuje vysokou přesnost určení místa (6).

Korekce chyb se zabývá identifikací a minimalizací chyb ovlivňujících přesnost měření polohy. Mezi hlavní zdroje chyb patří ionosférické a troposférické zpoždění, které zpomalují signály GPS při průchodu atmosférou, ephemeris a chyby hodin, které vznikají nepřesnostmi v orbitálních datech satelitů a jejich časových značkách, multipath efekty způsobené odraženými signály<sup>3</sup>) Pro zvýšení přesnosti GPS jsou využívány augmentační systémy, které poskytují doplňkové informace pro překonání těchto omezení. Satellite-Based Augmentation System (SBAS) jako WAAS v USA, EGNOS v Evropě a MSAS v Japonsku, poskytují korekce prostřednictvím dodatečných geostacionárních satelitů. Ground-Based Augmentation System (GBAS) nabízí lokální korekce pro specifické oblasti,

jako jsou letiště, a Differential GPS (DGPS) využívá pozemní referenční stanice k poskytování korekcí signálů GPS, čímž značně zvyšuje přesnost určení polohy (5).

Spojením signálů z více systémů lze dosáhnout vyšší přesnosti určení polohy, jelikož je k dispozici větší počet satelitů, což umožňuje lepší pokrytí a optimalizaci geometrie pro měření. Integrace též zvyšuje spolehlivost systému tím, že poskytuje redundanci – v případě selhání nebo zablokování signálu jednoho systému mohou být použity signály z ostatních systémů. Díky tomu je zajištěna globální dostupnost navigačních služeb, což je zvláště důležité v oblastech, kde může být přístup k určitým GNSS omezen.

Integrace těchto systémů však přináší řadu technických výzev, včetně potřeby zvládnout kompatibilitu různých signálů, které mohou používat odlišné frekvence a struktury. Dalším podstatným aspektem je synchronizace času mezi systémy, jelikož každý GNSS používá svůj vlastní časový systém, a pro správné určení polohy je nezbytná přesná časová synchronizace. Navíc existují politické a regulační otázky spojené se správou, standardizací a interoperabilitou systémů, které jsou spravovány různými státy nebo mezinárodními organizacemi. Tato integrace a spolupráce mezi různými globálními navigačními satelitními systémy tedy představuje klíčový krok k dosažení vysoké úrovně přesnosti, spolehlivosti a dostupnosti, které jsou nezbytné pro širokou škálu aplikací využívajících GNSS (7).

### 3.1.3 Faktory ovlivňující přesnost

Ačkoliv systém GPS je navržen pro poskytování vysoké přesnosti určování polohy, existuje několik faktorů, které mohou tuto přesnost negativně ovlivnit. Tyto faktory lze rozdělit do několika hlavních kategorií: atmosférické zpoždění, multipath efekty, geometrie satelitů a technické omezení (Diagram 2).

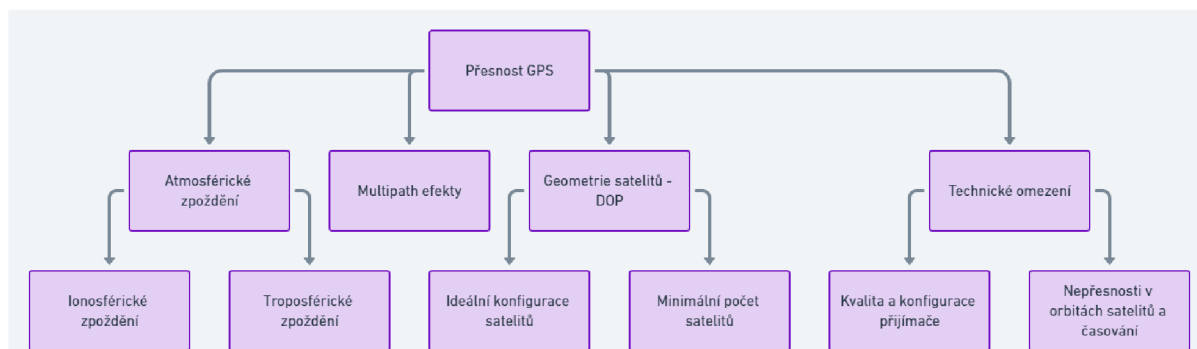


Diagram 2 Faktory ovlivňující přesnost GPS

Signály GPS při průchodu atmosférou Země procházejí ionosférou a troposférou, což může způsobit zpoždění a tím ovlivnit přesnost výpočtu polohy. Ionosférické zpoždění je způsobeno elektricky nabitými částicemi ve vrchních vrstvách atmosféry. Tyto částice ovlivňují rychlost signálu GPS, což může vést k nepřesnostem v určení vzdálenosti mezi satelitem a přijímačem. Zpoždění závisí na několika faktorech, včetně času dne, sluneční aktivity a geografické polohy. Během dne, kdy je ionosféra více ionizována slunečním zářením, může být zpoždění větší. Tento efekt je také proměnlivý v závislosti na slunečním cyklu a může se lišit v různých geografických oblastech.

Troposférické zpoždění nastává, když signál GPS prochází nižšími vrstvami atmosféry. Toto zpoždění je ovlivněno vlhkostí, teplotou a atmosférickým tlakem. Na rozdíl od ionosférického zpoždění, které může být částečně předpovězeno a kompenzováno, troposférické zpoždění je obtížnější předvídat kvůli proměnlivosti těchto environmentálních faktorů. Pro minimalizaci vlivu atmosférického zpoždění na přesnost GPS jsou vyvíjeny různé metody korekce. Jednou z takových metod je použití modelů, které předpovídají průměrné zpoždění na základě aktuálních atmosférických podmínek a umožňují přijímačům provádět korekce v reálném čase. Další metodou je diferenciální GPS (DGPS), která využívá pozemní referenční stanice k poskytování korekcí signálů GPS, čímž se zvyšuje přesnost určení polohy (5).

Multipath efekty nastávají, když signál vyslaný GPS satelitem dosáhne GPS přijímače po odrazech od různých povrchů, jako jsou budovy, hory nebo vodní plochy. Tento jev může vést k tomu, že přijímač zaznamenává více signálů z jednoho satelitu ve velmi krátkém časovém intervalu, což může způsobit chyby ve výpočtu polohy.

Multipath efekty jsou zvláště významné v městských oblastech, kde vysoké budovy mohou odrazit signály GPS, než dorazí k přijímači. Tento jev může způsobit, že přijímač zaznamenává odražený signál jako další, nezávislý signál, což může vést k nepřesnostem v určení polohy. Efekt je způsoben rozdílem v cestě, kterou musí odražený signál urazit ve srovnání s přímým signálem, což vede k rozdílu v čase příchodu signálů. Multipath efekty mohou mít různý dopad na přesnost GPS v závislosti na několika faktorech, včetně typu a konfigurace přijímače, prostředí, ve kterém se přijímač nachází, a specifických charakteristik odrazivých povrchů.

V důsledku toho mohou být některé GPS přijímače navrženy tak, minimalizovaly vliv multipath efektů pomocí různých technik, jako je pokročilé zpracování signálu nebo použití antén speciálně navržených pro potlačení nebo eliminaci odražených signálů. Pro boj s multipath efekty se v praxi využívají různé strategie. Jednou z nich je vylepšení algoritmů zpracování signálu v GPS přijímačích, které umožňují lepší rozlišení mezi přímými a odraženými signály a tím snižují vliv odrazů na výpočet polohy. Další strategií je využití diferenciálního GPS (DGPS), které poskytuje korekce pro signály GPS na základě měření z referenčních stanic, čímž se zvyšuje celková přesnost určení polohy.

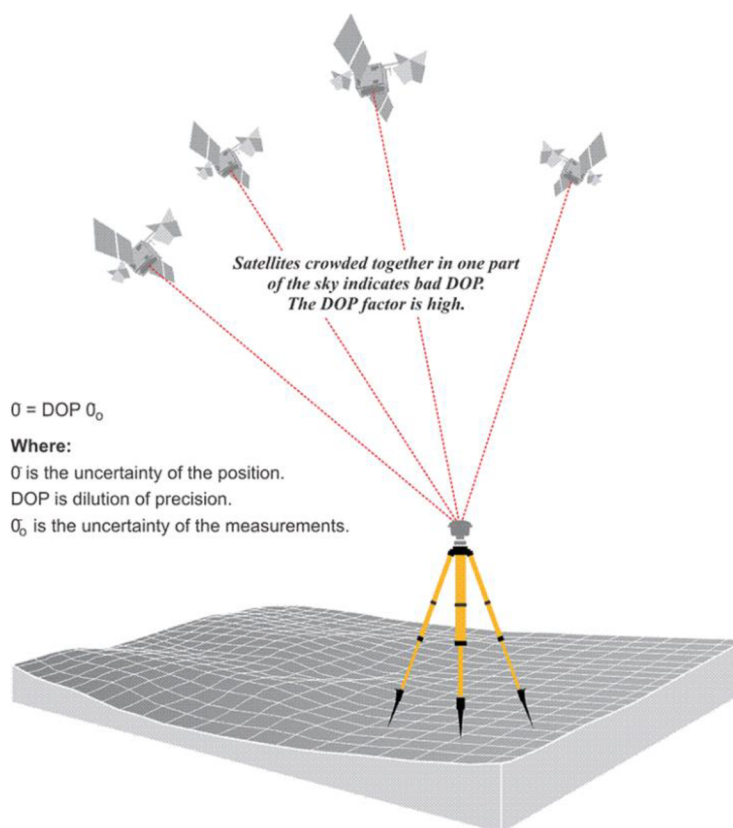
Ačkoliv multipath efekty představují významnou výzvu pro přesnost GPS, pokroky v technologii a vývoj nových metod zpracování signálu a korekce mohou výrazně snížit jejich negativní dopad. Díky těmto inovacím může GPS nadále poskytovat vysoce přesné polohové informace pro širokou škálu aplikací, od navigace a mapování po vědecký výzkum a vojenské operace (6).

Koncept DOP (Dilution of Precision) je klíčový pro pochopení, jak rozložení satelitů ve vesmíru ovlivňuje schopnost přijímače určit svou polohu. DOP je kvantitativní míra, která ukazuje, jak geometrie satelitů ovlivňuje přesnost určení polohy. Nízká hodnota DOP značí, že satelity jsou rozloženy výhodně vzhledem k přijímači, což vede k vyšší přesnosti určení polohy. Naopak, vysoká hodnota DOP naznačuje, že konfigurace satelitů je méně výhodná, což může způsobit větší nepřesnosti (7).

DOP se dělí na několik typů, včetně:

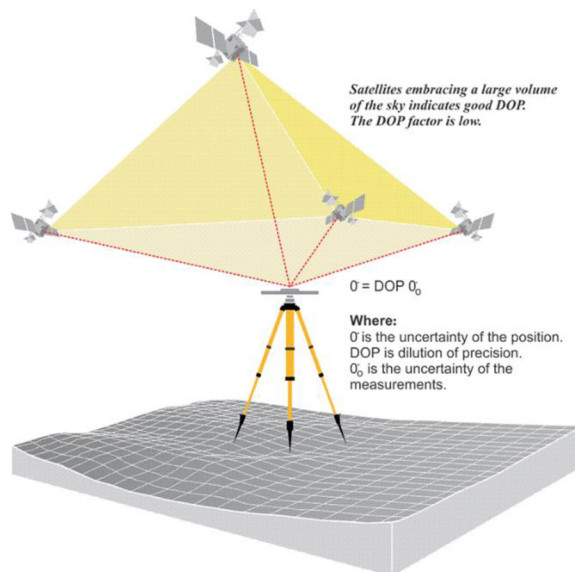
1. PDOP (Position Dilution of Precision): Ovlivňuje celkovou přesnost určení polohy v trojrozměrném prostoru.
2. HDOP (Horizontal Dilution of Precision): Specificky ovlivňuje přesnost určení polohy v horizontální rovině.
3. VDOP (Vertical Dilution of Precision): Ovlivňuje přesnost určení polohy ve vertikálním směru.

Ideální konfigurace satelitů pro minimalizaci DOP a maximalizaci přesnosti určení polohy je taková, kde jsou satelity rozmístěny široce po obloze. Toto rozložení zajišťuje, že signály přicházejí k přijímači z různých směrů, což umožňuje přesnější výpočty. Na druhou stranu, pokud jsou satelity příliš blízko sebe nebo pokud je k dispozici pouze minimální počet satelitů, může to vést k vyššímu DOP a tím k nižší přesnosti určení polohy. Pro optimalizaci přesnosti GNSS je nezbytné nejen sledovat počet dostupných satelitů, ale také pečlivě zvážit jejich geometrické rozložení. Moderní GNSS přijímače a navigační software jsou často vybaveny funkcemi, které uživatelům umožňují monitorovat DOP a přizpůsobit své operace tak, aby maximalizovaly přesnost určení polohy v daných podmínkách (7).



Obrázek 2 Nevhodné rozložení satelitů, Zdroj: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1771>

Satelity shromážděné v jedné části oblohy znamenají špatnou DOP, což znamená, že konfigurace satelitů je méně výhodná (Obrázek 2). Faktor DOP je vysoký.



Obrázek 3 Ideální rozložení satelitů, Zdroj: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1771>

Satelity pokrývající velkou část oblohy svědčí o dobré DOP (Obrázek 3). Satelity jsou rozmístěny široce po obloze. Signály přicházejí k přijímači z různých směrů, což umožňuje přesnější výpočty. Faktor DOP je nízký.

Ideální (hodnota DOP <1): Tato kategorie představuje nejvyšší možnou přesnost a je vhodná pro aplikace, které vyžadují maximální přesnost určování polohy v každém okamžiku. Je to stav, kdy geometrie satelitů je optimální a umožňuje nejpresnější určení polohy.

Vynikající (hodnota DOP 1-2): Polohová měření v této kategorii jsou dostatečně přesná pro všechny aplikace kromě těch nejnáročnějších. Tato úroveň přesnosti je vhodná pro většinu praktických použití.

Dobrá (hodnota DOP 2-5): Tato úroveň označuje minimální vhodnost pro přijímání přesných rozhodnutí. Polohová měření jsou dostatečně spolehlivá pro navigaci a další aplikace, kde je přesnost důležitá, ale není kritická. Celý popis hodnocení DOP je v Tabulce 1.

Tabulka 1 Popis hodnot DOP

Hodnota DOP	Hodnocení	Popis
méně než 1	Ideální	Nejvyšší možná přesnost pro aplikace vyžadující nejvyšší přesnost v každém okamžiku.
1 až 2	Vynikající	Při této úrovni přesnosti se polohová měření považují za dostatečně přesná pro všechny kromě nejnáročnějších aplikací.
2 až 5	Dobrá	Představuje úroveň, která označuje minimální vhodnost pro přijímání přesných rozhodnutí. Polohová měření by mohla být použita pro spolehlivé navrhování navigace uživateli.
5 až 10	Střední	Polohová měření by mohla být použita pro výpočty, ale je potřeba zlepšení přesnosti. Doporučuje se otevřenější výhled na oblohu.
10 až 20	Uspokojivá	Představuje nízkou úroveň přesnosti. Polohová měření by měla být zavržena nebo použita pouze pro velmi hrubý odhad současné polohy.
více než 20	Špatná	Na této úrovni jsou měření nepřesná až o 300 metrů u zařízení s přesností 6 metrů ( $50 \text{ DOP} \times 6 \text{ metrů}$ ) a měla by být zavržena.

Relativní pohyb mezi satelity GPS a přijímačem může ovlivnit přesnost signálů GPS kvůli Dopplerovu efektu. Dopplerův efekt se vyskytuje, když se frekvence vlny změní v důsledku relativního pohybu zdroje vlny a pozorovatele. V kontextu GPS to znamená, že pokud se přijímač pohybuje vůči satelitu, frekvence přijatého signálu se mírně liší od frekvence vysílaného signálu. Tento jev může vést k malým chybám v určení polohy, protože systémy GPS závisí na velmi přesném měření času, který signál stráví cestou od satelitu k přijímači. Moderní GPS přijímače však mají algoritmy, které tyto Dopplerovy efekty korigují. Využívají modely a výpočty k odhadu a kompenzaci změn frekvence způsobených pohybem přijímače. Přesto je důležité rozumět, že v extrémních situacích, jako je velmi vysoká rychlost nebo změna směru pohybu, mohou být tyto korekce méně efektivní, což může ovlivnit celkovou přesnost určení polohy. Pro aplikace vyžadující vysokou

přesnost, jako je navigace letadel nebo jiných rychle se pohybujících objektů, je proto klíčové používat vysoce kvalitní GPS přijímače a systémy, které jsou schopné efektivně řešit tyto výzvy (5, 6).

Přesnost GPS také závisí na kvalitě a konfiguraci přijímače, jakož i na technických omezeních samotného systému GPS. Přijímače se liší svou citlivostí, schopností zpracování signálu a odolností vůči rušení. Vysoce kvalitní přijímače s pokročilými algoritmy pro zpracování signálu mohou lépe čelit výzvám, jako jsou multipath efekty nebo slabé signály v náročných prostředích, jako jsou městské kaňony nebo husté lesy. Naopak, levnější nebo zastaralé přijímače mohou poskytovat méně přesné výsledky. Dalším důležitým aspektem jsou technické omezení samotného systému GPS, včetně malých nepřesností v orbitách satelitů a v časování jejich atomových hodin. Ačkoli systém GPS zahrnuje mechanismy pro monitorování a korekci těchto nepřesností, malé chyby mohou stále existovat a ovlivnit výpočet polohy. Tyto nepřesnosti jsou neustále monitorovány a korigovány kontrolními stanicemi na Zemi, ale i přesto mohou přispívat k celkové chybovosti určení polohy.

Algoritmy pro výpočet polohy a korekci chyb hrají zásadní roli v tom, jak přesně a rychle může být poloha určena. Vývoj v oblasti softwaru a algoritmů pro GPS přijímače je proto klíčový pro zlepšení přesnosti a snížení technických omezení. Taktéž, interakce mezi GPS přijímačem a jeho okolím může ovlivnit výkon. Prostředí s vysokou úrovní elektromagnetického rušení nebo oblasti, kde jsou signály často blokovány nebo odraženy, mohou ztížit přesné určení polohy (3).

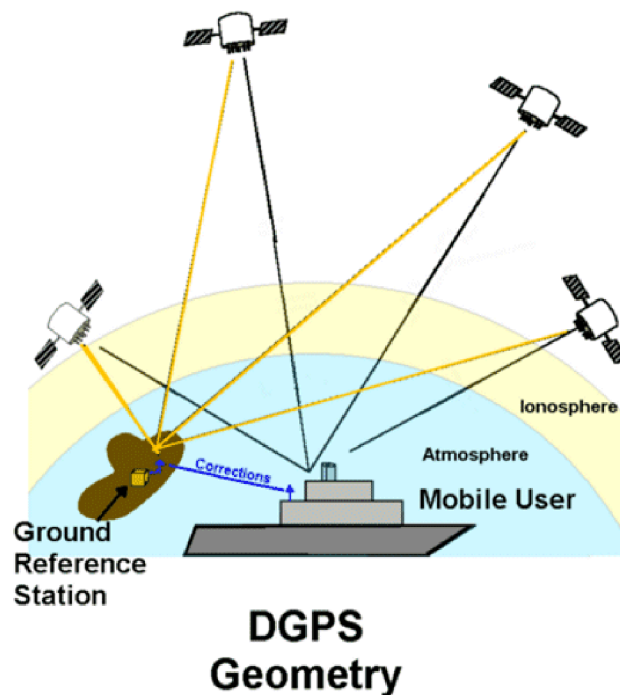


### 3.2 Existující metody zpřesnění pozice GPS

Zpřesnění polohových údajů GPS je významné pro mnoho aplikací, které vyžadují vysokou přesnost. V průběhu let byly vyvinuty různé metody pro zlepšení přesnosti GPS, od hardwarových řešení po sofistikované softwarové algoritmy. Tyto metody lze obecně rozdělit do několika kategorií: diferenciální GPS (DGPS), real-time kinematic (RTK) systémy, augmentační systémy a metody založené na integraci s jinými systémy.

Diferenciální GPS (DGPS) je podrobně rozebrána jako technologie navržená k výraznému zlepšení přesnosti systému GPS). DGPS funguje na principu korekce signálů GPS pomocí referenčních stanic umístěných na známých pevných polohách, které monitorují chyby v signálech GPS a vysílají korekce uživatelům systému GPS v reálném čase (Obrázek 4). Základní myšlenka DGPS spočívá v tom, že mnohé z chyb ovlivňujících signály GPS jsou předvídatelné a mohou být korigovány. Referenční stanice DGPS, které přesně znají svou polohu, přijímají signály z GPS satelitů a srovnávají vypočítanou polohu s jejich skutečnou polohou. Rozdíl mezi těmito dvěma polohami odhaluje chyby v signálech GPS, které mohou být způsobeny různými faktory, včetně ionosférického a troposférického zpoždění, chyb v orbitě satelitů a nepřesností v jejich hodinách. Tyto informace o chybách jsou poté vysílány uživatelům DGPS, kteří mohou použít korekce k upravení přijatých GPS signálů, čímž výrazně zlepši přesnost určení své polohy. V praxi může DGPS snížit chyby v určení polohy z několika metrů, které jsou typické pro standardní GPS, na několik centimetrů, což je zásadní zlepšení (5).

DGPS může být implementován prostřednictvím různých médií, včetně rádiových vln, internetu nebo dokonce satelitních komunikací, což umožňuje širokou dostupnost korekcí pro uživatele po celém světě. Tato technologie nachází uplatnění v mnoha oblastech, od zeměměřičství, přes námořní navigaci, až po stavebnictví, kde je vyžadována vysoká přesnost určení polohy. Tato technologie také má ale svá omezení. Efektivita DGPS může být ovlivněna vzdáleností mezi uživatelem a referenční stanicí, protože některé typy chyb se mohou geograficky lišit. Navíc, pro příjem korekcí je vyžadováno dodatečné vybavení a infrastruktura, což může znamenat vyšší počáteční investice. Přesto však DGPS představuje klíčovou technologii pro zlepšení přesnosti GPS a její význam bude nadále růst s rostoucími požadavky na přesnost v mnoha aplikacích. Rozvoj a implementace DGPS je proto zásadním krokem k maximalizaci potenciálu GPS pro profesionální i běžné uživatele po celém světě (5).

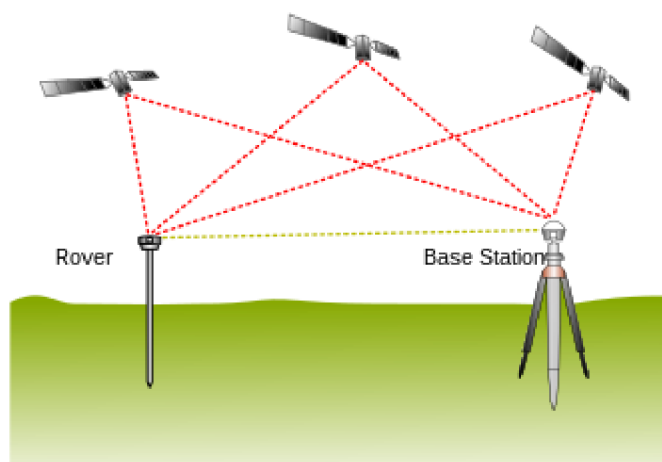


Obrázek 4 Princip fungování DGPS, Zdroj: <https://www.oc.nps.edu/oc2902w/gps/dgpsnote.html>

Real-Time Kinematic (RTK) představuje pokročilou formu diferenciálního GPS (DGPS) poskytující vysokou přesnost určení polohy v reálném čase (Obrázek 5). RTK využívá fázi nosné vlny signálů GPS k dosažení centimetrové, někdy dokonce milimetrové přesnosti v určení polohy. Tato technologie se stala zásadní pro aplikace vyžadující velmi vysokou přesnost, jako je zeměměřictví, stavebnictví, zemědělství a další inženýrské aplikace. RTK systém se skládá z alespoň dvou GPS přijímačů: jednoho stacionárního referenčního přijímače umístěného na známé pevné pozici a jednoho nebo více mobilních přijímačů. Referenční stanice sleduje chyby v signálech GPS způsobené různými faktory, jako jsou ionosférické a troposférické zpoždění, a vypočítává korekce, které jsou poté v reálném čase vysílány mobilním přijímačům. Tyto mobilní přijímače používají korekce k upřesnění své polohy s extrémní přesností. Jedním z klíčových aspektů RTK je schopnost využívat informace z fáze nosné vlny signálu GPS, což je metoda, která umožňuje mnohem přesnější měření než použití samotných navigačních zpráv signálu GPS. Fáze nosné vlny poskytuje velmi detailní informace o vzdálenosti mezi satelitem a přijímačem, ale její využití vyžaduje řešení problému celočíselné ambiguitní fáze, což je proces určení přesného počtu celých vln mezi satelitem a přijímačem.

Přesnost RTK je výrazně vyšší než u tradičních metod DGPS, ale také jsou některé výzvy a omezení. Pro efektivní fungování RTK je nezbytná téměř nepřetržitá komunikace

mezi referenční stanicí a mobilními přijímači, což může být v některých prostředích problematické. Komunikace musí být dostatečně rychlá, aby umožnila přenos korekcí v reálném čase, a robustní, aby odolala potenciálním přerušením signálu způsobeným fyzickými překážkami nebo elektromagnetickým rušením. Dalším významným omezením RTK je potřeba relativní blízkosti mezi referenční stanicí a mobilními přijímači. Efektivita RTK klesá s rostoucí vzdáleností od referenční stanice, protože některé typy chyb, jako je například ionosférické zpoždění, se mohou v různých částech oblohy lišit. To znamená, že pro rozsáhlé aplikace může být nutné vytvořit síť referenčních stanic, aby bylo možné pokrýt celou oblast zájmu. Přestože existují tyto výzvy, RTK představuje revoluční krok vpřed v oblasti přesného určování polohy. Schopnost dosahovat centimetrové přesnosti v reálném čase otevírá nové možnosti pro řadu aplikací, kde je vysoká přesnost nezbytná. Využití RTK se stalo běžným v profesionálních geodetických pracích, přesném zemědělství, stavebnictví a dalších oblastech, kde přesné měření polohy přináší značné výhody (6).



Obrázek 5 Princip fungování RTK, Zdroj: [https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time\\_kinematic\\_positioning](https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_kinematic_positioning)

Augmentační systémy jsou navrženy tak, aby zlepšovaly přesnost, spolehlivost a dostupnost informací o polohování, které poskytují systémy jako GPS, GLONASS, Galileo a další. Augmentační systémy fungují tím, že poskytují dodatečné informace, které mohou být využity k vylepšení výkonu GNSS. Tyto informace jsou typicky generovány pomocí sítě pozemních referenčních stanic, které přesně monitorují GNSS signály. Referenční stanice analyzují chyby v signálech způsobené různými faktory, jako je ionosférické a troposférické zpoždění, a poté vytvářejí korekční data. Tato data jsou následně vysílána uživatelům GNSS prostřednictvím různých komunikačních kanálů, což umožňuje přesnější určení polohy.

Existují různé typy augmentačních systémů, včetně pozemních a satelitních systémů. Pozemní augmentační systémy, jako je například systém diferenciálního GPS (DGPS), poskytují korekce prostřednictvím pozemních vysílačů. Satelitní augmentační systémy (SBAS), jako je Wide Area Augmentation System (WAAS) v Severní Americe, European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) v Evropě a Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS) v Japonsku, využívají geostacionární satelity k šíření korekčních informací na velké oblasti (7).

Kromě zlepšení přesnosti augmentační systémy také zvyšují spolehlivost GNSS tím, že poskytují informace o integritě systému, což uživatelům umožňuje důvěřovat poskytovaným polohovým informacím. Tato vlastnost je obzvláště důležitá pro kritické aplikace, jako je řízení letového provozu a bezpečnostní operace, kde je spolehlivost informací o polohování nezbytná.

Vývoj a implementace augmentačních systémů tedy představují klíčový prvek pro maximalizaci potenciálu GNSS a rozšíření jeho aplikací v moderním světě. Integrace GPS s jinými systémy může výrazně rozšířit možnosti a zlepšit přesnost a spolehlivost určování polohy. Kombinace GPS s jinými technologiemi a systémy může přinést další výhody, zejména v náročných nebo specifických aplikacích. Jedním z klíčových příkladů integrace, kterou Steiner a Černý uvádějí (3), je kombinace GPS s inerciálními měřicími jednotkami (IMU). IMU poskytují informace o pohybu, orientaci a gravitaci bez potřeby externích signálů, což je užitečné v prostředích, kde může být GPS signál slabý nebo nedostupný, jako jsou tunely, vysoké budovy nebo husté lesy. Integrace GPS s IMU umožňuje systémům udržovat vysokou úroveň přesnosti a kontinuitu polohových dat i v těchto náročných podmínkách.

Evropský geostacionární navigační překrývací systém (EGNOS) je prvním evropským systémem pro zvýšení přesnosti a spolehlivosti informací poskytovaných existujícími globálními navigačními satelitními systémy, jako je GPS a slouží jako augmentační systém pro Evropu. EGNOS je určen k podpoře navigace letadel, lodí a pozemní dopravy v Evropě, ale jeho využití se rozšiřuje i do dalších aplikací, jako je zemědělství, stavebnictví a osobní navigace.

EGNOS funguje tím, že zpracovává signály z GNSS sítě pomocí sítě pozemních stanic, které monitorují a ověřují přesnost těchto signálů. Tyto informace jsou poté přenášeny uživatelům prostřednictvím geostacionárních satelitů, což vede ke zlepšení

přesnosti určování polohy na úroveň několika metrů. EGNOS také poskytuje důležitou službu integritního monitorování, která upozorňuje uživatele na jakékoli nesrovnalosti v datech GNSS v reálném čase (21). Jednou z klíčových výhod EGNOS je jeho schopnost zlepšit přesnost GNSS v oblastech, kde je příjem signálu omezený nebo nespolehlivý, jako jsou městské kaňony nebo horské oblasti. Tato schopnost je zásadní pro aplikace, které vyžadují vysokou úroveň přesnosti a spolehlivosti, jako je letecká navigace a přesné zemědělství (5).

EGNOS je navíc předzvěstí budoucího rozvoje evropských navigačních služeb, včetně plně funkčního systému Galileo, který bude poskytovat ještě vyšší úroveň přesnosti a spolehlivosti pro uživatele v Evropě a po celém světě (8).

Dalším příkladem je spojení GPS s telekomunikačními technologiemi, jako je mobilní telefonie a internet. Tato integrace umožňuje využití augmentačních služeb, jako jsou systémy DGPS nebo RTK. Aplikace zahrnují plánování tras, environmentální monitorování a správu městské infrastruktury. Integrace GPS s dalšími systémy a technologiemi tedy otevírá nové možnosti pro inovace a aplikace v mnoha oblastech, od navigace a dopravy po vědu, inženýrství a zábavu. Steiner a Černý (3) zdůrazňují, že pokračující vývoj v oblasti integrace a interoperability mezi různými systémy je klíčový pro budoucí využití GPS a dalších GNSS technologií.

### 3.2.1 Technologie a algoritmy zpracování signálu

Pokročilé technologie a algoritmy zpracování signálu jsou podstatné pro optimalizaci výkonu systémů globálních navigačních satelitních systémů (GNSS), což zahrnuje GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Tyto metody jsou nezbytné pro zlepšení přesnosti, odolnosti proti rušení a spolehlivosti při určování polohy.

Filtrace signálu se zabývá odstraněním nežádoucího šumu z přijímaných signálů, což umožňuje lepší výkon a přesnost navigačních systémů. V kontextu GPS a INS je filtrace signálu nezbytná pro zpracování signálů zaznamenaných z různých satelitů a inerciálních senzorů, aby byly odstraněny chyby a poskytnuty co nejpřesnější informace o poloze a orientaci. Odhad stavu se týká procesu určení nejpravděpodobnějšího stavu navigačního systému, jako je poloha, rychlost a orientace, na základě dostupných měření. Tento proces často využívá matematické modely a statistické metody k odhadu aktuálního stavu systému a jeho budoucího vývoje.

Odhad stavu je zásadní pro integraci dat z GPS a INS, protože umožňuje kompenzovat chyby jednoho systému pomocí dat získaných z druhého. Integrace GPS a INS využívá filtrace signálu a odhad stavu k vytvoření robustního navigačního systému, který kombinuje výhody obou technologií. GPS poskytuje přesné informace o poloze, ale může být náchylný k výpadkům signálu a šumům. INS nabízí kontinuální měření pohybu a orientace, ale s časem se mohou akumulovat chyby. Integrací těchto systémů a použitím filtrace signálu a odhadu stavu lze tyto chyby minimalizovat a zlepšit celkovou přesnost a spolehlivost navigace. Kalmanův filtr (populární metoda pro filtrace signálu a odhad stavu v integrovaných navigačních systémech) poskytuje matematický rámec pro optimalizaci odhadů stavu systému v reálném čase na základě měření a předchozích znalostí o dynamice systému (10).

Multipath efekty, kdy signál od satelitu dosáhne přijímače po odrazení od objektů jako jsou budovy, hory nebo vodní plochy, mohou výrazně ovlivnit kvalitu signálu a tím i přesnost určení polohy a korekce těchto efektů vyžaduje kombinaci hardwarových a softwarových řešení, stejně jako pokročilé techniky zpracování signálu. Jedním z přístupů k minimalizaci multipath efektů je využití speciálně navržených antén a přijímačů, které jsou schopné odlišit přímý signál od odražených signálů. Tyto antény a přijímače jsou vybaveny technologiemi, jako je například polarizační filtrace nebo využití různých anténních vzorů, které pomáhají potlačit nebo eliminovat signály přicházející z nežádoucích směrů.

Tím se zvyšuje odolnost systému vůči multipath efektům a zlepšuje se celková přesnost měření. Na softwarové úrovni lze multipath efekty korigovat pomocí pokročilých algoritmů zpracování signálu, které jsou schopné identifikovat a odstranit chyby způsobené odraženými signály. Tyto algoritmy pracují na principu analýzy časového průběhu signálu a jeho intenzity, což umožňuje rozlišit mezi přímým a odraženým signálem. V některých případech mohou být použity i metody založené na modelování prostředí a predikci chování signálu v daném kontextu. Dalším efektivním řešením pro boj proti multipath efektům je integrace GPS/GNSS s dalšími navigačními systémy, jako je inerciální navigace (INS). Tato kombinace umožňuje využít přesné měření pohybu a orientace z INS k doplnění a ověření dat získaných z GPS/GNSS, což vede k lepší celkové přesnosti a odolnosti vůči chybám způsobeným multipath efekty. Ačkoliv multipath efekty představují významnou výzvu pro systémy GPS/GNSS, pokročilé hardwarové a softwarové strategie spolu s pokročilými technikami zpracování signálu nabízejí účinné řešení pro minimalizaci těchto efektů a zlepšení přesnosti a spolehlivosti navigačních systémů (5).

Využití signálů vysílaných na více frekvencích umožňuje uživatelům a systémům překonat některé z hlavních omezení jednofrekvenčních systémů. Vícefrekvenční systémy nabízejí několik významných výhod oproti systémům, které využívají signál pouze na jedné frekvenci. Jednou z hlavních výhod je schopnost přesněji korigovat ionosférické zpoždění signálu. Ionosféra ovlivňuje rychlost signálu GPS v závislosti na jeho frekvenci, což může vést k chybám v určení polohy. Použitím signálů na více frekvencích mohou systémy porovnat, jak ionosféra ovlivňuje každý signál, a tím přesněji odhadnout a korigovat toto zpoždění. Další výhodou je zvýšená odolnost vůči rušení a pokusům o spoofing (falešné signály, které napodobují signály skutečných GPS satelitů). Vícefrekvenční systémy mohou lépe detekovat a odolávat pokusům o narušení signálu, protože útočník musí současně rušit všechny frekvence, což je technicky náročnější.

Vícefrekvenční signály nacházejí uplatnění v řadě aplikací, kde je vyžadována vysoká přesnost a spolehlivost. V geodézii umožňují vícefrekvenční systémy provádět velmi přesná měření pro určení polohy, mapování a sledování pohybu zemského povrchu. V zemědělství přesné zemědělství využívá vícefrekvenční GPS pro řízení strojů a optimalizaci využití půdy a zdrojů. Přestože vícefrekvenční systémy nabízejí řadu výhod, přinášejí také technické výzvy. Výroba a provoz vícefrekvenčních přijímačů může být dražší kvůli složitějšímu hardwaru a softwaru potřebnému pro zpracování signálů na různých

frekvencích. Navíc, efektivní využití vícefrekvenčních signálů vyžaduje pokročilé algoritmy pro zpracování signálu a korekci chyb. Využití vícefrekvenčních signálů tak představuje důležitý krok vpřed v evoluci globálních navigačních technologií, umožňující dosáhnout dosud nepředstavitelných úrovní přesnosti a spolehlivosti (11).

Inerciální měřicí jednotky (IMU) jsou složeny z akcelerometrů a gyroskopů, které měří lineární zrychlení a úhlovou rychlost. Tyto informace umožňují IMU sledovat pohyb a změny orientace objektu, na kterém jsou umístěny, nezávisle na vnějších signálech. Když jsou tyto data kombinována s polohovými informacemi z GNSS, výsledkem je vysoce přesný a spolehlivý navigační systém, který je schopen fungovat i v podmínkách, kde signály GNSS mohou být slabé nebo nedostupné, jako jsou tunely, městské kaňony nebo zalesněné oblasti. Integrace GNSS a IMU nabízí několik významných výhod. Jednou z nich je schopnost poskytovat nepřetržitou navigaci i v případě, že signály GNSS jsou dočasně nedostupné. Díky IMU může systém pokračovat v poskytování aktualizací polohy a orientace pomocí inerciální navigace, dokud nebudou signály GNSS znovu dostupné. Tato vlastnost je zásadní pro aplikace, kde je nepřetržitá navigace kritická, jako je letecká navigace, autonomní vozidla nebo vojenské operace. Další výhodou je zlepšení celkové přesnosti a spolehlivosti navigačního systému. Integrací GNSS a IMU mohou být kompenzovány chyby spojené s každým systémem samostatně, což vede k přesnějším a spolehlivějším odhadům polohy a orientace. I přes tyto výhody přináší integrace GNSS a IMU výzvy, včetně složitosti vývoje efektivních algoritmů fúze dat a potřeby správné kalibrace a synchronizace mezi systémy. Navíc, vysoká přesnost a spolehlivost těchto integrovaných systémů může být omezena kvalitou použitých IMU, přičemž vysoce přesné IMU mohou být nákladné (12).



### 3.2.2 Příklady využití a význam GNSS sítí v současnosti

Globální navigační satelitní systémy (GNSS) představují fundamentální prvek moderních navigačních a polohových služeb, poskytující klíčové informace pro širokou škálu aplikací po celém světě. Zahrnují systémy jako GPS (Spojené státy), GLONASS (Rusko), Galileo (Evropská unie) a BeiDou (Čína), které společně tvoří globální síť pro určování polohy, navigaci a časování.

Synchronizace a časování jsou dále komplikovány relativistickými efekty, které ovlivňují pohybující se satelity a mění tok času ve srovnání s pozemskými pozorovateli. GPS systém musí tyto efekty kompenzovat, aby zajistil, že časové informace poskytované satelity jsou přesné a konzistentní s časem měřeným na Zemi. Problémy se synchronizací a časováním nejsou omezeny pouze na satelity. Přijímače GPS také musí být schopny přesně měřit čas příchodu signálů a synchronizovat se s časem satelitů, aby mohly správně vypočítat svou polohu. To vyžaduje sofistikované algoritmy a vysokou výpočetní kapacitu, aby bylo možné zpracovat signály z několika satelitů současně a určit přesnou polohu přijímače (5).

Přesné zemědělství, známé také jako precision agriculture, je přístup k zemědělské výrobě, který využívá moderní technologie a data k optimalizaci rozhodovacích procesů a zvyšuje efektivitu, produktivitu a udržitelnost zemědělských operací. GNSS technologie umožňuje zemědělcům přesně určit polohu v poli, což je důležité pro implementaci technik přesného zemědělství. Díky GNSS mohou zemědělci provádět velmi přesné mapování polí, plánování tras pro zemědělské stroje a automatizované řízení vozidel, jako jsou traktory a sklízecí stroje, což minimalizuje překrývání a zbytečné průjezdy a snižuje spotřebu paliva a opotřebení strojů. Jednou z klíčových aplikací přesného zemědělství je variabilní dávkování. Tato technika využívá GNSS a geografické informační systémy (GIS) k určení specifických potřeb různých částí pole vzhledem k hnojivům, pesticidům a vodě. Tímto způsobem mohou zemědělci aplikovat přesně to, co je potřeba, kde je to potřeba, což vede k efektivnějšímu využití zdrojů a snižuje dopad na životní prostředí.

GNSS technologie spolu s dalšími senzory a technologiemi umožňují shromažďování velkého množství dat o podmínkách v poli, včetně vlhkosti půdy, teploty, úrovně živin a dalších. Tato data mohou být analyzována k optimalizaci rozhodovacích procesů a zlepšení managementu zemědělské výroby. Integrace GNSS do zemědělských

operací přináší zemědělcům nástroje pro zvýšení efektivity, snížení nákladů a podporu udržitelnějšího hospodaření s půdou a zdroji (7).

Od svého vzniku byl systém GPS navržen s ohledem na vojenské využití, což zůstává jednou z jeho klíčových funkcí i v současnosti (v minulosti hlavním účelem bylo pouze vojenské využití v USA). GPS poskytuje přesné časové a polohové informace, které jsou nezbytné pro širokou škálu vojenských operací, včetně navigace, cílení, osobního sledování a řízení munice. Navigace je základním prvkem vojenského využití GPS. Přesné polohové informace umožňují vojenským jednotkám efektivně se pohybovat v neznámém nebo nepřátelském terénu, a to jak na zemi, tak ve vzduchu a na moři. GPS je nezbytný pro operace, kde je klíčová rychlá a přesná reakce, jako jsou vyhledávací a záchranné mise nebo rychlé přesuny vojsk (5).

Globální navigační satelitní systémy hrají významnou roli v moderním závodění Formule 1 (22), kde vysoká přesnost a okamžitá odezva jsou nezbytné pro úspěch. GNSS sítě se využívají ve Formuli 1 k několika účelům:

1. Měření výkonu vozů: GNSS sítě poskytují přesné údaje o poloze vozů v reálném čase, což umožňuje týmům monitorovat výkon vozů na trati. Tato data pomáhají analyzovat rychlost, zrychlení a brzdění, což týmy využívají k optimalizaci nastavení vozů a vylepšení jejich výkonnosti.
2. Navigace a sledování na trati: GNSS umožňuje týmům sledovat polohu svých vozů na trati v reálném čase. To je nejen zásadní pro zajištění bezpečnosti, ale také umožňuje týmům strategicky plánovat přezutí pneumatik a zastávky v boxech na základě aktuální pozice a výkonnosti vozu.
3. Analýza trati a simulace: Přesné údaje o poloze získané pomocí GNSS sítí umožňují týmům provádět detailní analýzu trati před závodem. Tato analýza a následné simulace mohou pomoci identifikovat klíčové body na trati, kde je možné získat nebo ztratit čas, a optimalizovat strategii závodu.
4. Vývoj a testování: GNSS sítě jsou také využívány během vývoje a testování nových technologií a komponent vozů Formule 1.

Precizní měření poskytovaná GNSS umožňují inženýrům získat podrobné informace o výkonnosti nových součástí v reálných závodních podmínkách.

V oblasti cílení a řízení munice GPS umožňuje přesné zaměření cílů a navigaci řízených střel a bomb. Tato schopnost zvyšuje účinnost vojenských úderů a zároveň

minimalizuje riziko kolaterálních škod tím, že umožňuje municii zasáhnout cíl s vysokou přesností. Přesné časové synchronizace poskytované systémem GPS také umožňuje koordinaci útoků z různých platforem a optimalizaci logistiky a komunikace mezi jednotkami. Dalším důležitým aspektem je sledování a monitorování, kde GPS slouží k zajištění přehledu o pohybu vojenského personálu, vozidel a dalšího vybavení. Tato schopnost je klíčová pro udržení operační kontroly a zajištění bezpečnosti vojenských sil.

Data získaná z GPS systémů nabízí klíčový prvek pro efektivní a rychlou reakci na různé bezpečnostní výzvy, včetně přípravy a realizace evakuačních plánů a záchranných operací, stejně jako pro pečlivé sledování oblastí, které jsou považovány za bezpečnostně citlivé. Využití GPS v rámci vojenských a bezpečnostních operací přináší nemalé výhody, neboť umožňuje přesné určení polohy jednotek, zařízení a objektů zájmu, což je nezbytné pro koordinaci akcí a efektivní rozhodování v reálném čase.

Přínos GPS technologie pro vojenské a bezpečnostní operace je nesmírný, jelikož se stala nezbytným nástrojem, který umožňuje nejen optimalizaci logistických procesů a zlepšení komunikace mezi jednotlivými složkami, ale také poskytuje důležité informace pro strategické plánování a vedení vojenských operací. Systém GPS tak hraje klíčovou roli v moderním bojišti, kde přesnost a rychlost informací může rozhodnout o výsledku konfliktů.

Vzhledem k těmto skutečnostem je neustálý výzkum a vývoj v oblasti GPS a souvisejících technologií klíčový pro udržení a zlepšení schopnosti vojenských a bezpečnostních operací reagovat na současné i budoucí výzvy, čímž GPS zůstává nepostradatelným nástrojem pro zajištění národní i mezinárodní bezpečnosti. (5).

### 3.2.3 Současné výzvy a výzkumné směry v GNSS

I přes rozsáhlé využití a pokroky v technologii globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) stále existují výzvy a omezení, která vyžadují další výzkum a vývoj. Tyto výzvy se týkají přesnosti, spolehlivosti, odolnosti a interoperability systémů. Výzkumné směry v této oblasti se zaměřují na inovativní řešení těchto problémů a na využití nových technologií pro zlepšení služeb GNSS.

Jednou z hlavních výzev pro přesnost GPS je zpoždění signálu způsobené jeho průchodem ionosférou a troposférou. Tyto vrstvy atmosféry mohou měnit rychlost a směr signálu, což vede k chybám v určení polohy. Ionosférické zpoždění je zvláště proměnlivé, závisí na sluneční aktivitě a může být předmětem významných krátkodobých změn. Troposférické zpoždění, ačkoli je obecně stabilnější, stále představuje výzvu pro přesné měření, zejména v nízkých výškách a v oblastech s vysokou vlhkostí. Dalším zdrojem chyb jsou nepřesnosti v známých orbitech satelitů a v časování jejich hodin. Ačkoli systém GPS zahrnuje mechanismy pro monitorování a korekci těchto nepřesností, malé chyby mohou stále existovat a ovlivnit výpočet polohy.

Přestože existují významné výzvy v přesnosti a spolehlivosti měření GPS, pokročilé techniky a technologie, jako je diferenciální GPS (DGPS), využití vícefrekvenčních signálů a integrace s inerciálními měřicími jednotkami (IMU), nabízejí účinné řešení těchto problémů. DGPS, například, poskytuje korekce pro ionosférické a troposférické zpoždění, zatímco vícefrekvenční přijímače mohou pomoci překonat ionosférické zpoždění tím, že umožňují přímé porovnání zpoždění signálu na různých frekvencích (8).

Odolnost proti rušení je zásadní pro udržení funkčnosti a spolehlivosti GPS a IN systémů. Rušení může pocházet z různých zdrojů, včetně přirozených jevů, jako jsou sluneční bouře, nebo z antropogenních zdrojů, jako je elektronické rušení. Pro zvýšení odolnosti proti těmto vlivům jsou systémy vybaveny různými technologiemi, jako jsou filtry pro odstranění šumu, techniky pro zlepšení odolnosti signálu a algoritmy pro detekci a korekci chyb. Kromě toho mohou být použity techniky založené na analýze chování signálu, aby bylo možné odhalit pokusy o spoofing (úmyslné vysílání falešných signálů, které imitují skutečné GNSS signály). Integrace GPS a inerciálních navigačních systémů je prezentována jako efektivní strategie pro zvýšení odolnosti a bezpečnosti. Tato integrace umožňuje systémům využívat výhody obou technologií – GPS poskytuje přesné polohové

informace, zatímco IN může pokračovat v poskytování navigačních dat i v případě, že GPS signály jsou nedostupné nebo jsou rušeny.

Interoperabilita, schopnost různých globálních navigačních satelitních systémů (GNSS), jako jsou GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou, efektivně spolupracovat a doplňovat se, je zásadní pro vytvoření univerzálního, robustního a přesného navigačního systému. Hlavním cílem interoperability je umožnit uživatelům využívat signály z různých systémů současně, což vede ke zlepšení dostupnosti, spolehlivosti a přesnosti navigačních a časových služeb. Interoperabilita také zvyšuje globální pokrytí a umožňuje uživatelům získat lepší výsledky v náročných prostředích, jako jsou městské kaňony nebo horské oblasti, kde může být přístup k satelitům omezen. Pro dosažení interoperability musí být překonány technické, politické a operační výzvy. Mezi technické výzvy patří potřeba standardizace signálů, časových systémů a formátů dat, aby byly informace z různých systémů GNSS vzájemně kompatibilní. Dále je zde výzva spojená s kalibrací a synchronizací časových škál mezi různými systémy, což je nezbytné pro přesné polohování a navigaci. Na politické a operační úrovni vyžaduje interoperabilita spolupráci a koordinaci mezi různými mezinárodními organizacemi a státy, které spravují jednotlivé systémy GNSS. Tato spolupráce je klíčová pro řešení otázek souvisejících s přidělením frekvencí, řízením rušení a zajištěním bezpečnosti a odolnosti systémů (13).

Interoperabilita nabízí řadu výhod pro uživatele GNSS. Zvýšením počtu dostupných satelitů se zlepšuje geometrie měření, což vede k nižším hodnotám Dilution of Precision (DOP) a tím k vyšší přesnosti určení polohy. Uživatelé také těží z vyšší dostupnosti signálů, což je zvláště důležité v prostředích, kde jsou signály z jednoho systému částečně nebo úplně blokovány. Pro dosažení interoperability je nezbytné rozvíjet a implementovat pokročilé technologie a algoritmy pro zpracování signálů, které umožňují efektivní kombinaci dat z různých systémů GNSS. To zahrnuje vývoj vícefrekvenčních přijímačů schopných přijímat a zpracovávat signály z různých systémů a využití sofistikovaných metod fúze dat pro optimalizaci výkonu navigačního systému. I přes existující výzvy, pokračující snahy o standardizaci a mezinárodní spolupráci otevírají cestu k vytvoření plně interoperabilního globálního navigačního systému, který bude sloužit potřebám lidí po celém světě (13).

Inovace v technologii GNSS a její integrace s dalšími systémy a technologiemi rozšiřují spektrum jejího využití od tradičních aplikací, jako je navigace a mapování, po nové oblasti, jako jsou autonomní vozidla, inteligentní dopravní systémy, zemědělství,

stavebnictví a mnoho dalších. GNSS hraje klíčovou roli v rozvoji autonomních vozidel a inteligentních dopravních systémů (ITS). Přesné polohové informace poskytované GNSS umožňují vozidlům bezpečně navigovat a interagovat s okolním prostředím, což je zásadní pro autonomní řízení. Integrace GNSS s dalšími senzory a komunikačními technologiemi umožňuje vytváření pokročilých systémů, které mohou zlepšit bezpečnost, efektivitu a plynulost dopravy. Pokračující vývoj a inovace v technologii GNSS a její integrace s dalšími systémy otevírají nové možnosti pro rozšíření aplikací GNSS. Tento trend nejenže zlepšuje existující služby, ale také umožňuje vznik nových aplikací, které mohou přinést významné společenské, ekonomické a environmentální přínosy (5).

Integrace AI a ML do systémů GNSS a inerciální navigace (IN) otevírá nové možnosti pro zpracování a interpretaci dat, detekci a korekci chyb, a vývoj adaptivních navigačních systémů, které se mohou dynamicky přizpůsobovat měnícím se podmínkám. AI a ML nabízejí pokročilé metody pro zpracování a interpretaci rozsáhlých datových sad získaných z GNSS a inerciálních senzorů. Tyto technologie umožňují identifikaci vzorců a korelací v datech, které by mohly být přehlédnuty tradičními analytickými metodami. Tím se zvyšuje přesnost určení polohy a navigace tím, že se efektivněji využívají dostupné informace. Jednou z klíčových výzev v navigačních systémech je detekce a korekce chyb způsobených různými faktory, jako jsou multipath efekty, šum senzoru nebo chyby v signálu. Použitím technik AI mohou systémy "učit" z předchozích zkušeností a zlepšovat svou schopnost identifikovat a reagovat na chyby. Integrace AI a ML také umožňuje vývoj adaptivních navigačních systémů, které se mohou dynamicky přizpůsobovat změnám v prostředí a podmínkách použití. Tyto systémy mohou optimalizovat své algoritmy na základě aktuálních podmínek, jako je kvalita signálu GNSS nebo dostupnost inerciálních dat, což vede k lepšímu výkonu v různých scénářích použití. Přestože integrace AI a ML do navigačních systémů nabízí řadu výhod, jsou i výzvy spojené s touto integrací, včetně potřeby velkých datových sad pro trénink modelů, otázek týkajících se interpretace a důvěry v rozhodnutí generovaná AI, a potřeby zajistit bezpečnost a ochranu proti manipulaci s daty (14).

### 3.3 IDE Arduino a mikroprocesor ESP8266

#### 3.3.1 Význam a použití Arduina

Arduino je otevřená hardwarová a softwarová platforma, která byla navržena pro snadný vývoj elektronických projektů, ať už pro hobby účely, vzdělávání nebo prototypování. Je založena na jednoduchých mikrokontrolerech (například ESP8266) a vývojovém prostředí, které umožňuje programátory, designéry a umělce vytvářet interaktivní objekty nebo prostředí.

Arduino bylo původně vyvinuto v roce 2005 v Itálii jako nástroj pro studenty designu, aby se snadněji seznámili s elektronikou a prototypováním. Od té doby se stalo extrémně populárním nejen ve vzdělávacích kruzích, ale i mezi amatérskými vynálezci a profesionálními inženýry po celém světě. Jednou z hlavních vlastností Arduina je jeho otevřený charakter; jak hardwarové schéma, tak softwarové knihovny jsou k dispozici zdarma. To umožňuje uživatelům nejen používat a upravovat existující desky a programy, ale také vytvářet vlastní. Arduino desky jsou vybaveny různými vstupy a výstupy, které lze snadno ovládat pomocí jednoduchého programovacího jazyka založeného na C/C++. Arduino se stalo základem pro širokou škálu projektů, od jednoduchých domácích automatizací po složité robotické systémy. Jeho popularita vedla k rozvoji rozsáhlého ekosystému, který zahrnuje mnoho různých desek, modulů a senzorů kompatibilních s Arduinem, jakož i bohatou komunitu, která sdílí projekty, návody a podporu (15) (16).

Arduino se stalo populární platformou pro vývoj elektronických projektů díky své flexibilitě, otevřené architektuře a snadnému použití. Jeho schopnost snadno se spojit s různými senzory, aktuátory a komunikačními moduly otevírá široké možnosti pro vývojáře, designéry a hobbyisty. To otevírá dveře k praktickému pochopení elektroniky a programování pro studenty, vývojáře a hobbyisty, a to díky své přístupnosti, nízkým nákladům a rozsáhlé komunitní podpoře. Díky populárnímu programovacímu jazyku a vývojovému prostředí Arduino IDE mohou studenti snadno nahrávat své programy (sketches) do Arduino desek a okamžitě vidět výsledky své práce. Tento "učení skrze děláni" přístup pomáhá studentům lépe pochopit abstraktní koncepty tím, že je aplikují na reálné projekty, což zvyšuje jejich zapojení a motivaci k učení. V oblasti prototypování umožňuje vývojářům a designérům rychle a efektivně vytvářet funkční prototypy svých nápadů.

Arduino poskytuje platformu, na které lze snadno simulovat a testovat interakce mezi hardwarem a softwarem, což je zásadní pro iterativní proces návrhu (Obrázek 7). Flexibilita a modulárnost Arduino také znamená, že může být použito pro širokou škálu aplikací, od jednoduchých domácích automatizací po složitější zařízení jako jsou roboti nebo inteligentní senzorové systémy. Dalším klíčovým faktorem je silná a aktivní komunita okolo Arduino. Existuje obrovské množství online zdrojů, včetně tutoriálů, fór a projektových databází, které novým uživatelům usnadňují začátek a poskytují inspiraci pro pokročilé projekty (Obrázek 6). Tato komunitní podpora je neocenitelná pro vzdělávací prostředí, protože umožňuje učitelům a studentům sdílet své zkušenosti, řešit problémy a spolupracovat na projektech. Arduino slouží jako most mezi teoretickým učením i praktickou aplikací v oblastech elektroniky a programování. Jeho přístupnost, flexibilita a rozsáhlá podpora komunity činí Arduino významným nástrojem pro vzdělávání a prototypování, otevírajícím nové možnosti pro učení, inovace a tvorbu (16).

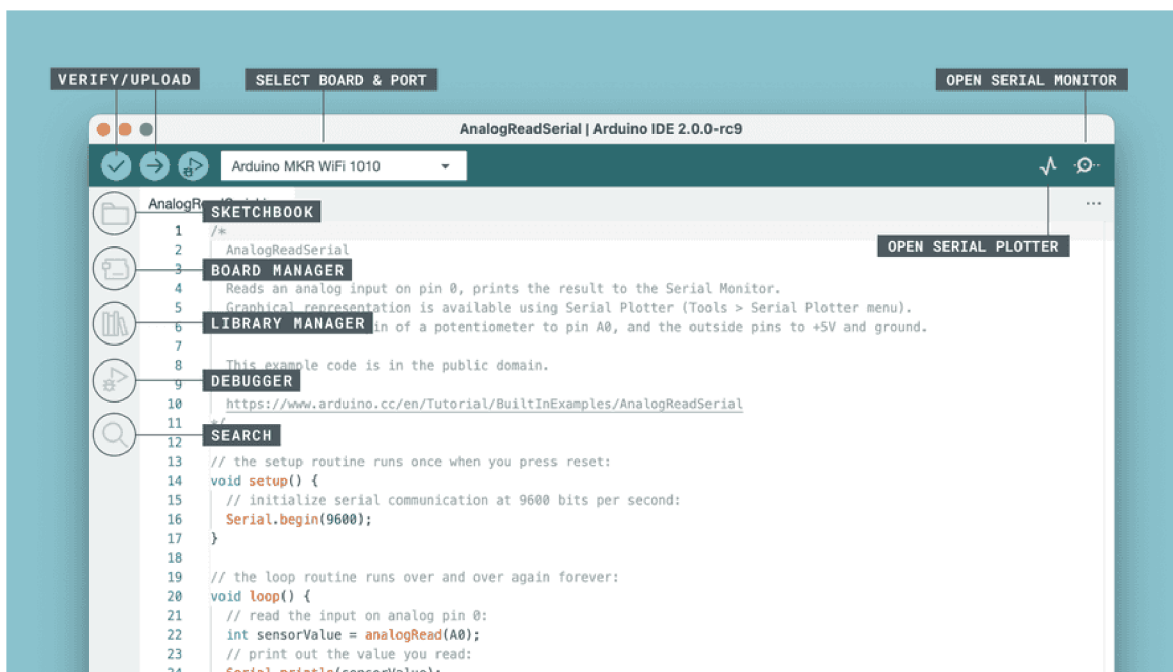


Obrázek 6 Kvadroptéra na bázi Arduina, Zdroj: <https://projecthub.arduino.cc/okalachev/flix-58fe43>

Arduino je představeno jako platforma, která otevírá nekonečné možnosti pro hobby projekty a do-it-yourself (DIY) aplikace. Arduino umožňuje jednotlivcům bez hlubokých znalostí v elektronice nebo programování realizovat své nápady a vytvářet inovativní projekty. Sdílení projektů, kódů a návodů online umožňuje uživatelům učit se od sebe navzájem a spolupracovat na složitějších projektech. Práce s Arduino nabízí praktický způsob, jak se naučit základy elektroniky, programování a řešení problémů. Projekty založené na Arduino mohou sloužit jako vynikající nástroje v školách a nworkshopech, poskytující studentům možnost učit se skrze praktické zkušenosti. Taktéž, Arduino



je prezentováno jako nástroj, který překračuje tradiční hranice technologie a inženýrství, pronikající do světa umění a designu (15).



Obrázek 7 Arduino integrované vývojové prostředí, Zdroj: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/getting-started-ide-v2/>

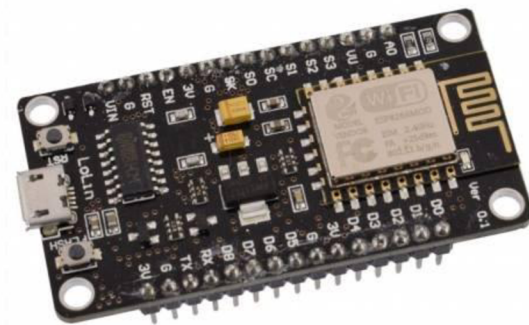
Arduino může být použito k vytvoření děl, která reagují na své prostředí a interagují s lidmi. Tyto projekty zahrnují vše od jednoduchých zařízení, která reagují na světlo nebo teplotu, po složitější instalace, které využívají síťové komunikace k propojení objektů a lidí napříč různými prostředím. Senzory a aktuátory mohou spolu s Arduino, poskytnout umělcům a designérům prostředky k "oživení" jejich děl. Jedním z klíčových témat knihy je využití senzorů jako rozhraní, které umožňuje projektům "vidět", "slyšet" a "cítit" svět kolem sebe. Senzory mohou být použity k zachycení široké škály fyzikálních jevů – od změn v osvětlení a teplotě po pohyb a zvuk – a jak mohou být tyto informace použity k řízení výstupů, jako jsou LED diody, zvukové generátory nebo motorové pohony, což umožňuje projektům reagovat na své prostředí významnými způsoby. Dalším důležitým aspektem je využití síťových technologií, včetně internetu, k rozšíření možností komunikace a interakce mezi projekty Arduino a jejich uživateli. Příklady zahrnují využití WiFi nebo Bluetooth pro odesílání dat mezi Arduino projekty a počítači nebo mobilními zařízeními, což umožňuje vytvářet složitější a více propojené systémy (18).

### 3.3.2 Význam a použití mikroprocesoru ESP

Mikroprocesory ESP, konkrétně ESP8266 a ESP32, jsou populární mikroprocesory vyvinuté společností Espressif Systems. Tyto čipy jsou známé svou schopností bezdrátově připojit různé elektronické projekty k internetu, což je činí ideálními pro vývoj internetových věcí (IoT) aplikací (Obrázek 8).

ESP8266 byl uveden na trh společností Espressif Systems v roce 2014 a rychle si získal popularitu mezi vývojáři a hobbyisty díky své nízké ceně, WiFi konektivité a poměrně vysokému výkonu pro velikost a cenu zařízení. Původně byl ESP8266 navržen jako WiFi modul, který by mohl být použit s jinými mikroprocesory pro přidání bezdrátové konektivity. Nicméně, vývojářská komunita rychle objevila, že ESP8266 má dostatečný výpočetní výkon a paměť, aby mohl být použit jako samostatný mikroprocesor pro řadu aplikací.

S rostoucí poptávkou po větším výkonu a více funkcích Espressif uvedl na trh ESP32 v roce 2016. ESP32 přinesl významná vylepšení oproti svému předchůdci, včetně lepšího CPU, více paměti, Bluetooth konektivity, bohatšího výběru periférií a lepší energetické efektivity. ESP32 byl navržen s ohledem na potřeby sofistikovanějších IoT aplikací, nabízející vývojářům větší flexibilitu a možnosti. Od uvedení ESP8266 a ESP32 Espressif Systems aktivně pracoval na rozvoji ekosystému kolem těchto mikroprocesorů. To zahrnovalo vydání rozsáhlé dokumentace, vývojových nástrojů, SDK (Software Development Kit) a podporu pro různé programovací jazyky a prostředí, včetně Arduino IDE a ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework). Společnost také spolupracovala s vývojářskou komunitou na vytváření knihoven, nástrojů a tutoriálů, které usnadňují práci s ESP mikrokontrolery.



Obrázek 8 Mikroprocesor ESP8266, Zdroj: [https://dratek.cz/arduino/122953-lua-nodemcu-esp8266-v3-wifi-modul.html?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw7-SvBhB6EiwAwYdCAYw-D6-whR17EdgdxllmloGY9fiTNb5sWqadgjh4E2t7Wu07i6xbORoCWpQQAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/122953-lua-nodemcu-esp8266-v3-wifi-modul.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw7-SvBhB6EiwAwYdCAYw-D6-whR17EdgdxllmloGY9fiTNb5sWqadgjh4E2t7Wu07i6xbORoCWpQQAvD_BwE)

Významným faktorem úspěchu ESP8266 a ESP32 byla aktivní a inovativní vývojářská komunita. Vývojáři a hobbyisté z celého světa přispěli k rychlému rozvoji projektů, aplikací a technik pro využití těchto mikroprocesory v široké škále oblastí, od domácí automatizace přes nositelnou elektroniku až po složité IoT systémy.

Espressif Systems pokračuje ve vývoji a inovaci svých produktů, s cílem poskytnout vývojářům ještě lepší nástroje pro tvorbu IoT aplikací. To zahrnuje vylepšení hardwaru, software a podpory komunity, stejně jako rozvoj nových produktů, které adresují vznikající potřeby trhu IoT (20).

Oba mikroprocesory, ESP8266 a ESP32, nabízejí integrované Wi-Fi a jsou schopny běhu různých operačních systémů a vývojových prostředí. ESP32 navíc přidává podporu pro Bluetooth a má větší počet analogových a digitálních vstupů/výstupů, což rozšiřuje jeho možnosti použití ve složitějších projektech. Jednou z nejvýznamnějších vlastností hardwaru ESP je jeho nízká cena. Tato dostupnost umožňuje široké spektrum vývojářů a hobbyistů experimentovat s IoT projekty bez významných finančních investic.

Zásadní vlastností mikroprocesorů ESP8266 a ESP32 je jejich vestavěná WiFi funkcionality. Tato vlastnost umožňuje snadné připojení k bezdrátovým sítím a internetu, což je klíčové pro vývoj IoT aplikací. Umožňuje zařízením komunikovat s cloudovými službami, odesílat a přijímat data a interagovat s jinými zařízeními online. ESP32, novější z obou mikroprocesorů, nabízí výkonný procesor s podporou pro Bluetooth a BLE (Bluetooth Low Energy) vedle WiFi. Tato výkonnost umožňuje ESP32 zvládat složitější

aplikace a zpracovávat větší množství dat, což rozšiřuje možnosti jeho využití v IoT projektech. Ačkoliv ESP8266 a ESP32 nejsou původně produkty Arduino, lze je programovat pomocí Arduino IDE díky dostupnosti příslušných rozšíření. Tato kompatibilita umožňuje vývojářům využívat známé a přívětivé prostředí Arduino IDE pro vývoj aplikací pro ESP, což snižuje bariéru vstupu pro práci s těmito pokročilými mikroprocesory. Podobně jako Arduino, i ESP8266 a ESP32 se těší silné podpoře komunity. Existuje návodů tutorialů, fór a knihoven, které usnadňují práci s těmito mikroprocesory a podporují vývojáře v realizaci jejich projektů. Projekty ESP32 zahrnují vytváření jednoduchých WiFi senzorů, domácí automatizace, monitorování prostředí a dokonce i vývoj vlastních IoT zařízení, která komunikují s cloudovými službami pro sběr a analýzu dat. Tyto projekty nejenže poskytují praktické zkušenosti s vývojem IoT aplikací, ale také inspirují k dalšímu průzkumu a inovacím v této rychle se rozvíjející oblasti (15) (17).

Vývoj vlastních IoT (Internet of Things) řešení je fascinující a rychle se rozvíjející oblast, která nabízí nekonečné možnosti pro inovace a zlepšení každodenního života. IoT zařízení jsou propojená zařízení schopná sbírat a vyměňovat data prostřednictvím internetu. Tato zařízení mohou zahrnovat vše od jednoduchých senzorů teploty a vlhkosti až po složitější systémy jako jsou inteligentní domácnosti, nositelná technologie, a dokonce inteligentní města.

Vývoj IoT řešení začíná pochopením základních principů, které zahrnují sběr dat, komunikaci, zpracování a prezentaci. Zařízení IoT nejprve shromažďují data pomocí různých typů senzorů. Tato data jsou poté přenášena přes různé komunikační protokoly jako je Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, nebo dokonce přes mobilní sítě do cloudových služeb nebo lokálních serverů, kde jsou zpracována a analyzována. Nakonec jsou výsledky prezentovány uživatelům prostřednictvím aplikací na smartphony, webových dashboardů nebo jiných uživatelských rozhraní. Vývoj IoT řešení přináší řadu výzev, včetně zabezpečení dat, správy energie a integrace různých technologií a protokolů. Zabezpečení je klíčové, protože zařízení IoT často zpracovávají citlivá data. Vývojáři musí implementovat silné šifrovací algoritmy a bezpečnostní protokoly, aby ochránili data před neoprávněným přístupem. Správa energie je další důležitou výzvou, zejména pro zařízení napájená bateriemi. Efektivní algoritmy pro správu energie a výběr energeticky účinných komponent jsou klíčové pro prodloužení životnosti zařízení. Integrace různých technologií vyžaduje hluboké porozumění dostupným komunikačním protokolům a hardwarovým platformám.

Pro vývoj IoT řešení existuje řada populárních platform a nástrojů. Arduino a Raspberry Pi jsou dvě z nejpopulárnějších hardwarových platform pro prototypování a vývoj IoT projektů. Arduino je vývojové prostředí založené na jednoduché otevřené elektronické platformě, ideální pro rychlé prototypování a projekty, které nevyžadují složité výpočetní úlohy (16).

## 4 Praktická část práce

### 4.1 Softwarová stránka bakalářské práce

Celá softwarová část se skládá ze tří hlavních komponent: programu (tzv. kódu, který je nahraný do mikroprocesoru), zobrazovací aplikace (která usnadňuje vizualizaci zeměpisných souřadnic) a mapy (může být použita libovolná, například Google Maps nebo Apple Maps, do kterých lze zadávat zeměpisné souřadnice).

Kód obsahuje knihovny nezbytné pro práci s GPS moduly: ESP8266 WiFi, NMEAGPS a BlynkSimple. Vzhledem k tomu, že projekt je realizován v prostředí Arduino, je nutné propojit Arduino aplikaci s hardwarovou součástí, což vyžaduje instalaci knihovny ESP8266 WiFi. Knihovna NMEAGPS je použita k dekódování dat z GPS modulů. BlynkSimple umožňuje připojení k WiFi a integraci s platformou Blynk, která slouží jako zobrazovací aplikace pro souřadnice. Aby bylo možné využít všechny zmíněné knihovny, musí být stáhnuty do Arduino IDE, nainstalovány na zařízení a importovány pomocí příkazu `#include`.

Pro funkčnost aplikace Blynk je dále potřeba zadat identifikační údaje („`TEMPLATE_ID`, `TEMPLATE_NAME`, `AUTH_TOKEN`“), které lze najít v nastavení této aplikace. Kromě toho je pro tento projekt nezbytné WiFi připojení, jehož údaje se zadávají do kódu takto:

```
#define WIFI_SSID "název sítě"  
#define WIFI_PASSWORD "heslo"
```

Při použití více GPS modulů je nutné do kódu specifikovat jednotlivé piny (kontaktní místa na kontaktním poli), ke kterým jsou GPS moduly připojeny. V tomto případě používáme piny:

První GPS modul – piny 15, 13

Druhý GPS modul – piny 12, 14

Třetí GPS modul – piny 4, 5

Každý modul je nastaven na stejnou baudovou rychlost 9600 bps.

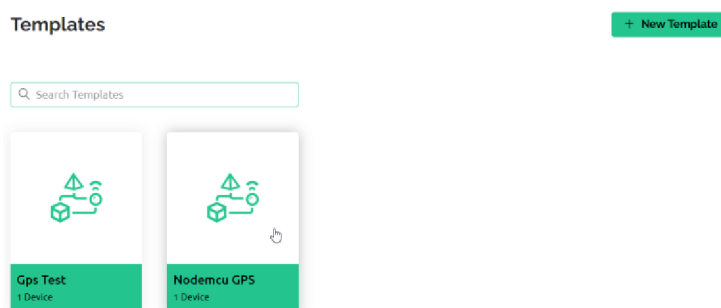
Funkce `collectData` představuje klíčový prvek pro čtení a zpracování dat z GPS modulů. Tato funkce extrahuje informace, jako jsou zeměpisná šířka a délka, a odesílá tato data do aplikace Blynk pro jejich vizualizaci. V rámci funkce „`setup`“ dochází k inicializaci sériového portu, připojení k WiFi síti a Blynku, a také k aktivaci GPS

modulů. Funkce „loop“ zajišťuje nepřetržité připojení k Blynku a pravidelně vyvolává funkci „collectData“ pro každý z GPS modulů, pokud jsou k dispozici data. Kromě informací o zeměpisné šířce a délce, obsahuje kód také informace o rychlosti GPS modulů a počet satelitů, ze kterých v tu chvíli přijímá. Jsou-li potřeba tyto informace, je možné zobrazit v aplikaci.

Kompletní kód této práce je uveden v příloze 1.

Pro zobrazení výsledků této práce slouží webová aplikace Blynk, která nabízí lepší vizualizaci a design projektů spojených s IoT věcí. Tato webová aplikace je propojena s Arduino IDE prostřednictvím identifikačních čísel, jež lze nalézt v nastaveních virtuálního zařízení. Virtuální zařízení je možné vytvořit vytvořením projektové šablony, kterou lze najít v developerské sekci aplikace Blynk (obrázek 9). Po vytvoření šablony je nutné šablonu nastavit s následujícími specifikacemi:

- Hardware: ESP8266
- Typ připojení: WiFi



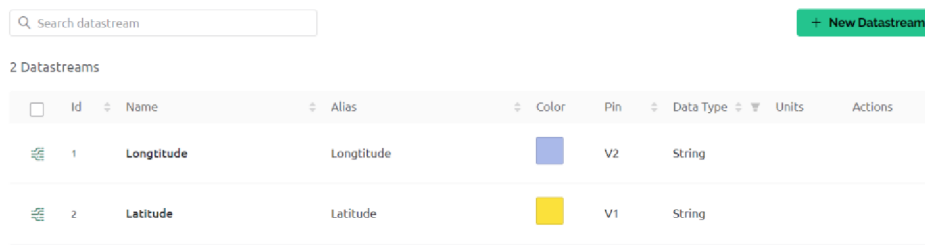
Obrázek 9 Šablony v aplikaci Blynk, Zdroj: Vlastní práce

Dále je možné přidat fotografii, název a další konfigurace šablony, jsou-li potřeba. V této šabloně je nutné upravit DataStreams (tj. data přijímaná z GPS

modulů, v tomto případě zeměpisná šířka a délka), která jsou dostupná z kódu z části kódu:

```
if (fix.valid.location) {  
    //Storing the Latitude. and Longitude  
    float latitude = fix.latitude();  
    float longitude = fix.longitude();  
    //Send to Serial Monitor for Debugging  
    Serial.print("LAT: ");  
    Serial.println(latitude, 6); // float to x decimal places  
    Serial.print("LONG: ");  
    Serial.println(longitude, 6);  
    Blynk.virtualWrite(V1, String(latitude, 6));  
    Blynk.virtualWrite(V2, String(longitude, 6));  
}
```

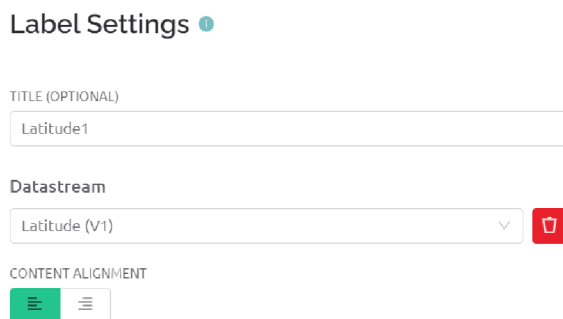
Z této části kódu je zřejmé, že zeměpisná šířka je nastavena na virtuální pin V2 Longitude a zeměpisná délka je označena jako virtuální pin V1 Latitude (Obrázek 10).



Id	Name	Alias	Color	Pin	Data Type	Units	Actions
1	Longitude	Longitude	Blue	V2	String		
2	Latitude	Latitude	Yellow	V1	String		

Obrázek 10 DataStreamy v Blynku, Zdroj: Vlastní práce

V sekci "Web Dashboard" aplikace Blynk jsou k dispozici widgety (obrázek 11), které je třeba přidat a nastavit tak, aby odpovídaly DataStreams, jež jsou již nastavené. To vytváří vizuální podobu celého projektu.



Label Settings ⓘ

TITLE (OPTIONAL)  
Latitude1

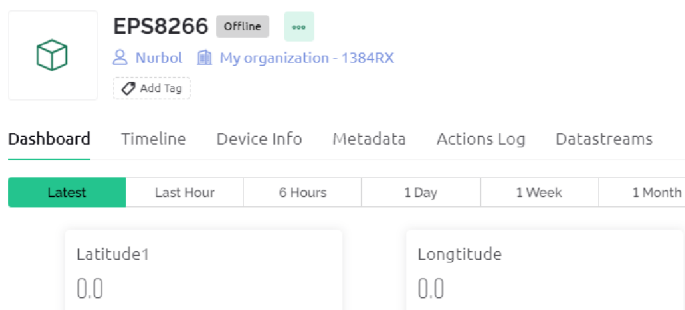
Datastream  
Latitude (V1) [trash icon]

CONTENT ALIGNMENT  
[left align button] [center align button]

Obrázek 11 Nastavení widgetů v Blynku, Zdroj: Vlastní práce

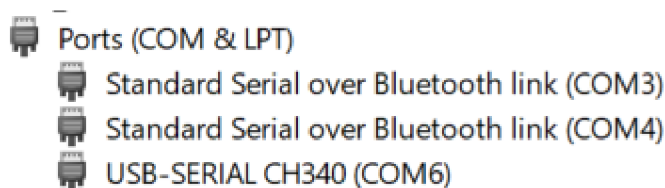


Po dokončení nastavení Blynku by mělo zařízení vizuálně odpovídat představám a být připraveno na integraci hardwarových komponent projektu dle Obrázku 12.



Obrázek 12 Ukázka virtuálního zařízení v Blynku, Zdroj: Vlastní práce

Pokud je aplikace Blynk plně připravena, je nutné zajistit, aby počítač dokázal rozpoznat přítomnost mikroprocesoru. Ovladač „NodeMcu ESP8266 V3 WIFI CH340“, který je možné stáhnout z oficiálních stránek výrobce, umožňuje, aby byl mikroprocesor připraven k použití. O úspěšné instalaci svědčí zobrazení mikroprocesoru v správci zařízení (Obrázek 13):



Obrázek 13 Ukázka přítomnosti ESP8266, Zdroj: Vlastní práce

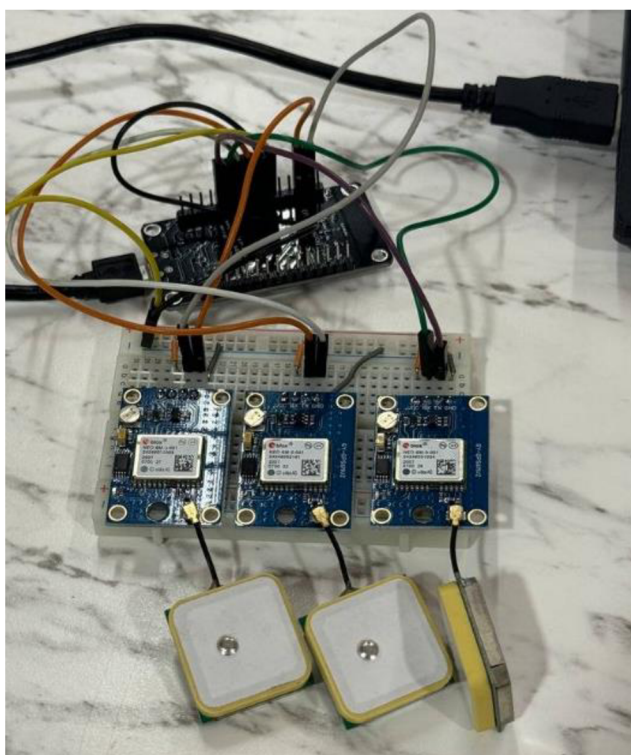
Pokud jsou již připraveny hotový kód, aplikace pro zobrazování a mikroprocesor je připojen k počítači a signalizuje svou aktivitu blikáním, lze konstatovat, že softwarová část je kompletně připravena k použití.

## 4.2 Hardwarová část

Pro správnou funkci hardwarové části je vyžadováno několik komponent:

1. Jedno nepájivé kontaktní pole
2. Sada Dupont propojovacích vodičů
3. MicroUSB kabel
4. Tři GPS moduly typu GY-NEO6MV2
5. Mikroprocesor ESP8266
6. Notebook

Schéma hardwarové části vypadá následovně (obrázek 14):



Obrázek 14 Schéma hardwaru: ESP8266 a tři GPS moduly,  
Zdroj: Vlastní práce

Zapojení zahrnuje tyto kroky, přičemž všechny součásti lze propojit pomocí Dupont vodičů:

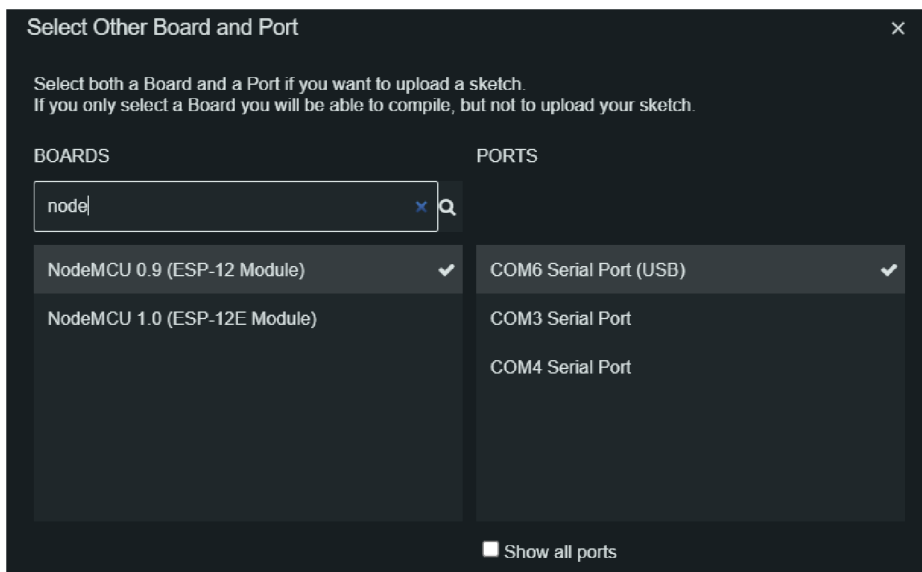
1. Kladný pól (+) se připojí k 3V vstupu na kontaktním poli, což zajišťuje napájení.
2. Záporný pól (-) se připojí k zemnímu vstupu (GND) na kontaktním poli.
3. Pro připojení RX a TX pinů GPS modulů na kontaktním poli je možné využít libovolné místo, avšak při použití všech tří GPS modulů je nutné zvolit takové rozložení, které umožní jejich správné umístění a zapojení, v závislosti na velikosti kontaktního pole.
4. Zapojení GPS modulů do kontaktního pole

Pro mikroprocesor ESP8266 byly vybrány piny D1, D2, D5, D6, D7 a D8.

Závěrečným krokem je připojení mikroprocesoru k notebooku pomocí microUSB kabelu a nahrání kódu.

### 4.3 Testování zařízení

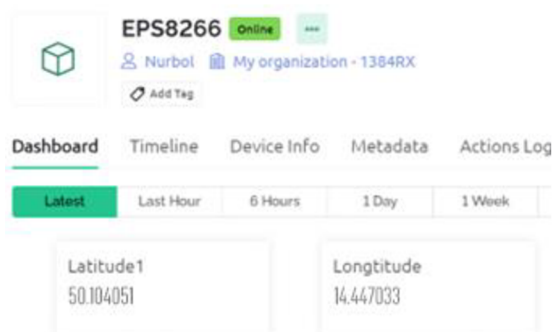
Poté, co byl mikroprocesor pečlivě připojen k počítači pomocí microUSB kabelu, v uživatelském prostředí Arduino IDE se okamžitě objeví možnost aktivace USB portu. Tento krok je následován důležitou fází, během které je nezbytné zvolit specifický typ mikroprocesoru z nabídky dostupných možností, čímž se zajistí správná kompatibilita pro nahrávání kódu (detailně ilustrováno na Obrázku 15).



Obrázek 15 Vybrání portů v Arduino, Zdroj: Vlastní práce

V další etapě procesu, po pečlivém výběru odpovídajícího typu mikroprocesoru a identifikaci příslušného USB portu, je vyžadováno nahrát připravený kód do samotného mikroprocesoru. Tato akce se iniciuje stiskem tlačítka „Nahrát“ umístěného v rozhraní Arduino, což spustí přenos kódu. Jakmile je proces nahrávání zahájen, mikroprocesor ESP8266 začne provádět sekvenční blikání, což slouží jako indikace běžícího programu. V této fázi je vhodné přepnout se do aplikace Blynk, kde je možné sledovat, že připojené virtuální zařízení signalizuje svou online přítomnost. Po uplynutí přibližně patnácti sekund

se na displeji objeví aktuální informace o zeměpisné šířce a délce, což dokládá úspěšné dokončení testování (vizualizováno na Obrázku 16).



Obrázek 16 Zobrazení zeměpisných souřadnic v Blynku, Zdroj: Vlastní práce

Nakonec, získané zeměpisné souřadnice lze vložit do digitální mapy s cílem provést porovnání a ověření, zda zaznamenané hodnoty přesně korespondují s očekávanými či známými polohami. Tento krok umožňuje detailní zhodnocení přesnosti a spolehlivosti měření provedených mikroprocesorem v rámci experimentálního nastavení bakalářské práce.

## 5. Zhodnocení výsledků

### 5.1 Změření přesnosti

Po zadání zeměpisných souřadnic bylo možné změřit přesnost GPS modulů v závislosti na tom, zda byl použit pouze jeden modul nebo všechny tři. Pro podrobnější analýzu byly provedeny tři měření v různých lokalitách Prahy (Tabulka 2).

Tabulka 2 Zeměpisné souřadnice, Zdroj: Vlastní práce

	Přibližná poloha		3 GPS moduly		1 GPS modul	
Poloha 1	50.104041	14.447034	50.104059	14.447052	50.104071	14.447061
Poloha 2	50.054840	14.453296	50.054822	14.453284	50.054886	14.453323
Poloha 3	50.104986	14.450664	50.105009	14.450672	50.104958	14.450691

Výběr přibližné polohy pro účely testování byl proveden s využitím osobních preferencí a dat získaných z mapové služby Google Maps. Po pečlivém provedení několika testů bylo možné stanovit polohu, která se zdála být nejbližší k ideální přesnosti. Přesto bylo nutné počítat s potenciální odchylkou, jež byla odhadnuta na rozmezí deseti až padesáti centimetrů.

Aby bylo možné lépe pochopit dosaženou přesnost, byly přidány teoretické limity přesnosti, které lze dosáhnout s využitím pokročilých navigačních systémů jako RTK (Real Time Kinematic) nebo DGPS (Differential GPS). Pro kvantifikaci odchylky mezi vybranou přibližnou polohou a skutečnými hodnotami získanými z GPS modulů byly použity dva přístupy. Prvním z nich je výpočet pomocí Haversinova vzorce, který umožňuje určit vzdálenost mezi dvěma body na povrchu sférického tělesa na základě jejich zeměpisných souřadnic. Druhým přístupem je využití Python skriptu, jenž byl speciálně vyvinut pro tento účel a je dostupný v Příloze 2. Tento skript poskytuje možnost automatizovaného výpočtu odchylek, čímž značně usnadňuje proces analýzy dat.

Na základě těchto výpočtů byly identifikovány specifické odchylky od původně zvolené přibližné hodnoty, které jsou podrobně uvedeny v Tabulce 3. Tyto odchylky jsou klíčové pro posouzení spolehlivosti a přesnosti polohových údajů získaných z testovaných GPS modulů a hrají zásadní roli při hodnocení vhodnosti daných modulů pro konkrétní aplikace.

Tabulka 3 Porovnání přesností, Zdroj: Vlastní práce

	RTK/ DGPS	3 Gps moduly	1 GPS modul	Standartní GPS
Poloha 1	0,01m-0,02m	2.3805m	3.8556m	5 až 10m
Poloha 2	0,01m-0,02m	2.1787m	3.5718m	5 až 10m
Poloha 3	0,01m-0,02m	2.6215m	3.6648m	5 až 10m

V rámci provedené analýzy bylo zjištěno, že když byly vzaty v úvahu údaje ze tří různých GPS modulů, průměrná odchylka od očekávané polohy dosáhla hodnoty 2,3935 metrů. Na druhou stranu, když byly analyzovány data získaná z pouze jednoho GPS modulu, odchylka se zvýšila na 3,6974 metru. Tato zjištění naznačují, že využití více GPS modulů může přinést významné zlepšení přesnosti určení polohy ve srovnání s použitím jediného modulu. Integrace dat z více zdrojů tak představuje účinnou strategii pro minimalizaci odchylek a zvýšení spolehlivosti polohových měření. Rozdíl v odchylkách mezi oběma přístupy zdůrazňuje významný vliv, který může mít výběr hardwaru a jeho konfigurace na celkovou přesnost měření v aplikacích závislých na poloze oproti standardnímu GPS.

## 5.2 Ekonomické zhodnocení

V situaci, kdy jsou k dispozici neomezené finanční zdroje a vyžaduje se maximální přesnost měření polohy, je nákup modulů DGPS nebo RTK, jejichž ceny se pohybují od deseti tisíc korun až po několik milionů, jistě vhodným řešením. Pro účely ekonomického srovnání byly vybrány dva oblíbené moduly:

1. STONEX S70G GNSS, jehož cena je přibližně 100 000 Kč s DPH a který nabízí přesnost v rozmezí 0,02 až 0,03 metru.
2. GNSS rover Trimble R2, s cenou 200 000 Kč s DPH, poskytující přesnost mezi 0,01 a 0,02 metru.

Pro srovnání, celkové náklady na vyrobený hardware v rámci této práce činí:

1. GPS modul GY-NEO6MV2 za cenu 250 Kč za kus,
2. Nepájivé pole za 45 Kč,
3. Dupont vodiče za 50 Kč,
4. MicroUSB kabel, pokud není k dispozici, za 50 Kč,
5. Mikroprocesor ESP8266 za 127 Kč,

což dává celkem 1022 Kč s DPH při použití tří GPS modulů bez započítání ceny notebooku. Při použití pouze jednoho GPS modulu by celková cena činila 522 Kč.

V Tabulce 4 byly uvedeny teoretické přesnosti, kterých lze dosáhnout s využitím standardního GPS systému a systémů vybavených pokročilými funkcemi, jako jsou RTK a DGPS. K lepšímu pochopení ekonomických aspektů jsou zde také zmíněny dodatečné náklady spojené se zlepšením přesnosti oproti standardnímu GPS systému. Toto srovnání nabízí užitečný přehled o ekonomických kompromisech spojených s výběrem technologie pro přesné určování polohy.



Tabulka 4 Ekonomické zhodnocení metod zpřesnění, Zdroj: Vlastní práce

	Přesnost	Zlepšení opr. stand, GPS	Příplatek opr. stand.GPS
Standardní GPS	5m	-	-
1 GPS modul	3,6m	1,38	522,00 Kč
3 Gps moduly	2,4m	2,08	1 022 Kč
RTK/DGPS	0,02m	250	100 000 Kč

Standardní GPS systémy nabízí základní přesnost na úrovni 5 metrů, která slouží jako referenční bod pro srovnání s pokročilejšími technologiemi určování polohy. Tento faktor poskytuje základní rámec pro posouzení účinnosti a ekonomické efektivity dalších metod zlepšení přesnosti.

Při využití jednoho GPS modulu lze očekávat zlepšení přesnosti na 3,6 metru, což představuje 1,38násobné zlepšení oproti standardnímu GPS. Za tuto zvýšenou přesnost je vyžadován příplatek ve výši 522 Kč, což naznačuje přímý vztah mezi investicí do hardwaru a dosaženým zlepšením v přesnosti polohových údajů.

Použitím tří GPS modulů je možné dosáhnout přesnosti na úrovni 2,4 metru, což představuje zlepšení o 2,08násobku ve srovnání se standardním GPS systémem. Pro získání této vylepšené přesnosti je nutné počítat s celkovými náklady 1 022 Kč, což opět ukazuje na ekonomický aspekt zlepšování přesnosti GPS.

Z uvedených informací vyplývá, že ačkoliv technologie RTK/DGPS nabízí značné zlepšení v přesnosti, je s tímto zlepšením spojená také výrazná finanční investice. Toto srovnání ilustruje důležitý faktor rozhodování mezi dosaženou přesností a souvisejícími náklady, který je nezbytné zvážit při výběru vhodné technologie pro specifické aplikace.

## 6. Závěr

V rámci této bakalářské práce bylo provedeno podrobné zkoumání a porovnání metod určování polohy. Systémy RTK se vyznačují poskytováním výjimečné přesnosti na úrovni centimetrů, avšak jejich využití je spojeno s vysokými pořizovacími náklady. Alternativně jsou k dispozici další technologie, jako je DGPS nebo augmentační systémy, které rovněž poskytují dostatečnou úroveň přesnosti. Nicméně, jejich aplikace může být limitována geografickou dostupností a tyto řešení mohou představovat relativně nákladné varianty. Bylo rovněž prezentováno nové schéma, jehož aplikace se ukázala jako ekonomicky výhodná a přináší zlepšení přesnosti ve srovnání se standardními GPS systémy o koeficient 2,08.

V práci byly posouzeny nákladová efektivita, úroveň dosažené přesnosti a potenciální omezení každé z analyzovaných technologií. Tento přehled umožňuje získat ucelený pohled na současné možnosti technologie GPS. Proto je nezbytné, aby výběr konkrétní technologie reflektoval specifické potřeby a finanční možnosti uživatele. Systémy, které využívají jediný GPS modul nebo trojici těchto modulů, mohou představovat cenově dostupnou alternativu pro aplikace, kde extrémní úroveň přesnosti nejsou vyžadovány. Naopak, v případech, kdy je požadována maximální přesnost, jako například v geodetickém mapování nebo stavebnictví, může být investice do systémů RTK či DGPS plně ospravedlněna, a to i navzdory vyšším počátečním nákladům.

Tímto způsobem byla analyzována efektivita investic do různých navigačních technologií s ohledem na jejich přesnost a možná omezení. Cílem bylo poskytnout komplexní informace, které umožní uživatelům učinit informované rozhodnutí při výběru technologie určování polohy, odpovídající jak jejich potřebám, tak finančním limitacím.

Nový cenově výhodnější návrh může být aplikován v:

- Zemědělství: pro navigaci a sledování v zemědělských aplikacích, jako je vedení traktoru nebo jiných strojů, může být výhodné mít přesnější polohování, aby se maximalizovala efektivita a minimalizoval překryv nebo mezery při výsadbě, hnojení nebo sklizni.
- Lesnictví: pro inventarizaci lesa a plánování může být přesnost 2,4 m dostačující pro mapování stromů a sledování změn lesních porostů.
- Stavebnictví: na velkých staveništích, kde je důležitá správná poloha těžkého vybavení a rychlá orientace, může být mírně lepší přesnost užitečná, i když

pro jemnější práce jako je výstavba nebo pozemní práce bude pravděpodobně potřeba RTK systém.

- Navigace a sledování vozidel: v logistice a správě vozového parku může lepší přesnost pomoci při sledování polohy vozidel pro efektivnější plánování tras a monitorování dodržování pracovních postupů.
- Environmentální monitorování: pro monitorování změn v prostředí, například sledování eroze nebo změn ve vodních tocích, může být přesnost 2,4m postačující.
- Městské plánování a GIS: při shromažďování dat pro geografické informační systémy (GIS) nebo pro účely městského a regionálního plánování může být užitečné mít mírně vyšší přesnost, než poskytuje standardní GPS.
- Hledání a záchrana: v záchranných operacích, kde je rychlá orientace důležitá, ale není vyžadována centimetrová přesnost, může být přesnost 2,4 m vhodná pro lokalizaci záchranářských týmů nebo hledaných osob.
- Outdoorové aktivity: pro rekreační použití, jako je turistika nebo geocaching, může být přesnost 2,4 m dostatečná pro většinu aktivit.

V rámci těchto i mnohých dalších aplikací může zlepšení přesnosti z pěti metrů na 2,4 metru představovat významnou výhodu, jež přispívá k zvýšení efektivity, bezpečnosti a spolehlivosti, a to vše bez nutnosti investic do dražších technologií s vysokou přesností.

Adoptování tohoto pragmatičtě orientovaného přístupu nabízí slibnou příležitost pro podnícení dalších inovací v sektoru cenově dostupných řešení určených pro přesné určování geografické polohy. Předpokládá se, že s pokrokem v oblasti technologie a neustálým vývojem nových a efektivnějších mikroprocesorů, bude možné tento návrh dále optimalizovat. Přejít na modernější mikroprocesory, rozšíření počtu GPS modulů a případné inovace zvyšující rychlost a efektivitu přijímání dat z GPS modulů by mohly výrazně přispět k lepším výsledkům a širšímu využití v praxi.

Závěrem lze říct, že i když současný návrh již přináší významné přínosy v oblasti přesného určování polohy za přijatelné náklady, neustálé hledání nových cest pro jeho zlepšení a adaptaci na měnící se technologické prostředí otevírá cestu k dalším inovacím. Tyto budoucí vývoje nejenže zlepší přesnost a spolehlivost určování polohy, ale také rozšíří možnosti jeho využití ve prospěch široké škály uživatelů napříč různými odvětvími.

## 7. Seznam použitých zdrojů

1. HRDINA, Zdeněk, VEJRAŽKA, František a PÁNEK, Petr. Rádiové určování polohy: (družicový systém GPS). Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01386-3.
2. BELL, Charles A. Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi. [New York, New York]: Apress, 2013. ISBN 1430258241.
3. STEINER, Ivo a ČERNÝ, Jiří. GPS od A do Z. Praha: eNav, 2003. ISBN 80-239-0228-8.
4. GPS AUTOPILOTY V ZEMĚDĚLSTVÍ (2009 : PRAHA, ČESKO), NACIÒLNAL ‘NYJ UNÌVERSITYTET ’ČERNÌHÌVS‘KA POLÌTECHNÌKA”, ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ a LEADING FARMERS CZ (FIRMA). GPS autopiloty v zemědělství: sborník z konference. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů, 2009. ISBN 978-80-213-1993-6.
5. KAPLAN, Elliott D. a HEGARTY, Christopher J., eds. Understanding GPS: Principles and Applications. 2nd ed. Artech House, 2006. ISBN 978-1580538947.
6. MISRA, Pratap a ENGE, Per. Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance. 2nd ed. Ganga-Jamuna Press, 2006. ISBN 978-0970954428.
7. HOFMANN-WELLENHOF, Bernhard, LICHTENEGGER, Herbert a WASLE, Elmar. GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer, 2007. ISBN 978-3211730126.
8. LEICK, A., RAPOPORT, L. a TATARNIKOV, D. GPS Satellite Surveying. 4th ed. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 978-1119018612.
9. FARRELL, J.A. a BARTH, M. The Global Positioning System & Inertial Navigation. McGraw-Hill, 1999. ISBN 978-0070220454.
10. GREWAL, Mohinder S., WEILL, Lawrence R. a ANDREWS, Angus P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. John Wiley & Sons, 2007. ISBN 978-0470099711.
11. LEICK, Alfred, RAPOPORT, Lev a TATARNIKOV, Dmitry. GPS Satellite Surveying. 4th ed. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 978-1119018612.

12. GROVES, Paul D. Principles of GNSS, Inertial, and Multi-Sensor Integrated Navigation Systems. 2nd ed. Artech House, 2013. ISBN 978-1608070053.
13. TEUNISSEN, Peter J.G. a MONTENBRUCK, Oliver, eds. Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer, 2017. ISBN 978-3319429267.
14. GROVES, Paul D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. 2nd ed. Artech House, 2013. ISBN 978-1608070053.
15. BANZI, Massimo a SHILOH, Michael. Getting Started with Arduino. 3rd ed. Maker Media, Inc, 2014. ISBN 978-1449363338.
16. MONK, Simon. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. 2nd ed. McGraw-Hill Education TAB, 2016. ISBN 978-1259641633.
17. WOLFRAM, Don. ESP8266 and ESP32 IoT Programming with Arduino IDE. No Starch Press, 2020. ISBN 978-1718501048.
18. IGOE, Tom. Making Things Talk: Using Sensors, Networks, and Arduino to see, hear, and feel your world. 2nd ed. Maker Media, Inc, 2011. ISBN 978-1449392437.
19. KOLBAN, Neil. ESP32 Book. In: Leanpub.com, 2018.
20. Oficiální dokumentace a blogy Espressif Systems. Dostupné z: <https://blog.espressif.com>
21. European GNSS Agency. "The European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)." Dostupné z: <https://www.egnos-portal.eu/>.
22. "Start your engines: how F1 drivers use GPS." Dostupné z: <https://www.gpsworld.com/start-your-engines-how-f1-drivers-use-gps/>

## 8 Přílohy

### 8.1 Kompletní program, pro určování polohy

```
#include <SoftwareSerial.h>

#define BLYNK_PRINT Serial
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4rEkaOOQ0"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Nodemcu GPS"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "w9H5cY2xAx3lkp-fMX5S3rE39f_SVbzN"

#define WIFI_SSID "COLORFACTORY_staff"
#define WIFI_PASSWORD "ColorFA2023"

#include <NMEAGPS.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

// GPS module 1
#define RX_PIN_1 15
#define TX_PIN_1 13

// GPS module 2
#define RX_PIN_2 12
#define TX_PIN_2 14

// GPS module 3
#define RX_PIN_3 4
#define TX_PIN_3 5

#define GPS_BAUD 9600

SoftwareSerial gps_module_1(RX_PIN_1, TX_PIN_1);
SoftwareSerial gps_module_2(RX_PIN_2, TX_PIN_2);
SoftwareSerial gps_module_3(RX_PIN_3, TX_PIN_3);

NMEAGPS gps;
gps_fix fix;

void collectData(SoftwareSerial &gps_module)
{
  gps_fix fix = gps.read();

  unsigned int move_index = 1;
  float gps_speed;
  uint8_t no_of_satellites;
  String satellite_orientation;
```

```

WidgetMap myMap(V0);

if (fix.valid.location) {
  //Storing the Latitude. and Longitude
  float latitude = fix.latitude();
  float longitude = fix.longitude();

  //Send to Serial Monitor for Debugging
  Serial.print("LAT: ");
  Serial.println(latitude, 6); // float to x decimal places
  Serial.print("LONG: ");
  Serial.println(longitude, 6);

  Blynk.virtualWrite(V1, String(latitude, 6));
  Blynk.virtualWrite(V2, String(longitude, 6));
  myMap.location(move_index, latitude, longitude, "GPS_Location");

  //get speed
  gps_speed = fix.speed_kph();
  Blynk.virtualWrite(V3, gps_speed);

  //get number of satellites
  no_of_satellites = fix.satellites;
  Blynk.virtualWrite(V4, no_of_satellites);

  // get the satellite orientation/direction
  Blynk.virtualWrite(V5, satellite_orientation);
}
}

void setup()
{
  Serial.begin(74880);
  Serial.println("Starting GPS Test...");

  gps_module_1.begin(GPS_BAUD);
  gps_module_2.begin(GPS_BAUD);
  gps_module_3.begin(GPS_BAUD);

  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
}

void loop()
{
  if (!Blynk.connected()) {
    Blynk.connect();
  }
}

```

```
while (gps_module_1.available() > 0) {  
  collectData(gps_module_1);  
}
```

```
while (gps_module_2.available() > 0) {  
  collectData(gps_module_2);  
}
```

```
while (gps_module_3.available() > 0) {  
  collectData(gps_module_3);  
}  
}
```



## 8.2 Python skript pro určování vzdálenosti

```
# import geopy
from geopy.distance import geodesic

point_A = (50.104041, 14.447034) # Zeměpisné souřadnice bodu A
point_B = (50.104071, 14.447061) # Zeměpisné souřadnice bodu B

distance = geodesic(point_A, point_B).meters

print(f"Vzdálenost mezi bodem A a B je {distance} metru.")
```