

Zpřesňování polohy a času určených metodou GNSS

GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ A POLOHOVÉ SYSTÉMY

Prezentace 8

David Vojtek

Institut geoinformatiky

24.04.2023 Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah

- Základní pojmy a klasifikace metod zpřesňování
- Časoprostorová korelace zdrojů chyb měření
- Členění korekcí dle rozsahu
- DGNSS - absolutní určování polohy
- DGNSS - relativní určování polohy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

ZÁKLADNÍ POJMY A KLASIFIKACE METOD ZPŘESŇOVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Zpřesňování polohy metodou GNSS

Základní východisko

Některé ze zdrojů chyb GNSS měření, jsou časoprostorově korelované.

Tato vlastnost umožňuje za splnění určitých podmínek, při měření dvou GNSS přístrojů, kvantifikovat některé z chyb měření pseudovzdáleností.

Diferenční GNSS (DGNSS)

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky. ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Základní rozdělení zdrojů chyb podle časoprostorové korelace

Časoprostorově korelované chyby

- Hodiny přijímače
- Hodiny družic
- Efemeridy (orbity)
- Ionosférická refrakce
- Troposférická refrakce

Časoprostorově nekorelované chyby

- Šum přijímače
- Vícecestné šíření signálů



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Základní východiska pro DGNSS

- Měření provádí **dva přístroje**
- Oba **měří ve stejném čase** (ve stejných epochách)
- Oba **měří stejnou metodu** (kódově / fázově)
- Oba **měří ke stejným družicím**
- Oba přístroje jsou **blízko¹⁾ sebe**
- **Poloha jednoho z přístrojů je známá**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Základní pojmy

Base

GNSS přístroj jehož poloha je známá s vysokou přesností a který slouží ke generování korekcí. Base může mít dočasný charakter.

Jiné pojmenování: Referenční stanice (RS)

Rover

GNSS přístroj jehož poloha je opravována.

Základna

Pomyslná spojnice mezi mezi Base a Rover. S narůstající délkou základny se snižuje přesnost korekcí!

Každý typ korekcí má maximální délku základny za kterou už korekce nedosahují požadované přesnosti.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Základní pojmy

CORS

Permanentní referenční stanice poskytující korekce s nepřetržitým provozem. Na rozdíl od base je trvalá.

*Jiné pojmenování: Permanent Reference station (**PRS**)*

Sít' CORS

Skupina CORS sdružená do sítě s jedním nebo více zpracovatelskými centry.

Zpracovatelské centrum

Zařízení pro zpracování a distribucí korekcí získaných ze stanici CORS sítě CORS.

*Jiné pojmenování: Central Processing Facility (**CPF**)*

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Základní dělení DGNSS metod

- metoda absolutní lokalizace
- metoda relativní lokalizace
- kódová měření
- fázová měření
- real-time
- post-processing
- model chyb v doméně pseudovzdáleností
- model chyb ve stavové doméně



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Dělení podle způsobu lokalizace

Absolutní lokalizace Relativní lokalizace

- Poloha v absolutních souřadnicích x, y, z nebo λ, φ, h
 - Základ autonomní lokalizace pro **kódová** i fázová měření
 - Používá pro korekce **kódových měření**. Označované jako **DGNSS**
- Poloha je dána **vektorem rover k base** (relativně) ne souřadnicemi.
 - Základní metoda pro korekce fázových měření
 - Označované jako **relativní a zahrnuje vždy měření na dvou přijímačích**

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Dělení podle času aplikace korekcí

Real-time

- Korekce jsou aplikované na rover v téměř reálném čase při měření v terénu.
- Vždy existuje latence na straně komunikačního kanálu a zpracování dat.
- RTCM-CS104 a Ntrip

Post-processing

- Korekce jsou aplikované následným zpracováním po skončení měření.
- RINEX
- Může dosáhnout **vyšší přesnosti než real-time** měření (pro stejné měření).

Metody řešení latence:

- Extrapolace
- Čekání na odpovídající data

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Reprezentace chyb měření v doméně chyby pseudovzdáleností

- **Observation Space Representation (OSR)**
- Vyjadřuje celkovou chybu pseudovzdáleností
- **Neumožňuje kvantifikovat vliv jednotlivých zdrojů chyb**
- Starší přístup



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Reprezentace chyb měření v doméně chyby pseudovzdáleností

- Používá se u absolutního určování polohy a především u korekcí kódových měření!



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Výhody a Nevýhody OSR

- V současnosti standardizované
- Používá již implementované postupy (rover)
- Neredukují chyby závislé na jednotlivých referenčních stanicích.
- Frekvence aktualizace korekcí závisí na komponentě chyby pseudovzdáleností s největší dynamikou (hodiny družic, ionosféra).
- Omezená prostorová platnost korekcí.

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Reprezentace chyb měření v doméně stavových chyb

- angl. **State Space Representation (SSR)**
- Kvantifikuje velikosti chyb pro jednotlivé zdroje chyb
- Novější přístupu - používá se v CORS sítích.
- Metody síťových korekcí typu MAC a FKP
- **Používá se u relativních fázových měření v reálném čase RTK!**
- Vyžaduje nové metody zpracování přijatých korekcí na rover.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Výhody a nevýhody SSR

- Eliminace / redukce chyb závislých jen na jednotlivých stanicích v síti.
- Lepší modelování jednotlivých chyb.
- Možnost použít signály všech sledovaných družic ze všech stanic sítě.
- Optimalizace rychlosti zasílaných korekcí.
- Vyšší nároky na implementaci (na straně sítě i rover)
- Vyšší nároky na standardizaci



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

ČASOPROSTOROVÁ KORELACE ZDROJŮ CHYB MĚŘENÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Přehled

Důležité časoprostorově korelované chyby jsou:

- chyby hodin družic
- chyby efemerid
- chyby způsobené troposférou
- chyby způsobené ionosférou

Podmínky v následujících případech:

- Dva přístroje
- Měří ve stejném čase
- Měří ke společné družici

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Chyba hodin družic

- Chyba hodin družic postihuje kódová i fázová měření stejně.
- Všechny přístroje jsou ovlivněné ve stejném čase stejně.
- **Dynamika chyby u GPS:** 1-2 mm/s

Závěr:

- **Nelimituje délku základny**

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Chyba efemerid (orbit)

- V absolutní vyjádření je chyba efemerid pro přijímače stejná.
- Její dopad na chybu pseudovzdáleností závisí na relativní poloze přijímače k družici.

Příklad:

Podmínky

- Základna 100 km
- Chyba efemerid 5 m
- Elevace družic $> 5^\circ$

Dopad na měření

- Rozdíl chyby v pseudovzdáleností mezi base a rover **2,5 cm**

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Chyba efemerid (orbit)

- **Dynamika chyby u GPS: 2-6 cm/s**
lineární průběh
po dobu cca 30 min

Závěr:

- Na středních základnách má dopad na měření v jednotkách centimetrů.
- Stabilní vývoj



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Chyba způsobená troposférou

- Je funkcí elevačního úhlu a ohybu signálů na rozhraních v troposféře.

Příklad:

Podmínky

- Základna 25km

Dopad na měření

- Naměřený rozdíl chyby v pseudovzdáleností mezi base a rover až **40 cm**

Interpretace:

- Mnohem více než na elevačních úhlech družic závisí na podmínkách (rozhraních) v troposféře mezi přijímači.

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Chyba způsobená troposférou

Příklad:

Podmínky

- Základna s převýšením 1 km
- **Dynamika chyby:**
2 m/s pro statický přijímač
elevační úhel družice 5°

Dopad na měření

- Naměřený rozdíl chyby v pseudovzdáleností mezi base a rover až **2 m**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Chyba způsobená troposférou

Závěr:

- Na krátkých horizontálních základnách může být variabilita chyby první desítky cm.
- Na základnách s velkou vertikální členitostí může variabilita chyby dosahovat řádů metrů.
- Variabilita chyby může být silně závislá na čase.
- Statická měření jsou méně ovlivněná chybou.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Chyba způsobená ionosférou

Příklady:

Podmínky

- Základna 100 km
- Družice v zenitu
- **Nevybuzená ionosféra**

Dopad na měření

- Naměřený rozdíl chyby v pseudovzdáleností mezi base a rover **0,2 – 0,5 m**

Podmínky

- Základna 100 km
- Družice v zenitu
- **Vybuzená ionosféra**

Dopad na měření

- Naměřený rozdíl chyby v pseudovzdáleností mezi base a rover **4 m a více**

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Chyba způsobená ionosférou

- **Dynamika chyby:** 8-9 cm/min
střední zeměpisné šířky
- **Dynamika chyby:** do 65 cm/min
ostatní zeměpisné šířky
- **Dynamika chyby:** 3 m/min
extrémní případy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Chyba způsobená ionosférou

Závěr:

- Stabilní vývoj v závislosti na aktivitě ionosféry
- V extrémních případech vysoká časová variabilita.
- Na středně dlouhých základnách může být rozdíl chyby mezi přijímači v prvních metrech
- Může docházet ke skokovým změnám i na krátké vzdálenosti v případě vzniků různých fyzikálních fenoménů v ionosféře.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

ČLENĚNÍ KOREKČÍ DLE ROZSAHU

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Rozdělení

Local-Area DGNSS (LADGNSS)

- Speciální typ **GBAS** (Ground Based Augmentation System)
absolutní určování polohy typu OSR

Regional-Area DGNSS (RADGNSS)

Wide-Area DGNSS (WADGNSS)

- Speciální typ **SBAS** (Satellite Based Augmentation System)
absolutní určování polohy typu SSR
- **RTK sítě**
relativní určování polohy typu SSR i OSR



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Korekce lokálního dosahu LADGNSS

- Stanice Rover se připojují k **jedné Base** (N:1)
- Dosah omezený:
 - Požadovanou polohovou přesností
 - Typem měření **kódová (do 100 km) / fázová (do 20-30 km)**
- Používá se OSR modelování chyb
- Nejstarší přístup k řešení korekcí
- **Dnes použitelný jako ad-hoc řešení korekcí.**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Korekce lokálního dosahu LADGNSS

Přesnost pro kódová měření:

- Pro základnu do 70 km
- Polohová přesnost <1 m

Přesnost pro fázová měření:

- Pro základny do 20 km
- Polohová přesnost <10 cm



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

GBAS

- **Ground Based Augmentation Systems**
- **Systemy v okolí letišť s dosahem 23 mil**

GBAS slouží k:

- **Zpřesňování polohy (kódová měření)**
- **Monitorování integrity signálů**
- **Korekce jsou spolu s daty o integritě signálů předávány letadlům vysíláním VHF**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Korekce regionálního dosahu RADGNSS

Idea:

- Pokrytí většího zájmového území (stát)
- S malým počtem CORS (méně než ve variantě LADGNSS)
- Zachovat přesnost LADGNSS
- Následovník LADGNSS a mezikrok k WADGNSS
- *Zmiňován jen v některých publikacích*



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Korekce regionálního dosahu RADGNSS

- Používá se OSR modelování chyb
- Do procesu přípravy korekcí začleněn i Rover



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Korekce velkoplošného rozsahu WADGNSS

Idea:

- Pokrytí zájmového území (rozsah kontinentů)
- Snížit limit dosahu korekcí od jednotlivých CORS
- Zachovat přesnost LADGNSS



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Korekce velkoplošného rozsahu WADGNSS

Koncept vyžaduje rozsáhlejší infrastrukturu

- Základ tvoří **sít' CORS**
- V síti se nachází **jedno nebo více CPF**
(zpracovatelských center)

Úloha zpracovatelských center

- V reálném čase zpracovávat měření všech CORS prováděná ke všem viditelným družicím
- Korekce jsou sestavovány pro OSR i SSR

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Korekce velkoplošného rozsahu WADGNSS

Polohová přesnost pro kódová měření SBAS

- V oblastech pokrytých signálem
- Polohová přesnost 1-2 m

Přesnost pro fázová měření:

- Pro základny do 40 km
- Polohová přesnost <10 cm



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Sít'ové RTK

- Nové metody sestavení korekcí
- Vyžadují síť **CORS** s **CPF**
- Chyby jsou řešené přístupem OSR i SSR
 - **VRS** (Virtual Reference Station)
 - **MAC** (Master-Auxiliary Concept)
 - **FKP** (Flächen-Korrektur-Parameter)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

VRS

- Principiálně nejbližší Single-Base metodě
- Korekce sestavuje CPF pro VRS

Typ korekcí:	OSR
RTCM:	2.3
Vzdálenost stanic:	70 - 80 km
Korekce sestavuje:	CPF
Komunikace:	obousměrná



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

MAC

- Pracuje s daty všech CORS a dostupných družic
- Komunikaci zajišťuje CPF
- Vysílají se všechny korekční parametry sítě

Typ korekcí:	SSR
RTCM:	3.1
Vzdálenost stanic:	-
Korekce sestavuje:	CORS / CPF
Komunikace:	jednosměrná

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

MAC

- MAC je základní metodou navrženou RTCM
- Pro rozsáhlé sítě (dělené do podsítí)
- Jedna stanice sítě označená jako Master
- CPF posílá na rover:
 - úplnou sadu korekcí a polohu Master
 - úplnou sadu rozdílových hodnot korekcí a rozdílů polohy ostatních CORS od Master
- Korekční parametry zpracovává Rover



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

MAC

Korekční parametry jsou rozčleněny na:

Dispersivní

- chyba geometrie (aktualizace co 30 min)
- troposférická refrakce (aktualizace co 15 min)

Nedispersivní

- ionosférická refrakce (aktualizace co 1 min)
- Rozčlenění korekcí umožní efektivně řídit objem přenášených dat



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

FKP

- Lineární parametry plošného modelu korekcí:
 - ionosférické refrakce
 - troposférické refrakce
 - chyby efemerid
- **osa X a Y** - zeměpisná délka a zeměpisná šířka
- **osa Z** - velikost hodnoty opravy pseudovzd.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

FKP

Typ korekcí:	SSR
RTCM:	3.1
Vzdálenost stanic:	-
Korekce sestavuje:	CPF
Komunikace:	jednosměrná



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

SBAS

- Globální systémy pokrývající celé kontinenty

Slouží k:

- zvýšení integrity signálů navigačních družic GNSS
- zpřesnění polohy
- Výsledné korekce spolu s daty o integritě jsou distribuované přes geostacionární družice



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Existující a budované SBAS

- Severní amerika
WAAS
(Wide Area Augmentation System)
- Asie
MSAS
(Multi-functional Satellite Augmentation System)
- Evropa a Severní Afrika
EGNOS
(European Geostationary Navigation Overlay Service)
- Ruská federace
SDCM
(System for Differential Corrections and Monitoring)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Metody korekcí OSR pro absolutní určování polohy.

DGNSS ABSOLUTNÍ URČOVÁNÍ POLOHY

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Obecný základ DGNSS

- Označení DGNSS se používá pro metody korekcí **s absolutním určováním polohy**
- Pracuje většinou s chybou pseudovzdáleností typu **OSR** (mimo WADGNSS)
- Je spojováno hlavně s **kódovým měřením**
- Metoda je použitelná i pro fázová měření. **Pro fázová měření se však nepoužívá!**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

DGNSS – absolutní / kódová

- **Sub-metrová polohová přesnost.**
- Silně závisí na délce základny.
- **Limitem polohové přesnosti bývá „nepřesnost“ určení vzdálenosti dálkoměrným kódem.**
- Rychlá metoda.
- Základ metody je implementačně jednoduchý.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Metody korekcí OSR pro absolutní určování polohy.

DGNSS RELATIVNÍ URČOVÁNÍ POLOHY

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Relativní určování polohy

Řešení ambiguit pomocí **lineárních kombinací (lk) měřených veličin** mezi dvojicí přijímačů a dvojicí družic

- Jednoduché diference
- Dvojité diference
- Trojité diference
- Diference kódových měření
- **Diference fázových měření**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Lineární kombinace měřených veličin

Jednoduché diference

- Jeden přijímač
- Jedna epocha
- Dvě družice

**Eliminace chyb: Hodin družic
Ionosférické refrakce
Troposférické refrakce**

Dvojité diference (dvě jednoduché diference)

- Dva přijímače
- Jedna epocha
- Dvě družice

Eliminace chyb: Hodin přijímače

Trojité diference (dvě dvojité diference)

- Dva přijímače
- Dvě epochy
- Dvě družice

Eliminace chyb: Ambiguit fázových měření

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Lineární kombinace pro „nové“ typy měření

- *Pro dlouhé základny jsou difference neúčinné – velká dekorelace některých ze zdrojů chyb.*
- **LK odvozené pro jedno měření přijímač - družice (pre-processing před diferencováním)**
 - **Ionosphere-free LK** Eliminace ionosférické refrakce
 - **Geometry-free LK** Eliminace chyby hodin družic, chyby hodin přijímače a chyby geometrie
 - **Wide-line LK** Potlačuje ionosférickou a troposférickou refrakci
 - **Mellbourne-Wübbena LK** Odhad ionosférické a troposférické refrakce, geometrie a hodin

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Metody relativního určování polohy – přehled

Vznikla celá řada metod:

- Statická
- Rychlá statická
- Pseudo statická
- Stop and Go
- Kinematická
- **Real-time Kinematic (RTK)**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Statická

Inicializace:	-
Observace:	1-2 hod (více hodin, dnů)
Délka základny:	nad 20 km (100-ky 1000-ce km)
Délka epochy :	15 – 20 sekund
Přesnost:	3-5 mm + 1 ppm (RMS)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

▪ http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/ModernSurveyingTech/lecture4/4_8_Static_Survey.htm

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Rychlá statická

Inicializace:	2 – 10 minut závisí na délce základny
Observace:	5 – 20 min základna a počet družic
Délka základny:	do 15 km
Délka epochy :	5 sekund
Přesnost:	5-10 mm + 1 ppm (RMS)

***U Roveru nesmí dojít během observace k fázovému skoku.
Jinak je nutná nová inicializace.***

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Stop and Go (Semi-kinematic)

- Inicializace (Stop):
- Na známém bodě
 - Statická
- Observace (Go): **2 epochy**
postačují **4 družice**
- Délka základny: **> 15 km**
- Délka epochy : -
- Přesnost: **10-20 mm + 1 ppm (RMS)**

U Roveru nesmí dojít během observace k fázovému skoku (min. čtyři družice). Jinak je nutná nová inicializace.

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Kinematická

Inicializace:	<ul style="list-style-type: none">▪ Známý bod (2-5 min)▪ Výměna antény
Observace:	1 až 4 epochy postačují 4 družice
Délka základny:	> 15 km
Délka epochy :	0,5 - 5 sekund
Přesnost:	10-20 mm + 1 ppm (RMS)

U Roveru nesmí dojít během observace k fázovému skoku (min. čtyři družice). Jinak je nutná nová inicializace.

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

PRŮMĚROVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

K čemu slouží průměrování

- **Zmenšit dopad nekorelovaných chyb, které nejsou z principu DGNSS**
- V autonomním režimu měření zmenšení dopadů **extrémních chyb měření**
- Je vhodné používat **delší epochu měření**
- Při zachování n počtů observací s krátkou epochou observací je výsledek průměrování horší než při dlouhé epoše průměrování.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

24.04.2023

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

DĚKUJI ZA POZORNOST

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.