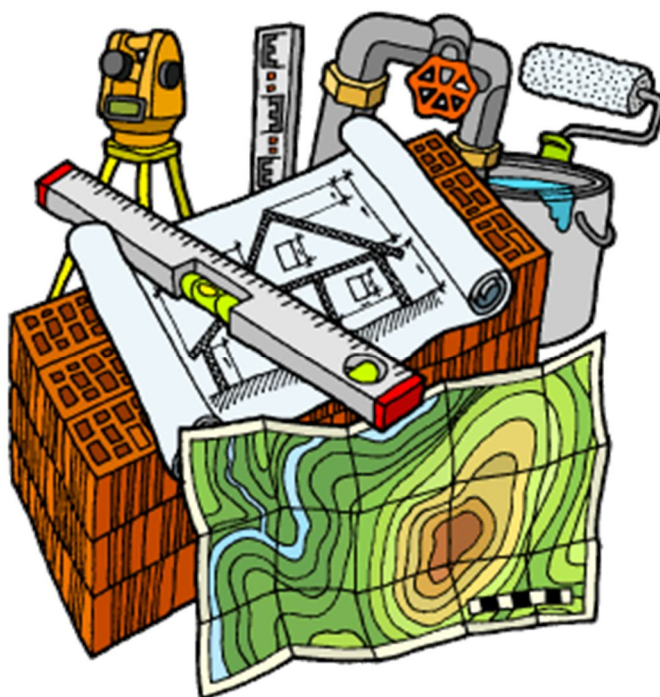




Moderní přístrojová technika

Vybrané kapitoly: GNSS



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1. Globální navigační satelitní systémy (GNSS).....	3
GPS.....	4
GLONASS.....	4
GALILEO.....	4
Data GNSS.....	5
Principy určování polohy.....	5
Aplikace.....	6
Metody určování polohy.....	7
Principy DGNSS, RTK.....	9
2. Permanentní síť GNSS	11
Permanentní GNSS síť a jejich služby.....	12
Přínos sítí permanentních stanic	13
Úskalí.....	14
Kontrolování výsledků.....	14
Předcházení všem možným překážkám a vlivům, které by mohly měření:.....	14
3. Referenční síť GNSS na území ČR.....	15
Trimble VRS Now Czech	15
by/S@t	16
GEONAS.....	17
TopNET.....	18
Popis sítě.....	20
Dostupná data	21
Souřadnice.....	21
VESOG	21
4. CZEPOS - ČESKÁ SÍŤ PERMANENTNÍCH STANIC PRO URČOVÁNÍ POLOHY	23
Postup budování sítě	25
5. Síť permanentních stanic v sousedních zemích	27
6. Praktické použití	29
Faktory ovlivňující kvalitu měření.....	29
Aplikace RTK technologií v geodézii.....	34
Aplikace RTK technologií ve stavebnictví	35
Další využití RTK - například v zemědělství.....	37
Přesnost, praxe, limitující faktory RTK	37
7. Modernizace a zpřesnění geodetických polohových základů - realizace systému S-JTSK/95 (resp. S-JTSK/05)	39
Vývoj	39
Požadavek:	39
Stručná charakteristika S-JTSK/95.....	41
Převod z S-JTSK/05 do S-JTSK	42
Definice S-JTSK/05	44
Poznámky pod čarou.....	46



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1. Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Jedná se o služby, umožňující za pomoci signálů z družic určit polohu a orientaci na zemském povrchu. Tato metoda se dnes velice často používá i v geodézii a lze ji například využít pro tvorbu vlastního bodového pole v místech, kde není dostatečně podrobné nebo s ní lze provádět podrobná měření v místech, kde je dobrý výhled na oblohu a signál není rušený elektromagnetickým vlněním. Výhodou je, že v terénu je potřeba pouze jeden měřič, měření je přímo v JTSK na celém území republiky, výsledky měření jsou k dispozici prakticky ihned a přesnost je u geodetických aparatur řádově centimetrová.

Obecně se tato technologie používá ve vojenství (pro které byla primárně vyvinuta), logistice silniční, železniční, letecké i lodní dopravy, zemědělství, geologii, atd. Trh s těmito službami navíc každoročně roste o 25%.

Struktura většiny GNSS je obdobná a liší se v zásadě pouze v technických detailech. Lze ji rozdělit na tři základní složky: kosmický, řídicí a uživatelský segment.

Kosmický segment - zahrnuje aktivní umělé družice Země, jejichž poloha je kontinuálně určována v jednotné celosvětové geocentrické souřadnicové soustavě. Družice obíhají po téměř kruhových drahách ve výšce cca 20000 km nad Zemí. Každá družice je vybavena přijímačem, vysílačem a atomovými hodinami. Elektrickou energii získává pomocí solárních panelů a svou polohu je schopna korigovat pomocí raketových motorů.

Řídicí segment - vytváří a udržuje systémový čas, průběžně monitoruje a koordinuje činnost celého systému, provádí manévry satelitů (korekce drah satelitů). Skládá se z hlavní řídicí stanice a několika monitorovacích stanic, které nepřetržitě přijímají signály ze všech družic. Tyto data se zpracují v hlavním řídicím centru, vypočtou se korekce drah a hodin družic a ty jsou vysílány na družice. Družice pak tyto informace vysílají v navigační zprávě uživatelům.

Uživatelský segment - zahrnuje pozemní přijímače schopné přijímat a zpracovávat družicové GNSS signály.

Zastaralé	Transit · CIKADA · PARUS
Provozované	DORIS · GLONASS · GPS
Ve vývoji	Compass · Galileo
Rozšiřující	EGNOS · CWAAS · GAGAN · MSAS · WAAS
Technologie	SBAS, LAAS, DGPS

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

GPS

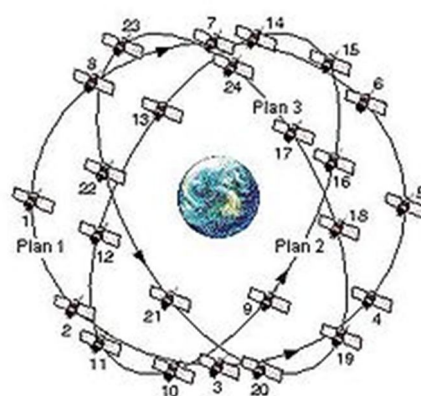
Americký vojenský navigační systém, někdy označovaný jako NAVSTAR (Navigation System using Time and Ranging). Plně funkční od 17.7.1995.

Vysílá na frekvencích L1 (1575,42 Mhz), L2 (1227,60 Mhz) a L5 (1176,45 Mhz) na tyto nosné vlny se moduluje P-kód, C/A kód, L1C nebo L2C kód. Všechny družice vysílají na stejných frekvencích, ale každá družice používá odlišnou sekvenci kódů.

**GLONASS**

Ruský vojenský navigační systém, vyvíjený od roku 1972. Na rozdíl od GPS používá frekvenční identifikace družic (FDMA – frequency division multiple access). Všechny družice používají stejnou sekvenci C/A a P kódů, ale každá družice vysílá odlišné nosné frekvence L1 a L2 ($f_1 = 1602 \text{ Mhz} + 0,5625n$, $f_2 = 1246 \text{ Mhz} + 0,4375n$, kde $n \dots$ číslo frekvenčního kanálu družice $n = -7, -6, \dots, 5, 6$). Plánovaný počet družic je 21+3 rozmístěných rovnoměrně na 3 oběžných drahách.

Dalšími rozdíly jsou používání geocentrického systému PZ90 pro definování poloh a rychlostí družic a používání systémového času GLONASST.

**GALILEO**

Evropský civilní navigační systém, který je ve fázi vývoje. Předpokládané spuštění v roce 2014, ale stále se oddaluje.

Plánovaný počet družic 27+3, na 3 oběžných drahách. Stejně jako GPS by měl využívat kódovou identifikaci družic, které budou vysílat na shodných nosných frekvencích L1 (1575,42 Mhz), E5a (1176,45 Mhz), E5b (1207,140 Mhz) a E6 (1278,75 Mhz).



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Data GNSS

K určení polohy GNSS přijímače nám slouží data vysílaná družicemi a u diferenčních metod také data vysílaná z jiných přijímačů.

Data vysílaná družicemi

Každá družice vysílá rádiový signál na několika nosných vlnách (L1, L2, L5). Na tyto nosné vlny se modulují pseudonáhodné kódy (C/A, P, Y, L1C, ...) a navigační zprávy.

Navigační zpráva – je na nosnou vlnu modulována ve formě binárního kódu, kódovaného pomocí fázového posunu nosných vln. Navigační zpráva obsahuje:

- parametry dráhy družice
- čas vysílání počátku zprávy
- přesné keplerovské efemeridy družice
- korekce hodin družice
- almanach – méně přesné parametry všech družic systému
- koeficienty ionosférického modelu
- stav družice (health), ...

Data vysílaná referenčními stanicemi

Při diferenčním určování polohy musíme mít k dispozici data měřená na retenční stanici, jejíž polohu přesně známe. Nejčastěji referenční stanice vysílá korekce měřených pseudovzdáleností k jednotlivým družicím (rozdíl vzdálenosti měřené a vypočtené ze známých souřadnic). Tyto data jsou nejčastěji šířeny přes internet pomocí NTRIP protokolu.

Principy určování polohy

Kódová měření

Přijímače generují repliku kódu v závislosti na čtení vlastních hodin. Tuto repliku potom porovnávají s kódem získaným z přijímané vlny a určují časový posun mezi nimi. V případě, že chod hodin družice i přijímače je bezchybný, časový posun odpovídá transitnímu času, po který signál překonával vzdálenost mezi družicí a přijímačem. Vynásobením

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

transitního času rychlostí světla získáváme vzdálenost družice - přijímač. Tuto měřenou vzdálenost nazýváme pseudovzdáleností. V případě C/A kódu systému GPS, odpovídá jeden bit vlně o délce 300m. Uvažujeme-li přesnost synchronizace kódů 1%, pak maximální přesnost polohy bez uvážení dalších vlivů je cca 3m. Využití P kódu je řádově desetkrát přesnější.

Fázová měření

Fázová měření využívají určování pseudovzdáleností pomocí nosných vln L1 a L2. Protože přibližná vlnová délka L1 je 19cm a L2 je 24cm, jsme při shodné přesnosti synchronizace vln jako u předchozího kódového měření (1%) schopni určit fázový doměrek s milimetrovou přesností. Protože ale u klasické sinusové vlny nelze určit čas jejího odeslání (jako je tomu u dálkoměrných kódů), obsahují fázová měření nejednoznačnost (ambiguity) v počtu celých vlnových délek. Ambiguity se počítají vyrovnáním stejně jako ostatní neznámé v systému rovnic fázových pozorování. V této fázi získáme přibližné hodnoty, které však nejsou celočíselné. Tyto hodnoty se zaokrouhlí na celá čísla a provede se nové vyrovnání. Existuje mnoho metod řešení ambiguity, použití se volí v závislosti na délce observace.

Aplikace

Dopplerovská měření

V důsledku relativního pohybu družic vůči přijímači se průběžně mění frekvence přijímaného signálu. Dopplerovský posun frekvence je měřen na nosné vlně. Tento posun se určitou dobu měří a pak je na základě získaných údajů vypočtena změna radiální vzdálenosti mezi družicí a přijímačem. Tato měření se využívají spíše k určení rychlosti pohybu přijímače.

Absolutní určování polohy

Za předpokladu, že známe přesné dráhy družic a přesné korekce hodin družic, jsme touto metodou schopni určit svou polohu s přesností řádově centimetrů. Pro dosažení takové přesnosti potřebujeme alespoň dvanácti hodinový záznam dat na určovaném bodě. Výhodou tohoto způsobu výpočtu je to, že nám stačí jedna GPS aparatura. Jsme schopni určit svou

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

polohu přesně kdekoli na zemi, bez nutnosti existence referenčních sítí v naší blízkosti. Nevýhodou pro větší rozšíření v praxi je to, že je nutná velmi dlouhá observace na určovaném bodě a to, že tento výpočet neumožňují firemní softwary. Nevýhodou je také to, že přesné efemeridy určené např. centrem IGS jsou k dispozici s několikadenním zpožděním.

Relativní určování polohy

Pro relativní určování polohy je nutné mít současně měřená data na dvou bodech. Výhodou je podstatně kratší doba měření, nevýhodou je nutnost vlastnit dvě GNSS aparatury, což odpadá, pokud se v blízkosti nachází nějaká permanentní stanice poskytující data.

V praxi se využívá několik metod měření:

- a) Statická metoda
- b) Rychlá statická metoda
- c) Stop and go
- d) Kinematická metoda
- e) RTK (real time kinematic)
- f) DGNSS

Metody určování polohy

Řada metod se v běžné praxi stává historií, nejčastěji se používá měření RTK s použitím korekcí z permanentních sítí ...

Statická metoda

Statická metoda spočívá v kontinuální observaci několika aparatur po dobu několika hodin až dnů. Jde o metodu časově nejnáročnější, ovšem poskytující nejpresnější výsledky. Používá se pro speciální práce s maximální požadovanou přesností (budování polohových základů, regionální geodynamika, sledování posunů a přetvoření). Při opakovaných měřeních v dostatečně vzdálených časových intervalech je možné sledovat tektonické pohyby bodů. Při delších základnách vykazuje statická metoda mnohem vyšší přesnost než metody klasické

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

geodézie. V případě proměřování velmi dlouhých základen (kontinentální měření) je nutné modelovat při výpočtu celou řadu faktorů, které se na krátkých základnách neprojeví.

Rychlá statická metoda (pseudostatická metoda)

Doba observace při této metodě dosahuje několika minut, což je umožněno technologií rychlého určování ambiguit. Metoda vyžaduje jednofrekvenční nebo dvoufrekvenční přijímač s P kódem a výhodnou konfiguraci družic (5–6 družic s elevací vyšší než 150°). Velké omezení pro tuto metodu představuje úmyslné rušení kódu – selective availability, nebo nahrazení P kódu jeho šifrovanou verzí Y kódem. Metoda se realizuje dvojicí přijímačů a měření lze uskutečnit v okruhu 15 kilometrů od zvoleného referenčního bodu. Použití je pro zhušťování základních i podrobných bodových polí a budování prostorových sítí nižší přesnosti.

Metoda stop and go (polokinematická metoda)

Je obdobná rychlé statické metodě, přijímač však nepřestává měřit ani při přesunu mezi jednotlivými podrobnými body. Pouze na prvním bodě je nutné setrvat tak dlouho, dokud není možné spolehlivě vyřešit ambiguitu. Pro určení ambiguit se využívá měření v kinematickém režimu na koncových bodech známé výchozí základny, na které jsou známy souřadnicové rozdíly s přesností 5 cm, nebo se využívá výměny antén mezi dvěma blízkými přijímači (5–10 metrů). Přijímač který se pohybuje musí být nastaven v kinematickém režimu, přijímač na referenční stanici může pracovat jak v kinematickém tak ve statickém režimu. Na měřených bodech je možno měření zkrátit na několik sekund za předpokladu, že během přesunu nedošlo ke ztrátě signálu (pak metoda přechází v rychlou statickou metodu). Metoda stop and go se využívá pro určování souřadnic podrobných bodů.

Kinematická metoda

Metoda rozlišuje dvě technologie měření. Kinematická metoda s inicializací je podobná metodě stop and go s tím rozdílem, že po počáteční inicializaci (vyřešení ambiguit) provádí pohybující se přijímač měření v krátkém časovém kroku. Nutnost opakování inicializace po ztrátě signálu během měření se pokouší odstranit kinematická metoda bez inicializace. Tato metoda vychází z předpokladu, že ambiguita je možno určit na základě přesných kódových měření i při pohybu přijímače (on-the-fly ambiguity resolution).



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

RTK – real time kinematic

Kinematická metoda v reálném čase je nejnovější metodou měření. Využívá rádiového přenosu korekcí fázových měření od referenčního k pohybujícímu se přijímači. Metoda nachází uplatnění při určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů, především však při vytyčování.

Metody pro získávání souřadnic v reálném čase v diferenciálním módu

- DGNSS s korekcemi ze satelitu
- DGNSS (korekce při použití kódového měření)
- RTK (korekce při použití fázového měření)

Poslední dvě metody mohou obsahovat korekce poslané z vlastní báze, ze síťové stanice nebo modelované nějakým síťovým řešením (VRS, plošné). Metoda RTK je v současnosti nejrozšířenější pro sběr podrobných dat.

Principy DGNSS, RTK

Na rover stanici se v reálném čase přijímají kromě vlastních dat ze satelitů také korekce nutné pro úspěšné řešení ambiguit. Korekce jsou opravy chyb hodin pro jednotlivé satelity a chyb z atmosféry (získané na základě známé polohy referenční stanice). Korekce jsou předávány buď ze satelitu – systém SBAS, v Evropě EGNOS (tři geostacionární satelity), nebo z pozemních bází.

Z pozemních bází může být zdrojem korekcí vlastní báze, báze nějaké permanentní sítě nebo vypočtené korekce nějaké sítě. Při použití korekcí u kódového měření mluvíme o DGNSS (často používaný termín je DGPS), u fázového měření o RTK (Real Time Kinematic).

Korekce mohou být přenášeny pomocí radia, GSM, datových služeb mobilních operátorů (nejčastěji GPRS), mohou být například součástí datových toků RDS některých rádií. V současnosti nejpoužívanějším zdrojem korekcí jsou NTRIP castery, ze kterých se data odebírají prostřednictvím internetu.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výpočty – ambiguity - jsou řešeny na rover stanici v reálném čase, výpočty řeší buď externí zařízení s klientským softwarem (např. PDA připojené k GPS), nebo přímo firmware GPS přijímače (např. Topcon).

V závislosti na účelu a požadované přesnosti sítě lze použít následující metody:

- statická ($mP = 3 - 5 \text{ mm}$)
- rychlá statická ($mP = 5 - 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$)
- stop and go ($mP = 10 - 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$)
- kinematická ($mP = 20 - 30 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$)
- RTK – real time kinematic ($mP = 30 - 50 \text{ mm}$)

Vzhledem k tomu, že při těchto měřeních očekáváme výsledky v řádech centimetrových (viz výše) je nutné splnit několik základních podmínek:

- současná observace alespoň na dvou bodech
- dostatečně velká viditelná část oblohy
- nepřítomnost předmětů způsobujících multipath (vícecestné šíření signálu)

Pro metody statické a rychlé statické, které dávají ve výsledku nejpřesnější výsledky je nutné měření plánovat. Hlavní pozornost je nutné věnovat volbě metody a délce observace (měření).

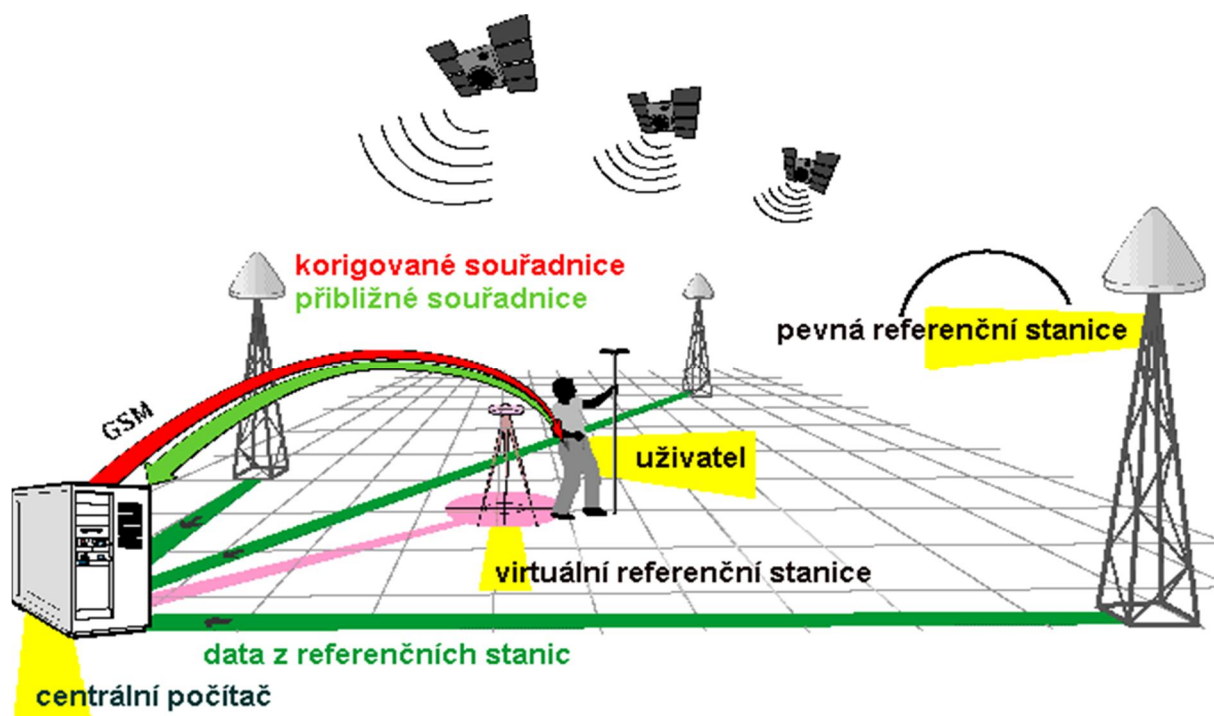
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

2. Permanentní síť GNSS

Pro běžné užití při navigaci nám postačuje řádově metrová přesnost, kterou nám zajistí jeden jednofrekvenční GPS přijímač. Pokud ale v reálném čase vyžadujeme submetrovou přesnost v určení prostorové polohy bodu, musíme mít přijímače dva a využít některé z diferenciálních metod určení polohy. Z tohoto důvodu se začaly po celém světě budovat sítě permanentních GNSS stanic, díky kterým uživatelům stačí si pořídit pouze jeden GNSS přijímač, který je schopen přijímat korekční data z těchto sítí.

Permanentní síť kromě jednotlivých GNSS stanic, které neustále přijímají a zaznamenávají družicová data, obsahuje řídicí středisko, které spravuje jednotlivé stanice a umožňuje uživatelům odebírat měřená data a korekce.

Největší přínos GNSS permanentních sítí je tedy ekonomický, následovaný komfortem a přesností měření. Pokud měříme v permanentní síti, dostáváme homogenní výsledky na velkém území a to ve velmi krátkém čase. V současnosti nám GNSS sítě umožňují určit svou polohu s centimetrovou přesností během několika vteřin.



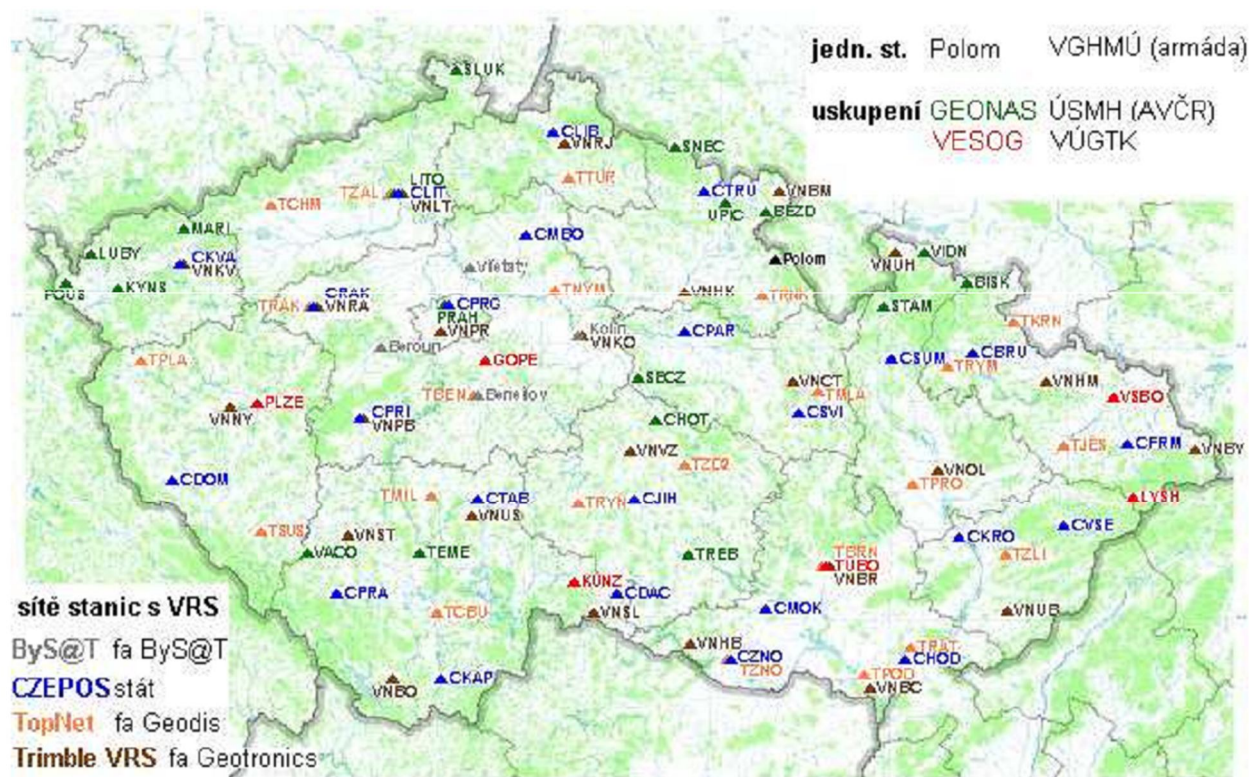
Obr. 1: Uživatel se zapnutím družicového přijímače přihlásí do přístupového routeru v řídicím centru (přes GSM). Router umožňuje současně stovky přístupů na jediné telefonní číslo.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Řídicí centrum sítě DGPS vypočte z přibližných souřadnice uživatele jednotlivé korekce RTCM a vyšle je okamžitě zpět přes GSM. Během jediné vteřiny dostane uživatel své zkorigované souřadnice WGS84, které pak může, pomocí instalovaného SW v přijímači, transformovat na libovolné místní souřadnice.

Permanentní stanice GPS/GNSS na území České republiky

(k 31.5.2010)



Permanentní GNSS sítě a jejich služby

Permanentní sítě ref. stanic mají obvykle následující skladbu. Na daném území jsou rozmístěny referenční stanice. Na jejich vzdálenosti a hustotě jsou závislé služby sítí. Stanice jsou připojeny přes internet (buď přímo, nebo přes nějaký počítač) k operačnímu centru. Zde



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

na serverech běží hlavní prvky sítě, které poskytují služby klientům (zpravidla připojeným opět přes internet).

Permanentní síť zpravidla poskytuje následující služby:

- data pro postprocessing
 - o RINEX
 - o RINEX virtuální stanice
- RTK korekce
 - o RTCM 2.3
 - o RTCM 3.0
 - o RTCM 3.1
 - o VRS
 - o Plošné korekce
- DGNS korekce

Některé služby umožňují kromě RTK korekcí zasílat i difference korekcí z dalších stanic, případně mohou být RTK korekce o tyto difference již opraveny. Síť mohou poskytovat korekce buď přímo z vybrané referenční stanice nebo automaticky přiřazené – nejbližší funkční stanice. V tomto případě musí být odeslána z rover stanice do sítě zpráva o poloze – GGA zpráva podle standartu NMEA — National Marine Electronics Association.

Služby VRS a Plošné korekce jsou takzvané síťové služby. I v tomto případě musí systém obdržet zprávu o poloze rover stanice. VRS – virtuální referenční stanice je stanice modelovaná poblíž rover aparatury, k ní jsou přepočteny korekce z okolních stanic a poskytovány pro daný rover. Plošné korekce jsou korekce z nejbližší stanice opravené o síťové řešení všech stanic sítě.

Přínos sítí permanentních stanic

- pro dosažení výsledků měřických prací postačí pouze jedna aparatura
- při provádění měřických prací odpadá nutnost zřízení vlastní stanice a organizační problémy spojené s jejím provozem (přesuny, dozor)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- při použití produktů a služeb síťového řešení není měřič omezen svojí polohou v rámci území, které síť pokrývá a přesnost výsledků není závislá na vzdálenosti od nejbližší stanice

Úskalí

- žádná síť permanentních stanic nedokáže zcela eliminovat obecně platné negativní vlivy na měření GNSS, které vyplývají z konfigurace systému a obecně platných jevů fyzikální povahy působících na elektromagnetické vlnění
- žádná síť permanentních stanic nedokáže řešit problémy způsobené kvalitou příjmových podmínek na určovaném území

Kontrolování výsledků

- a) vhodným měřickým postupem
- b) jinou měřickou metodou
- c) opakovaným měřením (za jiných podmínek)

Předcházení všem možným překážkám a vlivům, které by mohly měření:

- a) poškodit (zákryty a překážky způsobující roztržštění nebo úplnou ztrátu signálu)
- b) zatížit systematickou chybou (zákryty a překážky způsobující odraz a vícecestné šíření signálu, negativní vliv má též počasí – kumulace el. Potenciálu v atmosféře před bouřkou nebo hustá sněhová oblaka, sněžení)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

3. Referenční síť GNSS na území ČR

Na území České republiky se v současné době můžeme setkat se šesti hlavními sítěmi permanentních referenčních GNSS stanic. První realizovanou sítí v České republice je bezesporu síť CZEPOS (Czech Positioning System), která je ve správě Zeměměřického úřadu (ZÚ) v Praze. Další sítí je síť VESOG (Výzkumná a experimentální síť pro observace GNSS) provozovaná pro výzkumné, experimentální a výukové účely zúčastněných výzkumných a akademických pracovišť v České republice. Následující kapitoly jsou věnovány podrobnějším popisům hlavních šesti sítí na území České republiky. Lze je rozdělit do dvou skupin, na síť vědecké a komerční. Do skupiny vědeckých sítí patří VESOG a GeoNAS, úkolem těchto sítí je plnění specifických výzkumných úkolů. Druhá skupina komerčních sítí zahrnuje síť CZEPOS, Trimble, by/Sa@t, které slouží především pro poskytování GNSS korekcí pro geodetickou veřejnost.

Trimble VRS Now Czech

Síť Trimble VRS Now Czech je provozována firmou Trimble stejně jako síť ve Velké Británii (115 stanic), Německu (170 stanic), Irsku (22 stanic) a Estonsku (21 stanic). V České republice je rozmístěno 24 referenčních stanic. Do kumulativního řešení sítě je zapojeno i 8 stanic z Trimble VRS NOW Deutschland. Na všech stanicích je umístěno jednotné přístrojové vybavení Trimble. GNSS přijímač netR5 umožňuje přijímat všechny dostupné signály a frekvence GPS určené pro civilní uživatele (L1, L2, L2C, L5) i signály ruského systému GLONASS. Anténa Zephyr Geodetic Model 2 s protisněžným krytem pro stávající i budoucí družicové signály s technologií Trimble StealthTM eliminující vícenásobný odraz. Výrobce těchto antén je zajištěna submilimetrová stabilita fázového centra. Pro tvorbu síťových korekcí včetně GLONASS je použit software VRS3Net. Další informace o síti Trimble VRS Now Czech lze najít na <http://www.geotronics.cz/index.php/specifikace-site>.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Síť Trimble VRS Now Czech je přihlášena do monitorovací kampaně prováděné VÚGTK, v.v.i. Při měření v této síti není nutné od 1.9.2010 provádět ověřovací měření dle ustanovení bodu 9.10 písm. c) přílohy k vyhlášce č. 31/1995 Sb.



Obr. 2: Rozmístění stanic sítě Trimble VRS Now Czech na území České republiky

by/S@t

Síť permanentních referenčních stanic společnosti by/S@T group a.s. tvoří čtyři stanice vybudované v okolí Prahy. Jmenovitě se jedná o stanice Benešov, Beroun, Kolín a Všetaty. Antény permanentních stanic byly instalovány na budovách telekomunikačních sítí středisek Českých drah. Samotné antény typu Ashtech choke ring jsou instalovány na dvoumetrové tyči ukotvené ke komínovému tělesu. Antény jsou zdrojově i datově propojeny s vlastní aparaturou GPS v provozní telekomunikační místnosti a pomocí modemu komunikují po pevných linkách ČD s centrálním počítačem v Praze – Hrdlořezích. Vybudováním, instalací a určením polohy fázových center antén byly pověřeny firmy Geodézie Krkonoše s.r.o. a

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Viageos s.r.o. Firmě Geodézie Krkonoše s.r.o. byly přiděleny stanice v Kolíně a ve Všetatech a firmě Viageos s.r.o. pak stanice v Berouně a Benešově.

By/S@T v současné době provozuje permanentní síť v jižním Německu.



Obr. 3: Rozmístění stanic sítě By/S@T na území České republiky

GEONAS

Síť permanentních referenčních stanic Ústavu struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky (ÚSMH) byla vytvořena za účelem sledování geodynamických procesů probíhajících v současnosti v zemské kůře Českého masivu a přilehlých středoevropských struktur. Je součástí Geodynamic Network of the Academy of Sciences (GEONAS). V současné době ji tvoří 20 referenčních stanic vybavených GPS aparaturami schopnými

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

registrovat signály satelitních systémů GPS NAVSTAR a GLONASS. Po dohodě s firmou GEODIS BRNO byly vybrané stanice sítě GEONAS připojeny do sítě TopNET.

Vybudované geodynamické stanice pracují v autonomním režimu a jejich chod je řízen a kontrolován na dálku z operačního centra IRS OC z ÚSMH AV ČR. Operační centrum provádí kompletní archivaci binárních dat všech stanic sítě GEONAS.



Obr. 4: Rozmístění stanic sítě GEONAS na území České republiky

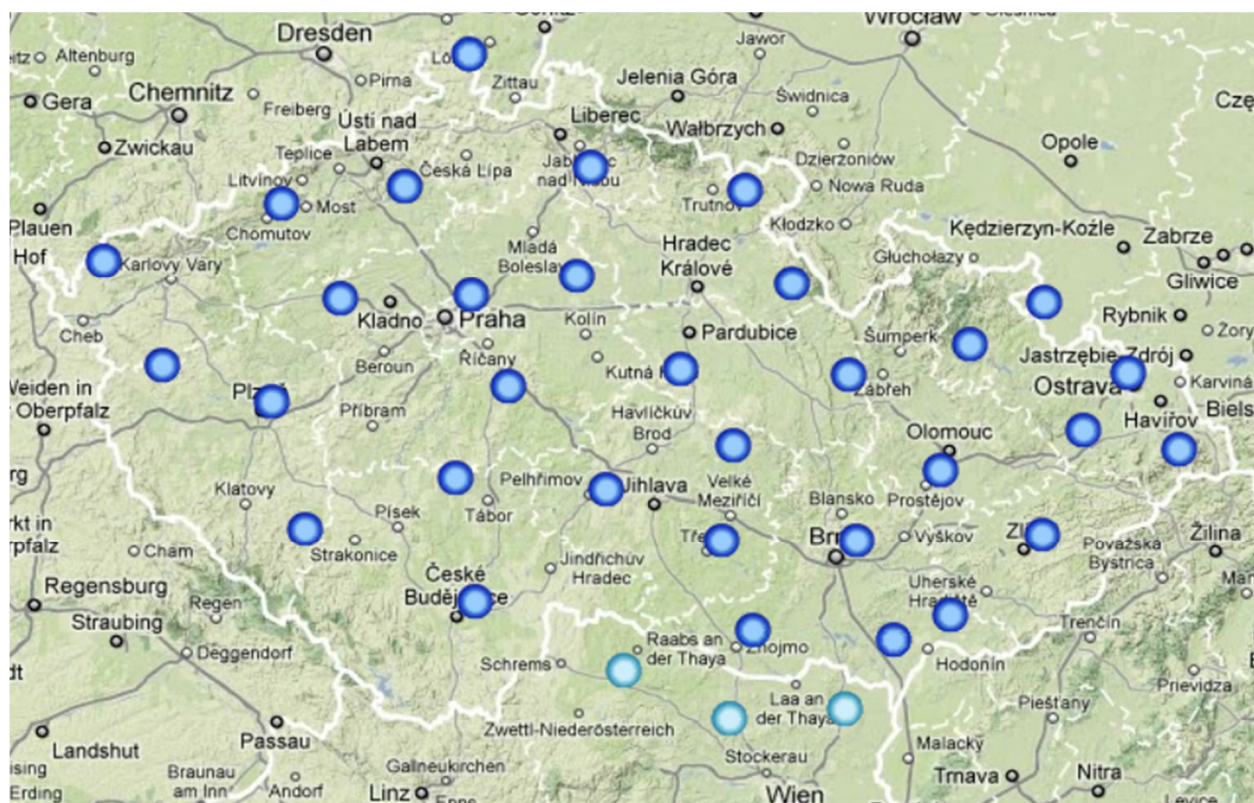
TopNET

TopNET je síť permanentních GNSS stanic, provozovaná firmou Geodis Brno, spol. s r.o. Poskytuje svým uživatelům korekční data pro diferenciální určování polohy. Svými službami pokrývá území celé České Republiky. Poskytuje data z navigačních systémů GPS a GLONASS.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Síť začala být budována v roce 2005 firmou GEODIS BRNO, spol. s r.o. jako podpora terénních prací pracovníků GEODIS GROUP. První stanice byly zřízeny na vlastních objektech firmy a objektech spřátelených firem. V této etapě měla síť TopNET šest permanentních stanic. Dále byly ke stávajícím stanicím přidruženy vybrané stanice sítě GEONAS a VESOG. V roce 2007 bylo rozhodnuto zpřístupnit služby sítě TopNET ostatní geodetické veřejnosti.

V síti TopNET jsou používány převážně satelitní přijímače GB-1000. V budoucnosti se předpokládá postupné nahrazení a doplnění sítě přijímači Topcon NET- G3, jejichž 72 kanálový čip umožňuje sledovat všechny současné i plánované signály ze všech tří satelitních navigačních systémů – GPS, GLONASS i Galileo. Topcon nabízí v závislosti na požadavcích uživatele dva typy antén. Je-li požadován typ Coke Ring, je možné použít anténu CR-3. Není-li požadován, pak je možné použít anténu PG-A1.



Obr. 5: Rozmístění stanic sítě TopNET na území České republiky



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Dostupná data

Sít' poskytuje Data pro postprocessing, RTK korekce a DGPS korekce.

Data pro postprocessing – jsou poskytována ve formátu RINEX 2.10. Jsou zpoplatněny a dostupné ihned po registraci.

RTK korekce – poskytované z jednotlivých nebo virtuálních stanic. Jsou dostupné ve formátech RTCM 2.3 a RTCM 3.0. Tyto korekce jsou zpoplatněny, mají centimetrovou přesnost a je možné je odebírat na NTRIP casteru na adrese <http://topnet.geodis.cz/> případně 212.65.218.103 na portu 8006. RTK data jsou poskytována z libovolné stanice (mountpoint TBRN, T...), automaticky z nejbližší stanice (NAU2, NAU3), nebo z virtuálních stanic generovaných na základě síťového řešení (NVR2, NVR3). Virtuální stanice se generuje 5km od roveru ve směru k nejbližší stanici.

DGNSS korekce – tyto korekce, se submetrovou přesností, jsou poskytovány ze stanic Brno, Rýmařov, České Budějovice a Rakovník (mountpointy TBRD, TRYD, T CBD, TRAD). Jsou zpoplatněny a je možné je odebírat na NTRIP casteru na adrese <http://topnet.geodis.cz/> případně 212.65.218.103 na portu 8006.

Souřadnice

Souřadnice všech stanic sítě byly určeny v září 2010, Výzkumným ústavem geodetickým, topografickým a kartografickým, který je partnerem projektu. Metodika určení souřadnic je stejná jako u sítě CZEPOS.

Všechny stanice mají souřadnice určeny v systému ETRS 89 v rámci ETRF2000. Souřadnice ETRS 89 jsou uvedeny v hlavičce RINEX poskytovaných dat, nebo na webových stránkách v informacích o stanici (zobrazí se po výběru stanice na úvodní mapě).

VESOG

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výzkumná a experimentální síť pro observace GNSS (VESOG) je služba pro podporu a provoz sítě permanentních stanic globálních navigačních družicových systémů (GNSS), které byly vybudovány a jsou provozovány pro výzkumné, experimentální a výukové účely zúčastněných výzkumných a akademických pracovišť v České republice. Mezi zúčastněná pracoviště patří:

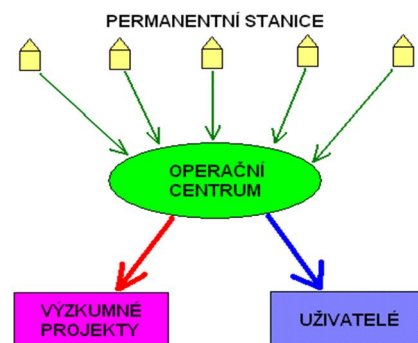
Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK), který provozuje permanentní stanice:

GOPE – Geodetická observatoř Pecný, Ondřejov

KUNZ – Kunžak

TUBO – Vysoké učení technické v Brně – částečně

ZDIB – VÚGTK, Zdiby



Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHMÚř), který provozuje permanentní stanici:

POL1 – Polom

Vysoké učení technické v Brně, které provozuje permanentní stanici:

TUBO – Vysoké učení technické v Brně

Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava, která provozuje permanentní stanice:

VSBO – Vysoká škola báňská, Ostrava

LYSH – Lysá hora

Západočeská univerzita v Plzni, která provozuje permanentní stanici:

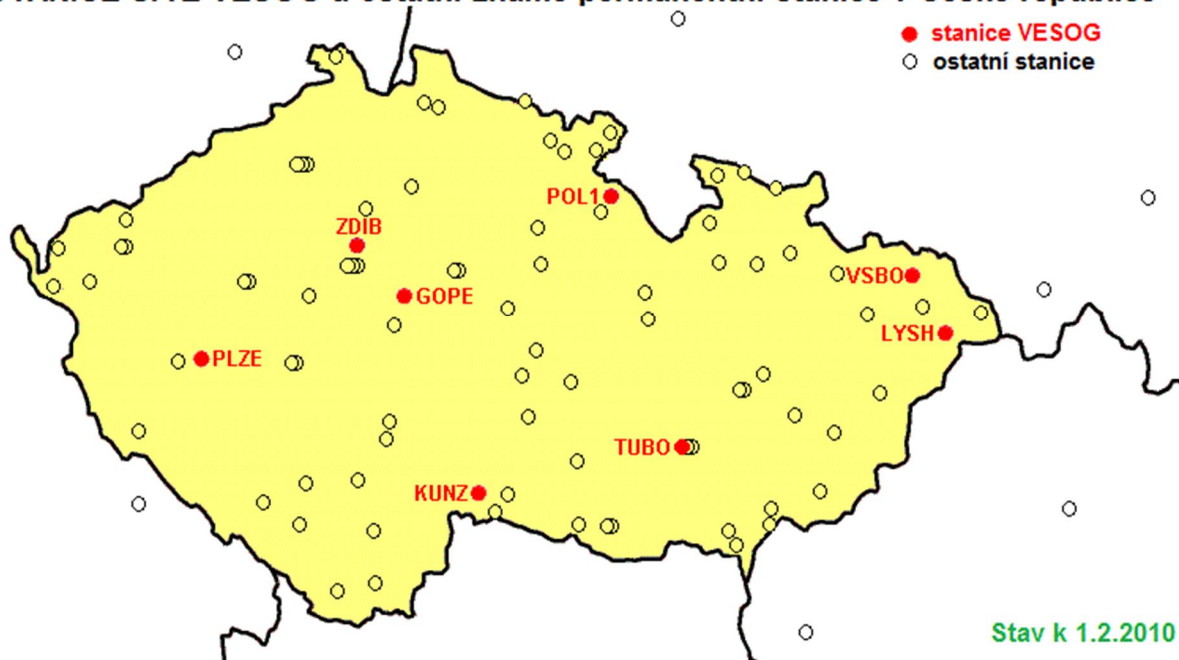
PLZE – Západočeská univerzita v Plzni

Referenční stanice PLZE, VSBO, GOPE a TUBO jsou stanicemi sítě VESOG a zároveň externími stanicemi sítě CZEPOS.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výzkumná a experimentální síť pro observace GNSS (VESOG) se skládá z operačního centra a permanentních stanic. Činnosti operačního centra zajišťuje Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK). Centrum je situováno na Geodetické observatoři Pecný v Ondřejově. Bylo spuštěno 17. prosince 2004.

STANICE SÍTĚ VESOG a ostatní známé permanentní stanice v České republice



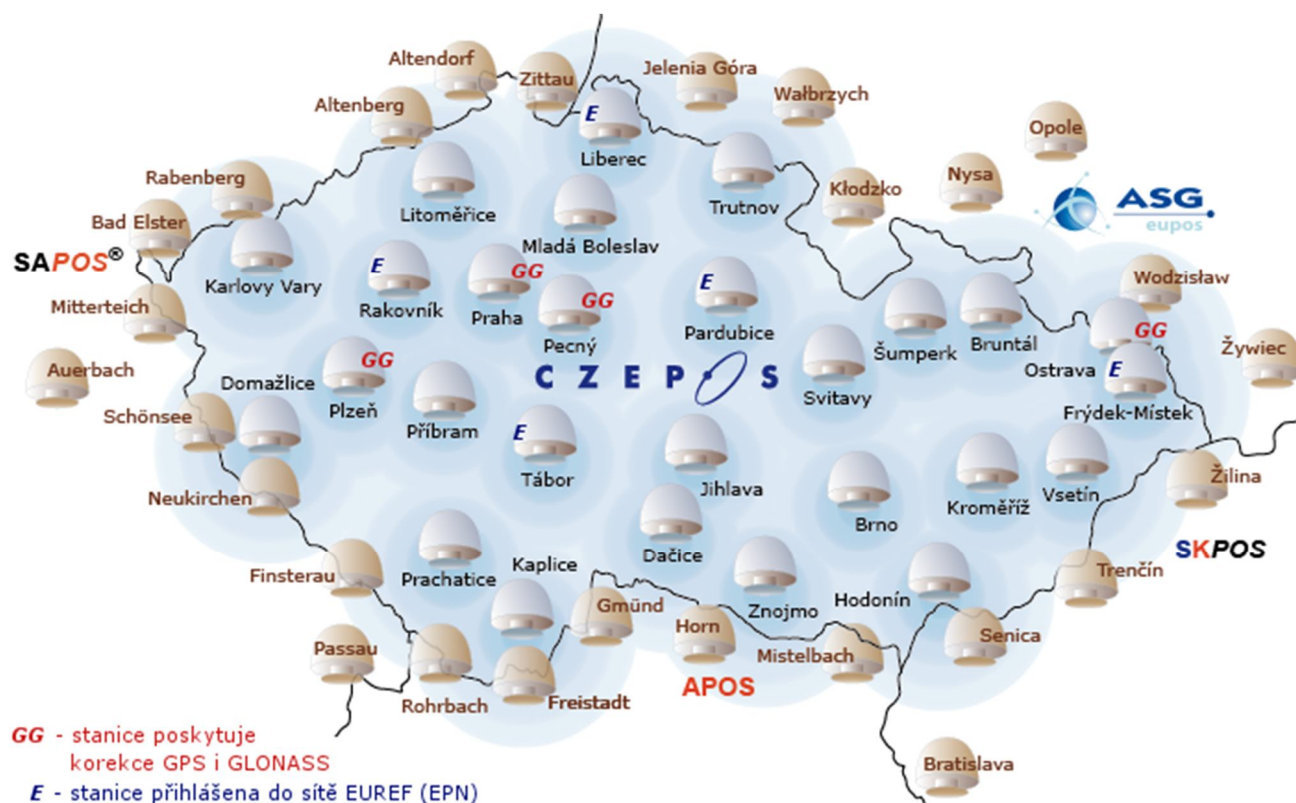
Obr. 7: Rozmístění stanic sítě VESOG na území České republiky

4. CZEPOS - ČESKÁ SÍŤ PERMANENTNÍCH STANIC PRO URČOVÁNÍ POLOHY

První celoplošnou sítí referenčních stanic na území České republiky poskytující služby geodetické veřejnosti je Česká permanentní síť pro určování polohy – CZEPOS (Czech Positioning System).

CZEPOS poskytuje uživatelům GNSS korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky. CZEPOS spravuje a provozuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 8: Rozmístění stanic sítě CZEPOS na území České republiky

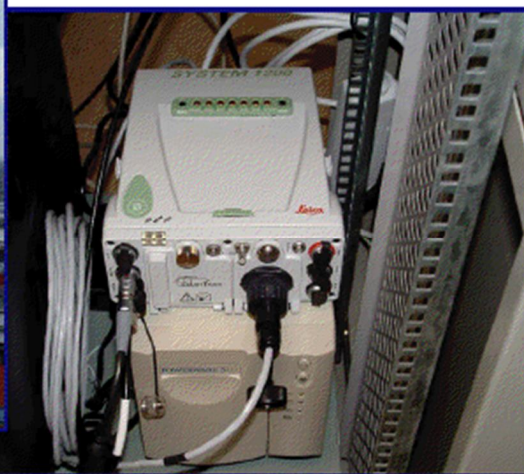
CZEPOS obsahuje na území České republiky 27 permanentních stanic rovnoměrně rozmístěných ve vzdálenostech cca. 60km a dále 27 stanic zahraničních sítí (zařazeno koncem roku 2009). Všechny stanice provádí 24 hodin denně přesná měření GNSS, která jsou dále zpracovávána a poskytována uživatelům formou korekčních dat. Celkový počet zahrnuje 23 stanic, které jsou ve správě Zeměměřického úřadu a jsou umístěné na budovách katastrálních úřadů resp. pracovišť a dále 4 externí stanice spravované vědeckými a akademickými pracovišti (VESOG). Jedná se o stanice Brno (TUBO), Pecný (GOPE), Plzeň (PLZE) a Ostrava (VSBO).

S ohledem na dobu realizace v roce 2005 jsou stanice vybaveny přijímači, registrujícími většinou signály satelitního systému GPS NAVSTAR.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



• choke ring antény Leica AT 504



• přijímače Leica GRX 1200 Pro

Obr. 9: CZEPOS – HW stanice

Pro přístup k produktům CZEPOS byla zprovozněna nová aplikace, která poskytuje kromě produktů (RINEX resp. virtuální RINEX) také podrobné přehledy a výpisy o jejich dostupnosti a kvalitě (přehled dostupnosti, počet přijímaných družic, vliv multicestného šíření signálu, rozptyl přesnosti odhadnutý z geometrického rozmístění družic (PDOP), počet fázových skoků).

Postup budování sítě

Na základě předběžných studií a úvodního projektu rozhodl Český úřad zeměměřický a katastrální o vybudování a provozování sítě referenčních stanic na území České republiky. Vybudováním a provozováním sítě CZEPOS byl pověřen Zeměměřický úřad v Praze. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK) vypracoval realizační projekt a zajistil zapojení vnějších stanic.

Celková investice do vybudování sítě CZEPOS byla rozložena do tří let. V roce 2004 bylo pořízeno softwarové vybavení potřebné pro chod sítě, centrální servery a prvních šest stanic pro Pardubice, Svitavy, Jihlavu, Dačice, Tábor a Příbram. V prvním pololetí roku 2005 byly instalovány stanice Prachatice, Rakovník, Domažlice, Karlovy Vary, Mladá Boleslav, Litoměřice, dále pak externí stanice Plzeň, Ostrava. Stanice Kaplice, Liberec, Trutnov,



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Šumperk, Hodonín, Kroměříž, Vsetín, Frýdek-Místek, Bruntál, Moravský Krumlov a externí stanice Pecný byly zapojeny v druhé polovině roku 2005. V roce 2006 byla do sítě zařazena externí stanice TUBO na Vysokém učení technickém v Brně. Etapa budování sítě byla dokončena koncem roku 2006 zapojením 27. stanice Praha, umístěné na budově ČUZK. V dalších letech bylo rozhodnuto o postupném připojování zahraničních stanic k síti CZEPOS. Data ze zahraničních stanic vstupují do síťového řešení CZEPOS – zvyšují přesnost poskytovaných služeb a produktů síťového řešení v příhraničních oblastech.

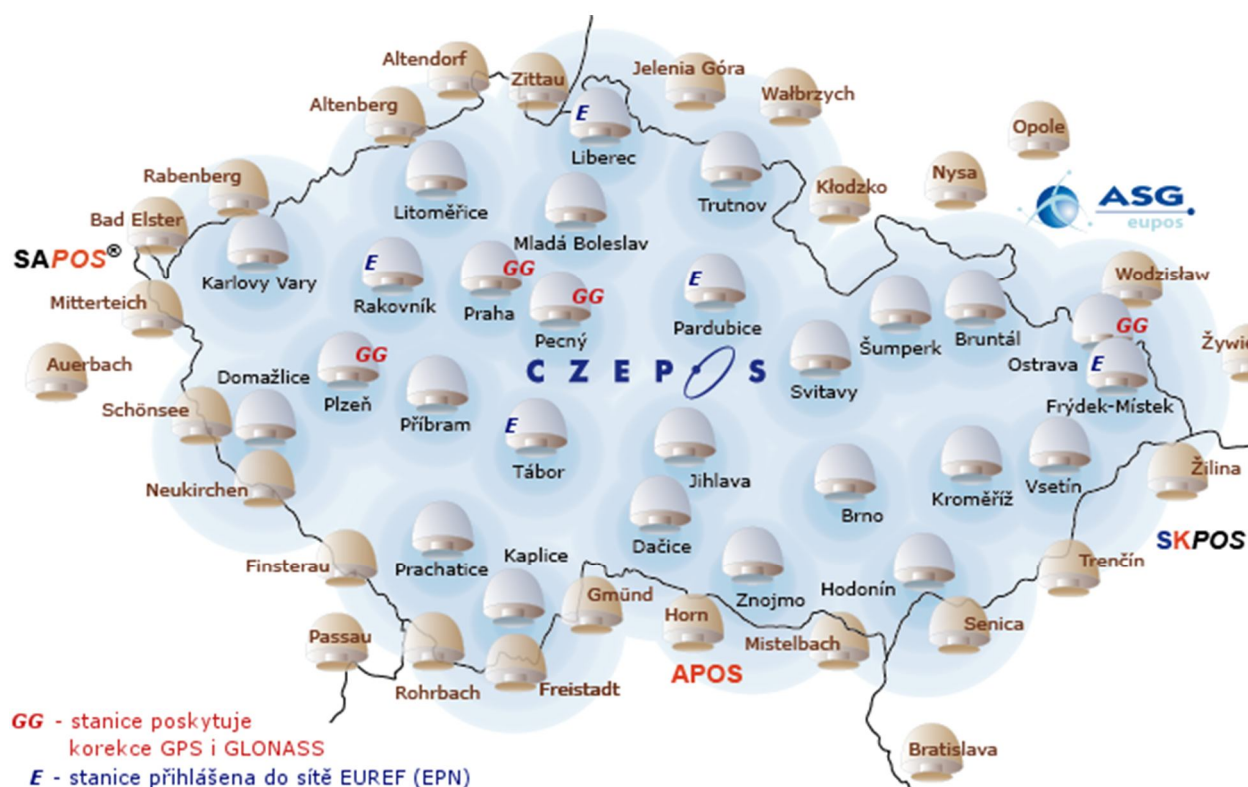
Celý rok 2006 byl CZEPOS v bezplatném testovacím režimu, kdy byly testovány provozní možnosti systému, různé režimy přenosu dat a vzdálené správy stanic, a současně proběhlo měřické testování přesnosti služeb a produktů. Na základě statistického vyhodnocení přístupu uživatelů ke službám a produktům CZEPOS v letech 2005 a 2006 a následné ekonomické rozvahy byly stanoveny ceny těchto služeb a produktů s platností od 1.1.2007. V současné době je síť dále modernizována a rozšiřována o zahraniční stanice.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

5. Sít' permanentních stanic v sousedních zemích

Obdobné sítě, jako v Česku navrhovaná síť CZEPOS (realizuje se ve spolupráci VÚGTK a ZÚ v Praze) se k snadnému, rychlému a dostatečně přesnému určování polohy ZhB a ostatních PPB v několika evropských státech vybudovali anebo budují sítě permanentních stanic DGNS (Differential Global Navigation Satellite System).

Příkladem může být francouzská síť RGP, německý systém SAPOS, švýcarská síť SWIPOS, švédská síť SWEPOS, finský FINNREF a v neposlední řadě APOS (AGREF) v Rakousku nebo slovenský SKPOS. Přesný polohový systém ASG-EUPOS je projekt soustavy referenčních stanic navržený pro Polsko a vytvářený polskou správou pro geodézií – Hlavní správou geodézie a kartografie. Je také součástí Evropského systému určování polohy (EUPOS), který připravil normy pro referenční systémy pro patnáct zemí střední a východní Evropy, aby tak vytvořil jednotnou infrastrukturu pro služby určování polohy.



Všechny tyto sítě poskytují uživatelům měřená data – některé jen nejzákladnější jako finský FINNREF, některé poskytují i vysoce sofistikované služby jako německý SAPOS. Ve všech případech se na provozu podílí (nebo ho kompletně provádí) příslušná státní správa v

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

zeměměřictví. Důvodem je jednak využití sítě jako významného inovačního faktoru pro vlastní aktivity, jednak dosud malá komerční atraktivnost celoplošného systému DGPS pro soukromou sféru.

Permanentní síť DGPS je síť stanic, na kterých jsou kontinuálně prováděna měření signálů navigačních systémů GNSS (Global Navigation Satellite System). Naměřená data a případně z nich odvozená data a produkty (korekce, souřadnice) jsou distribuovány uživatelům.

Více viz Odvětvové informační středisko a Zeměměřická knihovna VÚGTK.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

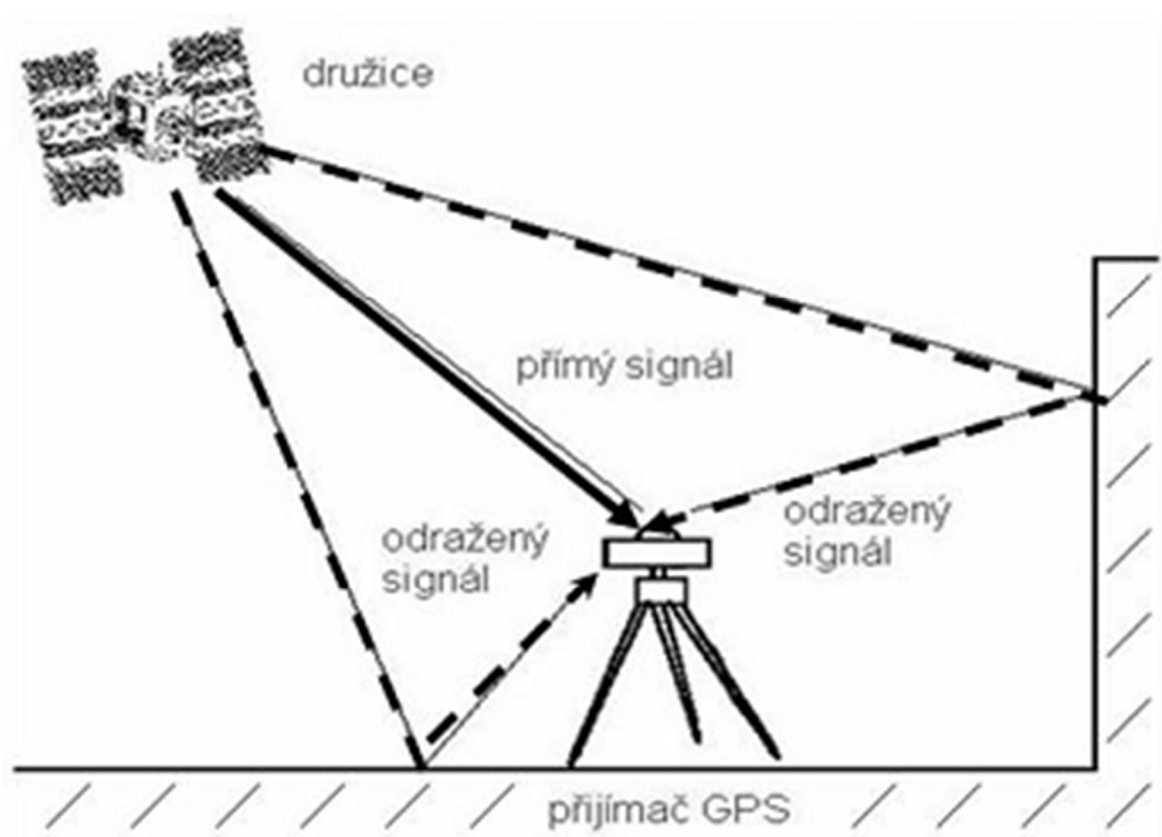
6. Praktické použití

Faktory ovlivňující kvalitu měření

Stav družic – družice je v navigační zprávě označena jako zdravá/nezdravá, (správná poloha na oběžné dráze, funkčnost)

Poměr signál/šum – poměr užitečných informací v signálu a jeho šumu, čím menší číslo, tím horší přesnost. Oslabení signálu může být způsobeno např. průchodem korunami stromů, nízkou polohou družice nad horizontem, ...

Vícecestné šíření (multipath) - GPS přijímač zpracovává nejen přímo přijatý signál, ale také signál odražený od blízkých ploch, čímž dochází k interferenci těchto signálů a chybám ve zpracování měření. Kódová měření mohou mít chyby až 50 m, fázová měření až 10 cm.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Platnost a přesnost efemerid – existuje několik druhů efemerid, každý typ má jinou přesnost udávaných parametrů a je dostupný v jiném čase.

Efemerida	přesnost polohy/hodin	k dispozici	zdroj
vysílaná (broadcast)	~ 2 m / 7 ns	reálný čas	navigační zpráva
ultra-rapid (predikce)	~ 10 cm / 5 ns	reálný čas	IGS datová centra
ultra-rapid (výpočet)	< 5 cm / 0,2 ns	po 3 hod.	IGS datová centra
rapid	< 5 cm / 0,1 ns	po 17 hod.	IGS datová centra
přesná (precise)	~ 2 cm / <0,1 ns	po ~ 13 dnech	IGS datová centra

Tabulka ukazuje parametry jednotlivých druhů efemerid

Počet a geometrické uspořádání viditelných družic – abychom byli schopni vypočítat polohu (X,Y,Z,T), je minimální počet viditelných družic 4. Ideální je mít jednu družici v zenitu a zbylé tři s elevací kolem 20°, svírající horizontální úhel 120°. Kvalitu geometrického uspořádání nám určuje základní parametr snížení přesnosti DOP. Bezrozměrný parametr udávající vliv geometrie prostorového uspořádání družic GNSS a přijímače v konkrétní epoše na přesnost určení polohy.

Souhrnný GDOP z intervalu 1-50 nabývá v našich zeměpisných šířkách a nadmořských výškách hodnot 1-4 a je zastoupen dílčími DOP:

Horizontální - HDOP

Vertikální - VDOP

Prostorový - PDOP

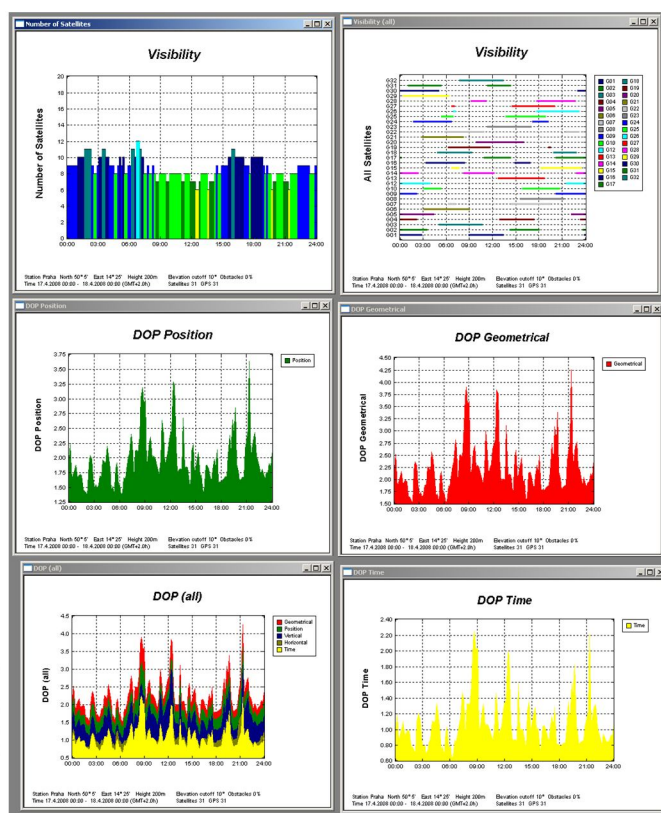
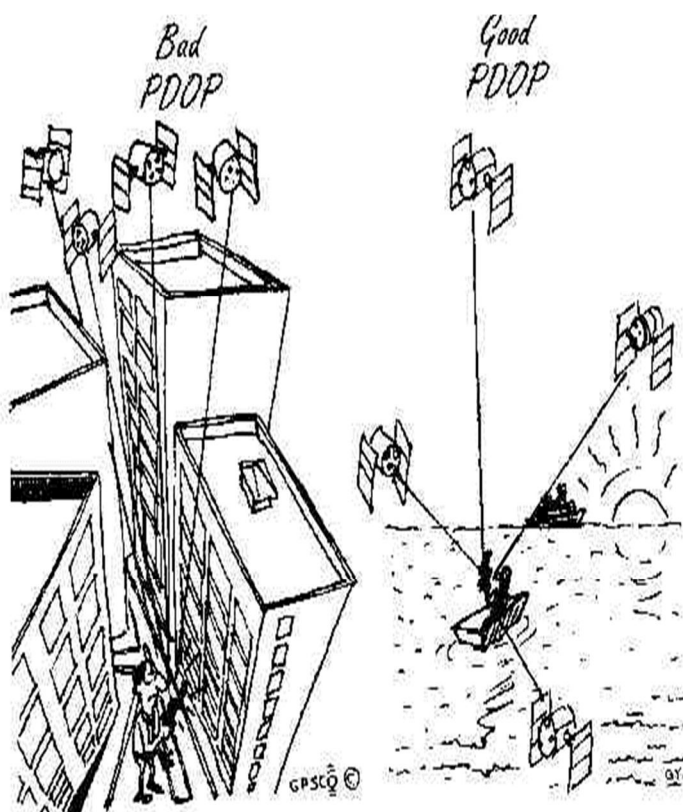
Časový - TDOP

Geometrický - GDOP

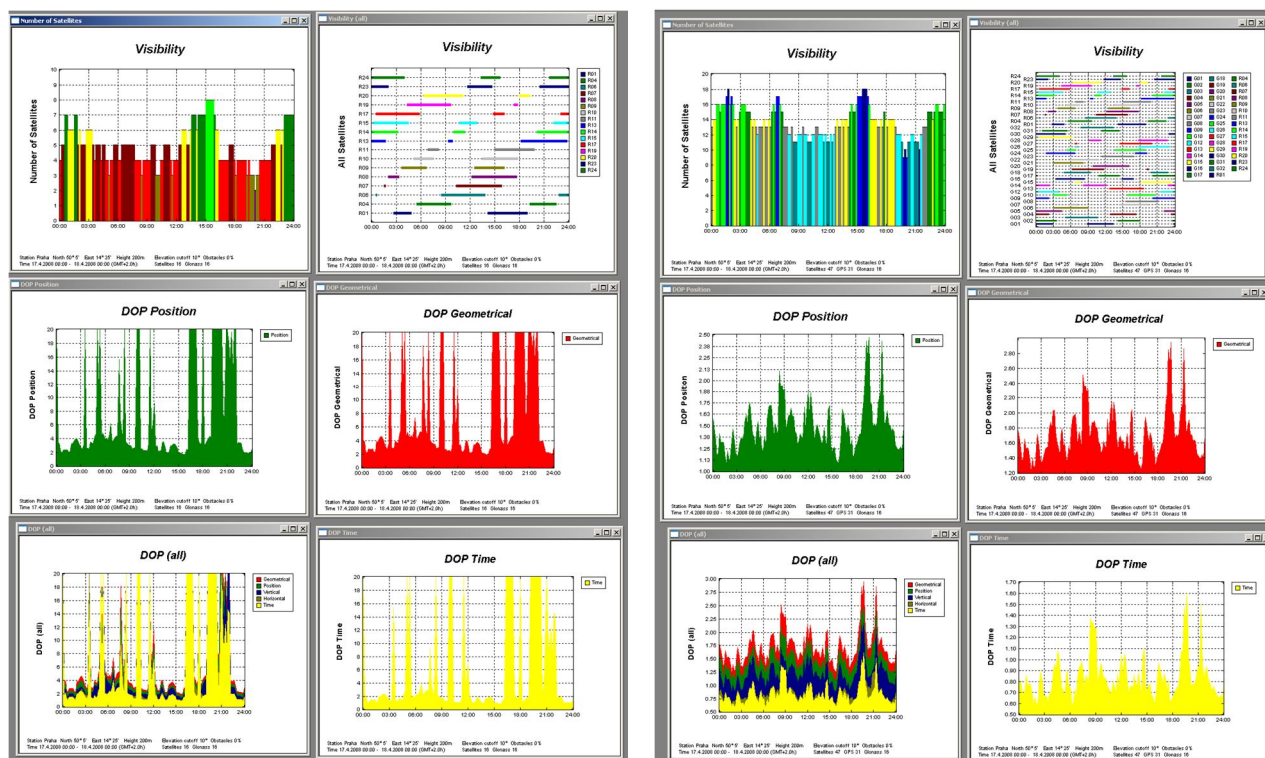
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zatímco hodnota HDOP se mění se zeměpisnou polohou jen málo, mění se hodnota VDOP se zeměpisnou šířkou. V zeměpisné šířce $\pm 56^\circ$ dosahuje svého minima a s dalším zvyšováním zeměpisné šířky pak výrazně roste. Tento nárůst chyby ve vyšších zeměpisných šířkách je způsoben tím, že po překročení zeměpisné šířky, která je rovna inklinaci dráhy, již družice nedosahují nadhlavníku a kulminují ve stále nižších elevacích. Třídimenzionální chyba určení polohy prakticky sleduje průběh dominantní chyby výšky.

V českých zemích lze očekávat průměrné hodnoty PDOP = 1,9, přičemž $\min(\text{PDOP}) = 1,35$ a $\max(\text{PDOP}) = 3,6$ [10].



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 10 : schéma DOP a porovnání DOP u GPS, Glonass a GPS+Glonass

Přesnost hodin na družicích – na družicích se pro uchování času a nosných frekvencí používají cesiové, rubidiové nebo vodíkové oscilátory, jejichž stabilita je 10^{-11} až 10^{-13} za 24 hodin.

Přibližné korekce hodin družice na GPS čas jsou vysílány v navigační zprávě (součást Broadcast Eferimerid). Přesné korekce jsou pak určovány se zpožděním z měřených dat a jsou dostupné v rámci přesných efemerid.

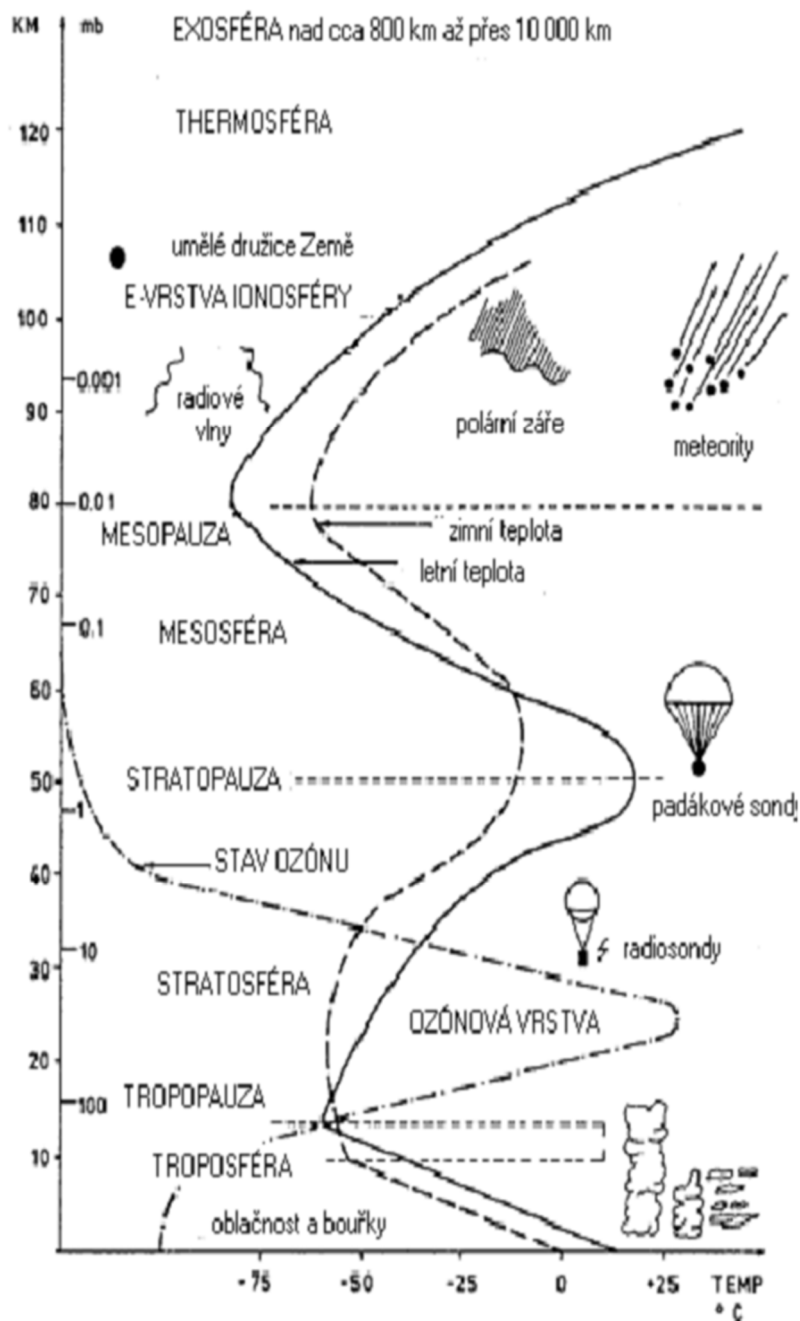
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Chyba hodin přijímače – protože přesnost hodin v přijímači je o několik řádů horší než na družici, jsou korekce hodin přijímače řádově vyšší. Obvykle se korekce určují pro jednotlivé epochy měření v rámci výpočtu polohy (proto musíme měřit min. na 4 družice)

Vliv atmosféry – rádiové signály jsou nejvíce ovlivněny Ionosférou a Troposférou.

Ionosféra je disperzní část atmosféry obsahující volné elektrony a ionty, přibližně mezi 50 – 1000 Km od povrchu Země. Způsobuje tzv. ionosférickou refrakci. Ionosférická refrakce je závislá na množství volných elektronů v jednotce objemu atmosféry. Je různá pro kódová a fázová měření, je závislá na frekvenci procházejících vln. Odstraňuje se měřením na obou frekvencích vytvořením vhodné lineární kombinace ($L1+L2...$ označuje se jako Iono free), zaváděním ionosférických korekcí z navigační zprávy, nebo použitím regionálních/globálních modelů ionosféry. Pro malá území lze považovat vliv ionosféry za stejný a při tvoření diferencí se její vliv z větší části vyruší.

Troposféra je neutrální vrstva sahající do výšky cca 10 – 18 Km. Způsobuje tzv. troposférickou refrakci, která je závislá na hustotě



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

prostředí a na rozdíl od ionosférické není závislá na frekvenci nosné vlny. Maximální troposférické ovlivnění dosahuje hodnot 2.3 m ve směru zenitu a až 25 m pro družice s elevací kolem 15°. Pro kratší vektory předpokládáme, že se vliv troposféry při tvorbě diferencí vyloučí. Další možností redukce vlivu troposférické refrakce je použití standardního modelu atmosféry nebo výpočet parametrů troposféry z GPS měření na známých bodech.

Zdroj chyb	Vliv na absolutní určení GPS polohy	Vliv na relativní určení GPS polohy
dráhy družic BE (PE)	3 – 5 m (0.03 – 0.1 m)	0,1- 0,2 ppm (1-3 ppb)
hodiny družic BE (PE)	3 - 5 m (0.05 - 0.2 m)	-
fázová centra antén družic	1 - 2 m	0 - 0.1 m
ionosféra (L1 bez korekce)	1- 100 m	0,08 - 8 ppm
troposféra (stand. model)	0.05 – 0.4 m	0.01 – 1.0 m
fázová centra antén přijímačů	0.01 – 0.1 m	0.01 – 0.1 m
multipath - kódová (fázová) měření	1 - 10 m (0.01 – 0.05 m)	2 - 20 m (0.02 – 0.1 m)
šum signálu	0.2 - 5 mm	0.6 - 10 mm

V tabulce jsou uvedeny přibližné hodnoty jednotlivých systematických vlivů na GNSS určování polohy

Aplikace RTK technologií v geodezii

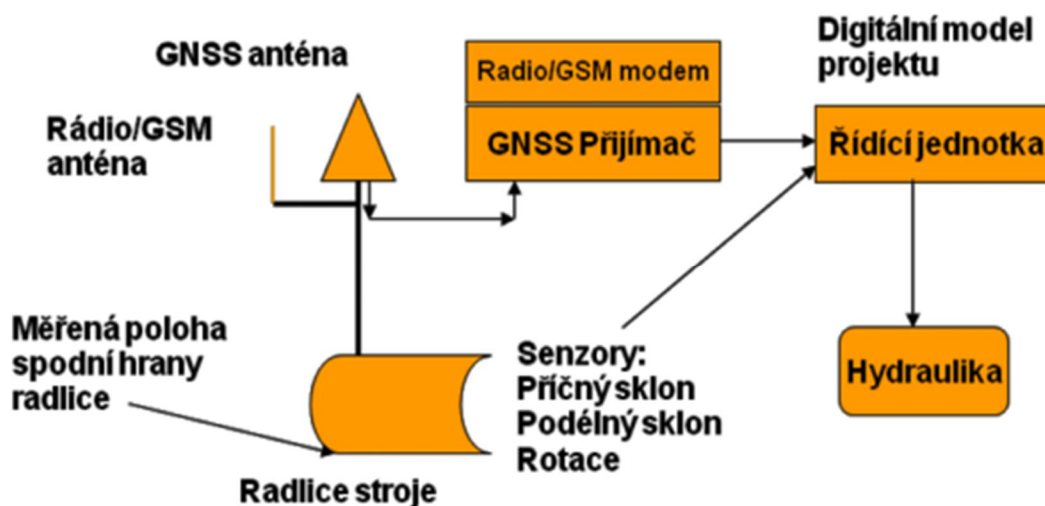
V geodezii se RTK technologie využívají v nejjednodušší formě jako jedna z metod určování polohy při zaměřování nebo vytyčování. RTK metody přinesly do oboru geodézie obrovský potenciál a mimořádným způsobem zvýšily produktivitu geodetických prací.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Aplikace RTK technologií ve stavebnictví

GNSS RTK technologie se ve stavebnictví aplikují kromě běžného použití při zaměřování a vytyčování hlavně do řízení zemních stavebních strojů. Dá se říci, že zahájily etapu automatizace stavebních prací. Princip řízení zemních strojů spočívá v určení přesné polohy a výšky jednoho bodu na pracovním nástroji stroje pomocí GNSS přijímače (RTK technologií). Takto určená 3D poloha (až 20x za vteřinu) je spolu s informacemi ze senzorů náklonu, v počítači (řídící jednotce) umístěném v kabině, porovnávána s polohou, výškou a náklony v digitálním modelu projektu. Zjištěný rozdíl mezi skutečnou a projektovanou výškou a sklony je převeden na elektrické hodnoty, které zavírají nebo otevírají proporcionální ventily řídící hydraulické válce ovládající sklon a výšku pracovního nástroje.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

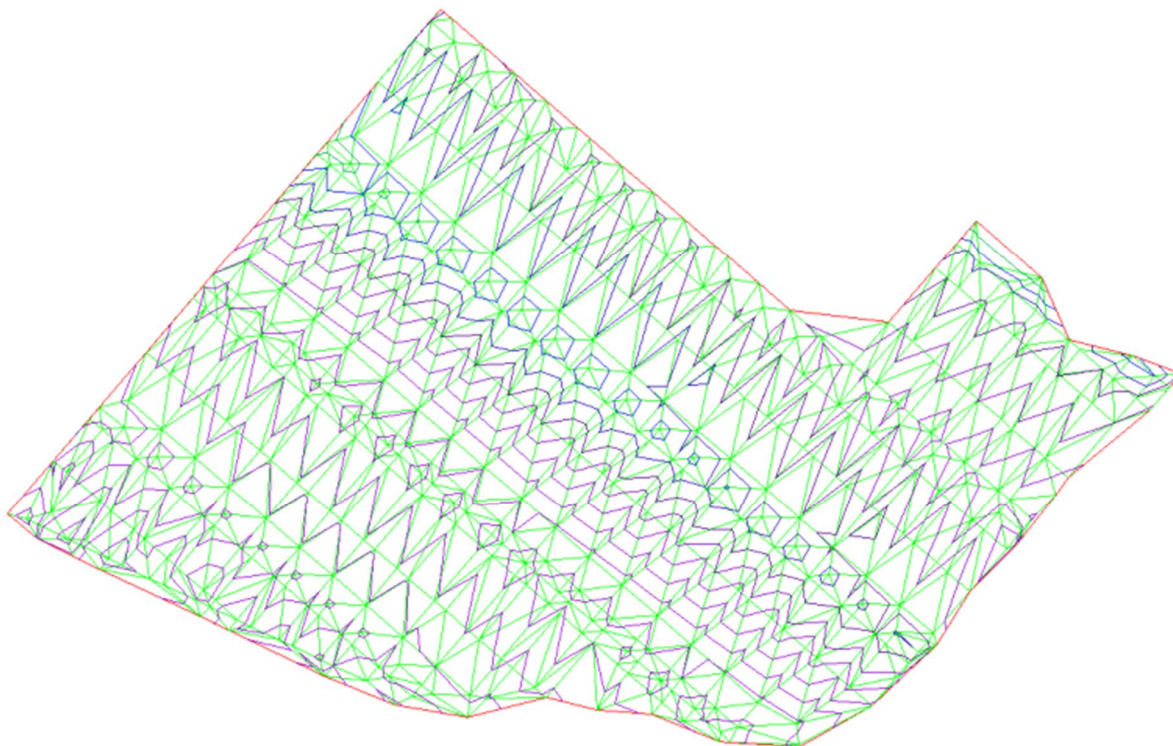


RTK korekce je možné získat z vlastní referenční stanice umístěné v místě stavby nebo ze sítě permanentních stanic. Jedna referenční stanice může prostřednictvím radiomodemu pokrýt přesnými RTK korekcemi oblast několika km a může je využívat neomezený počet řízených strojů a geodetických roverů.

V současné době se začínají na stavbách objevovat nové systémy řízení zemních strojů, u kterých jsou nahrazeny klasické kapalinové senzory náklonu IMU jednotkou, která měří všechny potřebné náklony stroje frekvencí 100Hz. Systém nainstalovaný na buldozeru umožňuje provádět kvalitně terénní úpravy při maximální rychlosti stroje.

Aby se mohl projekt terénních prací realizovat pomocí 3D GPS řízeným zemním strojem, musí být projekt vytvořen jako digitální model. Projekty terénních prací se většinou týkají ploch v rovině, ploch s proměnlivým příčným a podélným spádem a liniových staveb. 3D modely jsou většinou tvořeny jako nepravidelné trojúhelníkové sítě.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Další využití RTK - například v zemědělství**

Přesné zemědělství kombinující vysoce přesnou GNSS technologii, sofistikovaný software, řízení stroje a měřicí systémy, systémy analyzující sklizeň, monitoring počasí a telematiku, mění tvář zemědělství po celém světě. Umožňuje farmářům na všech úrovních od malých rodinných farem po velké agro společnosti, dosáhnout výrazného zvýšení efektivity farem. Přínosy zahrnují zvýšení výnosů, časové úspory, vyšší produktivitu, snížení znečištění, nižší používání vody a přesné aplikace živin, osiv a vody.

Přesnost, praxe, limitující faktory RTK

Co vše má vliv na přesnost:

- Na straně systému:

- o Stav GNSS – především počet a poloha družic, v případě příjmu diferenčních korekcí ze satelitu kvalita korekcí a poloha příslušné družice

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- o Služba sítě – při používání sítí kvalita síťových řešení – plošné a VRS korekce, spolehlivost systému generující korekce
- o Kondice – jednotlivé prvky sítě – stav stanic, funkčnost serverů, casterů, mechanismů generující služby
- o Komunikace v síti – spojení a komunikace stanic s operačním centrem, komunikace casteru s klienty

- Na straně klienta:

- o Stav GNSS – opět počty a poloha satelitů, kvalita příjmu signálu, atmosférické vlivy
- o Poloha klienta – vzhledem k permanentním stanicím nebo k vlastním bázím
- o Komunikace – dostupnost a kvalita datových služeb mobilních operátorů, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, komunikace s vlastní bází (i např. radio), komunikace s perm.sítí, příp. kvalita příjmu korekcí ze satelitů
- o Lokální podmínky – rušení, vícecestné šíření signálů, viditelnost satelitů, chvilkové zákryty satelitů, ... (les, pohyb, ulice, infrastruktura, ...)
- o Kondice přijímače – především stav hardware, funkčnost a vhodná verze operačního systému, firmware a software, stav komunikačního rozhraní

Přibližné teoretické přesnosti:

- DGNSS satelit 0.2 – 1.0 m
- DGNSS pozemní 0.1 – 0.3 m
- RTK pozemní 0.02 m



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

7. Modernizace a zpřesnění geodetických polohových základů - realizace systému S-JTSK/95 (resp. S-JTSK/05)

V roce 2007 uplynulo 80 let od vytvoření geodetického referenčního systému S-JTSK, přibližně 40 let od doby, kdy se ve větší míře začaly výrazněji projevovat jeho nedostatky v důsledku rozšiřujícího se využití dokonalejší měřické techniky v zeměměřické praxi, 20 let od vyhlášení koncepce nového evropského referenčního rámce EUREF a 16let od prvního kroku k implementaci tohoto rámce v České republice. Přibližně 20 let se vedou v užším kruhu odborníků diskuze o potřebě a cestách modernizace S-JTSK, které na začátku vyústily ve formulaci koncepce modernizace, která byla z podstatné části realizována avšak v současné době se již přežila. Je zřejmé, že úkol modernizace uživatelského vztažného systému je třeba řešit současně s tvorbou celoevropského systému pro území ČR.

Vývoj

S nástupem technologie určování polohy pomocí Globálních Navigačních Satelitních Systému (GNSS) dochází k prvnímu průniku metody kosmické geodézie prakticky do všech odvětví geodézie.

K použití tehdy GPS při budování geodetických polohových základů na území bývalého Československa dochází ze dvou důvodů. Prvním důvodem je zpřesnění stávajících polohových základů, druhým pak vytvoření souřadnicového systému, umožňujícího bezprostřední nasazení technologie GPS při řešení prakticky všech úloh geodézie souvisejících s určováním polohy.

Požadavek:

Tento nový systém, nazvaný S-JTSK/95, bude tvořen i nadále souborem souřadnic bodů, stabilizovaných v terénu měřickými stabilizačními znaky. Pro použití klasických observačních technik (měření směrů a délek) bude systém obsahovat rovinné pravoúhlé souřadnice Y, X v Křovákově zobrazení spolu s nadmořskou výškou v systému "Balt po vyrovnání" (BpV). Pro použití technologie GPS budou k dispozici geocentrické souřadnice v systému ETRS-89 (viz dále), realizované geodetickou šířkou, geodetickou délkou a

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

elipsoidickou výškou nad elipsoidem GRS80 (Geodetic Reference System 1980). Mezi elipsoidickými a rovinnými souřadnicemi bude existovat jednoznačný matematický vztah, umožňující vzájemný převod souřadnic. Vzhledem k tomu, že systém bude "definován" technologií GPS v tom smyslu, že tato technologie odstraní závady stávajícího S-JTSK (globální i lokální směrové a délkové deformace), budou se nové rovinné souřadnice Y, X od starých souřadnic obecně lišit. Na základě provedených experimentů bylo zjištěno, že tato odchylka dosahuje střední kvadratické hodnoty 9 cm v každé souřadnici (a maximálně 45 cm), díky tak malému rozdílu budou tedy i nadále použitelné prakticky veškeré stávající grafické mapové podklady.

Termínem S-JTSK/95 rozumíme nový systém obsahující:

1. Geocentrické souřadnice ETRF89
2. Rovinné souřadnice Y, X v modifikovaném Křovákově zobrazení. Modifikace zde spočívá v přidání dalšího členu do zkreslení. Přičemž tento člen má zohledňovat deformace stávajícího S-JTSK
3. Nadmořské výšky v systému „Balt po vyrovnání“
4. Exaktní matematický vztah pro vzájemný převod souřadnic

Etapy realizace S-JTSK/95 jsou:

1. Nultá etapa, při které bylo provedena transformace bodů ETRF89 do systému S-JTSK
2. Následná etapa: Zpřesňování se provádí:
 - a) Výběrovou údržbou prováděnou ZÚ Praha. Ta spočívá v zaměření vybraných bodů trigonometrické sítě. Souřadnice těchto bodů jsou následně získávány vyrovnáním s připojením na body sítě DOPNUL. Hustota bodů je volena tak, aby jeden triangulační list obsahoval průměrně 4 body
 - b) Zhušťováním prováděném katastrálními úřady. Kampaň spočívá v určování souřadnic zhušťovaných bodů pomocí „rychlé statické“ GPS metody. Přičemž každý bod musí být nejméně dvakrát zaměřen a souřadnice těchto bodů jsou pak určeny pomocí „navázání“ na nejbližší bod DOPNUL
3. Zpřesnění realizace: To spočívá v zpřesnění bodů DOPNUL na základě nového měření technologií GPS a v následném vyrovnání cca. 3500 vybraných



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

trigonometrických bodů, které budou tvořit kostru nového vyrovnaní zhušťovacích bodů. Vzhledem k tomu, že pro všechny zhušťovací body jsou určeny souřadnice v S-JTSK, bude možné určit pole deformací S-JTSK vůči finální realizaci S-JTSK/95, která ponese označení S-JTSK/05.

Stručná charakteristika S-JTSK/95

S-JTSK/95 je zpřesněný systém pro civilní složky národního hospodářství.

Systém S-JTSK/95 umožňuje:

- Bezprostřední nasazení technologie GPS, vázané na geocentrické elipsoidické souřadnice (j , l , He) na elipsoidu GRS80 (WGS84).
- Užití klasických měřických metod, vázaných na rovinné souřadnice (Y , X) Křovákova zobrazení a nadmořskou výšku H v systému Bpv a stávajících postupů redukce měřených veličin na zobrazovací plochu s malými dodatečnými korekcemi.
- Užití stávajících map ve středních měřítkách, resp. i ve velkých měřítkách.
- Pro realizaci Křovákova zobrazení zůstává zachován Besselův elipsoid.

Systém S-JTSK/95 odstraňuje:

Chybné měřítko stávajícího S-JTSK.

Lokální deformace S-JTSK.

Systém S-JTSK/95 je tvořen:

Souborem bodů, z nichž každému jsou přiřazeny souřadnice:

(j , l) v ETRF-89

(Y , X) v rovině modifikovaného Křovákova zobrazení

H_{el}

H_{Bpv}



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Převod z S-JTSK/05 do S-JTSK

Zprostředkující veličinou pro převod mezi souřadnicovými systémy ETRF2000 a S-JTSK je systém S-JTSK/05.

Nástup technologie Globálních navigačních družicových systémů (GNSS) v 80. letech 20. století znamenal revoluční skok v rychlosti a do značné míry i v přesnosti určování polohy s „geodetickou přesností“ (jednotky cm). Kromě požadavku integrace geodetických základů do celoevropského souřadnicového systému bylo nutné umožnit propojení prostorového souřadnicového systému, se kterým pracuje technologie GNSS, se systémem rovinných souřadnic v kartografickém zobrazení, se kterým pracují klasické geodetické metody.

Realizovaný souřadnicový systém S-JTSK/05 vyhovuje následujícím požadavkům:

- systém je primárně realizován 3141 body sítí DOPNUL a „Výběrová údržba“
- pro měření technologií GNSS používá prostorový geodetický systém referenční rámec v realizaci roku 2005 – tedy ETRF2000 – tím je zaručena návaznost na Evropský prostorový souřadnicový systém
- pro měření v rovinných souřadnicích používá souřadnicový systém modifikovaného Křovákova zobrazení – tím je zaručena kontinuita se stávajícím závazným souřadnicovým systémem S-JTSK
- pro transformaci elipsoidických výšek (vztažených k elipsoidu GRS80) na výšky nadmořské v závazném systému „Balt po vyrovnání“ je použito modelu kvazigeoidu CR-2005
- mezi souřadnicemi v souřadnicovém rámci ETRF2000 a rovinnými souřadnicemi v modifikovaném Křovákově zobrazení platí exaktní matematický vztah
- střední kvadratická hodnota polohové odchylky mezi souřadnicemi v S-JTSK a S-JTSK/05 je 13.3 cm, pro práce vyžadující menší přesnost než jsou oba systémy záměnné

Vzhledem k nepravidelné deformaci bodového pole, vázaného na S-JTSK nelze vztah mezi S-JTSK/05 a S-JTSK realizovat jednoduchým matematickým výrazem. Proto bylo rozhodnuto využít pro vzájemný převod rozdíly souřadnic, tabelovaných v pravidelné síti.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Velikost oka sítě byla empiricky zvolena 2 km. Pro získání mezilehlých hodnot je doporučena kvadratická interpolace.

S-JTSK vznikl na základě klasických geodetických měření (měření úhlů, případně délek). Pro návazné geodetické práce se až do 90. let 20. století používaly také klasické metody – souřadnice se určovaly pomocí měření vodorovných úhlů a délek. Se širokým rozšířením technologie GNSS, která nalezla svou „nejpřesnější aplikaci“ právě v geodézii a geodynamice, bylo třeba řešit otázku, jak skloubit pozorování v geocentrickém systému ITRS resp. ETRS, který používá GNSS s požadavkem na získání rovinných souřadnic v S-JTSK. Nejjednodušším řešením se ukázalo zavedení souřadnicového systému s názvem S-JTSK/05, který pro každý bod obsahuje geocentrické souřadnice v ETRS89 s referenčním rámcem ETRF2000 a rovinné souřadnice v „modifikovaném“ Křovákově zobrazení. Mezi oběma typy souřadnic existuje přesný matematický vztah (ten je definován sedmiprvkovou podobnostní transformací a aplikací Křovákova zobrazení, modifikace spočívá v tom, že částečně zohledňuje deformaci původního S-JTSK). V tomto okamžiku se vyskytuje ještě jeden problém. Díky deformaci „starého“ S-JTSK se rovinné souřadnice systému S-JTSK/05 a S-JTSK liší v průměru o 14 cm (místa až o 30 cm) a to je pro přesné geodetické práce příliš velká hodnota. Potíž se dá odstranit dvěma způsoby: a) začít důsledně používat nový systém S-JTSK/05, nebo b) používat geocentrické souřadnice nového systému (tedy v rámci ETRF2000) a „staré“ rovinné souřadnice v S-JTSK (pak je ovšem nutné nějakým způsobem určit vztah mezi oběma rovinnými souřadnicemi – vzhledem k tomu, že deformace S-JTSK jsou nepravidelné, byla sestavena tabulka korekcí tabelovaná v pravidelném rastru). Na druhé straně, velká skupina uživatelů, kterým postačuje přesnost na úrovni 2 dm, nemusí rozlišovat mezi souřadnicemi v S-JTSK/05 a S-JTSK.

Až doposud se pro zpracování pozorování GNSS používá pro geodetické práce systém ETRS89 s rámcem ETRF89 a pro rovinné souřadnice S-JTSK. Protože doposud nebyl realizován přesný přímý vztah mezi oběma systémy, bylo nutno pro převod souřadnic určovat lokální transformační klíče. V průběhu roku 2010 rozhodl Český úřad zeměměřický a katastrální (který je zodpovědný za geodetické základy) přijmout variantu b) z předchozího odstavce. To v praxi znamená v geocentrických souřadnicích, které používá GNSS, přechod z

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

rámce ETRF89 na rámec ETRF2000, ale co se týče rovinných souřadnic, k žádné změně nedochází! Přitom rozdíly souřadnic mezi ETRF89 a ETRF2000 jsou pouze cca 2 cm ve směru sever - jih a 1 cm ve směru východ-západ. Důvod přechodu na rámec ETRF2000 je lepší homogenita s celoevropskými základy. Opravdovou „revolucí“ by však bylo, přejít na variantu a), kdy by se začaly používat i nové rovinné souřadnice v Křovákově zobrazení.

Definice S-JTSK/05

Souřadnicový systém S-JTSK/05 obsahuje:

- elipsoidické souřadnice B, L, H, vztažené k elipsoidu GRS80 v referenčním rámci ETRF2000
- rovinné souřadnice Y, X v modifikovaném Křovákově zobrazení a nadmořské výšky hBpv ve výškovém systému systému „Balt po vyrovnání“

Mezi oběma typy souřadnic existuje jednoznačný matematický vztah, struktura transformací je patrná z obrázku 1 a bude popsána dále. Systém je využitelný pouze na území České republiky.

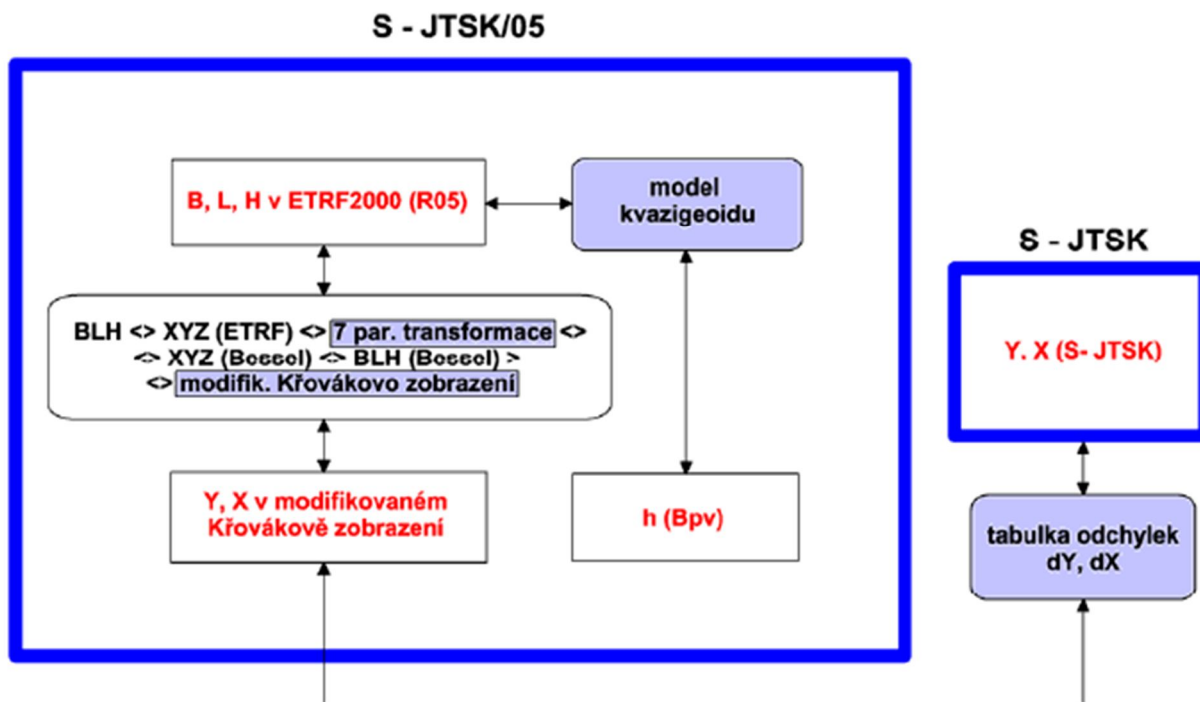
Mezi S-JTSK a S-JTSK/05 platí vztah:

$$Y_{S-JTSK} = Y_{S-JTSK/05} - 5\,000\,000 + dY,$$

$$X_{S-JTSK} = X_{S-JTSK/05} - 5\,000\,000 + dX.$$

Pro odlišení souřadnic se k souřadnicím v systému S-JTSK/05 přidává konstanta 5 000 000.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 11: Schéma transformace v S-JTSK/05

Odchyly dY , dX mezi S-JTSK a S-JTSK/05 jsou počítány ze sítě vybraných trigonometrických a zhušťovacích bodů, které byly zaměřeny Zeměměřickým úřadem a Katastrálními úřady v letech 1994 až 2008 technologií GPS a dále trigonometrických bodů v systému S-JTSK/95, převedených lokální transformací do S-JTSK/05. Odchyly jsou tabelovány v pravidelné síti 2 x 2 km.

Pro převod výšek je použit model kvazigeoidu CR-2005, který byl odvozen navázáním modelu CR-2000 na síť 1024 bodů výběrové údržby, jejichž výška byla určena nivelací.

Aktualizace údajů bodových sítí v systému ETRS-89 včetně rozvoje geodetických základů ČR pomocí družic GNSS je prováděna pomocí permanentních stanic sítě CZEPOS (Česká polohová síť)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poznámky pod čarou

ITRS

Mezinárodní terestrický referenční systém ITRS-YY (International Terrestrial Reference System), kde YY je dvojčíslí roku realizace.

Má počátek ve hmotném středu Země, osa z je totožná s konvenčním mezinárodním počátkem CIO (conventional International Origin), osa x leží v rovině greenwichského poledníku a osa y doplňuje systém na pravotočivý. Referenční rámec ITRF (International Terrestrial Reference Frame) je realizován pomocí bodů ležících na povrchu Země. Tyto body mají souřadnice definované jako funkce času. Vlivem tektonických pohybů, variací geocentra a dalšími vlivy se jejich hodnoty mění. Systém ITRS je definován pomocí prostředků kosmické geodézie SLR a VLBI (pro ITRF-2005).

ETRS

Evropský terestrický referenční systém ETRS-YY (European Terrestrial Reference System), kde YY je dvojčíslí roku realizace.

Systém ETRS-89 je odvozen od systému ITRS a spojen s euroasijskou kontinentální deskou, takže roční časové změny jsou max. v řádu milimetrů. Referenční rámec ETRF-89 je realizován technologiemi SLR a VLBI. Systém ETRS-89 není zastaralý systém, ale z praktických důvodů nemá konstantní polohu souřadnicových os (souřadnicové osy se natáčejí dle pohybu euroasijské kontinentální desky).