

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Obor Geodézie a kartografie



TESTOVÁNÍ SÍTĚ CZEPOS

Diplomová práce

autor: Miluše Vilímková

vedoucí práce: prof. Ing. J. Kostecký, Dr.Sc.

konzultant: Ing. P. Taraba

Praha, 2006

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

*Závazně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci
vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury.*

V Praze, dne 15.12.2006

.....

prof. Janu Kosteckému za vlídné vedení a cenné rady během zpracování této diplomové práce, také za poskytnutí spousty obrázků;

ing. Pavlovi Tarabovi za zasvěcení do problematiky a ochotu poradit a zodpovědět veškeré dotazy týkající se sítě CZEPOS;

doc. Miroslavovi Hampacherovi za ochotu a pomoc při řešení nejasností týkajících se teorie chyb.

OBSAH

1. ÚVOD.....	6
2. GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY (GNSS).....	7
2.1 OBECNĚ O GNSS	7
2.2 NAVSTAR GPS	8
2.2.1 Metody GPS.....	9
2.2.2 Faktory ovlivňující přesnost GPS	13
3. GEODETICKÉ ZÁKLADY	14
3.1 GEODETICKÉ POLOHOVÉ ZÁKLADY ČR BUDOVANÉ KLASICKOU TRIANGULACÍ	15
3.1.1 Katastrální triangulace 1821 – 1864.....	15
3.1.2 Vojenská triangulace 1862 – 1898.....	15
3.1.3 Československá Jednotná trigonometrická síť (JTS)	16
3.1.4 Souřadnicový systém 1952 (S-52).....	17
3.1.5 Astronomicko geodetická síť ČSR (AGS).....	17
3.1.6 Souřadnicový systém 1942 (S-42).....	18
3.1.7 Souřadnicový systém 1942/83 (S-42/83).....	18
3.1.8 Využití uvedených souřadnicových systémů.....	19
3.2 MODERNIZACE GEODETICKÝCH ZÁKLADŮ ČESKÉ REPUBLIKY	20
3.2.1 Tvorba ITRF/ITRS a ETRF/ETRS.....	21
3.2.2 Realizace ETRF v České republice	23
3.2.3 Zhuštění ETRF v České republice.....	24
3.2.4 Zpřesnění S-JTSK (S-JTSK/YY).....	28

3.3	PROSTOROVÉ GEODETICKÉ ZÁKLADY „NOVÉ GENERACE“	31
4.	ČESKÁ SÍŤ PERMANENTNÍCH STANIC PRO URČOVÁNÍ POLOHY - CZEPOS	32
4.1	VZNIK A DEFINICE SÍTĚ	32
4.2	KONFIGURACE A VYBAVENÍ SÍTĚ	33
4.3	POSKYTOVANÁ DATA A SLUŽBY	35
4.4	ÚČEL A VYUŽITÍ SÍTĚ	36
5.	OVĚŘENÍ FUNKCE A KVALITY PRODUKTŮ A SLUŽEB POSKYTOVANÝCH CZEPOS	38
5.1	POSTUP PRÁCE	40
5.1.1	<i>Volba testovaných bodů</i>	40
5.1.2	<i>Postup měřických prací</i>	42
5.1.3	<i>Číslování bodů</i>	44
5.2	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ	45
5.2.1	<i>Přehled použitých vzorců</i>	47
5.3	VÝSLEDKY TESTU	50
5.3.1	<i>Výsledky pro celou Českou republiku</i>	50
5.3.2	<i>Výsledky pro jednotlivé lokality</i>	52
6.	STABILITA PERMANENTNÍCH STANIC CZEPOS	56
6.1	URČENÍ SOUŘADNIC PERMANENTNÍCH STANIC	56
6.2	VÝSLEDKY POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ	57
6.2.1	<i>Poloha</i>	57
6.2.2	<i>Výška</i>	59
7.	ZÁVĚR	62
7.1	PŘESNOST VÝSLEDKŮ MĚŘICKÝCH PRACÍ V SÍTI CZEPOS	62
7.2	STABILITA PERMANENTNÍCH STANIC CZEPOS	64
	SEZNAM LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ	65
	PŘÍLOHY	69
	PŘÍLOHA 1 Střední chyby měření v síti CZEPOS pro jednotlivé lokality	69
	PŘÍLOHA 2 Grafy závislostí přesnosti souřadnic na příjmových podmínkách	82
	PŘÍLOHA 3 Stabilita stanic CZEPOS v poloze	91

1. Úvod

Zeměměřický úřad zavedl novou službu nazvanou „Česká síť permanentních stanic pro určování polohy“ - CZEPOS, která umožňuje uživatelům přesné určení pozice na území České republiky. Tato síť permanentních stanic GPS má tvořit rámec moderních geodetických základů České republiky určených pro využití v oblasti katastru nemovitostí i v jiných technických oblastech včetně výzkumu. Data ze sítě CZEPOS jsou využitelná pro měření v reálném čase i pro následné zpracování (postprocessing).

Cílem této práce bylo vyhodnotit skutečnou přesnost výsledků měřických prací provedených technologií GPS v síti permanentních stanic CZEPOS v závislosti na použité metodě a na umístění v síti CZEPOS. Dále potom závislost přesnosti těchto prací na některých příjmových podmínkách.

Vyhodnocení bylo provedeno na základě měření provedených Katastrálními úřady různými metodami na bodech, se známými souřadnicemi (v ETRS89), které byly rozmístěny rovnoměrně po celé ČR.

V závěru této práce byla zkoumána stabilita permanentních stanic CZEPOS. Ze síťového řešení výsledků měření permanentních stanic sítí EUREF – EPN a CZEPOS byly vypočteny až pro 81 GPS týdnů (pro „nejstarší stanice“) souřadnice stanic CZEPOS. Takto určené souřadnice byly porovnány mezi sebou a také s původními souřadnicemi určenými měřením GPS s připojením na body DOPNUL. Na základě těchto porovnání mohla být posouzena stabilita těchto permanentních stanic.

2. Globální Navigační Satelitní Systémy (GNSS)

2.1 Obecně o GNSS

Globální Navigační Satelitní Systém (GNSS - *Global Navigation Satellite System*) je systém umožňující kdekoliv na Zemi v jakoukoliv denní dobu určit polohu uživatele. Existuje jich několik. Například systém GLONASS, jehož vlastníkem je Ruská federace, nebo systém GALILEO financovaný Evropskou unií, který má být operativní v roce 2008.

Největší význam pro (nejen geodetickou) praxi však má americký systém **NAVSTAR GPS** (*Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System*, Globální polohový systém, dále jen GPS). Je to družicový radiový systém vytvořený ministerstvem obrany USA původně pro vojenské účely. Později byl zpřístupněn i civilním uživatelům.

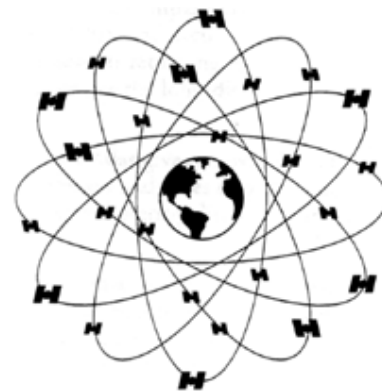
Informace o prostorové poloze je v dnešní době potřebná pro celou řadu lidských činností. Přestože sama o sobě má význam jen pro úzkou skupinu lidí, společně s dalšími údaji (např. popisného charakteru) tvoří základ celých systémů, které jsou součástí našeho běžného života. Určování prostorové polohy technologií globálního polohového systému má v dnešní době uplatnění ve stále širším spektru oborů. Od původního vojenského využití přes geodézii, geografické informační systémy (GIS), leteckou a námořní dopravu, monitoring vozidel, měření rychlosti a přesné určování času až ke stále oblíbenějším kapesním navigačním systémům.

Od svého rychlého nástupu do geodetické praxe v první polovině devadesátých let se technologie GPS stále rozvíjí a podíl jejího využití stále stoupá. V budování a údržbě základního polohového bodového pole a zhušťovacích bodů byly klasické metody měření úhlů a délek touto metodou vytlačeny. Také v budování podrobného polohového bodového pole a v mapování je snaha používat metodu GPS všude, kde je to možné. Stále častěji se využívá GPS v reálném čase pro podrobné měření.

Nezanedbatelné místo má dnes GPS v oblasti výzkumu dynamiky Země, kde se využívá zejména měření permanentních stanic GPS ke sledování pohybů zemské kůry.

2.2 NAVSTAR GPS

NAVSTAR GPS je tvořen soustavou 28 družic (z toho 4 záložní), které se pohybují po šesti téměř kruhových drahách na oběžné dráze 20 200 km nad zemí (obr. 1) a vysílají nepřetržitě údaje o přesném čase a své poloze ve vesmíru. Obsahuje tři segmenty: kosmický (družice), pozemní (řídící operační stanice) a uživatelský (aparatury uživatelů).



obr. 1 - [21]

Pro určování polohy uživatele využívá GPS pasivní dálkoměrnou metodu. Dálkoměrné systémy určují polohu přijímače pomocí vzdáleností od jednotlivých družic. Družice o známé poloze vysílá v přesně definovaný čas (atomové hodiny) tzv. pseudonáhodný kód. Ten je přijat pozemní aparaturou, která na základě zpoždění a rychlosti šíření signálu (radiové vlny) určí vzdálenost. Tato vzdálenost je značně ovlivněna chybou v nastavení hodin aparatury a fyzikálním stavem atmosféry, kterou signál prochází. Označuje se proto jako pseudovzdálenost. Pokud aparatura určí pseudovzdálenosti nejméně ke čtyřem družicím, je schopna určit polohu antény a opravu vlastních hodin.

V geodézii se však využívá většinou fázového měření založeného na určování fázového posunu nosné vlny. V tomto případě je nutné navíc zjistit celkový počet celých cyklů nosné vlny mezi družicí a přijímačem, tzv. ambiguity (počáteční neurčitosti).

Pro zvýšení přesnosti určení polohy je využívána metoda diferenčního GPS. Základem této metody je dvojice aparatur GPS. První aparatura je umístěna na bodě, jehož polohu (souřadnice) známe. Měřené pseudovzdálenosti porovnává se známými vzdálenostmi stanice – družice a výsledné opravy předává v podobě korekcí druhé aparatuře. Druhá aparatura je umístěna na bodě, jehož polohu potřebujeme určit. Pseudovzdálenosti měřené druhou aparaturou jsou opraveny o získané korekce a z opravených pseudovzdáleností je vypočtena korigovaná navigační poloha.

2.2.1 Metody GPS¹

Statická metoda

Statická metoda spočívá v kontinuální observaci více aparatur po dobu několika hodin až dnů. Jde o metodu časově nejnáročnější, ovšem také nej přesnější. Používá se pro speciální práce s maximální požadovanou přesností - budování polohových základů, regionální geodynamika, sledování posunů a přetvoření. Dosažitelná přesnost v poloze je 3 až 5 mm.

Rychlá statická metoda

Tato metoda je ekonomičtější než statická a stala se jednou z nejčastěji používaných metod v geodézii. Doba observace bývá 10 až 30 minut v závislosti na typu přístroje (jednofrekvenční, dvoufrekvenční), délce základny (vzdálenost mezi přijímači) a konfiguraci družic v okamžiku měření. Je dána minimální dobou nutnou k vyřešení ambiguit (inicializace). Po jejich vyřešení je možné pozorovat velmi krátce s dostatečnou přesností (cm) výsledných souřadnic. Po doměření se provádí zpracování na počítači pomocí firemního software (postprocessing). Metoda je vhodná zejména pro zhušťování bodových polí. Polohová přesnost 5 až 10 mm + 1 až 2 ppm.

Metoda stop and go

Metoda stop and go je podobná rychlé statické metodě, ale přijímač v tomto případě měří i při přesunu mezi jednotlivými podrobnými body. Na prvním bodě je nutné měřit do té doby, než jsou spolehlivě vyřešeny ambiguita. Měření na dalších bodech může trvat jen několik sekund, avšak pouze za podmínky, že během přesunu nedojde ke ztrátě signálu a nezmění se ambiguita. Tato podmínka je ovšem v terénu často těžko splnitelná a v tom případě přechází metoda stop and go v metodu rychlou statickou. Metodou stop and go jsou s výhodou zaměřovány podrobné body v terénu bez překážek omezujících dobrou viditelnost satelitů. Zpracování se provádí postprocessingem, přesnost v poloze 10 až 20 mm + 1 až 2 ppm.

¹ Kapitola byla zpracována podle [2], [8] a [12].

Kinematická metoda s inicializací

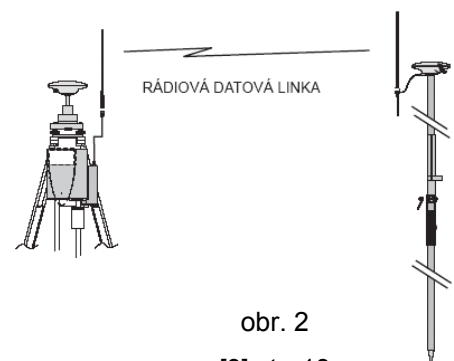
Kinematická metoda s inicializací je způsob měření podobný stop and go s tím rozdílem, že po počáteční inicializaci provádí rover měření v krátkém časovém kroku (např. 1 sekunda). Po dobu měření nesmí ztratit signál, jinak je nutno opět provést inicializaci. Polohová přesnost 10 až 30 mm + 1 až 3 ppm.

Kinematická metoda bez inicializace

Při použití této metody jsou ambiguities řešeny na základě přesných kódových měření za pohybu přijímače (on-the-fly ambiguity resolution).

Real Time Kinematics – RTK

Referenční stanice umístěná na bodě o známých souřadnicích poskytuje pohyblivé stanici v reálném čase data pro výpočet aktuálních přesných korekcí měřených souřadnic (obr. 2). Tato metoda vyžaduje speciální měřicí aparaturu. Nachází uplatnění především při vytyčovací práci, také při určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů. Polohová přesnost 20 až 50 mm.



obr. 2
[9] str. 13

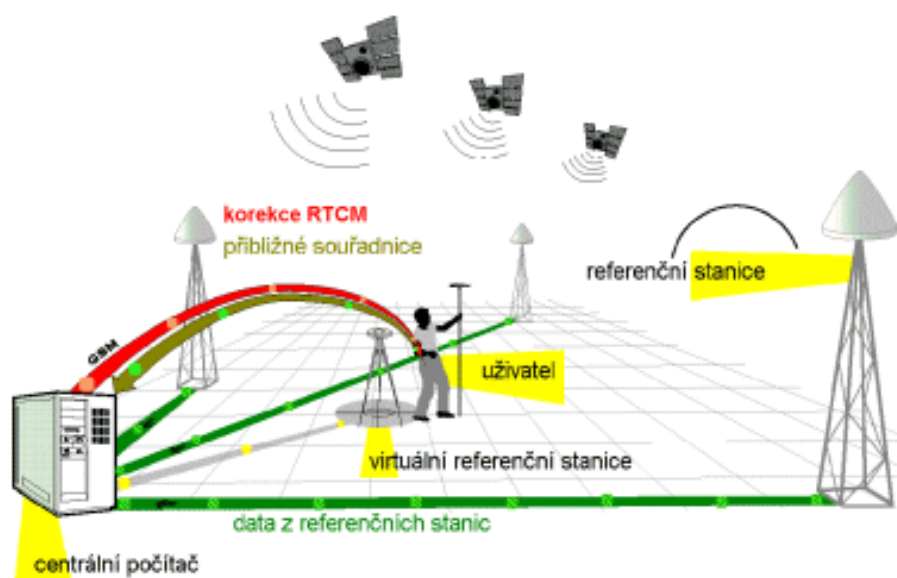
Diferenční GPS (DGPS)

DGPS nejspíš jako jediná geodetická aplikace GPS využívá pouze kódová měření. Referenční stanice (báze) umístěná na bodě o známých souřadnicích z vypočtených přesných vzdáleností (z polohy družice a své známé pozice) určí opravu naměřených vzdáleností. Tuto opravu pak využije druhý přijímač ke zpřesnění svých vzdáleností. Opravy jsou přijímači dodávány v reálném čase (online), nebo jsou použity při pozdějším zpracování (postprocessing).

Virtuální referenční stanice

V tomto případě se jedná o využití metody RTK, přičemž uživateli odpadá nutnost budování referenční stanice. Systém virtuálních referenčních stanic mu definuje tzv. virtuální referenční stanici (VRS), která je umístěna dostatečně blízko uživatelovy pohyblivé stanice při inicializaci a datovým spojením vysílá data jeho pohyblivé stanici (obr. 3).

Tato data jsou získána z referenčních stanic systému VRS pomocí síťového řešení. Jsou tedy vypočtena z více než jedné referenční stanice a jsou tak ověřena. Proto je referenčních stanic systému VRS ve skutečnosti podstatně méně než kolik by jich bylo potřeba pro pokrytí stejného území při klasické metodě RTK. Při metodě RTK by byla potřebná vzájemná vzdálenost stanic 20 km, v systému VRS dostačuje vzájemná vzdálenost stanic 50 km.



obr. 3 - [25]

Měření probíhá velmi podobně jako jakékoliv jiné měření RTK. Pohyblivý přijímač je nejprve nutno inicializovat, což se děje po zapnutí přijímače a propojení přes mobilní telefon s centrálním počítačem. Poté je možno zaměřovat nebo vytyčovat požadované body, neboť souřadnice bodů jsou v reálném čase dostupné na displeji pohyblivého přijímače.

Tato metoda řeší problém vzdálenosti pohyblivé a referenční stanice. Ta totiž výrazně omezuje výslednou přesnost. Dlouhé vektory prodlužují délku

inicializace a velmi dlouhé vektory inicializaci znemožňují (algoritmy pro řešení ambiguit nejsou funkční). VRS je vytvářena na základě pozice pohyblivého přijímače při inicializaci. Její vzdálenost od pohyblivého přijímače závisí na algoritmu zpracování (dané poskytovatelem služby).

Při použití této metody se zkrátí doba potřebná pro úspěšnou observaci, eliminují se výpočetní práce spojené s postprocessingovým zpracováním, odpadá zde nutnost instalovat vlastní referenční stanici a zvyšuje se přesnost dosažených výsledků (díky síťovému řešení).

2.2.2 Faktory ovlivňující přesnost GPS

Pro úplnost zde ještě uvedeme stručný výčet faktorů, které mají vliv na přesnost měření technologií GPS.

Mezi ty základní patří synchronizace času družic a uživatelského přijímače, přesnost určení parametrů drah satelitů, vliv prostředí, ve kterém se signál šíří od družice k přijímači, zejména vliv ionosféry a troposféry. Dále je to vícecestné šíření signálu (multipath), které vzniká falešnými odrazy signálu od blízkých okolních předmětů, a nezanedbatelné jsou i hodnoty offsetů a variací fázových center antén. Vliv na výslednou přesnost má i kvalita přijímače GPS signálu, délka observace a konfigurace družic.

3. Geodetické základy

Jedním z úkolů geodézie je na státním území vybudovat přesné a pokud možno jednotné geodetické základy.

Klasická triangulace má v budování geodetických polohových základů (GPZ) dnes již historický význam. Od roku 1989 se i u nás v této oblasti využívají výhradně družicové technologie, začínají se budovat geodetické základy nové generace a geodézie se v této oblasti velmi dynamicky rozvíjí. Vzhledem k návaznosti jednotlivých systémů bude však vhodné zde stručně nastínit vývoj GPZ na území České republiky včetně systémů vybudovaných na základě klasické triangulace. Informace uvedené k tomuto tématu byly čerpány pro „klasické“ geodetické základy zejména z [3], a pro moderní geodetické základy z [4] a [5].

3.1 Geodetické polohové základy ČR budované klasickou triangulací

3.1.1 Katastrální triangulace 1821 – 1864

První souvislá trigonometrická síť I. řádu v našich zemích byla vybudována pro katastrální mapování v měřítku 1 : 2 880 jako část katastrální triangulace prováděné na celém území bývalé rakousko uherské monarchie (stabilní katastr). Tato síť byla dále zhuštěna trigonometrickou sítí II. a III. řádu (číselná triangulace). Body IV. řádu byly doplněny grafickou triangulací.

Práce byly prováděny po jednotlivých zemích. Základní body (pro naše země Gustenberg a Sv. Štěpán) byly určeny astronomicky. Použito bylo zobrazení Cassini-Soldnerovo, Zachova elipsoidu a vídeňského sáhu jako délkové jednotky.

3.1.2 Vojenská triangulace 1862 – 1898

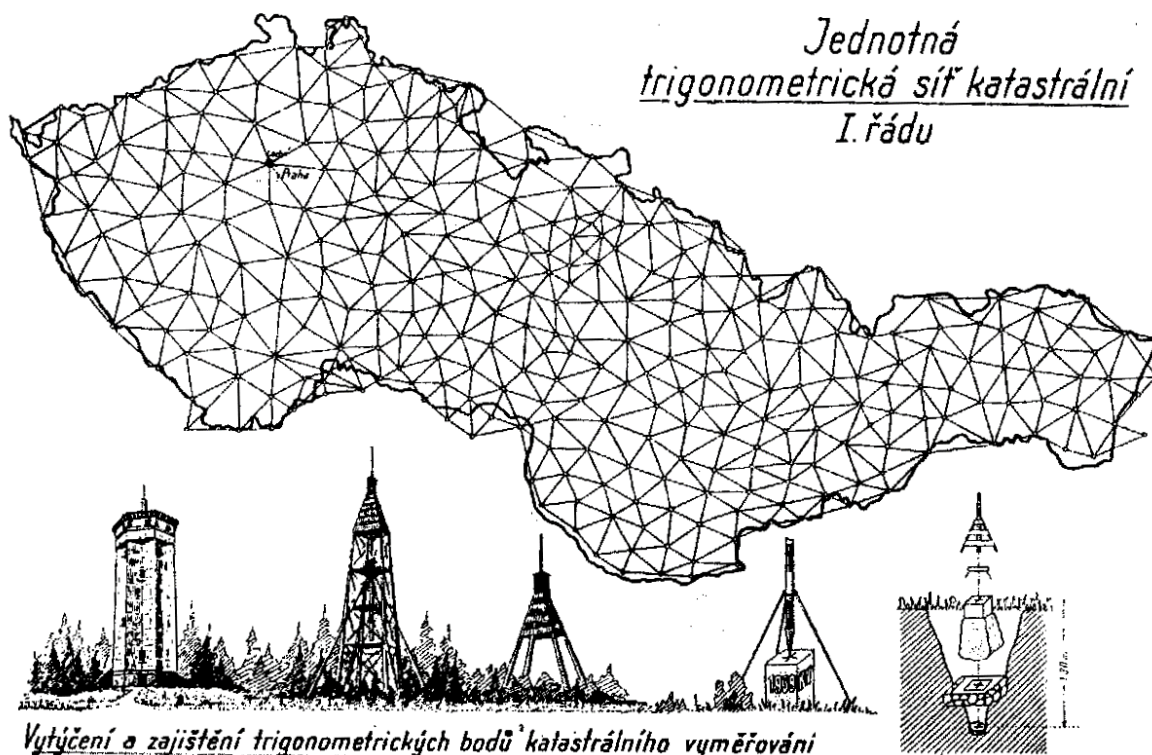
Vojenskou triangulací vznikla systematicky budovaná a poměrně přesná síť I. řádu, jejíž rozměr byl v Českých zemích nejvíce ovlivněn geodetickou základnou u Josefova (u Chebu). Ke zpracování sítě byl použit Besselův elipsoid. Základní trigonometrický bod Hermannskogel s astronomicky určenými souřadnicemi a azimutem byl použit pro výpočet geodetických souřadnic celé sítě (rozvinovací metoda, bez korekcí z odchylky tížnice - ta byla zjištěna později).

Nedostatkem této sítě byla zejména její chybná orientace (téměř 10'' v azimutu) a rozměr určený v podstatě z jediné základny.

3.1.3 Československá Jednotná trigonometrická síť (JTS)

Síť byla budována v letech 1920 až 1957. Z časových důvodů však nebylo možné ji budovat podle všech tehdy známých požadavků. Proto nebyla provedena nová astronomická měření, nebyly měřeny geodetické základny a nebylo provedeno propojení sítě se sítěmi sousedních států. Ze stejných důvodů byly na části území převzaty měřené osnovy směrů z vojenské triangulace (1862-1898) - 42 bodů v Čechách (obr. 4).

Orientace na Besselově elipsoidu a rozměr sítě byly tedy nepřímo určeny z identických bodů vojenské triangulace pomocí Helmertovy transformace. Požito bylo Křovákovo zobrazení. Vznikl tak souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) používaný dodnes v běžné (civilní) geodetické praxi.



obr. 4 - [29]

3.1.4 Souřadnicový systém 1952 (S-52)

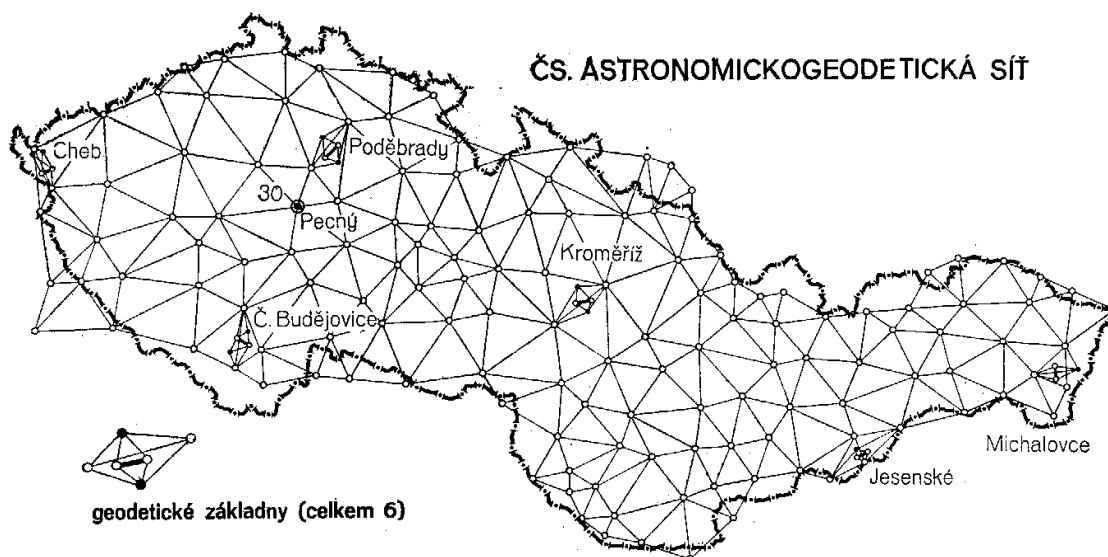
Tento systém jako první přestal být pouze národním systémem a byl zahrnut do jednotné soustavy s jádrem tvořeným astronomicko-geodetickou sítí západní části SSSR. S-52 byl předběžný a sloužil pro tvorbu topografických map (vojenských) před zavedením systému 1942.

Základ S-52 tvořilo několik desítek bodů v sovětském systému 1942 (Krasovského elipsoid, Gaussovo zobrazení). Body S-JTSK byly do toho systému převáděny pomocí kubické konformní transformace stejnorodých souřadnic.

Tak byla z části opravena nesprávná poloha sítě na zemském elipsoidu (její orientace a rozměr). Výhodou byl také přechod od lokálního Křovákova zobrazení ke všeobecně užívanému zobrazení Gaussovu. S-52 má téměř stejné lokální deformace jako S-JTSK.

3.1.5 Astronomicko geodetická síť ČSR (AGS)

Základní trigonometrická síť (podle mezinárodního označení astronomicko-geodetická síť) byla budována v letech 1931 - 1954 s nejvyšší dosažitelnou přesností a podle nejnovějších vědeckých poznatků. Zaměřeno bylo úhlově 227 trojúhelníků, astronomicky 53 bodů, gravimetricky 108 bodů I. řádu a 499 bodů II. řádu a 6 základů invarovými dráty. Síť byla částečně propojena se sousedními zeměmi (obr.5).



obr. 5 - [29]

3.1.6 Souřadnicový systém 1942 (S-42)

Tento systém je prvním systémem na našem území na úrovni západních států. Po roce 1955 bylo realizováno vyrovnání AGS společně se sítěmi zemí východní Evropy v souřadnicovém systému S-42 na Krasovského elipsoidu a v Gaussově zobrazení. Od roku 1958 byly do této AGS převáděny body S-JTSK. Body I. řádu a část bodů II. a III. řádu vyrovnáním (po blocích), ostatní body transformací (nestejnorodých souřadnic) pomocí čtvercové sítě 10 x 10 km s využitím bodů již převedených do S-52.

Porovnáním S-42 a S-JTSK byly zjištěny závažné délkové deformace S-JTSK (až 30 mm/km), které dnes činí problémy při použití elektronických dálkoměrů nebo GPS v běžné praxi.

3.1.7 Souřadnicový systém 1942/83 (S-42/83)

Systém vznikl mezinárodním vyrovnáním AGS (v rámci Jednotné astronomicko-geodetické sítě – JAGS), do kterého byly zahrnuty další údaje o stávajících bodech AGS (nové délky - využity EOD, nové nebo přeměřené astronomické veličiny, nové určení tížnicových odchylek a převýšení kvazigeoidu).

Výpočetní možnosti konce 80. let umožnily, aby byl I. až IV. řád S-JTSK do S-42/83 převeden současně (vyrovnáním s uvážením vah jednotlivých řádů). Vzhledem k poněkud odlišnému charakteru bodů podrobné sítě V. řádu, byly tyto převedeny transformací (nestejnorodých souřadnic) s následnou Jungovou dotransformací.

Nově vyrovnaná síť I. až IV. řádu odstranila zásadní nedostatky S-JTSK (zejména délkové deformace). Byly také napraveny deformace lokální, způsobené dřívějším zpracováním (týká se S-42 i S-JTSK). Síť S-42/83 měla v té době tvar, rozměr a orientaci nejlepší, jaké bylo možno klasickými terestrickými metodami získat.

3.1.8 Využití uvedených souřadnicových systémů

Využití popsaných systémů bylo striktně rozděleno na civilní a vojenské, přičemž v civilní sféře se využíval pouze systém S-JTSK (a event. systém stabilního katastru). S-52, S-42, a S-42/83 byly určeny výhradně pro vojenskou sféru.

3.2 Modernizace geodetických základů České republiky

Jak již bylo naznačeno, uvedená modernizace AGS se bohužel odrazila pouze na systému S-42, resp. S-42/83, který nebyl využíván civilní geodetickou službou. Předností kvalitní čs. astronomicko-geodetické sítě a do ní vyrovnané trigonometrické sítě I. až IV. řádu nebylo prakticky vůbec využito pro zlepšení sítě v S-JTSK, jejíž rozměry a orientace pocházejí z vojenské triangulace konce 19.století. Tento paradox vede ke komplikacím a problémům, neboť dochází ke konfrontaci nepřesných "geodetických základů" s velmi přesnými výsledky dnešních měření.

Původní naděje na využití dopplerovské techniky pro zkvalitnění polohových geodetických základů v bývalém Československu byly marné. Přesvědčivé výsledky zkušebních dopplerovských kampaní přišly až ve chvíli, kdy již nově budovaný GPS NAVSTAR ukazoval, kterou cestou se bude ubírat budování geodetických sítí nejvyšší kvality.

Roku 1990 byla schválena nová „*Koncepce modernizace a rozvoje československých geodetických základů*“, která jednoznačně vycházela z přijetí techniky GPS jako nejdůležitějšího technologického inovačního prostředku. S její realizací se začalo v první polovině roku 1991.

Rok 1991 lze tedy pokládat za počáteční období budování geodetických základů nového typu. Tyto geodetické základy se vyznačují zejména následujícími charakteristikami:

- ✓ vysoká úroveň přesnosti a homogenity ve srovnání s klasickými geodetickými základy;
- ✓ umožňují pracovat v trojrozměrném prostoru, přičemž vztahy, popisující zobrazení mezi troj- a dvojrozměrným prostorem, jsou odvozeny s takovou přesností, která nesnižuje přesnost určení polohy v trojrozměrném prostoru;
- ✓ umožňují přímé využití techniky GPS i velmi přesné klasické geodetické přístrojové techniky;
- ✓ představují homogenní součást geodetických základů nadnárodního rozsahu;
- ✓ využívají vhodného systému monitorování stability geodetických bodových polí.

Z uvedených charakteristik vyplývá, že při budování geodetických základů nového typu je třeba mít na zřeteli také cíle vyplývající z mezinárodní spolupráce na evropské úrovni.

3.2.1 Tvorba ITRF/ITRS a ETRF/ETRS

V roce 1988 zahájila činnost nově ustavená Mezinárodní služba rotace Země (*International Earth Rotation Service - IERS*) a rok 1994 je počátečním rokem pravidelné činnosti Mezinárodní služby GPS (*International GPS Service, IGS*). Obě služby mají základní význam pro současnou geodézii.

Úkolem IERS je:

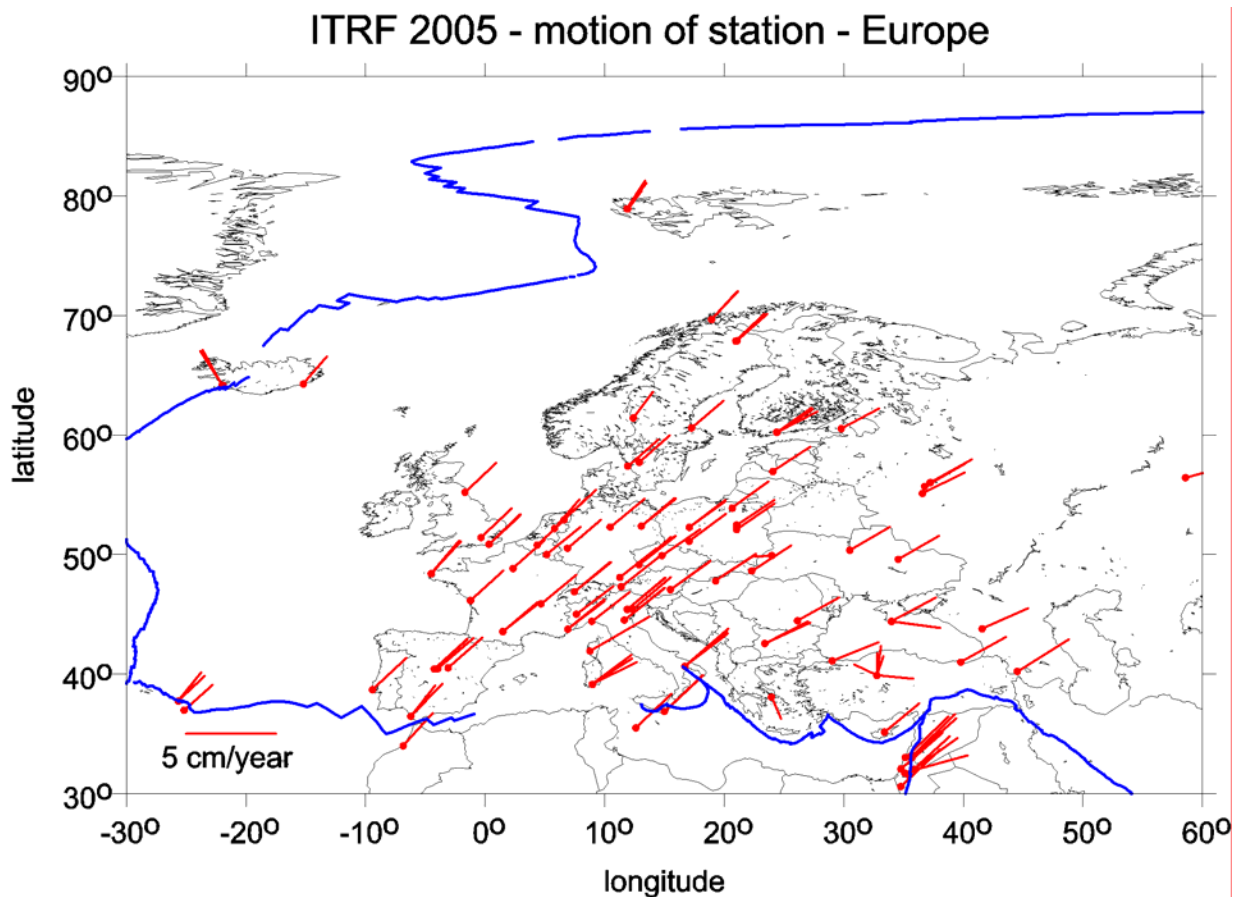
- ✓ budovat a udržovat Mezinárodní nebeský referenční systém/rámec (*International Celestial Reference System/Frame ICRS/ICRF*) vázaný na hvězdy (kvazary),
- ✓ budovat a udržovat Mezinárodní terestrický referenční systém/rámec (*International Terrestrial Reference System/Frame - ITRS/ITRF*) vázaný na Zemi (souřadnice stabilizovaných bodů na zemském povrchu),
- ✓ vytvářet časové řady transformačních parametrů (parametry rotace Země, *Earth Orientation/Rotation Parameters EOP/ERP*) mezi těmito rámci.

Mezinárodní referenční rámce jsou neustále průběžně zpřesňovány. V současnosti je platný systém ITRF2005.

V důsledku pohybu euroasijské desky a tím způsobené změně souřadnic vůči ITRS (až o 3 cm za rok – viz obr. 6) bylo potřeba definovat čistě evropský geocentrický systém. V roce 1987 vytvořila Mezinárodní geodetická asociace (*International Association of Geodesy, IAG*) podkomisi pro definici Evropského referenčního systému (*European Reference Frame, EUREF*). Nový evropský geocentrický systém definovaný EUREF byl nazván ETRS-89/ETRF-89 (*European Terrestrial Reference System/Frame 89*). Jeho tvorba byla založena na výsledcích mezinárodní kampaně EUREF-89, ve které bylo využito kromě techniky laserové lokace družic (*Satellite Laser Ranging, SLR*,) a interferometrie s velmi dlouhou základnou (*Very Long Baseline Interferometry, VLBI*) především metod GPS.

System vznikl zakonzervováním souřadnic evropských stanic systému ITRS89 v epoše 1989.0 a podobně jako ITRS je neustále zpřesňován - ke každému ITRSxx existuje ETRF89(xx).

Výhodou tohoto souřadnicového systému je, že na rozdíl od ITRS je spojen s euroasijskou kontinentální deskou. Díky tomu jsou roční časové změny souřadnic nejméně o řád (v mm) menší, než je tomu v případě ITRS (cm). Stejně jako celosvětový ITRS je i kontinentální ETRS tvořen referenčním rámcem a příslušnými konstantami a algoritmy.



Obr. 6 – Roční změny souřadnic vůči ITRF - [31]

3.2.2 Realizace ETRF v České republice

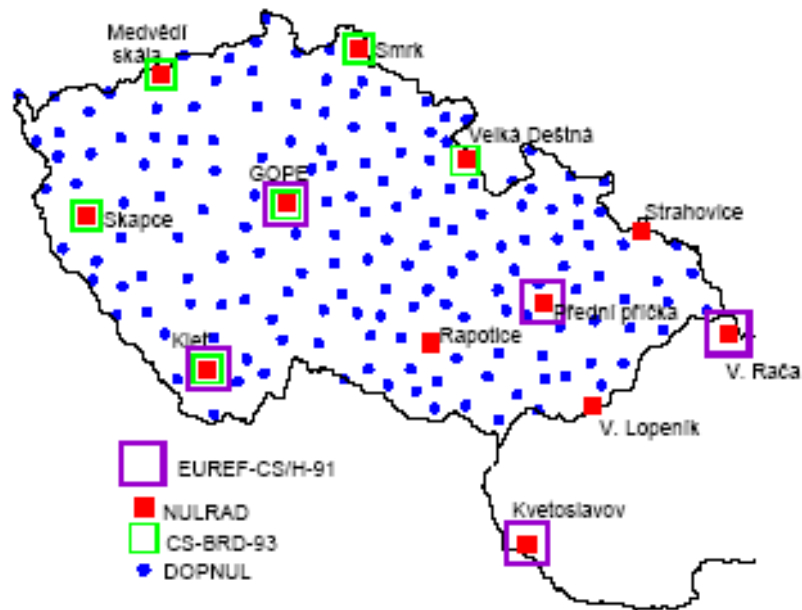
Evropský referenční rámec EUREF byl na území bývalého Československa a Maďarska rozšířen kampaní EUREF-CS/H-91 realizované na podzim roku 1991, kdy bylo na území ČSR zaměřeno celkem 6 bodů identických s body AGS (3 body v ČR - Pecný, Přední Příčka, Klet, 3 body v SR - Velká Rača, Kvetoslavov, Šaňkovský Grůň).

Prvním krokem k vybudování referenčního rámce ETRF89 v ČR bylo vytvoření referenční GPS sítě nultého řádu. Tato síť byla od počátku pojímána jako subsystém ETRF89, který měl sloužit jako vztažný rámec pro další zhušťování ETRF89 v ČR. Síť měla také poskytnout data pro odvození transformačních vztahů mezi geocentrickými systémy (WGS84, ETRS/ETRF, ITRS/ITRF) a referenčními systémy, používanými v České a Slovenské republice.

Síť nultého řádu je tvořena 19 body (10 v ČR a 9 v SR) a byla v roce 1993 spojena s německou referenční sítí DREF v kampani CS-BRD-93. Reálná přesnost určení geocentrických souřadnic bodů sítě nultého řádu se pohybuje mezi 2 – 4 cm pro všechny souřadnice.

Referenční rámec GPS pro ČR byl dobudován v letech 1993-4 uskutečněním řady deseti kampaní (DOPNUL), které doplnily síť nultého řádu. Tyto kampaně byly realizovány výlučně pomocí technologie GPS. Celkově bylo vybráno 176 bodů identických s body JTSK. Tento soubor bodů zároveň obsahuje rovněž všechny body nultého řádu a tři původní body EUREF (obr. 7). Dat bylo také použito ke zkvalitnění sítě nultého řádu kombinací pozorování provedených v různých epochách (CS-NULRAD-92, CS-BRD-93, DOPNUL). Výsledná reálná přesnost těchto souřadnic je do 3 cm v poloze a lepší než 5 cm ve výškové složce. Přesnost zbývajících 166 bodů sítě DOPNUL je však výrazně nižší (pouze 2 pětihodinové observace během jediného dne).

Rozložení stanic realizujících ETRS-89
na území České republiky



obr. 7 - [30]

3.2.3 Zhuštění ETRF v České republice

Hustota bodů referenční GPS sítě DOPNUL je v průměru 1 bod na 450 km², což odpovídá průměrné vzdálenosti mezi body 20 – 23 km. To je pro většinu geodetických prací nedostatečné.

Současná geodetická praxe vyžaduje referenční systém, který bude splňovat následující požadavky (dle [4]):

- ✓ umožní přímé užití technologie GPS (bude obsahovat geocentrické pravoúhlé, resp. elipsoidické souřadnice v ETRF);
- ✓ umožní používání terestrických měřických technik (teodolitů, dálkoměrů, měření výšek nivelací), bude tedy obsahovat rovinné souřadnice v uživatelském systému S-JTSK a nadmořské výšky ve výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv);
- ✓ umožní využití stávajících grafických podkladů (map velkých a středních měřítek pořízených v S-JTSK), to znamená, že nově určované rovinné souřadnice se budou v maximální míře přibližovat stávajícím hodnotám souřadnic odpovídajících bodů.

Prvním krokem proto musí být získání geocentrických souřadnic co největšího počtu bodů bodových polí.

Metodika zhuštění sítě DOPNUL probíhala třemi způsoby. Transformací souřadnic ze systému S-42/83 do ETRF, přímým měřením v rámci projektu "výběrová služba" realizovaným Zeměměřickým úřadem (ZÚ) a měřením v rámci projektu "zhuštění" prováděným odbory katastrálního mapování katastrálních úřadů (KÚ).

Transformace souřadnic

Vzhledem k časové i technické náročnosti doplnění bodů přímým měřením GPS bylo po dohodě mezi resortem ČUZK a Topografickou službou armády ČR rozhodnuto zhustit stávajících 176 bodů metodou prostorové podobnostní transformace souřadnic trigonometrických bodů S-42/83 do referenčního rámce ETRF89 s využitím těchto 176 identických bodů. Odchytky na identických bodech byly rozděleny na okolní body pomocí Jungovy dotransformace. Pro převod nadmořských výšek na elipsoidické byl použit kvazigeoid určený astronomicko-gravimetrickou metodou ve VÚGTK (řešení z roku 1994).

Takto bylo transformováno cca 29 000 trigonometrických bodů na území ČR. Elipsoidické souřadnice tohoto nově vytvořeného systému mají polohovou přesnost shodnou s S-42/83 (střední chyba 2 – 3 cm v poloze), přesnost elipsoidických výšek je okolo 10 – 20 cm. Tuto realizaci můžeme pokládat za nultou etapu budování geocentrického systému ČR.

Projekt výběrové údržby (realizuje Zeměměřický úřad)

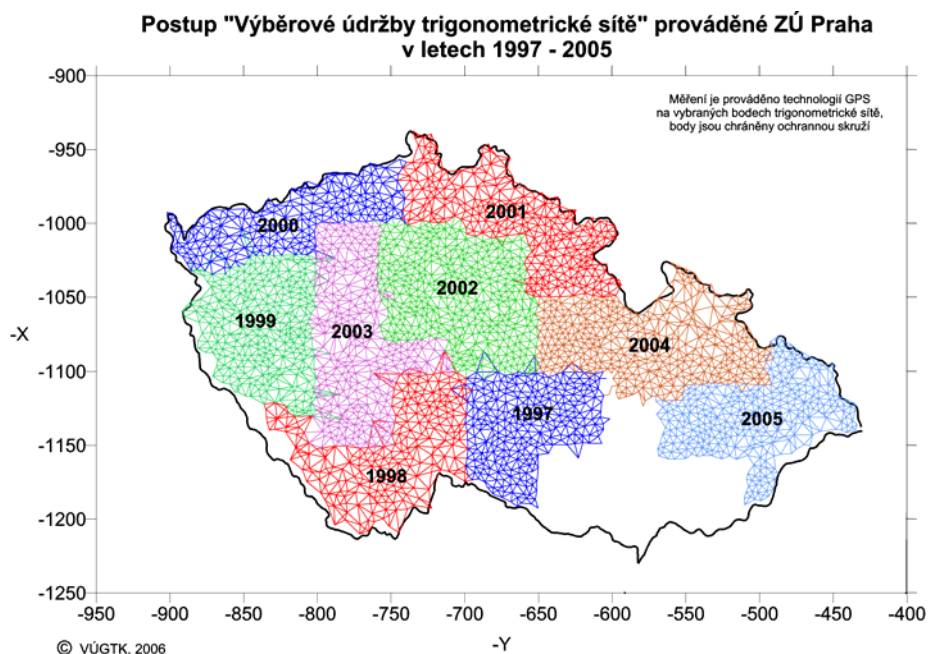
Rozvoj nových technologií určování polohy, informačních technologií a metod zpracování výsledků, který klade na strukturu a hustotu polohových základů zcela jiné požadavky než tomu bylo v minulosti, vedl v roce 1996 k zásadnímu přehodnocení procesu údržby bodů České státní trigonometrické sítě.

Údržba se proto nyní zaměřuje na soubor trigonometrických bodů vybraných podle následujících podmínek:

- ✓ hustota budované sítě (průměrná vzdálenost sousedních bodů 5 km, kromě lesních komplexů),
- ✓ přirozená ochrana bodů,
- ✓ snadná přístupnost bodů,
- ✓ vhodné podmínky pro observace metodou GPS.

Určení geocentrických souřadnic vybraných bodů se provádí jednohodinovými observacemi statickou metodou GPS s připojením na referenční body sítě DOPNUL. U některých bodů jsou nově nivelovány nadmořské výšky, čehož se využívá ke zpřesnění průběhu kvazigeoidu. Po výpočtu geocentrických souřadnic je prováděna transformace výsledků do S-JTSK. Projekt výběrové služby mimo jiné umožňuje ověření kvality geocentrických souřadnic referenční GPS sítě DOPNUL.

Měření v rámci tohoto projektu bylo již ukončeno. Souřadnice z poslední měřené oblasti (J Morava) by měly být veřejně přístupné na jaře roku 2007. Takto zhuštěný referenční rámec by měl obsahovat 3 500 bodů s geocentrickými souřadnicemi v ETRF a se souřadnicemi S-JTSK. Postup výběrové údržby je zobrazen na obr. 8. (Měření v nevyznačené oblasti bylo prováděno v roce 2006.)



obr.8 - [30]

Projekt zhuštění polohového bodového pole (realizují katastrální úřady)

Projekt byl v roce 1995 iniciován naléhavými požadavky na zkvalitnění a doplnění sítě zhušťovacích bodů polohového bodového pole. Obsahem projektu byla zejména revize dosavadních a zřizování nových zhušťovacích bodů a jeho cílem bylo umožnit uživatelům bezproblémové připojení na body kvalitního polohového bodového pole. Výsledná hustota bodového pole byla stanovena na 2 body/km² v intravilánu a na 1 bod/km² v extravilánu (kromě rozsáhlejších lesních komplexů). Přestože původním cílem tohoto projektu nebylo zhuštění geocentrického polohového bodového pole, k zaměření nových zhušťovacích bodů bylo většinou využito technologie GPS s připojením na nejbližší body referenční GPS sítě DOPNUL. Výsledky těchto měření se archivují pro další souborné zpracování po ukončení projektu.

Měření GPS v rámci tohoto projektu byla prováděna rychlou statickou metodou (každý bod nejméně dvakrát), celkem bylo zaměřeno více než 37 000 zhušťovacích bodů s geocentrickými souřadnicemi v ETRF a se souřadnicemi v S-JTSK.

3.2.4 Zpřesnění S-JTSK (S-JTSK/YY)

Velká pozornost je v posledních letech věnována zpřesnění S-JTSK v návaznosti na ETRS. Ve fázi příprav je v současné době systém pracovním nazývaný S-JTSK/YY (YY bude dvojčíslí roku konečné realizace). Tento systém se stále průběžně zdokonaluje v závislosti na procesu zhušťování referenčního rámce ETRF. Definitivní verze by měla být hotova po dobudování podrobného rámce ETRF v ČR.

Prozatím pracovním nazývaný S-JTSK/95 vyhovuje třem základním požadavkům na moderní národní referenční systém uvedeným výše. Obsahuje geocentrické (geodetické či kartézské) souřadnice ETRF89, rovinné souřadnice Y, X v modifikovaném Křovákově zobrazení a nadmořské výšky v systému Bpv.

Křovákovo zobrazení je modifikováno přidáním dalšího členu do vztahu pro zkreslení, který zohledňuje deformace stávajícího systému S-JTSK. Vzájemný převod souřadnic je realizován exaktním matematickým vztahem.

V novém systému jsou odstraněny nehomogenity a lokální deformace S-JTSK a jeho přesnost je zvýšena na úroveň přesnosti realizace ETRF v ČR. Vzájemný převod souřadnic je realizován exaktním matematickým vztahem, který byl určen na základě identických bodů v systému S-42/83 a ETRF89 v síti DOPNUL. Pro převod výšek se v současnosti používá model kvazigeoidu CR2000 (VÚGTK, katedra vyšší geodézie FSv ČVUT, VA Brno, VTOPÚ Dobruška).

Nultá etapa realizace S-JTSK/YY

Je představována souřadnicovým systémem realizovaným cca 29 000 trigonometrických bodů s vlastnostmi shodnými s vlastnostmi systému S42/83. Body byly převedeny z ETRF89 do S-JTSK podobnostní Helmertovou transformací. K převodu výšek byl použit kvazigeoid řešení VÚGTK 94.

Následné etapy realizace S-JTSK/YY

Další realizací je přímé měření technologií GPS v rámci projektů „výběrová údržba“ (hustota asi 4 body na 1 triangulační list) a „zhušťování“. Jak již bylo řečeno, souřadnice těchto bodů jsou převáděny do S-JTSK a jednotlivé měřené vektory jsou uchovávány v databázové formě pro další možné zpřesnění S-JTSK/95.

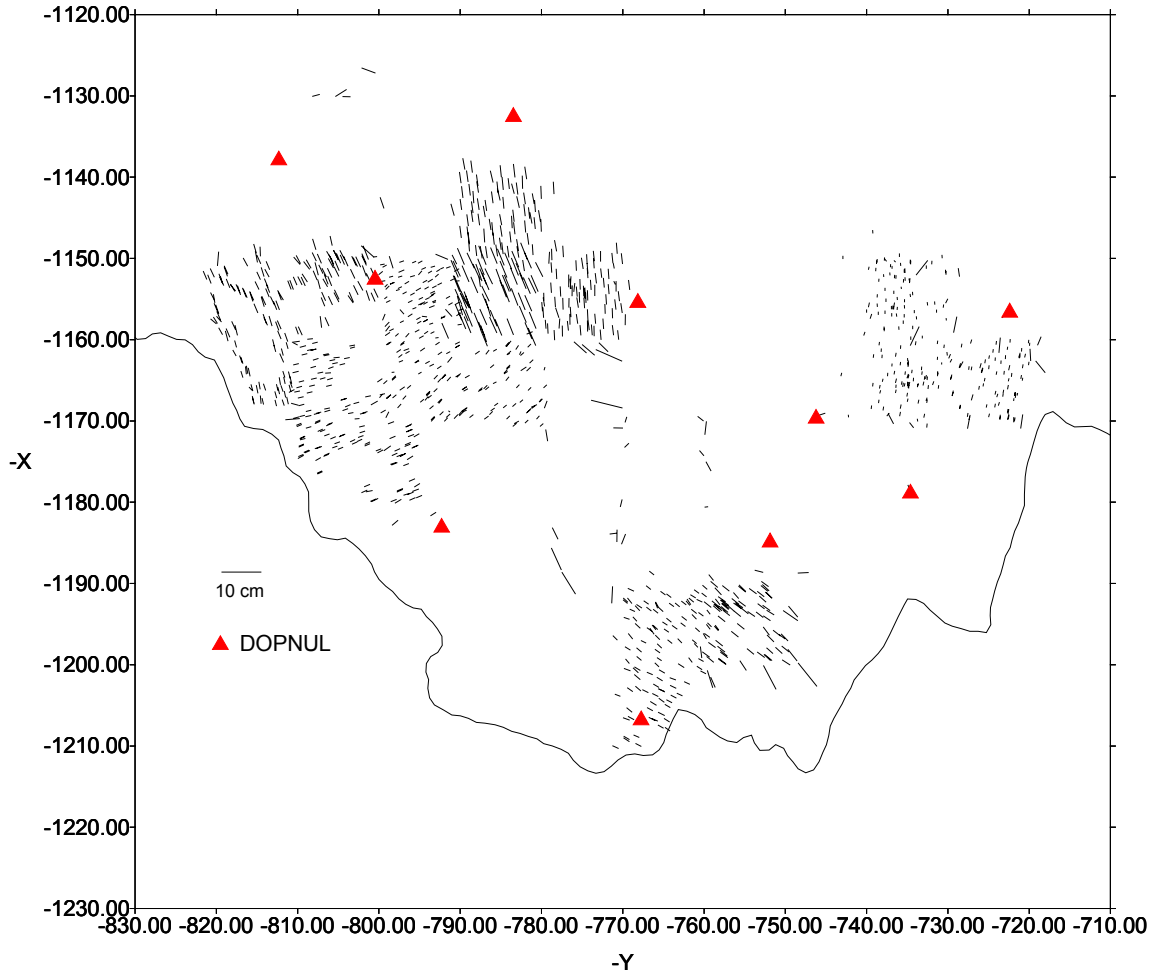
Zpřesnění současné realizace

Zpřesnění realizace S-JTSK/95 předpokládá zachování stávající posloupnosti budování systému a využití všech měřených dat. Prvořadým úkolem je zpřesnění souřadnic bodů referenční sítě DOPNUL, které by se mělo provést na základě nového měření technologií GPS v rámci kampaně, ve které budou pro navázání do evropského rámce v široké míře využita pozorování stanic Evropské permanentní sítě (EUREF-EPN) a české sítě permanentních stanic CZEPOS. Při organizaci bude přihlédnuto ke směrnícím doporučeným EUREF.

Dále by se měla využít měření uskutečněná v rámci kampaně ZÚ „výběrová údržba“. Předpokládá se nové vyrovnání archivovaných vektorů a poté nové vyrovnání zhušťovacích bodů, které bude provedeno opět pomocí archivovaných vektorů z databáze GPS měření. Tak bude možno určit pole deformací S-JTSK vůči finální realizaci S-JTSK/YY.

Popsaný postup byl testován pomocí dat poskytnutých KÚ v Českých Budějovicích (podrobněji popsáno v [4]). Na obr. 9 jsou znázorněny rozdíly souřadnic v S-JTSK/95 mezi „globálním“ a „lokálním“ vyrovnáním. Střední kvadratická hodnota rozdílů (polohových odchylek) dosahuje hodnoty 22 mm. Při porovnání směrů jednotlivých odchylek je z obrázku patrné, že „lokální“ geocentrické souřadnice jsou zatíženy systematickými chybami. Tento nedostatek by měl být odstraněn právě vyrovnáním celé sítě minimálně v rozsahu území zaměřeném jedním KÚ.

KÚ v Českých Budějovicích
 rozdíly souřadnic v S-JTSK/95 mezi "globálním" a
 "lokálním" vyrovnáním.
 Střední kvadratická hodnota polohové odchylky je 2.2 cm



I přes snahu velmi kvalitně přeměřit síť DOPNUL se nepředpokládá, že by
 tato síť měla být používána pro ge
 Obrázek 6
 obr. 9 - [4]

3.3 Prostorové geodetické základy „nové generace“

Geodetické základy nové generace mají umožnit co největšímu počtu uživatelů autonomní určení polohy na nejrůznějších úrovních přesnosti v široké škále časové dostupnosti. Tento typ geodetických základů je založen na permanentních sítích aktivních stanic GNSS, které provádějí kontinuální pozorování navigačních družic systému GNSS (GPS, GLONASS, v budoucnu i GALILEO), na zpracování těchto pozorování a na distribuci observovaných dat a produktů uživatelům.

Základ těchto permanentních sítí tvoří sítě permanentních stanic spoludefinujících a udržujících referenční rámec. Takovou definiční síť je v Evropě permanentní síť EUREF (EPN), v regionálním rozsahu připravovaná síť EUPOS a v ČR právě dokončený projekt CZEPOS (celoplošná permanentní síť stanic GPS), který Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK) začal budovat na území České republiky v roce 2004.

Koncepce rozvoje geodetických základů v České republice předpokládá realizaci polohového souřadnicového systému pomocí:

1. sítě permanentních stanic družicové technologie (síť CZEPOS);
2. řídké sítě trigonometrických bodů (produkt výběrové služby ZÚ);
3. sítě zhušťovacích bodů (produkt projektu zhušťování prováděný KÚ).

Síť permanentních stanic CZEPOS je nejdůležitější částí systému, protože v budoucnu zajistí realizaci a konzervaci souřadnicového systému (S-JTSK/YY). Předpokládá se totiž, že vzhledem k nové koncepci údržby bodů České státní trigonometrické sítě časem dojde k úbytku trvale stabilizovaných bodů.

4. Česká síť permanentních stanic pro určování polohy - CZEPOS

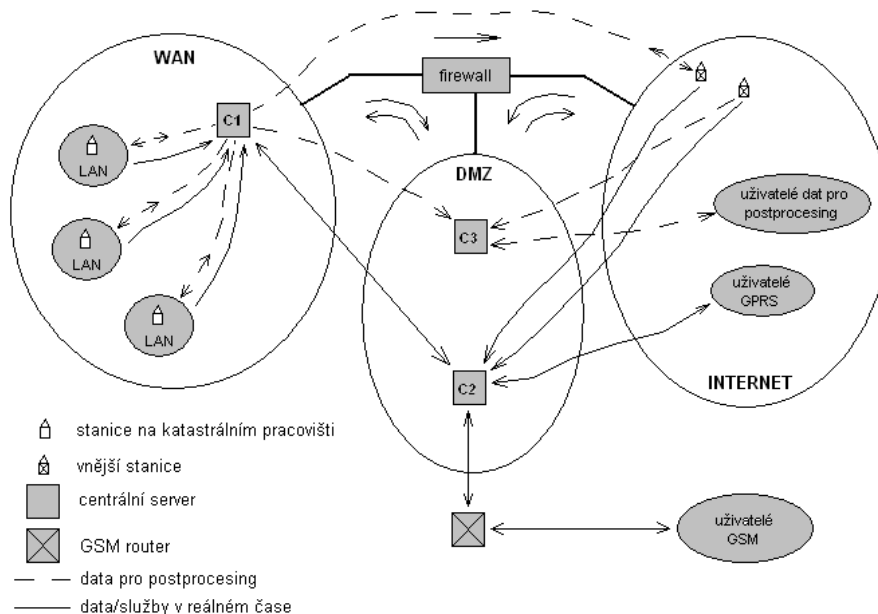
4.1 Vznik a definice sítě

Historie budování sítě permanentních stanic pro účely resortu zeměměřictví je v ČR poměrně krátká. První studie týkající se této sítě byly vypracovány pracovníky Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického (VÚGTK) kolem roku 2000. Příprava projektu sítě DGPS byla Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) zadána v roce 2003. Vlastní realizace byla zahájena v druhé polovině roku 2004 a prováděl ji budoucí provozovatel sítě – Zeměměřický úřad (ZÚ) ve spolupráci s VÚGTK.

Síť CZEPOS umožňuje uživateli zpřesnění určování polohy při používání GNSS na území České republiky. Děje se tak pomocí sítě permanentních stanic, na kterých jsou kontinuálně prováděna měření signálů navigačních systémů GNSS. Naměřená a odvozená data (korekce) jsou distribuována uživatelům. Současně síť zprostředkovává služby pro zpřesnění polohy určené aparaturou uživatele.

V současné době síť podporuje GPS NAVSTAR. S podporou dalších GNSS (GLONASS a GALILEO) se počítá do budoucna.

stanic je umístěno na Geodetické observatoři Pecný VÚGTK. Spojení mezi vnějšími stanicemi a centrálními servery je realizováno přes internet a operační centrum (obr. 11).



obr. 11 – Rozmístění komponent CZEPOS a komunikace v počítačové síti – [4]

Stanice jsou vybaveny dvoufrekvenčními aparaturami Leica GRX 1200 Pro a Choke Ring anténami Leica AT504 s ochranným krytem potlačujícím negativní vliv vícecestného šíření signálu. Externí stanice jsou vybaveny také dvoufrekvenčními aparaturami a Choke Ring anténami různých výrobců (Ashtech, Leica, Topcon). Všechny stanice zajišťují nepřetržitý sběr dat s intervalem záznamu 1 sekunda při elevační masce 5°. Sbíraná data jsou registrována a distribuována na centrální servery v řídicím centru sítě CZEPOS.

4.3 Poskytovaná data a služby

Všechny služby sítě CZEPOS jsou poskytovány po internetu přes stránky <http://czepos.cuzk.cz>. Služby pro aplikace v reálném čase jsou poskytovány mobilním internetovým připojením GPRS přes síťový protokol NTRIP.

Služby podporující aplikace v reálném čase

- ✓ služba **DGPS** (diferenční GPS) – korekce poskytované ve formátu RTCM 2.1 z jednotlivých stanic CZEPOS;
- ✓ služba **RTK** (kinematika v reálném čase) – korekce poskytované ve formátu RTCM 2.3 z jednotlivých stanic CZEPOS; tato aplikace nevyžaduje korektní stav síťového řešení a uživateli nahrazuje jeho vlastní základnovou stanici umístěnou na bodě o známých souřadnicích v ETRS-89;
- ✓ služba **RTK-PRS** – korekce vypočtené na základě síťového řešení a poskytované ve formátu RTCM 2.3 z tzv. pseudoreferenční virtuální stanice umístěné cca 5 km od stanoviště uživatele směrem k nejbližší referenční stanici;
- ✓ služba **RTK-FKP** – korekce poskytované ve formátu RTCM 2.3 z nejbližší referenční stanice doplněné o plošné parametry vypočtené na základě síťového řešení (metodou FKP - Flächenkorrekturparameter).

Produkty pro zpracování po skončení měření (postprocessing):

- ✓ data ve formátu RINEX z jednotlivých permanentních stanic sítě,
- ✓ data ve formátu RINEX z virtuální permanentní stanice, jejíž polohu definoval uživatel (musí být umístěna v oblasti, kterou síť CZEPOS svým rozsahem pokrývá).

4.4 Účel a využití sítě

Využití sítě

- ✓ jako provozní síť pro konzervaci a rekonstrukci souřadnicového systému a pro určování souřadnic statickou metodou v režimu postprocessingu;
- ✓ pro poskytování korekcí RTCM a pro RTK (aplikace technologie DGPS, cm měření v reálném čase), bude umožněna případná spoluúčast projektu EUPOS (*European Positioning System*) nebo byS@T;
- ✓ jako vědecká síť pro účely GPS meteorologie a případných dalších vědeckých projektů.

Přínosy sítě pro její uživatele

- ✓ zvýšení přesnosti určení polohy kombinací dat z přijímače uživatele s daty z kombinace permanentních stanic, jejichž poloha je známá; nezávislost na vzdálenosti od referenční stanice;
- ✓ snížení nákladů uživatelů při používání GNSS v geodetických aplikacích: není nutné měřit dvěma přístroji zároveň (referenční stanice); není nutné vyhledávat body o známých souřadnicích pro připojení; zkrácení doby observace při použití RTK;
- ✓ zavedení jednotného referenčního rámce souřadnic.

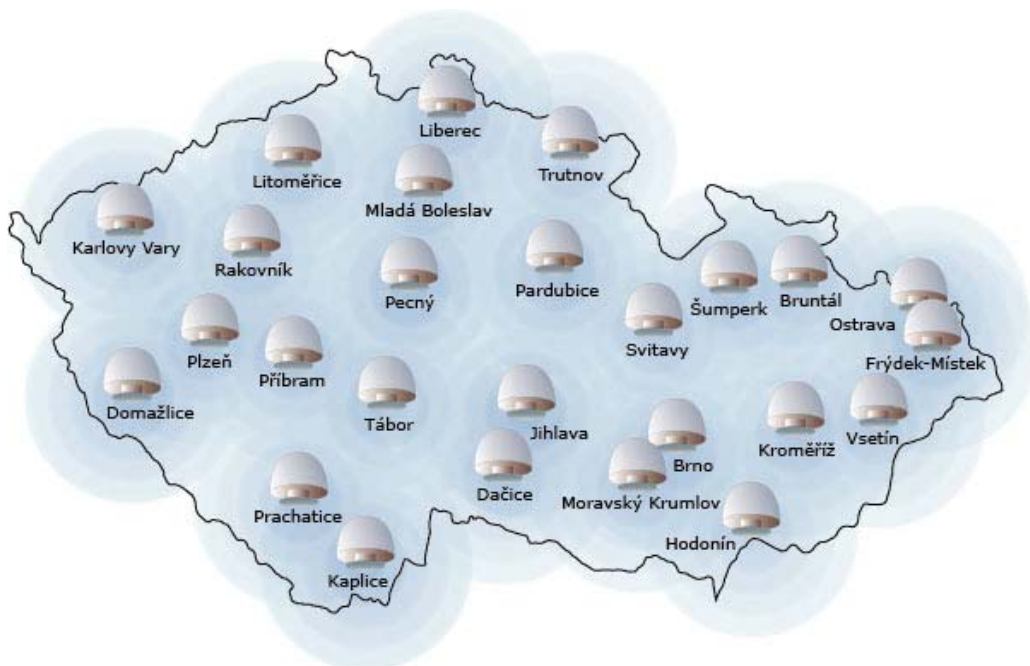
Oblasti využití

Využití sítě se předpokládá ve všech oblastech, kde je požadována přesnější informace o poloze, než jakou umožňuje navigační určení polohy pomocí GNSS.

Obecně lze jmenovat tyto oblasti:

- ✓ zeměměřictví (geodézie, fotogrammetrie, mapování, katastr nemovitostí, měření a vytyčování hranic);
- ✓ doprava (sledovací systémy, navigace letecké a automobilové dopravy);
- ✓ zemědělství a lesnictví (mobilní mapování, GIS, podklady pro analýzy);
- ✓ státní správa (aplikace GIS, monitorovací a vyhledávací systémy);
- ✓ stavebnictví (vytyčování, monitorování deformací);
- ✓ hydrologie (hydrografické mapování, monitorování jevů);
- ✓ energetika (zaměřování a monitorování energovodných sítí);
- ✓ meteorologie a klimatologie (data pro numerickou předpověď počasí);
- ✓ ochrana životního prostředí (monitorování jevů, GIS);
- ✓ zdravotnictví (navigační podpora záchranné služby);
- ✓ kultura (zaměřování památek);
- ✓ věda a výzkum, aplikovaný výzkum (geodézie a mezinárodní vědecké služby, geodynamika, geofyzika, meteorologie).

5. Ověření funkce a kvality produktů a služeb poskytovaných CZEPOS



obr. 12 – Rozmístění stanic CZEPOS - [27]

Budování České sítě permanentních stanic pro určování polohy (CZEPOS) bylo již ukončeno. Produkty a služby CZEPOS jsou zpřístupněny uživatelům, a proto bylo třeba ověřit jejich funkčnost a kvalitu. Toto ověření zajistil ZÚ společně s OKO KÚ, které jsou vybaveny potřebnou technikou.

Ověření kvality bylo založeno na provedení běžného měření danou technologií a běžným vybavením na více bodech, u kterých jsou známy oficiální (zadané) souřadnice. Kvalita byla posouzena ze statistického vyhodnocení rozdílů souřadnic zadaných a určených z běžného měření danou technologií. Kvalita produktu resp. služby může být ovlivněna více faktory. Bylo rozhodnuto sledovat zejména vztah mezi kvalitou a

- polohou určovaného bodu vůči síti permanentních stanic (uvnitř, na okraji, vně),
- příjmovými podmínkami (PDOP, počet družic),
- dobou měření (počtem odečtů při observaci).

Porovnání souřadnic bylo provedeno v referenčním systému ETRS89 (převod do souřadnicového systému S-JTSK nebyl prováděn).

5.1 Postup práce

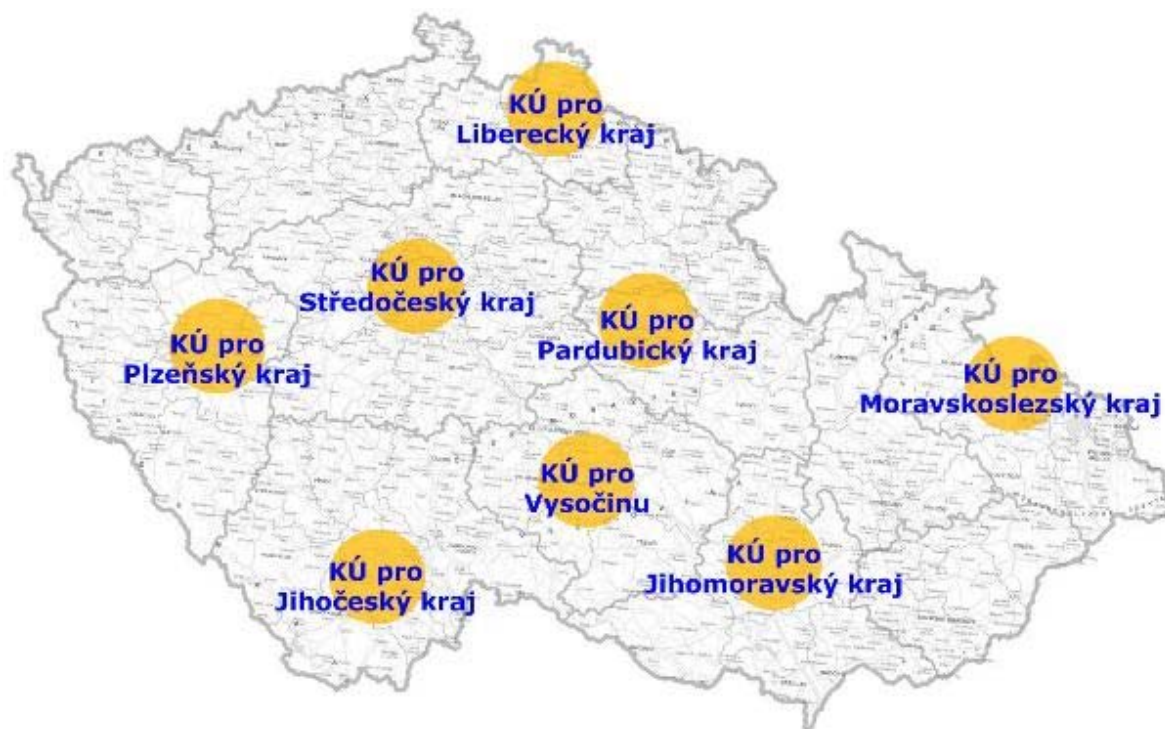
Protože byly měřické i výpočetní práce prováděny osmi různými subjekty, byla vypracována ve spolupráci VÚGTK, ZÚ a ČUZK závazná technologie měření [11] a zpracování.

5.1.1 Volba testovaných bodů

Pro ověření kvality je třeba mít množinu vhodně rozmístěných bodů se známými souřadnicemi v ETRS89. Celkový počet přibližně 150 bodů byl zvolen vzhledem k ekonomice měření tak, aby byl závěr testu dostatečně statisticky podložen.

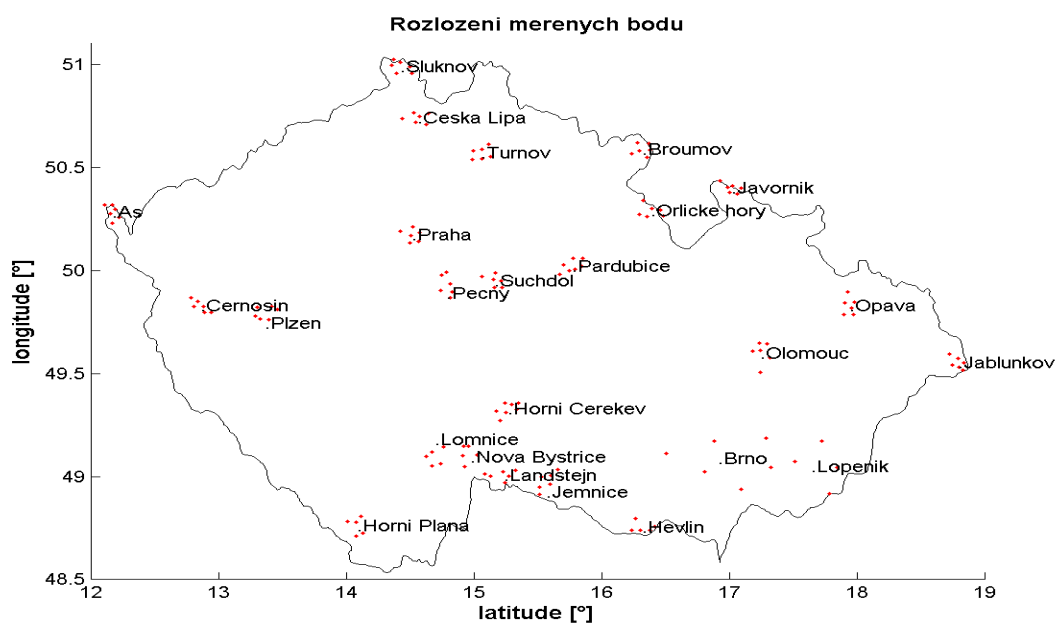
Množina bodů se zadanými souřadnicemi je tvořena body s platnými souřadnicemi v ETRS89 (tj. trigonometrickými body zahrnutými do programu výběrové údržby nebo sítě DOPNUL). Body byly vybrány s ohledem na kvalitu (stav) povrchové stabilizace a na co nejmenší zákryty ve svém bezprostředním okolí. Body by měly v lokalitě vytvářet co nejtěsnější shluk.

Jednotlivé KÚ, které se projektu zúčastnily (obr. 13), provedly měřické práce nejméně ve třech lokalitách v rámci území své působnosti (eventuelně i v působnosti sousedního KÚ, který se projektu neúčastnil pro nedostatek měřických aparatur). Každá lokalita obsahuje 5 až 6 bodů. Konkrétní volba lokality byla ponechána na rozhodnutí každého KÚ s tím, že jedna lokalita měla být zvolena „uvnitř“ sítě (zcela obklopena referenčními stanicemi) a dvě lokality v příhraničních oblastech ČR na „okraji“ sítě (částečně obklopeny referenčními stanicemi; to se samozřejmě netýkalo KÚ pro Středočeský kraj). Tam kde to bylo možné měla být zvolena jedna z těchto dvou lokalit tak, aby byla obklopena referenčními stanicemi pouze jednostranně, tzn. vně spojnice okrajových referenčních stanic (např. Ašský, Šluknovský, Frýdlantský a Broumovský výběžek, Orlické hory, Jesenicko, Osoblažsko, Jablunkov, Podyjí, Železnorudsko apod.)



obr. 13 – Katastrální úřady, které se podílely na testování – [27]

Celkem bylo zaměřeno 147 bodů a pro zpracování bylo získáno 3467 měření. Měřené body jsou zobrazeny na obr. 14.



obr. 14

5.1.2 Postup měřických prací

Na každém bodě byla provedena dvojí nezávislá observace, která byla (pro dostatečnou změnu konfigurace družic) vzájemně odlehlá v čase o interval $\langle 3 \text{ hod} + k \cdot 24 \text{ hod} ; 21 \text{ hod} + k \cdot 24 \text{ hod} \rangle$, kde k je nezáporné celé číslo. Jedná se o 24 hodin siderického času, kdy je den o 4,5 minuty kratší než den kalendářní.

Při každé observaci byla získána data, resp. souřadnice pomocí všech šesti ověřovaných technologií. Na počátku byl proveden sběr dat pro rychlou statickou metodu po dobu 20 minut. Poté bylo provedeno určení polohy DGPS a pomocí všech metod RTK (RTK-PRS, RTK-FKP, RTK k nejbližší permanentní stanici) s délkou měření 60s, 40s a 20s (odečtů).

Během měření se do jednotného zápisníku zaznamenávaly veškeré sledované a zjištěné hodnoty včetně:

- ✓ data a času zahájení a ukončení jednotlivých měření,
- ✓ zakrytí oblohy na bodě,
- ✓ počtu družic,
- ✓ PDOP, HDOP a VDOP (všechny tři, pokud jsou k dispozici, jinak pouze ty, které jsou k dispozici),
- ✓ výšky antény a „typ“ výšky, tj. místo, kam byla výška antény měřena.

Vyplněné zápisníky sloužily pro posouzení kvality při nejasnostech při zpracování a k identifikaci případných chyb.

Parametry měření byly nastaveny na standardní (v běžné praxi nejčastěji používané) hodnoty. Pro postprocessing elevační maska 15° , krok 5 vteřin. Pro RTK elevační maska 15° , krok 1 vteřina.

Měření v reálném čase byla provedena při použití mobilního spojení přes GPRS a na části bodů mělo být využito také spojení přes GSM.

Data pro postprocessing byla následně zpracována ve dvou variantách vstupních dat:

- a) při použití dat z nejbližší permanentní stanice,
- b) při použití dat z virtuální stanice (virtuální RINEX), která byla vložena do těžiště měřené lokality. Souřadnice virtuální stanice byly pro generování dat virtuálního RINEXu zadány na celé vteřiny (zeměpisná šířka a délka) a celé desítky metrů (výška).

Dále měly být zpracovány dvě varianty podle délky intervalu měření (obě řešeny rychlou statickou metodou):

- a) délka měření 5 minut,
- b) délka měření 15-20 minut (dle počtu satelitů zahrnutých v observaci).

Pokud řešení ad a) nevedlo u delších vektorů k vyřešení ambiguit, bylo z dalšího zpracování vypuštěno.

Zpracování dat pro postprocessing bylo provedeno jednotlivými zpracovateli v software TTC od firmy Trimble podle jednotného postupu vypracovaného ing. Pavlem Tarabou.

5.1.3 Číslování bodů

Číslování bodů bylo stanoveno tak, aby nedošlo k nežádoucímu spojení jednotlivých měření a aby bylo možné každé měření vyhodnotit jako samostatný výsledek tak, aby z čísla bodu bylo možné odvodit použitý bod, pořadí observace a typ měření nebo zpracování vektoru, a aby bylo možné získaná data jednoduše statisticky třídit.

Číslo bodu bylo stanoveno jako 10ti ciferné číslo, kde prvních 8 pozic bylo určeno pro vlastní číslo bodu zapsané tak, jak je uvedeno v databázi trigonometrických bodů DATAZ. 9. pozice byla určena pro pořadové číslo observace a 10. pozice byla určena pro typ měření nebo zpracování vektoru.

Příklad pro první observaci provedenou na bodě síť Dopnul 15120171 (Veliš – ZB1, tedy přidružený bod č.17.1 z TL 1512)

1512017110	číslo pro statickou metodu,
151201711A	číslo pro DGPS 60s,
151201711B	číslo pro DGPS 40s,
151201711C	číslo pro DGPS 20s,
151201711D	číslo pro RTK-PRS 60s,
151201711E	číslo pro RTK-PRS 40s,
151201711F	číslo pro RTK-PRS 20s,
151201711G	číslo pro RTK-FKP 60s,
151201711H	číslo pro RTK-FKP 40s,
151201711I	číslo pro RTK-FKP 20s,
151201711J	číslo pro RTK 60s,
151201711K	číslo pro RTK 40s,
151201711L	číslo pro RTK 20s.

5.2 Statistické zpracování

Vstupními daty pro statistické zpracování byly zadané souřadnice a údaje ze zápisníků. Ze zápisníků byly k výpočtům použity souřadnice přímo určené při RTK (respektive diferenčním GPS), počty pozorovaných družic během měření a hodnoty PDOP. Výsledky ze zpracování dat postprocessingem nebyly bohužel v době psaní této práce kvůli problémům se softwarem ještě k dispozici.

Souřadnice byly převedeny ze stupňové míry na metrickou pomocí středního poloměru křivosti Besselovy koule pro ČR ($R_m \cong 6\,380\,704\text{ m}$).

Výpočet byl prováděn nejprve najednou pro celou Českou republiku, poté pro jednotlivé lokality, vždy pro každou metodu (A – L) a každou souřadnici zvlášť.

Nejdříve byly porovnány souřadnice ve dvojici měření a z nich byla vypočtena střední chyba rozdílu měření a střední empirická chyba jednoho měření ve dvojici. Tato chyba vypovídá o vnitřní přesnosti měření, jsou zde vyloučeny některé systematické vlivy (hlavně přesnost souřadnic daných bodů v ETRS89).

Z výpočtu byly vyloučeny dvojice měření, jejichž rozdíly byly odlehlé, tedy s 99% pravděpodobností nepatřily do základního souboru.⁵

Dále bylo provedeno porovnání změřených souřadnic se souřadnicemi danými (v ETRS89). Z jejich rozdílu byla vypočtena empirická střední chyba, která zahrnuje i systematické vlivy (zejména přesnost daných bodů v ETRS89).

Testování odlehlých měření bylo provedeno stejným způsobem jako v případě dvojic měření.

Pro zjištění vlivu polohy určovaného bodu vůči síti permanentních stanic (uvnitř, na okraji, vně) byly porovnány střední chyby jednotlivých lokalit se středními chybami vypočtenými pro celou ČR.

⁵ V geodézii je nejčastěji volen 95% interval spolehlivosti. V tomto případě byla zvolena 99% pravděpodobnost z důvodu různorodosti dat (do výpočtu zahrnuta celá ČR – lokality vně i uvnitř sítě permanentních stanic).

Dále byla zjišťována závislost přesnosti (vodorovná vzdálenost a rozdíl výšek daných a měřených souřadnic) na příjmových podmínkách (PDOP, počet družic) a to testováním nulovosti korelačního koeficientu. Pro názornost bylo využito k těmto testům i grafů (v případě testu vlivu na výšky byly do grafu pro lepší přehlednost vynášeny absolutní hodnoty rozdílů výšek).

5.2.1 Přehled použitých vzorců

1. Porovnání dvojic měření

- výpočet rozdílů dvojic měření:

$$d_i = l_{2i} - l_{1i}.$$

- střední chyba rozdílu:

$$m_d = \sqrt{\frac{[dd]}{n}}, \text{ kde } n \text{ je počet dvojic.}$$

- střední empirická chyba jednoho měření ve dvojici:

$$m_l = \frac{m_d}{\sqrt{2}}.$$

2. Porovnání měřených souřadnic bodů se souřadnicemi danými

- výpočet rozdílů měřených (l) a daných (x) souřadnic:

$$r_i = x_i - l_i.$$

- výpočet střední empirické chyby:

$$m_r = \sqrt{\frac{[rr]}{n}}, \text{ kde } n \text{ je počet měření.}$$

3. Střední souřadnicová chyba

$$m_{xy} = \sqrt{\frac{m_x^2 + m_y^2}{2}}$$

4. Posouzení vlivu polohy určovaného bodu vůči síti permanentních stanic:

➤ testovací kritérium: $F = \frac{m_1^2}{m_2^2}$,

kteřé má Fischerovo rozdělení s n_1 a n_2 stupni volnosti;

kde m_1 je střední chyba rozdílu dvojice měření vypočtená pro danou metodu a lokalitu (z n_1 měření),

m_2 je střední chyba rozdílu dvojice měření vypočtená pro danou metodu a celou ČR (z n_2 měření).⁶

- provádíme oboustranný test na hladině významnosti 95% ($\alpha = 5\%$)
- nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů dvou základních souborů, kterým odpovídají posuzované výběrové středních chyby zamítáme, pokud hodnota F překročí kritickou hodnotu $F_{\alpha/2}$ (v tabulkách).

5. Závislost přesnosti na počtu odečtů při observaci:

- testujeme hypotézu o rovnosti rozptylů dvou základních souborů, kterým odpovídají výběrové středních chyby souřadnic získané při různých počtech odečtů při observaci. Test provádíme opět porovnáním středních chyb pomocí testovacího kritéria F na hladině významnosti 95%.

6. Závislost přesnosti na příjmových podmínkách:

- výpočet korelačního koeficientu:

$$r = \frac{[x'y']}{\sqrt{[x'x'] [y'y']}} , \text{ kde}$$

x' jsou vzdálenosti/rozdíly výšek mezi danými

a měřeními souřadnicemi

y' jsou hodnoty PDOP/ počty družic

⁶ V případě, že $m_1 > m_2$. Jinak se střední chyby vymění.

➤ testování nulovosti korelačního koeficientu:

- testovací kritérium: $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$, které má Studentovo rozdělení s $n' = n - 2$ stupni volnosti
- provádíme oboustranný test na hladině významnosti 95% ($\alpha = 5\%$)
- nulovou hypotézu o existenci korelačního koeficientu $\rho = 0$ v základním souboru zamítáme pokud hodnota t překročí kritickou hodnotu $t_{\alpha/2}$ (pro dané α a n' najdeme v tabulkách)

Pozn.:

E ... směr východ – západ

N ... směr sever – jih

H ... směr nahoru (výška)

5.3 Výsledky testu

5.3.1 Výsledky pro celou Českou republiku

Dvojice měření:

Met.	m_dE [m]	m_dN [m]	m_dH [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m_{xy} [m]	počet dvojic
A	0.190	0.297	0.623	0.134	0.210	0.441	0.176	129
B	0.215	0.302	0.590	0.152	0.214	0.417	0.185	133
C	0.216	0.301	0.613	0.153	0.213	0.434	0.185	134
D	0.013	0.015	0.042	0.009	0.011	0.030	0.010	131
E	0.013	0.014	0.042	0.009	0.010	0.030	0.010	128
F	0.014	0.014	0.042	0.010	0.010	0.029	0.010	127
G	0.014	0.015	0.044	0.010	0.011	0.031	0.010	136
H	0.013	0.015	0.044	0.009	0.011	0.031	0.010	136
I	0.013	0.016	0.044	0.009	0.011	0.031	0.010	135
J	0.012	0.018	0.044	0.009	0.013	0.031	0.011	140
K	0.013	0.017	0.046	0.009	0.012	0.032	0.011	141
L	0.014	0.017	0.044	0.010	0.012	0.031	0.011	141

Při porovnání závislosti přesnosti na počtu odečtů nebyly překročeny kritické hodnoty, a proto ani v jednom případě nezamítáme nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů dvou základních souborů, kterým odpovídají výběrové střední chyby měření danou metodou při různém počtu odečtů.

Výsledné hodnoty středních chyb dvojice měření pro jednotlivé metody:

Met.	m_dE [m]	m_dN [m]	m_dH [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m_{xy} [m]	Počet dvojic
DGPS	0.208	0.300	0.609	0.147	0.212	0.431	0.182	396
RTK - PRS	0.013	0.014	0.042	0.009	0.010	0.030	0.010	386
RTK - FKP	0.013	0.015	0.044	0.009	0.011	0.031	0.010	407
RTK	0.013	0.017	0.045	0.009	0.012	0.032	0.011	422

Porovnání s etalonem:

Met.	m_rE [m]	m_rN [m]	m_rH [m]	m_{xy} [m]	počet měření
A	0.192	0.261	0.448	0.229	259
B	0.185	0.264	0.460	0.228	263
C	0.183	0.257	0.447	0.223	260
D	0.014	0.013	0.044	0.013	271
E	0.014	0.012	0.044	0.013	271
F	0.014	0.012	0.043	0.013	269
G	0.013	0.013	0.044	0.013	271
H	0.013	0.013	0.042	0.013	261
I	0.013	0.013	0.043	0.013	262
J	0.014	0.013	0.044	0.013	270
K	0.014	0.013	0.045	0.013	273
L	0.014	0.014	0.045	0.014	274

Při porovnání závislosti přesnosti na počtu odečtů nebyly překročeny kritické hodnoty, a proto ani v jednom případě nezamítáme nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů dvou základních souborů, kterým odpovídají výběrové střední chyby měření danou metodou při různém počtu odečtů.

Výsledné hodnoty středních chyb z porovnání s etalonem pro jednotlivé metody:

Met.	m_rE [m]	m_rN [m]	m_rH [m]	m_{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.187	0.260	0.452	0.227	782
RTK - PRS	0.014	0.012	0.044	0.013	811
RTK - FKP	0.013	0.013	0.043	0.013	794
RTK	0.014	0.013	0.045	0.014	817

5.3.2 Výsledky pro jednotlivé lokality

Výsledné hodnoty středních chyb pro jednotlivé lokality jsou uvedeny v Příloze 1.

Posouzení vlivu polohy určovaného bodu vůči síti permanentních stanic:

Vliv polohy určovaného bodu byl posuzován pomocí testu rovnosti základních středních chyb, kterým odpovídají výběrové střední chyby pro danou lokalitu a pro celou republiku. Porovnávány byly střední chyby dvojice měření, aby výsledek testu nebyl ovlivněn přesností podkladu (daných souřadnic bodů v ETRS89).

V tabulce jsou uvedeny výsledky testu.

Vysvětlivky k tabulce:

0 ... nebyla překročena kritická hodnota, a proto nezamítáme nulovou hypotézu o rovnosti dvou rozptylů;

+ ... byla překročena kritická hodnota, rozdíl rozptylů pokládáme za statisticky významný a s 5% rizikem zamítáme nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů dvou základních souborů; hodnota výběrové střední chyby v dané lokalitě je menší než hodnota výběrové střední chyby pro celou ČR;

- ... byla překročena kritická hodnota, rozdíl rozptylů pokládáme za statisticky významný a s 5% rizikem zamítáme nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů dvou základních souborů; hodnota výběrové střední chyby v dané lokalitě je větší než hodnota výběrové střední chyby pro celou ČR;

n_v ... počet vyloučených měření.

lokality	DGPS				RTK-PRS				RTK-FKP				RTK			
	E	N	H	n _v	E	N	H	n _v	E	N	H	v	E	N	H	n _v
Aš	0	0	0	0	0	0	-	9	-	-	-	5	0	0	0	1
Brno	0	+	0	3	0	+	+	5	0	0	0	3	0	0	0	1
Broumov	0	0	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Černošín	0	0	0	0	-	0	0	6	0	0	0	0	0	+	+	0
Česká Lípa	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-	0
Hor. Cerekev	+	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Hevlín	0	0	0	0	0	+	0	6	0	+	0	0	0	0	+	0
Hor. Planá	0	0	-	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0
Jablunkov	0	+	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Javorník	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jemnice	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	6	0	+	0	0
Landštejn	+	0	0	0	+	0	+	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Lomnice	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lopeník	0	0	+	0	+	0	-	4	0	0	0	1	0	0	0	1
Nová Bystřice	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Olomouc	0	-	0	3	-	0	0	3	0	0	0	0	0	-	0	0
Opava	0	0	+	0	+	0	0	2	+	+	0	3	+	0	0	0
Orlické hory	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1
Pardubice	0	+	+	0	0	0	+	0	-	0	0	0	0	0	+	0
Pecný	-	+	-	15	0	0	+	0	0	+	+	0	+	0	0	0
Plzeň	+	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0
Praha	-	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0
Šluknov	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	0	0	+	0
Suchdol	-	0	-	6	0	-	0	0	0	0	0	1	0	0	-	1
Turnov	+	0	0	0	+	0	+	3	+	+	0	0	0	0	0	0

Všimneme-li si počtu vyloučených měření u jednotlivých metod je zde vidět, že nejméně vyloučených měření je u prosté metody RTK. Větší množství vyloučených měření RTK - PRS a RTK – FKP je v některých případech způsobeno chybami systému (nefungovalo síťové řešení) v době měření (RTK - PRS lokality Černošín, Hevlín, Opava; RTK – FKP lokalita Jemnice).

Nejvíce vyloučených měření se vyskytuje u metody DGPS, hlavně ve středních Čechách (Pecný, Suchdol, Praha). Odlehlost zde byla hlavně v souřadnici ve směru východ - západ (E). V případě Pecného, Brna a Jemnice byla vyloučena vždy 3 měření (A, B, C) hrubě odlehlá ve výšce (až 5 m). Všechna tato měření byla prováděna zhruba ve stejnou dobu. Příčinou hrubých chyb tady proto může být nevhodná konfigurace družic. (Na Pecném tomu odpovídá i vysoká hodnota PDOP u těchto měření.)

Možný vliv umístění bodu v síti je patrný u lokality Aš, která leží celá mimo síť CZEPOS. V případě DGPS a RTK se vliv neprojevil, ale, jak je vidět z výsledků (včetně počtu odlehlých měření), metody síťových řešení jsou zde méně spolehlivé než ve zbytku zkoumaných lokalit.

Naproti tomu v jiných lokalitách vně sítě CZEPOS jako je Javorník nebo Šluknov bylo měření v některých souřadnicích a metodách dokonce přesnější než v celku (ČR) a žádné z měření nebylo třeba vyloučit.

Česká Lípa a Orlické hory, které leží na okrajích sítě CZEPOS a ve větších vzdálenostech od permanentních stanic mají u některých metod větší střední chyby než celek. V případě České Lípy jsou to méně přesné výšky u všech metod RTK, v Orlických horách je nižší přesnost ve směru východ – západ (E) u DGPS a ve výšce u RTK.

Lokality Olomouc a Suchdol, které sice nejsou vně sítě, ale leží ve větších vzdálenostech od permanentních stanic, vykazují mírně vyšší střední chyby. Ovšem pouze v některých souřadnicích a u různých metod.

Kromě již zmiňovaných lokalit Javorník a Šluknov byly pěkné výsledky (tzn. odpovídající nebo vyšší přesnost než celá ČR a minimum vyloučených měření) dosaženy v lokalitách Broumov, Horní Cerekev, Jablunkov, Jemnice, Lomnice, Nová Bystřice, Opava a Plzeň, které leží většinou blíže permanentním stanicím.

Závislost přesnosti na příjmových podmínkách

Pro názornost byly k jednotlivým posuzovaným závislostem nakresleny grafy, které jsou uvedeny v Příloze 2.

V testu nulovosti korelačního koeficientu byla prokázána mírná lineární závislost vzdálenosti i rozdílu výšek souřadnic daných a měřených metodou DGPS na hodnotách PDOP. Tato závislost je charakterizována korelačním koeficientem 0,26 (pro vzdálenost) a 0,27 (pro rozdíl výšek).

Z grafů je patrné, že při hodnotách PDOP 6 a vyšších je vzdálenost i rozdíl výšek měřených a daných souřadnic vždy vyšší než 0,5 m.

Vliv hodnoty PDOP na přesnost měření metodami RTK se v testu korelačního koeficientu neprojevil a není příliš patrný ani z grafu. Extrémní hodnoty rozdílů se projevují i při příznivých hodnotách PDOP.

Dále se projevila slabá lineární závislost vzdálenosti daných a měřených souřadnic na počtu satelitů při měření a to u metody:

- DGPS - korelační koeficient: -0,16
- RTK - PRS – korelační koeficient: -0,10
- RTK - FKP - korelační koeficient: -0,11.

V grafech zobrazujících závislost přesnosti na počtu družic při měření u metod DGPS, RTK-PRS, RTK-FKP je patrné snižování hodnot vzdáleností a absolutních rozdílů výšek s rostoucím počtem družic.

Jiné lineární závislosti prokázány nebyly. Ostatní testy na nulovost korelačního koeficientu nevyvrátily nulovou hypotézu.

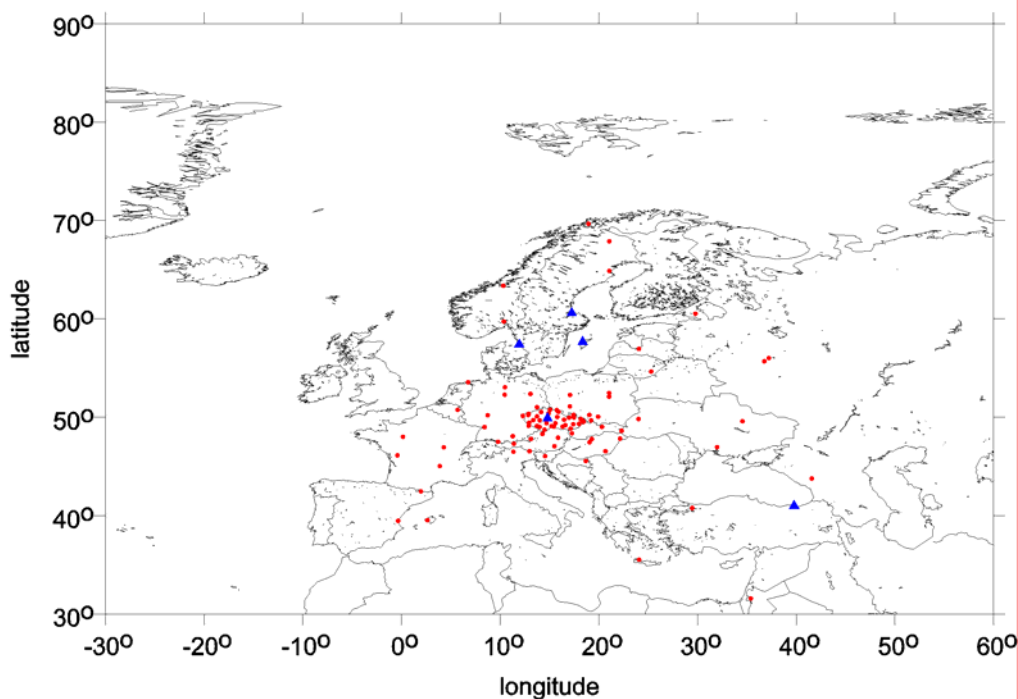
Nebyla však zkoumána nelineární závislost nebo závislost na více charakteristikách současně.

6. Stabilita permanentních stanic CZEPOS

6.1 Určení souřadnic permanentních stanic

Souřadnice permanentních stanic sítě CZEPOS (s výjimkou vnějších stanic systému VESOG) byly určovány Zeměměřickým úřadem dvěma observacemi statickou metodou s připojením na body DOPNUL.

Pro zjištění stability permanentních stanic bylo využito síťové řešení výsledků měření permanentních stanic sítě EUREF – EPN a CZEPOS. Stanice jsou vyznačeny na obr. 15. Modrými trojúhelníčky jsou označeny body, které byly při řešení brány jako opěrné. Data jsou zpracovávána v subcentru GOP-LAC (GO Pecný, lokální analytické centrum), které spravuje Ing. Jan Douša, Ph.D. Výsledkem vyrovnání jsou souřadnice jednotlivých stanic z týdenních řešení celkem až pro 81 týdnů (u „nejstarších“ stanic) od 24.4. 2005 (1320 týden GPS).



Máme tedy dvojí souřadnice sítě CZEPOS v ETRS89:

- **řešení A** - souřadnice vzniklé na základě připojení na síť DOPNUL určené v ETRS89(1989);
- **řešení B** - souřadnice určované v „týdenních řešeních“ EUREF-EPN určené v ETRS89(2000) .

6.2 Výsledky porovnání jednotlivých řešení

6.2.1 Poloha

Souřadnice byly vyneseny do grafů (viz Příloha 3). Červenou tečkou je označena poloha z „řešení A“. Poloha z „řešení B“ je označena černou tečkou.

V následující tabulce jsou vypočteny hodnoty průměrných rozdílů souřadnic mezi řešeními A a B⁷ a disperze souřadnic.

Stanice CZEPOS	prům. rozdíly		disperze	
	E [cm]	N [cm]	E [cm]	N [cm]
Pardubice	-0,06	1,51	0,17	0,18
Svitavy	0,54	1,28	0,18	0,19
Jihlava	-0,12	1,07	0,29	0,22
Dačice	-0,06	1,51	0,19	0,20
Tábor	-0,43	1,59	0,16	0,17
Příbram	0,05	0,45	0,25	0,18
Karlovy Vary	0,21	1,73	0,16	0,17
Domažlice	0,71	1,57	0,17	0,18
Prachatice	-1,17	-0,39	0,18	0,21
Kaplice	0,99	1,91	0,23	0,19
Rakovník	-0,10	0,69	0,15	0,18
Mladá Boleslav	-0,11	0,50	0,18	0,32
Litoměřice	0,96	1,31	0,22	0,33
Liberec	0,62	0,34	0,17	0,17
Trutnov	-0,88	1,74	0,18	0,19
Frydek-Místek	-0,82	1,22	0,15	0,16
Vsetín	1,23	1,35	0,15	0,21
Šumperk	-0,61	1,46	0,15	0,21
Bruntál	0,87	1,31	0,19	0,17
Kroměříž	0,75	1,27	0,15	0,17

⁷ Kromě bodů GOPE, TUBO a PLZE, které nebyly určované s připojením na DOPNUL.

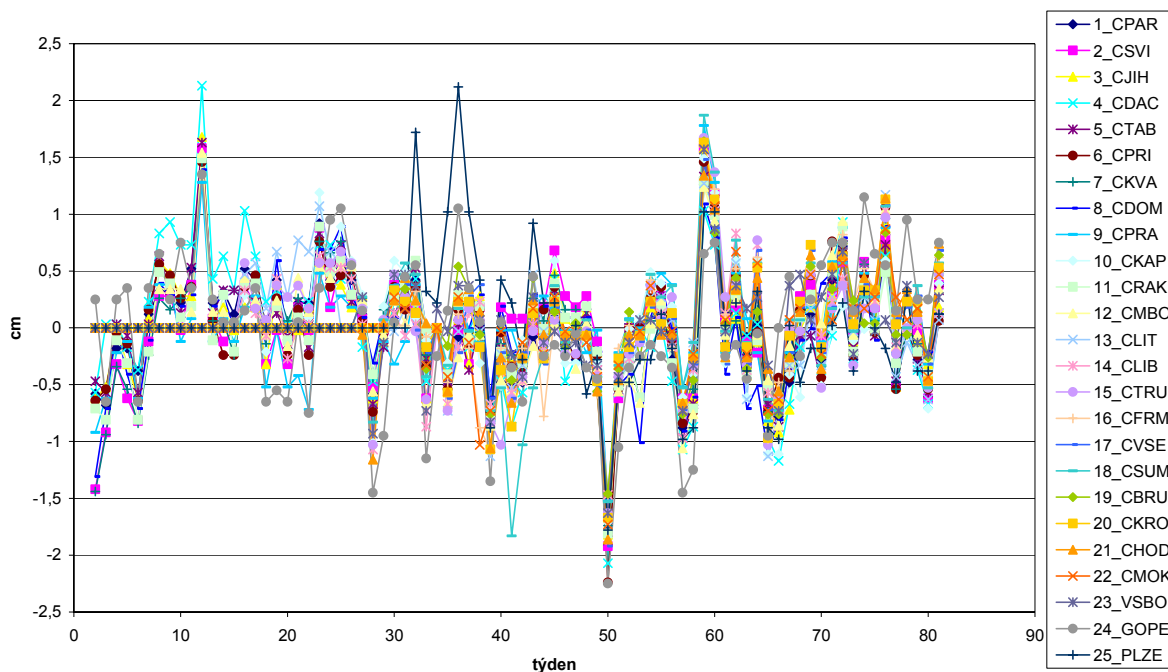
Hodonín	0,89	1,34	0,23	0,20
Moravský Krumlov	0,13	2,51	0,15	0,16
VSBO	-0,06	1,77	0,16	0,16
GOPE	0,04	0,00	0,16	0,21
TUBO	0,04	-0,12	0,18	0,21
Plzeň	0,30	-0,18	0,19	0,15

Z tabulky a grafů je patrné, že realizace ETRS89(1989) a ETRS89(2000) se liší systematicky cca 1,5 cm v severojižní složce a téměř vůbec ve složce východozápadní (E). Jednotlivé stanice EUREF jsou vůči sobě konzistentní – střední chyba polohy se pohybuje okolo 2 mm.

Z porovnání opěrných bodů vyšlo, že realizace ETRS89(2000) a ETRS89(2005) se liší o cca 0.5 cm.

6.2.2 Výška

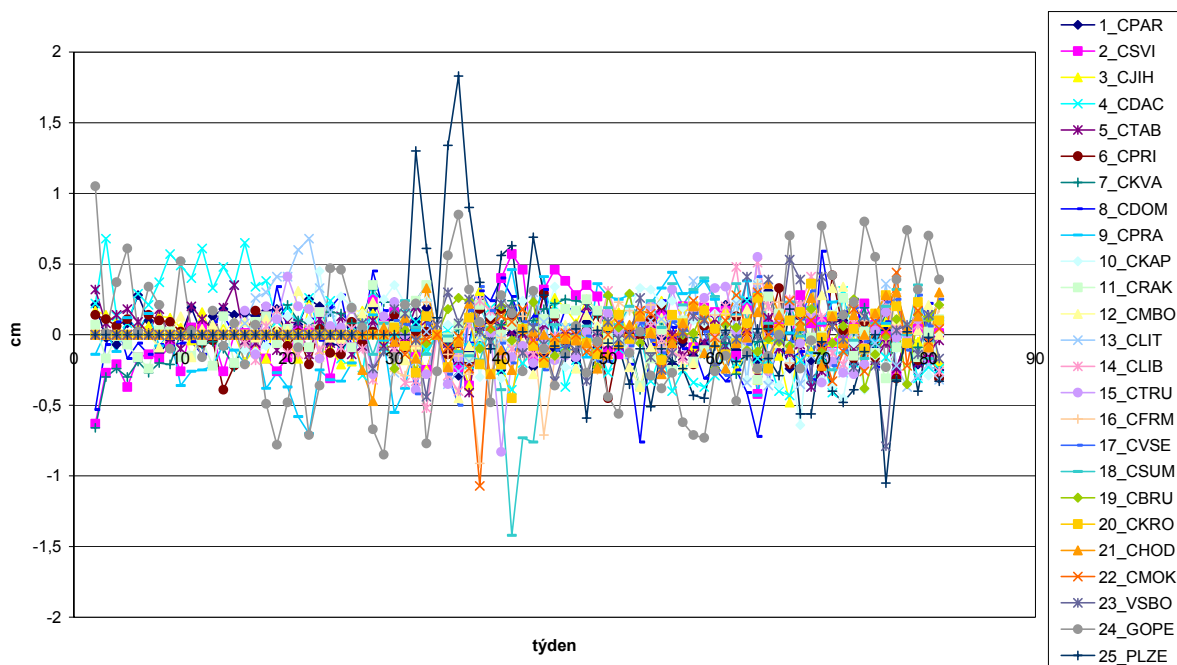
Odchyly výšek stanic od průměru pro síťové řešení EUREF-EPN:



obr. 16

Při vynesení odchylek výšek všech stanic od průměru do jednoho grafu jsou jasně patrné systematické odchylky pro celý soubor stanic v rámci jednotlivých řešení. Proto byly pro jednotlivé epochy vypočteny průměrné odchylky ve výšce a o tyto hodnoty pak byly redukovány odchylky na jednotlivých stanicích.

Odchyly výšek stanic od průměru po redukci o systematickou odchylku síťového řešení pro jednotlivé týdny:

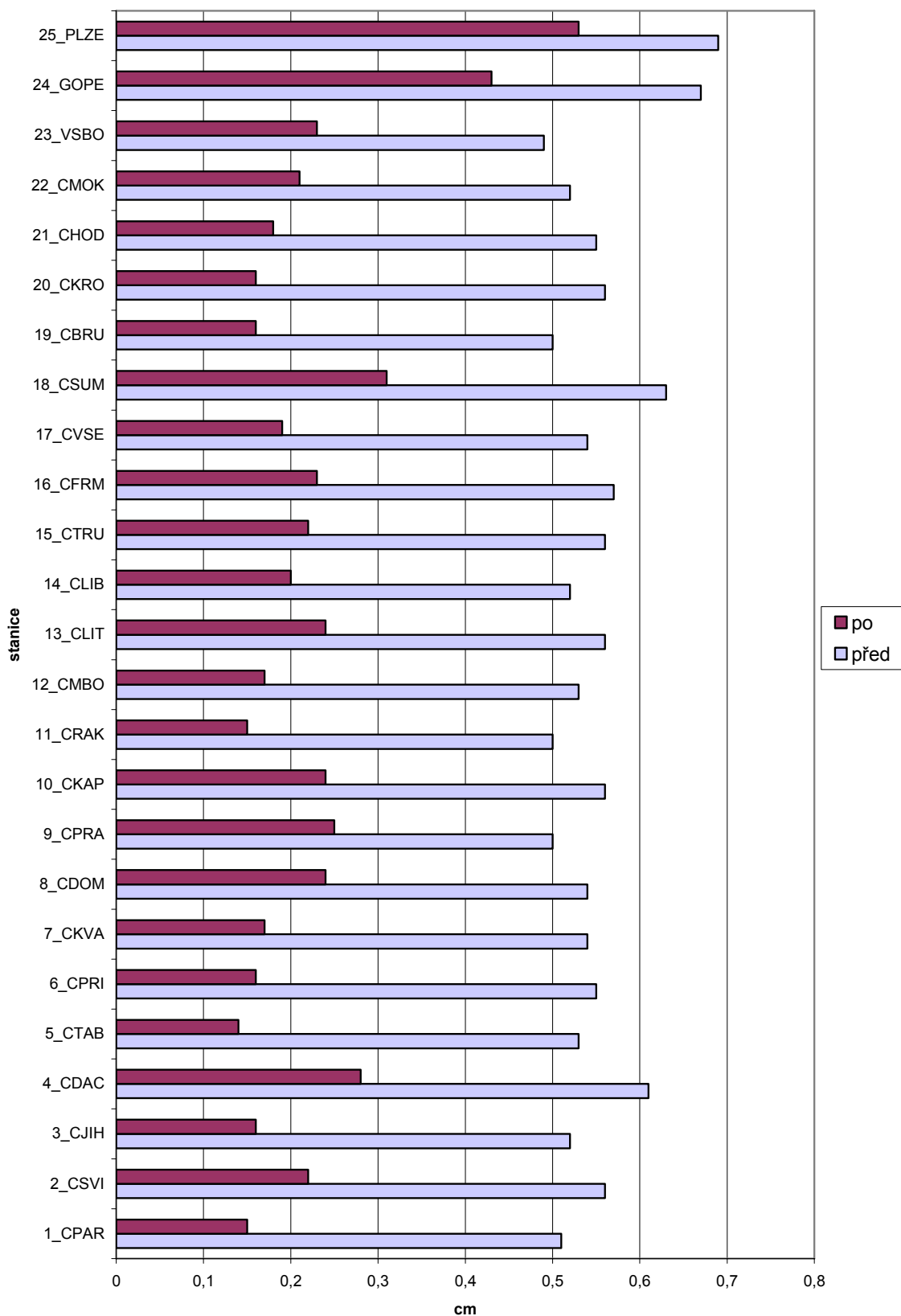


obr. 17

Jak je vidět z tohoto grafu, při vyloučení systematického vlivu na hodnoty výšek stanic je patrná vnitřní konzistence jednotlivých stanic (do 5 mm). Ze souboru významně vybočují pouze stanice Plzeň a Pecný, na kterých byly v té době problémy s anténou.

Systematický posun v jednotlivých epochách mohl být způsoben metodou zpracování. Při síťovém řešení byly souřadnice opěrných bodů brány téměř jako pevné, přestože se jejich poloha nejspíše mírně změnila a při určování jejich souřadnic působily atmosférické efekty.

Disperze výšek před/po odstranění systematicky síťového řešení EUREF-EPN



7. Závěr

Při zpracování této práce byl využit program Matlab verze 6.5 pro testování přesnosti a program Excel pro výpočty a grafy testu stability permanentních stanic.

7.1 Přesnost výsledků měřických prací v síti CZEPOS

Z testu pro zjištění skutečné přesnosti výsledků měřických prací provedených technologií GPS v síti permanentních stanic CZEPOS plynou tyto závěry:

Střední chyba jednoho měření ve dvojici je

- pro metodu DGPS 18 cm v poloze (m_{xy}) a 43 cm ve výšce;
- pro metodu RTK – PRS 1,0 cm v poloze (m_{xy}) a 3,0 cm ve výšce;
- pro metodu RTK – FKP 1,0 cm v poloze (m_{xy}) a 3,1 cm ve výšce;
- pro metodu RTK 1,1 cm v poloze (m_{xy}) a 3,2 cm ve výšce.

Střední chyba jednoho měření z porovnání s podkladem je

- pro metodu DGPS 23 cm v poloze (m_{xy}) a 45 cm ve výšce;
- pro metodu RTK – PRS 1,3 cm v poloze (m_{xy}) a 4,4 cm ve výšce;
- pro metodu RTK – FKP 1,3 cm v poloze (m_{xy}) a 4,3 cm ve výšce;
- pro metodu RTK 1,4 cm v poloze (m_{xy}) a 4,5 cm ve výšce.

Z porovnání s vyhláškou [33] vyplývá, že tato přesnost vyhovuje pro určování bodů podrobného polohového bodového pole ($m_{xy}= 0,06$ m) i pro určování zhušťovacích bodů ($m_{xy}= 0,02$ m).

Závislost přesnosti výsledků na počtu odečtů při měření (60s, 40s nebo 20s) nebyla prokázána.

O závislosti na umístění měřeného bodu v síti CZEPOS lze obecně říci, že body ležící blízko permanentních stanic měly střední chyby odpovídající středním chybám vypočteným pro celou ČR nebo menší.

V lokalitě Aš, která je mimo síť permanentních stanic, byla snižená přesnost u měření metodami RTK – PRS a RTK – FKP. Tento vliv se však u jiných lokalit vně sítě neprojevil. Je tedy možné, že zde na přesnost působily jiné vlivy, než je umístění bodů v síti permanentních stanic.

Nižší přesnost také vykazovaly některé lokality vyskytující se ve větších vzdálenostech od permanentních stanic ať už na vnější spojnici nebo uvnitř sítě CZEPOS. To se však projevilo vždy u různých metod a různých souřadnic.

Ze zkoumaných lineárních závislostí přesnosti na příjmových podmínkách se projevila vliv hodnot PDOP na měření metodou DGPS – ovlivněna byla poloha i výška a také vliv počtu družic při měření na polohovou přesnost u metod DGPS, RTK – PRS, RTK – FKP.

7.2 Stabilita permanentních stanic CZEPOS

V testu stability permanentních stanic byla zjištěna konzistence jednotlivých stanic vůči sobě – okolo 2 mm v poloze a 5 mm ve výšce.

Při porovnání původních souřadnic měřených ZÚ a souřadnic ze síťového řešení se projevil systematický posun realizace ETRS8(1989) a ETRS89(2000) asi o 1,5 cm v severojižní složce.

Z porovnání opěrných bodů byl zjištěn rozdíl realizace ETRS89(2000) a ETRS89(2005) asi 0,5 cm.

Při vynesení odchylek výšek všech stanic od průměru se projevily systematické odchylky platné pro celý soubor stanic v rámci jednotlivých řešení, které byly nejspíše způsobeny metodou zpracování a měnícím se vlivem atmosférických efektů na výsledné souřadnice.

Seznam literatury a internetových zdrojů

- [1] Mervart, L.; Globální polohový systém. Praha: Vydavatelství ČVUT 1994.
- [2] Mervart, L., Cimbálník M.; Vyšší geodézie 2. Praha: Vydavatelství ČVUT 1997.
- [3] Cimbálník M., Mervart, L.; Vyšší geodézie 1. Praha: Vydavatelství ČVUT 1997.
- [4] Černohorský, J., Kolář, R., Kostelecký, J., Šimek, J.; Rozvoj geodetických základů České republiky v kontextu EUREF: GaKo 50/92, 2004, č. 4-5, str. 63-79.
- [5] Kostelecký, J., Kostelecký, J. (jr.); Zpřesnění S-JTSK s využitím sítě permanentních stanic GPS – CZEPOS. Sborník přednášek, 41. geodetické informační dny: Spolek zeměměřičů Brno, 2. – 3. listopad 2005, ECON Publishing s r. o., 2005, str. 88-95.
- [6] Kostelecký, J. (jr.), Nesvadba, O., Veselý, J.; Česká permanentní síť pro určování polohy – CZEPOS, Realizační projekt: VÚGTK TZ 1074/04, 2004.
- [7] Taraba, P.; Možnosti využití České sítě permanentních stanic GPS – CZEPOS. Sborník přednášek, 41. geodetické informační dny: Spolek zeměměřičů Brno, 2. – 3. listopad 2005, ECON Publishing s r. o., 2005, str. 96-102.
- [8] Kostelecký, J. (jr.), Šimek, J.; Zpracování testovacích měření systému virtuálních referenčních stanic ByS@t. Výzkumná zpráva VÚGTK 1036/2002.
- [9] Bureš, J.; Experimentální analýza měření GPS, Doktorská disertační práce, s. 1 – 28.
- [10] Kostelecký, J. (jr.), Kostelecký, J.; New Permanent GNSS Networks in the Czech Republic and Their Use in Geosciences. Proceedings of the EGU G9 Symposium „Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI, Vienna, Austria, 25 – 30 April 2005, Reports on Geodesy, No. 2 (73), 2005, p. 151-158.

- [11] Kostelecký, J. (jr.), Taraba, P., Janeček, B.; Návrh technologie pro ověření funkce a kvality produktů a služeb poskytovaných Českou sítí permanentních stanic pro určování polohy – CZEPOS.
- [12] Tesař, P.; Úvod do GNSS. 28.3.2006:
<http://gama.fsv.cvut.cz/gk/k152/navody/>
- [13] Kostelecký, J.; Princip GPS: <http://gama.fsv.cvut.cz/gk/k152/navody/>
- [14] Hampacher, M., Radouch, V.; Teorie chyb a vyrovnávací počet 10. Praha: Vydavatelství ČVUT 2000.
- [15] Hampacher, M., Radouch, V.; Teorie chyb a vyrovnávací počet 20. Praha: Vydavatelství ČVUT 2000.
- [16] Hampacher, M., Radouch, V.; Teorie chyb a vyrovnávací počet 10, 20. Příklady a návody na cvičení. Praha: Vydavatelství ČVUT 2000.
- [17] Kostelecký, J. (jr.); Projekt permanentní sítě DGPS: Technická zpráva VÚGTK 1051/2003.
- [18] Skoupý, V., Kostelecký, J. (jr.), Kostelecký, J.; Prvotní určení souřadnic stanic sítě CZEPOS -Pardubice, Svitavy, Jihlava, Dačice, Tábor, Příbram: Technická zpráva VÚGTK 1075/2005.
- [19] Kostelecký, J. (jr.); Ověření přesnosti určení polohy pomocí diferenčního GPS: Technická zpráva VÚGTK 1049/2003.
- [20] Landsperský, D., Šimek, J.; Výzkum možností využití diferenciální metody GPS (DGPS) v rezortu zeměměřictví a katastru: Technicko – ekonomická studie VÚGTK 1003/ 2000.
- [21] <http://www.beruna.cz/beruna/phprs/index.php>
- [22] <http://www.cuzk.cz/>

[23] <http://krovak.webpark.cz/>

[24] <http://gps.faa.gov/>

[25] <http://www.bysat.net/index.php?doc=princip>

[26] Kostelecký, J.; Příprava zpřesnění souřadnic bodů vedených v databázi bodů polohového bodového pole ve vazbě na DBGPS. Konverze dat ZÚ Praha do databázového formátu DBGPS. Zpracování měření z roku 2002, Testovací vyrovnání: Výzkumná zpráva VÚGTK 1047/2003. Dílčí úkol 4 - 1 – 40.

[27] <http://czepos.cuzk.cz/>

[28] Pašek, O., Řezníček, J., Kostelecký, J. (jr.); CZEPOS – A Multipurpose Positioning System for the Czech Republic. Presentace na European Meeting of the International Information Sub-Committee of the Civil GPS Service Interface Committee. Czech Technical University, Prague, March 14-15, 2005

[29] <http://www.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch03.html#d4e897>

[30] <http://gama.fsv.cvut.cz/gk/k152/navody/VG21/VG21-S-JTSK95.pdf>

[31] Kostelecký, J.; Souřadnicový systém ITRS2005 a jeho vztah k Evropským polohovým základům. Konference "Současnost a budoucnost bodových polí v České republice". ZÚ Praha, 7.12. 2006.

[32] Likeš, J., Laga, J.; Základní statistické tabulky: Praha SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1978, tab. str. 19 – 78.

[33] Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního č. 190/1996 Sb., kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem, ve znění zákona č. 210/1993 Sb. a zákona č. 90/1996 Sb., a zákon České národní rady č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), ve znění zákona č. 89/1996 Sb., ve znění vyhlášky č. 179/1998 Sb., vyhlášky č. 113/2000 Sb. a vyhlášky č. 163/2001 Sb.

PŘÍLOHY

Příloha 1 Střední chyby měření v síti CZEPOS pro jednotlivé lokality

Příloha 2 Grafy závislosti přesnosti souřadnic na příjmových podmínkách

Příloha 3 Stabilita stanic CZEPOS v poloze

Příloha 1

Střední chyby měření v síti CZEPOS vypočtené pro jednotlivé lokality

Aš

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.181	0.338	0.612	0.128	0.239	0.433	0.191	18
PRS	0.013	0.021	0.079	0.009	0.015	0.056	0.012	9
FKP	0.024	0.022	0.065	0.017	0.016	0.046	0.016	13
RTK	0.014	0.017	0.040	0.010	0.012	0.028	0.011	17

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.104	0.269	0.506	0.204	36
PRS	0.024	0.013	0.052	0.019	32
FKP	0.019	0.018	0.048	0.019	22
RTK	0.024	0.017	0.038	0.020	28

Brno

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.174	0.170	0.587	0.123	0.120	0.415	0.122	12
PRS	0.014	0.003	0.018	0.010	0.002	0.013	0.007	7
FKP	0.016	0.011	0.053	0.011	0.008	0.037	0.010	12
RTK	0.013	0.015	0.031	0.009	0.010	0.022	0.010	14

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.120	0.153	0.349	0.137	27
PRS	0.015	0.009	0.072	0.012	24
FKP	0.017	0.011	0.058	0.014	23
RTK	0.010	0.011	0.068	0.011	23

Chybí měření metodou PRS na bodě 441201901.

Broumov

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.156	0.240	0.383	0.110	0.170	0.271	0.143	18
PRS	0.008	0.008	0.037	0.006	0.005	0.026	0.006	18
FKP	0.013	0.011	0.038	0.009	0.008	0.027	0.009	18
RTK	0.016	0.014	0.033	0.012	0.010	0.023	0.011	17

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.234	0.207	0.315	0.221	36
PRS	0.013	0.007	0.047	0.010	36
FKP	0.012	0.010	0.051	0.011	36
RTK	0.019	0.011	0.058	0.016	35

Černošín

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.251	0.283	0.454	0.178	0.200	0.321	0.189	18
PRS	0.021	0.013	0.036	0.015	0.009	0.026	0.012	12
FKP	0.012	0.021	0.045	0.008	0.015	0.031	0.012	18
RTK	0.014	0.008	0.024	0.010	0.006	0.017	0.008	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.146	0.193	0.405	0.171	36
PRS	0.019	0.011	0.035	0.015	30
FKP	0.012	0.013	0.034	0.013	33
RTK	0.010	0.012	0.034	0.011	36

Česká Lípa

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.163	0.237	0.689	0.115	0.167	0.487	0.144	18
PRS	0.013	0.027	0.059	0.009	0.019	0.042	0.015	18
FKP	0.013	0.020	0.069	0.009	0.014	0.049	0.012	18
RTK	0.016	0.020	0.073	0.012	0.014	0.051	0.013	17

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.240	0.195	0.703	0.219	36
PRS	0.008	0.017	0.046	0.014	36
FKP	0.009	0.011	0.052	0.010	36
RTK	0.009	0.013	0.048	0.011	35

Chybí 71202701L (pravděpodobně neuloženo při měření).

Hevlín

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.190	0.252	0.584	0.134	0.178	0.413	0.158	15
PRS	0.019	0.007	0.042	0.013	0.005	0.030	0.010	9
FKP	0.011	0.007	0.039	0.008	0.005	0.028	0.007	15
RTK	0.015	0.014	0.024	0.011	0.010	0.017	0.010	15

V této lokalitě v době zpracování nebyly ještě k dispozici souřadnice bodů v ETRS89, proto bylo prováděno pouze porovnání dvojice měření.

Chybí měření 551602102 metodou PRS.

Horní Cerkev

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.120	0.262	0.740	0.085	0.185	0.523	0.144	20
PRS	0.013	0.019	0.035	0.009	0.013	0.025	0.011	19
FKP	0.010	0.016	0.046	0.007	0.011	0.032	0.009	21
RTK	0.016	0.019	0.052	0.012	0.013	0.036	0.013	21

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.086	0.239	0.407	0.180	38
PRS	0.008	0.014	0.037	0.011	40
FKP	0.007	0.017	0.041	0.013	42
RTK	0.011	0.014	0.035	0.013	42

Horní Planá

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.211	0.368	0.924	0.149	0.260	0.654	0.212	15
PRS	0.010	0.012	0.029	0.007	0.009	0.021	0.008	12
FKP	0.016	0.008	0.028	0.011	0.006	0.019	0.009	12
RTK	0.013	0.022	0.060	0.009	0.015	0.042	0.013	12

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.305	0.268	0.538	0.287	29
PRS	0.010	0.012	0.048	0.011	27
FKP	0.011	0.012	0.044	0.011	27
RTK	0.008	0.017	0.057	0.013	27

Chybí měření na bodě 401900502 metodami PRS, FKP a RTK.

Jablunkov

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.169	0.184	0.700	0.119	0.130	0.495	0.125	17
PRS	0.013	0.016	0.049	0.009	0.011	0.035	0.010	18
FKP	0.016	0.018	0.052	0.011	0.013	0.037	0.012	18
RTK	0.012	0.021	0.039	0.008	0.015	0.028	0.012	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.186	0.194	0.424	0.190	35
PRS	0.010	0.015	0.041	0.013	36
FKP	0.011	0.015	0.039	0.013	34
RTK	0.010	0.016	0.030	0.013	36

Javorník

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.183	0.318	0.494	0.129	0.225	0.349	0.183	18
PRS	0.010	0.008	0.052	0.007	0.006	0.037	0.007	18
FKP	0.010	0.013	0.042	0.007	0.010	0.030	0.009	18
RTK	0.016	0.022	0.047	0.011	0.016	0.033	0.014	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.155	0.300	0.420	0.239	36
PRS	0.015	0.008	0.033	0.012	36
FKP	0.019	0.010	0.034	0.015	36
RTK	0.014	0.017	0.032	0.016	34

Jemnice

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.175	0.276	0.614	0.124	0.195	0.434	0.163	15
PRS	0.014	0.014	0.042	0.010	0.010	0.030	0.010	18
FKP	0.011	0.025	0.045	0.007	0.018	0.032	0.013	12
RTK	0.012	0.011	0.054	0.008	0.008	0.038	0.008	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.134	0.289	0.356	0.225	33
PRS	0.008	0.014	0.041	0.012	36
FKP	0.011	0.014	0.044	0.013	28
RTK	0.013	0.009	0.041	0.011	36

Landštejn

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.129	0.390	0.485	0.091	0.276	0.343	0.205	15
PRS	0.004	0.013	0.012	0.003	0.009	0.009	0.007	15
FKP	0.009	0.022	0.037	0.006	0.015	0.026	0.012	15
RTK	0.009	0.015	0.048	0.006	0.011	0.034	0.009	15

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.150	0.225	0.517	0.191	30
PRS	0.009	0.012	0.027	0.010	30
FKP	0.010	0.015	0.030	0.013	30
RTK	0.008	0.015	0.035	0.012	30

Lomnice

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.181	0.366	0.715	0.128	0.259	0.506	0.204	15
PRS	0.010	0.011	0.056	0.007	0.008	0.040	0.007	15
FKP	0.011	0.013	0.038	0.008	0.009	0.027	0.009	15
RTK	0.009	0.012	0.049	0.006	0.009	0.035	0.007	15

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.155	0.338	0.453	0.263	29
PRS	0.010	0.009	0.049	0.010	30
FKP	0.012	0.012	0.051	0.012	30
RTK	0.013	0.010	0.042	0.011	27

Lopeník

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.159	0.269	0.320	0.113	0.190	0.226	0.156	15
PRS	0.007	0.011	0.067	0.005	0.008	0.047	0.007	11
FKP	0.014	0.019	0.055	0.010	0.013	0.039	0.012	14
RTK	0.010	0.019	0.039	0.007	0.014	0.028	0.011	14

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.102	0.199	0.242	0.158	30
PRS	0.007	0.014	0.047	0.011	25
FKP	0.010	0.015	0.042	0.013	27
RTK	0.008	0.016	0.030	0.013	29

Nová Bystřice

Met.	m_dE [m]	m_dN [m]	m_dH [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m_{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.201	0.375	0.749	0.142	0.265	0.529	0.213	18
PRS	0.018	0.013	0.041	0.013	0.009	0.029	0.011	18
FKP	0.014	0.018	0.054	0.010	0.013	0.038	0.011	18
RTK	0.010	0.016	0.051	0.007	0.011	0.036	0.009	18

Met.	m_rE [m]	m_rN [m]	m_rH [m]	m_{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.188	0.253	0.464	0.223	36
PRS	0.017	0.012	0.049	0.015	36
FKP	0.015	0.010	0.050	0.013	36
RTK	0.014	0.010	0.052	0.012	36

Olomouc

Met.	m_dE [m]	m_dN [m]	m_dH [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m_{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.203	0.442	0.544	0.144	0.313	0.385	0.243	15
PRS	0.021	0.012	0.027	0.015	0.009	0.019	0.012	15
FKP	0.017	0.013	0.035	0.012	0.009	0.025	0.011	18
RTK	0.014	0.025	0.038	0.010	0.017	0.027	0.014	18

Met.	m_rE [m]	m_rN [m]	m_rH [m]	m_{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.145	0.328	0.502	0.254	33
PRS	0.015	0.013	0.063	0.014	33
FKP	0.011	0.012	0.050	0.012	34
RTK	0.012	0.016	0.049	0.014	36

Opava

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.206	0.281	0.346	0.145	0.199	0.244	0.174	18
PRS	0.008	0.018	0.037	0.006	0.013	0.026	0.010	16
FKP	0.006	0.009	0.039	0.005	0.006	0.027	0.006	15
RTK	0.006	0.022	0.046	0.004	0.016	0.033	0.011	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.162	0.231	0.441	0.200	36
PRS	0.021	0.011	0.033	0.017	33
FKP	0.020	0.014	0.029	0.017	34
RTK	0.022	0.012	0.028	0.018	36

Orlické hory

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.343	0.307	0.536	0.242	0.217	0.379	0.230	15
PRS	0.014	0.015	0.034	0.010	0.010	0.024	0.010	15
FKP	0.012	0.014	0.051	0.009	0.010	0.036	0.009	15
RTK	0.015	0.018	0.071	0.011	0.012	0.050	0.012	14

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.264	0.200	0.402	0.234	33
PRS	0.016	0.017	0.035	0.016	33
FKP	0.019	0.019	0.036	0.019	31
RTK	0.016	0.015	0.049	0.015	32

Chybí měření 172400302 celé.

Pardubice

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.190	0.198	0.343	0.134	0.140	0.243	0.137	18
PRS	0.014	0.018	0.019	0.010	0.013	0.014	0.012	18
FKP	0.019	0.019	0.033	0.013	0.014	0.023	0.014	18
RTK	0.015	0.020	0.027	0.011	0.014	0.019	0.013	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.233	0.172	0.345	0.205	39
PRS	0.011	0.017	0.030	0.014	39
FKP	0.013	0.015	0.026	0.014	38
RTK	0.010	0.019	0.032	0.015	39

Chybí měření 23023002 celé.

Pecný

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.402	0.023	1.241	0.284	0.016	0.878	0.201	3
PRS	0.015	0.011	0.027	0.011	0.008	0.019	0.009	18
FKP	0.010	0.008	0.024	0.007	0.005	0.017	0.007	18
RTK	0.008	0.014	0.035	0.006	0.010	0.025	0.008	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.186	0.318	0.612	0.261	12
PRS	0.013	0.008	0.037	0.011	36
FKP	0.011	0.011	0.032	0.011	36
RTK	0.011	0.009	0.041	0.010	36

Problémy s měřením DGPS – hrubé chyby ve výšce (až 5m), pravděpodobně špatná konfigurace družic. Stejně chyby se vyskytují i u několika měření DGPS provedených zhruba ve stejnou dobu v Brně a v Jemnici.

Plzeň

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.096	0.272	0.226	0.068	0.193	0.160	0.144	18
PRS	0.010	0.014	0.044	0.007	0.010	0.031	0.008	18
FKP	0.011	0.016	0.040	0.008	0.011	0.028	0.010	18
RTK	0.013	0.019	0.029	0.009	0.013	0.020	0.012	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.134	0.272	0.410	0.214	36
PRS	0.011	0.015	0.030	0.013	36
FKP	0.009	0.015	0.028	0.012	36
RTK	0.010	0.011	0.033	0.010	36

Praha

Met.	m _d E [m]	m _d N [m]	m _d H [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m _{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.312	0.351	0.765	0.221	0.248	0.541	0.235	10
PRS	0.015	0.017	0.030	0.011	0.012	0.021	0.011	18
FKP	0.016	0.012	0.032	0.012	0.008	0.023	0.010	18
RTK	0.007	0.019	0.032	0.005	0.013	0.023	0.010	18

Met.	m _r E [m]	m _r N [m]	m _r H [m]	m _{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.239	0.391	0.630	0.324	34
PRS	0.009	0.012	0.059	0.011	36
FKP	0.012	0.009	0.062	0.011	36
RTK	0.009	0.012	0.060	0.010	36

Suchdol

Met.	m_dE [m]	m_dN [m]	m_dH [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m_{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.392	0.257	0.907	0.277	0.182	0.641	0.235	12
PRS	0.015	0.019	0.041	0.011	0.014	0.029	0.012	18
FKP	0.010	0.015	0.041	0.007	0.011	0.029	0.009	16
RTK	0.011	0.016	0.071	0.008	0.012	0.050	0.010	18

Met.	m_rE [m]	m_rN [m]	m_rH [m]	m_{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.185	0.508	0.602	0.382	22
PRS	0.011	0.012	0.027	0.011	36
FKP	0.009	0.014	0.031	0.012	36
RTK	0.015	0.009	0.056	0.012	36

Šluknov

Met.	m_dE [m]	m_dN [m]	m_dH [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m_{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.146	0.356	0.771	0.104	0.252	0.545	0.192	18
PRS	0.012	0.008	0.042	0.009	0.006	0.030	0.007	18
FKP	0.012	0.010	0.029	0.009	0.007	0.021	0.008	18
RTK	0.014	0.016	0.018	0.010	0.011	0.013	0.010	18

Met.	m_rE [m]	m_rN [m]	m_rH [m]	m_{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.157	0.253	0.473	0.211	36
PRS	0.013	0.013	0.026	0.013	36
FKP	0.010	0.011	0.026	0.010	36
RTK	0.014	0.010	0.024	0.012	36

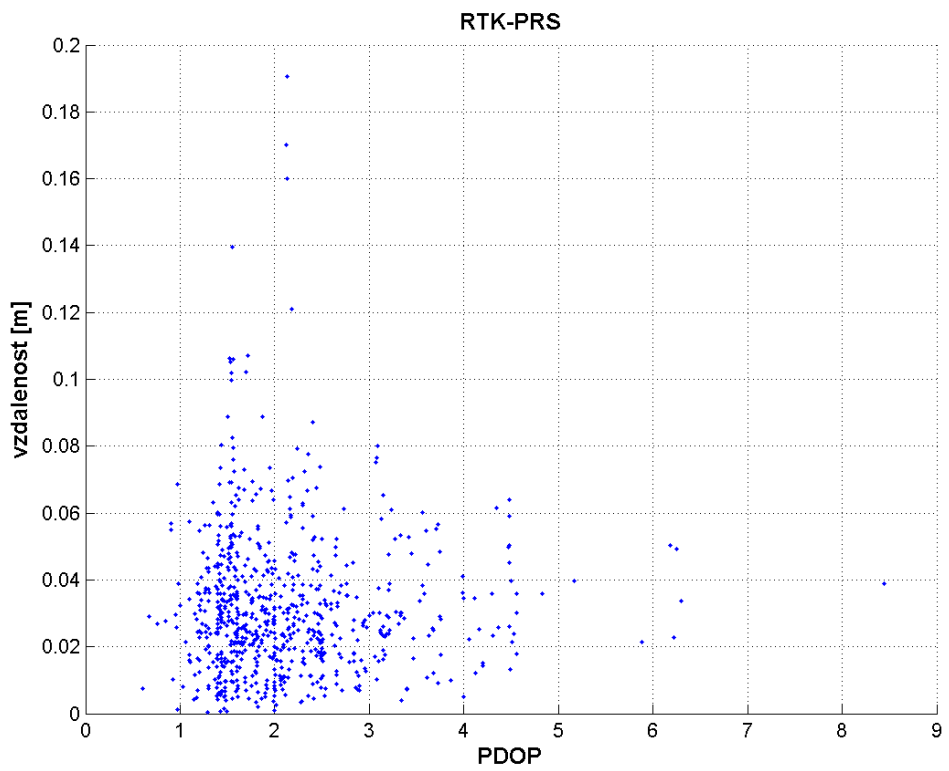
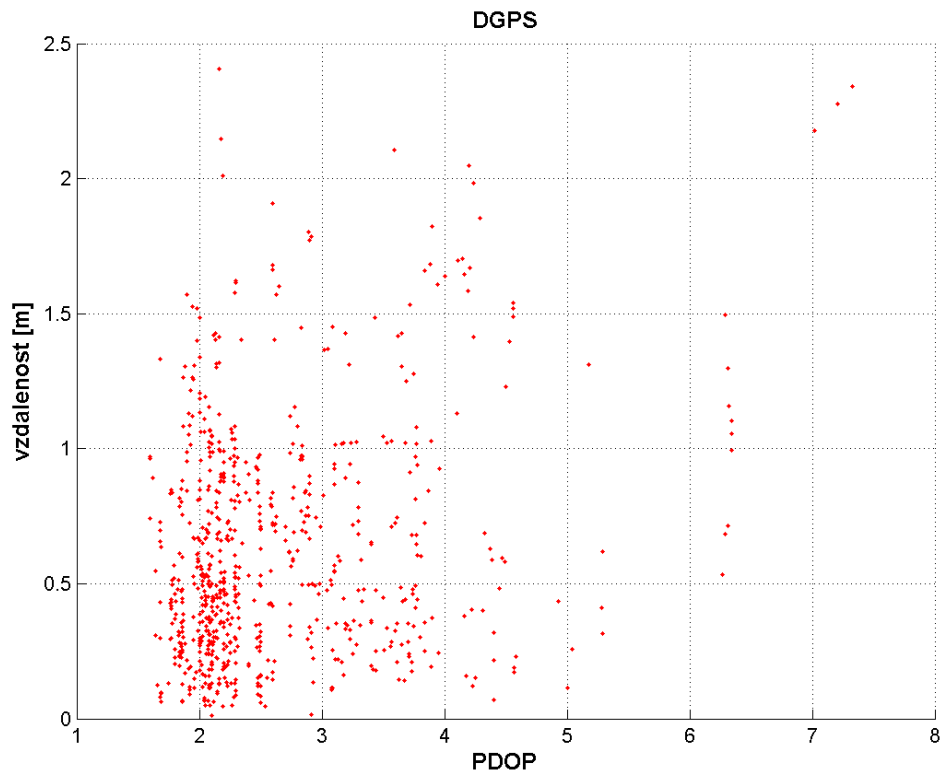
Turnov

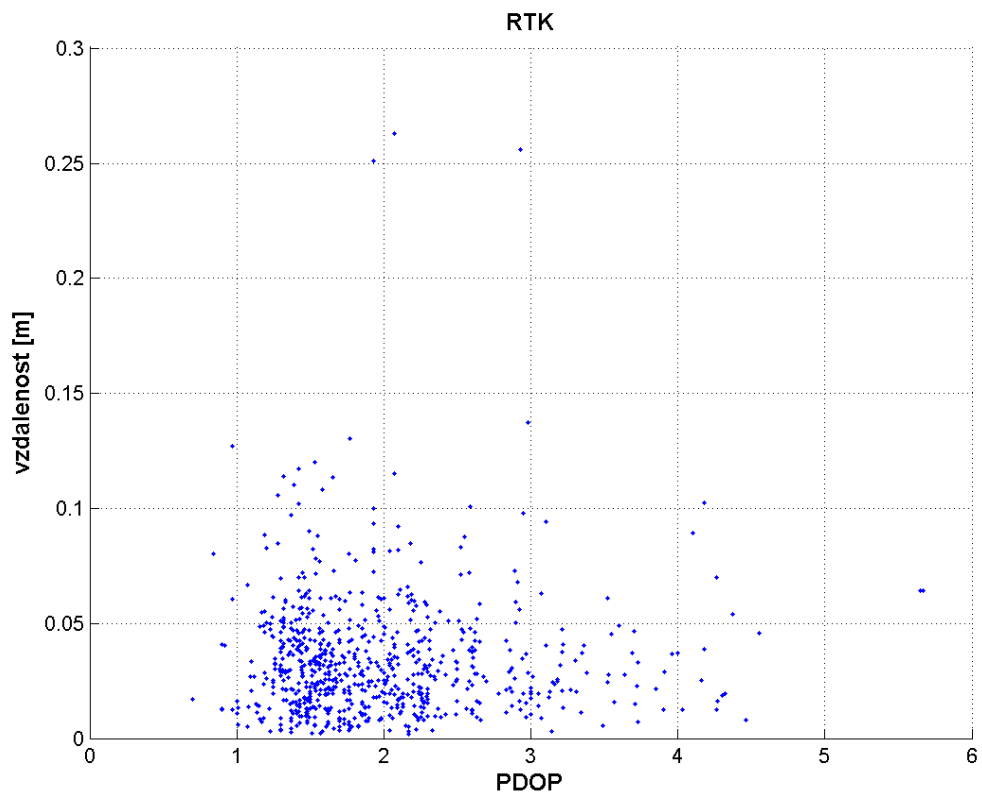
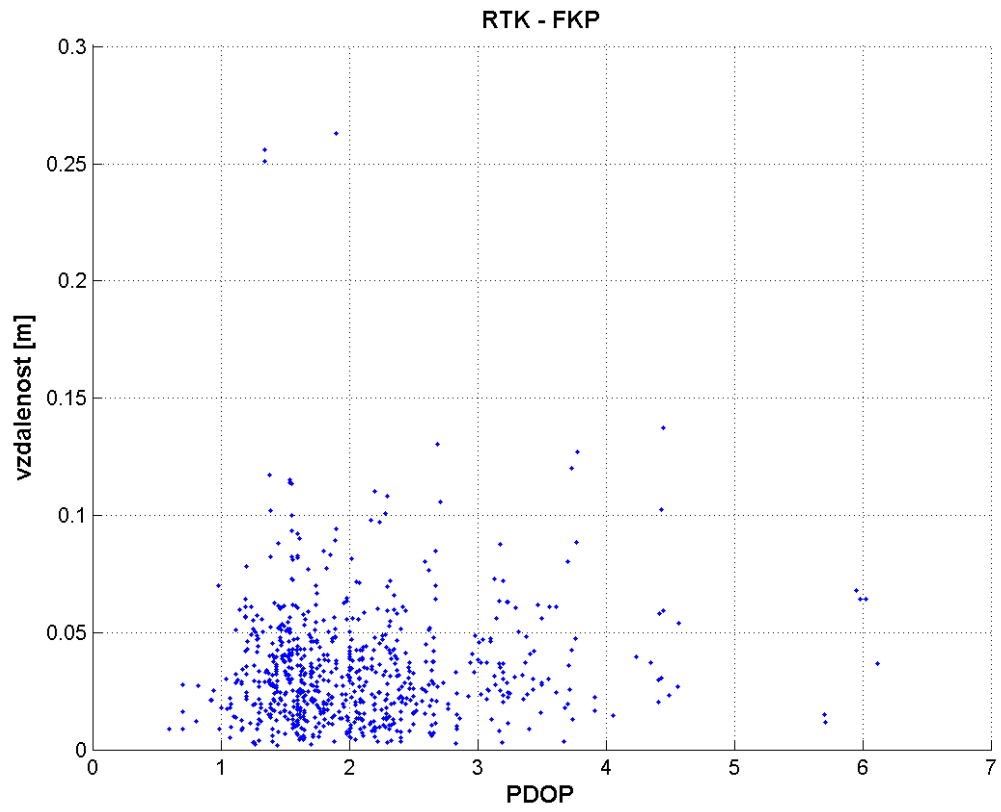
Met.	m_dE [m]	m_dN [m]	m_dH [m]	mE [m]	mN [m]	mH [m]	m_{xy} [m]	počet dvojic
DGPS	0.126	0.211	0.526	0.089	0.149	0.372	0.123	18
PRS	0.008	0.010	0.027	0.006	0.007	0.019	0.007	15
FKP	0.005	0.007	0.030	0.004	0.005	0.021	0.004	18
RTK	0.010	0.012	0.032	0.007	0.009	0.022	0.008	18

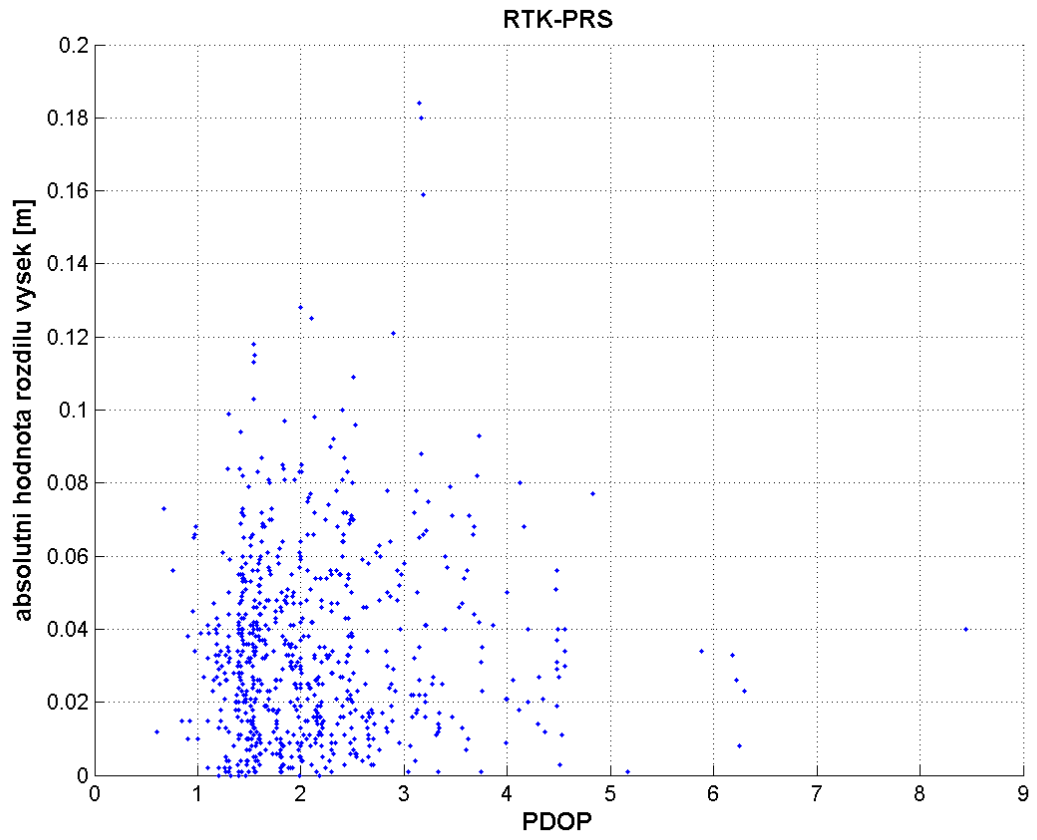
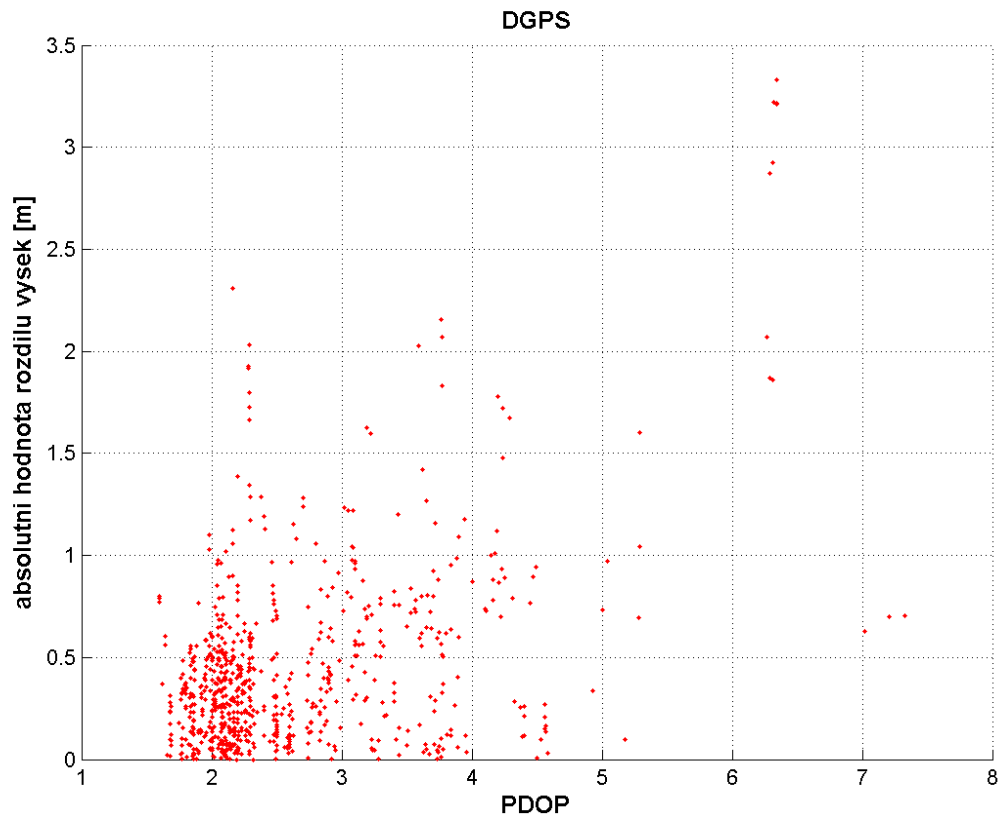
Met.	m_rE [m]	m_rN [m]	m_rH [m]	m_{xy} [m]	počet měření
DGPS	0.087	0.167	0.335	0.133	36
PRS	0.013	0.008	0.062	0.011	36
FKP	0.005	0.009	0.057	0.008	36
RTK	0.009	0.010	0.058	0.009	36

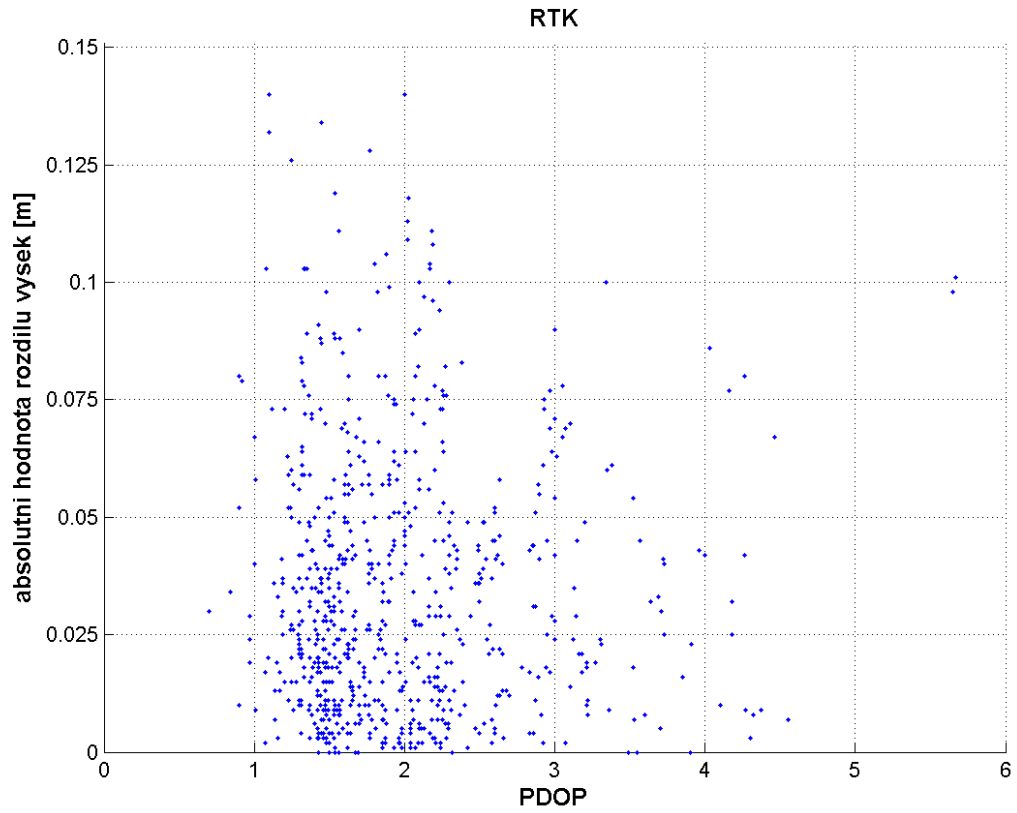
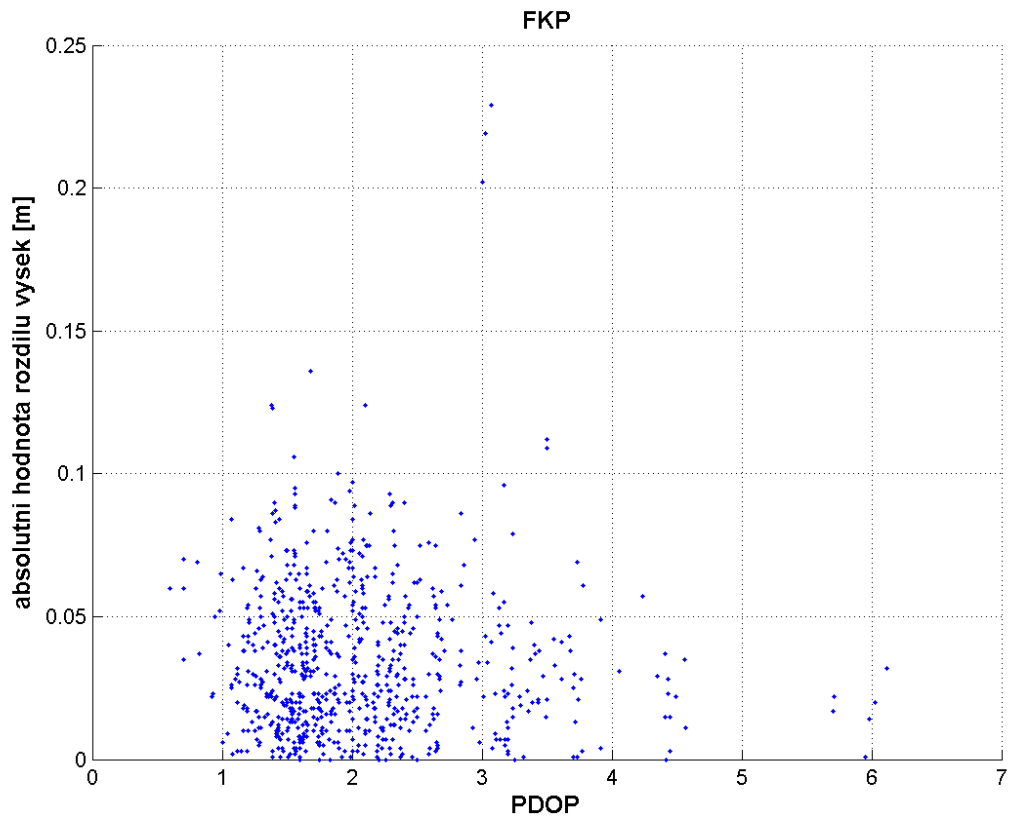
Příloha 2

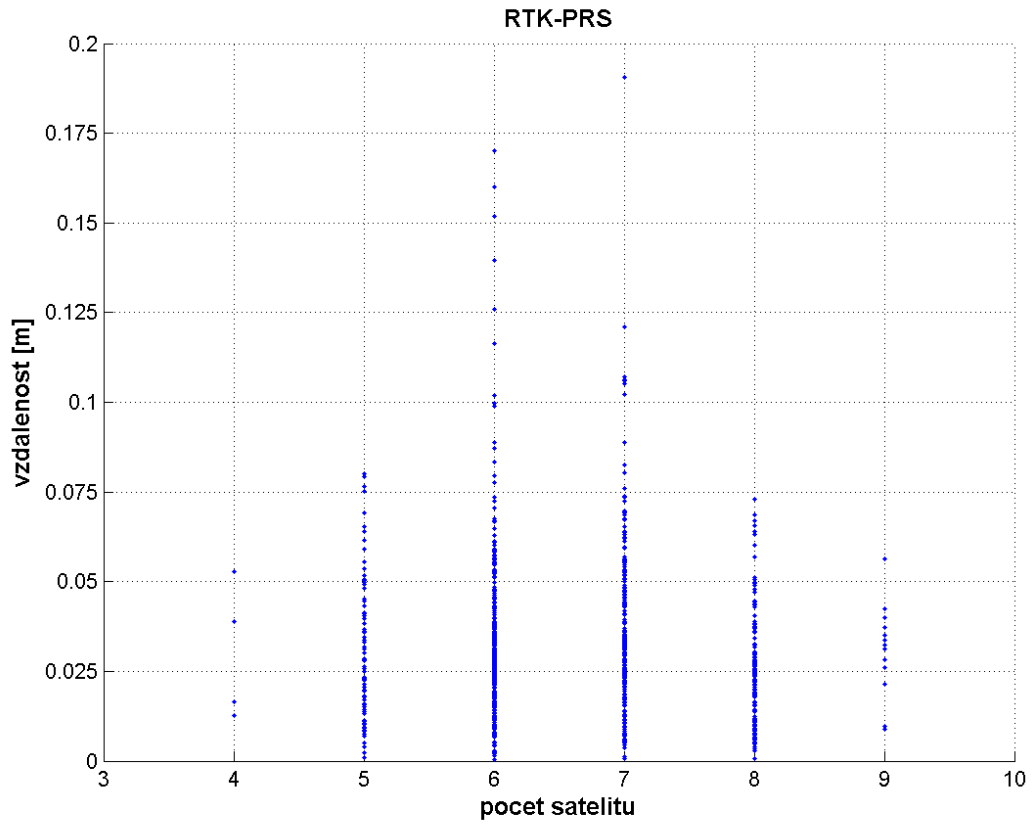
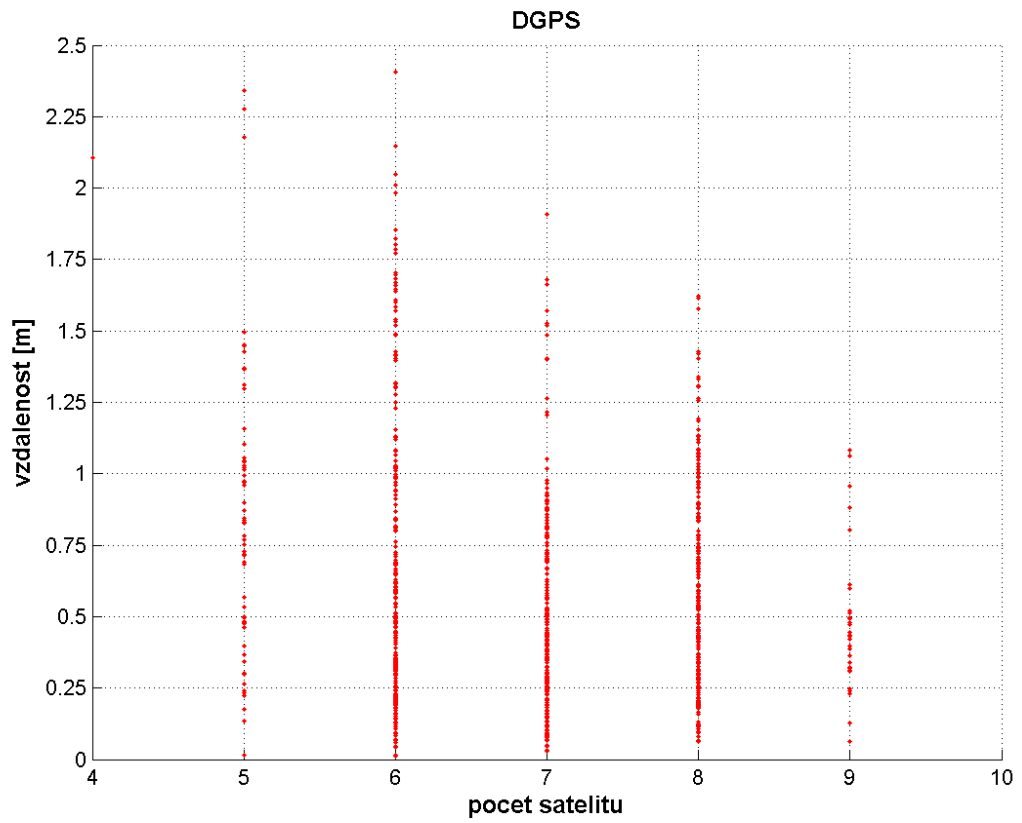
Grafy závislosti přesnosti souřadnic na příjmových podmínkách

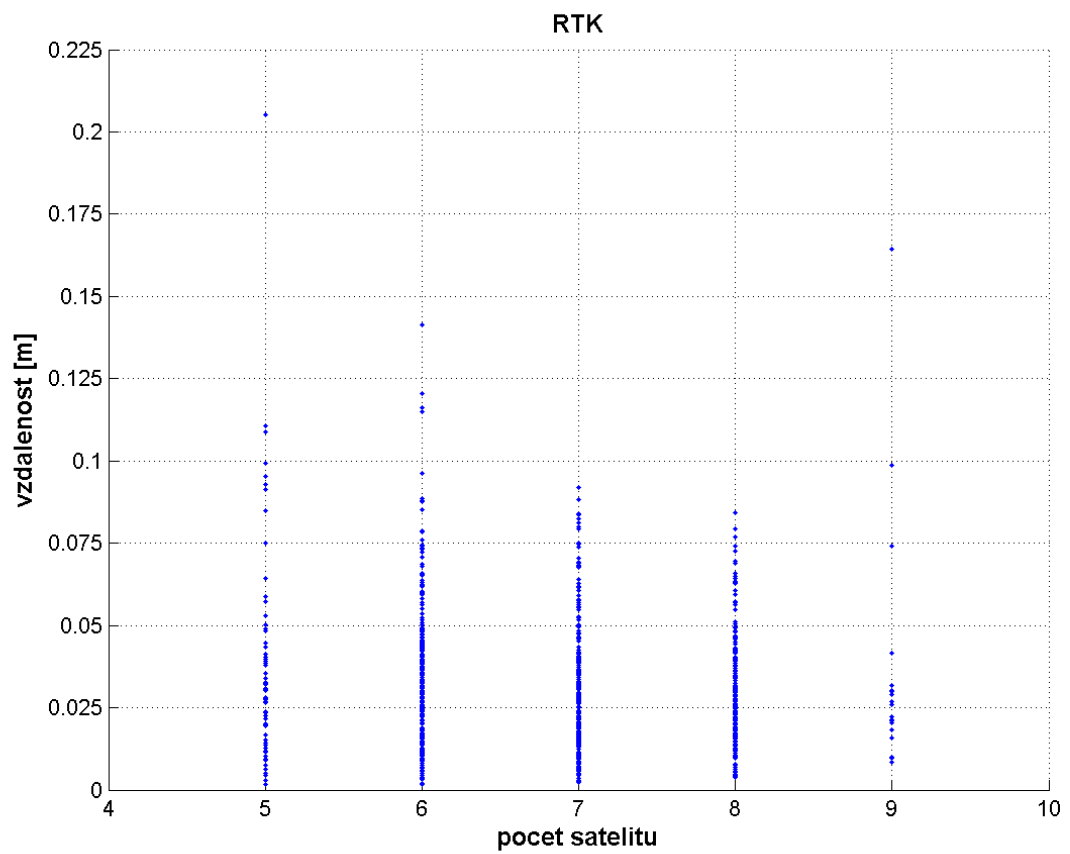
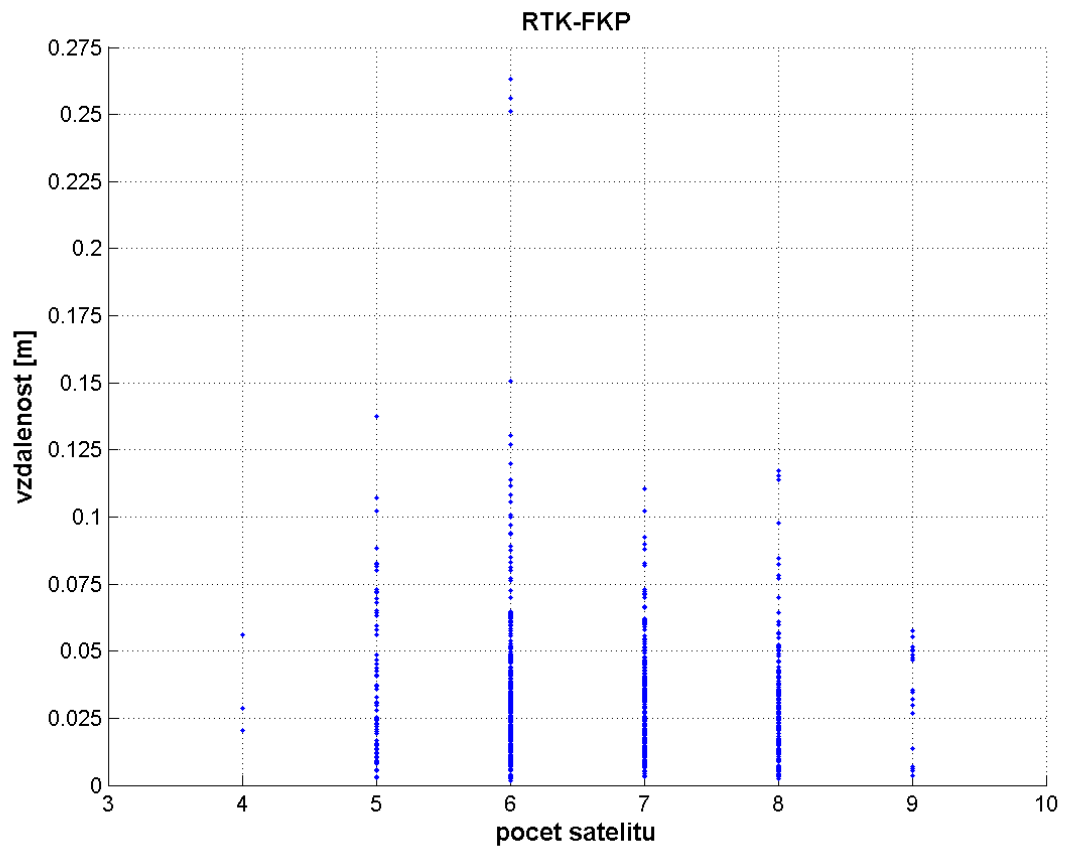


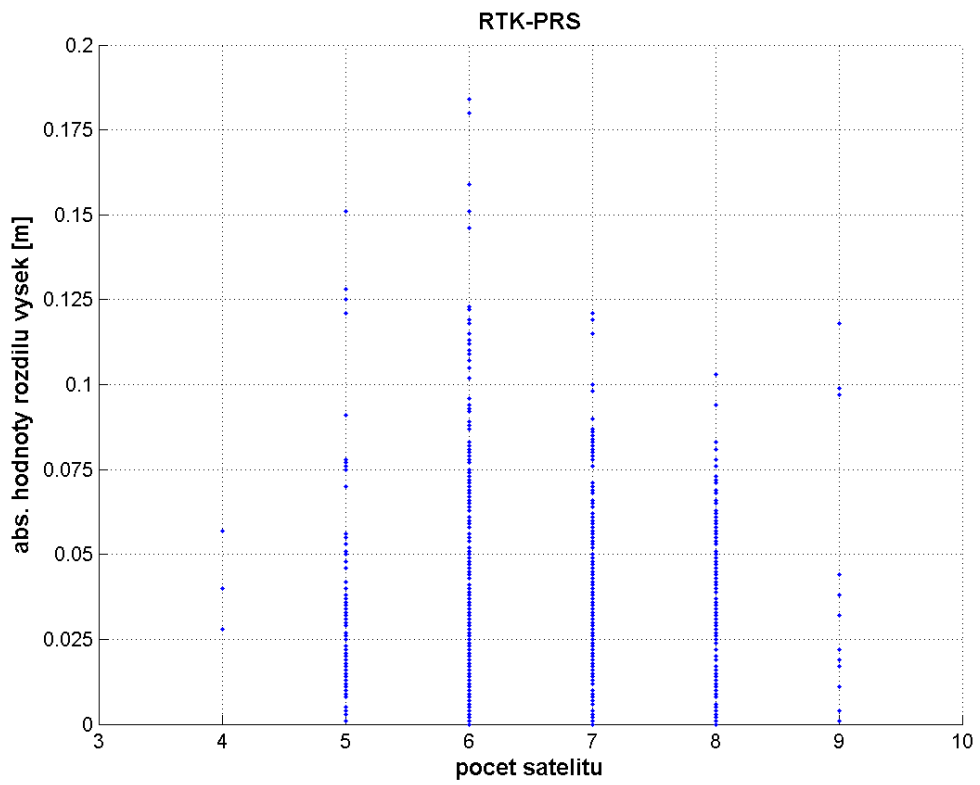
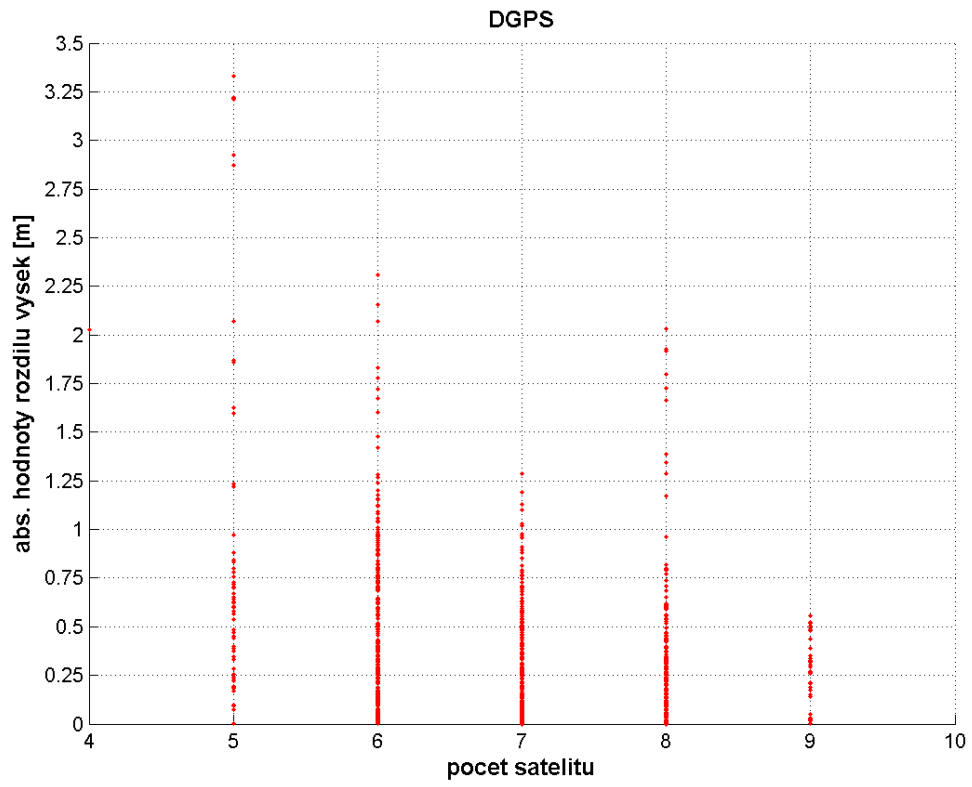


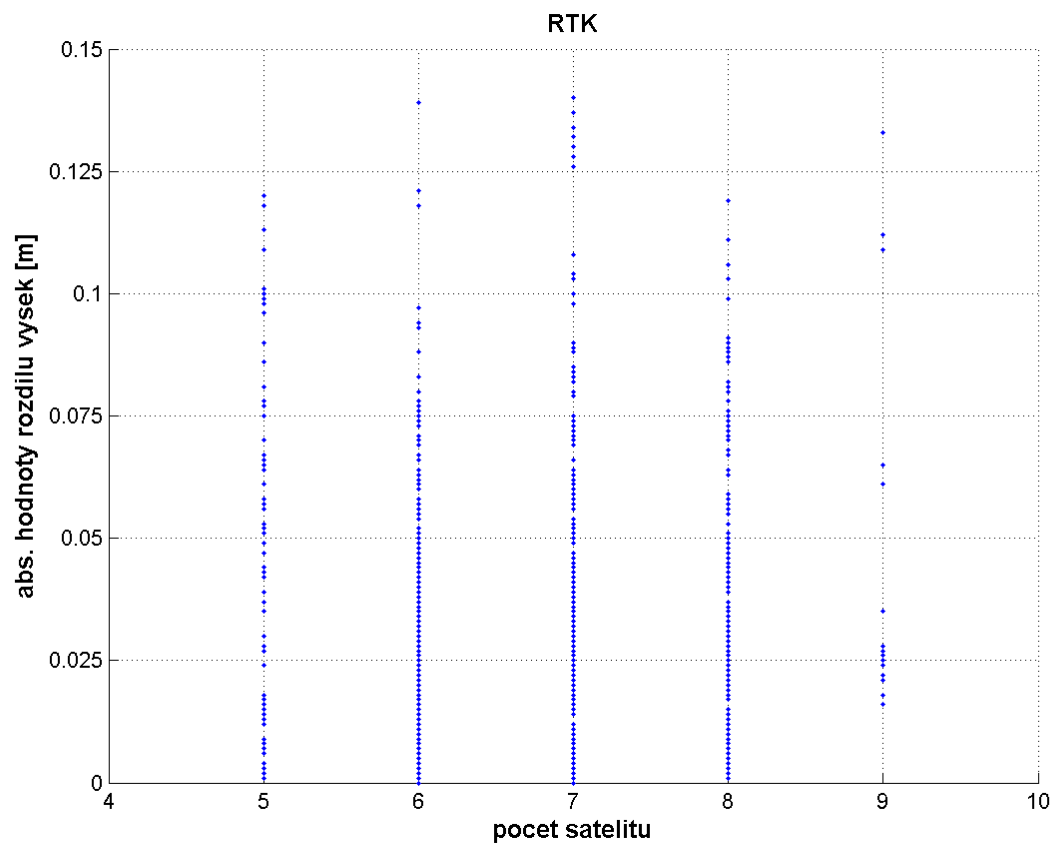
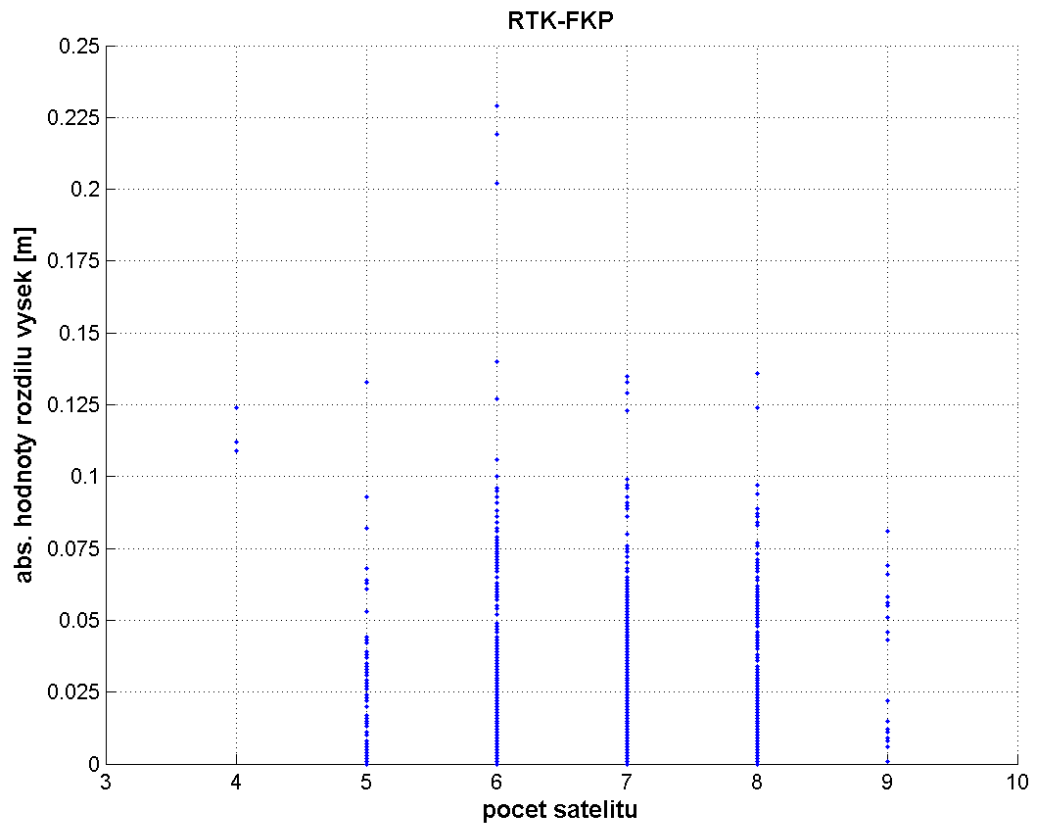










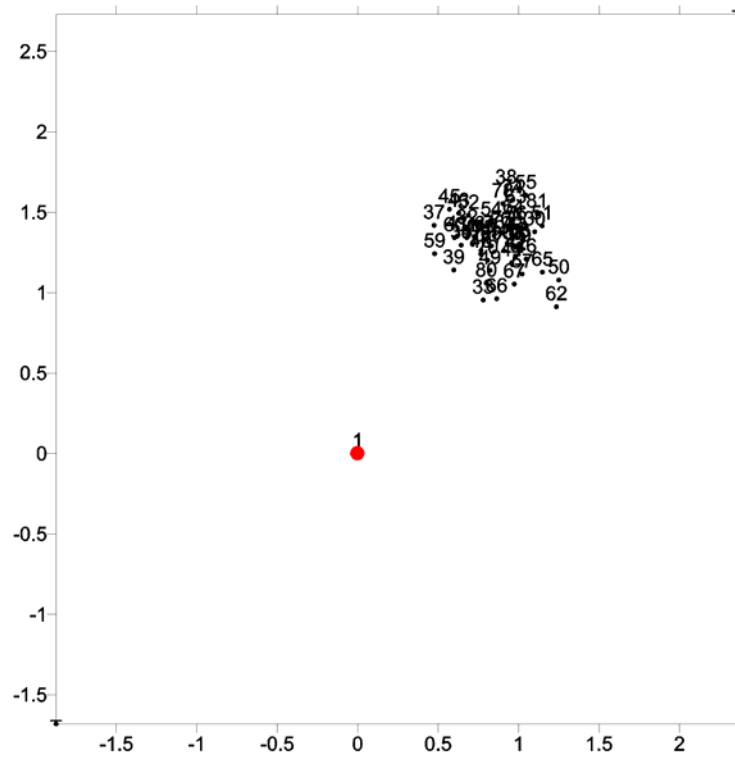


Příloha 3

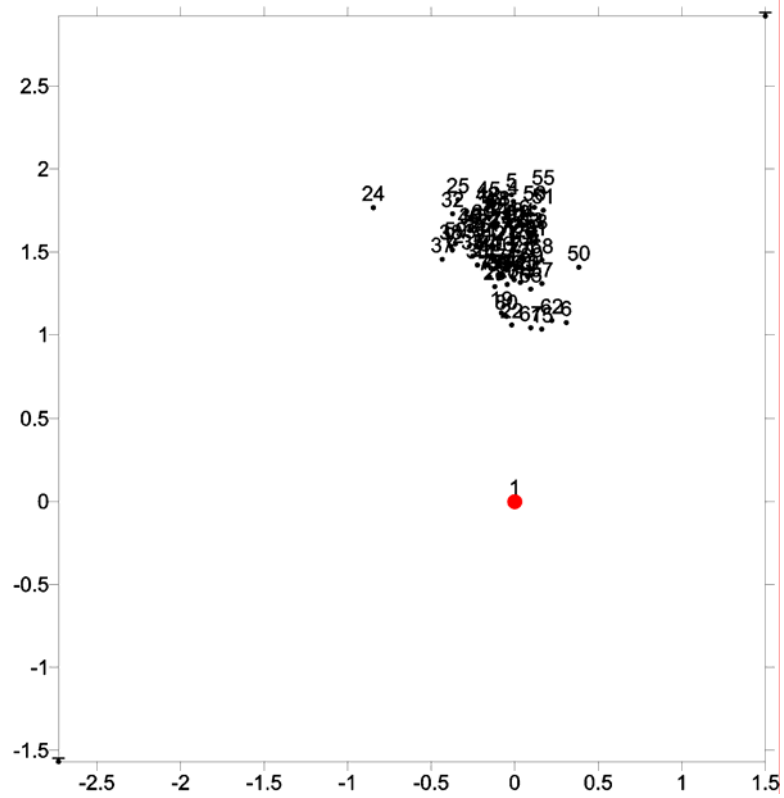
Stabilita stanic CZEPOS v poloze

Červený bod (č. 1)	... určení polohy z bodů DOPNUL měření GPS
Černý bod	... určení polohy z týdenních řešení z EUREF – EPN
Číslo u černého bodu	... pořadové číslo GPS týdne redukované o 1319

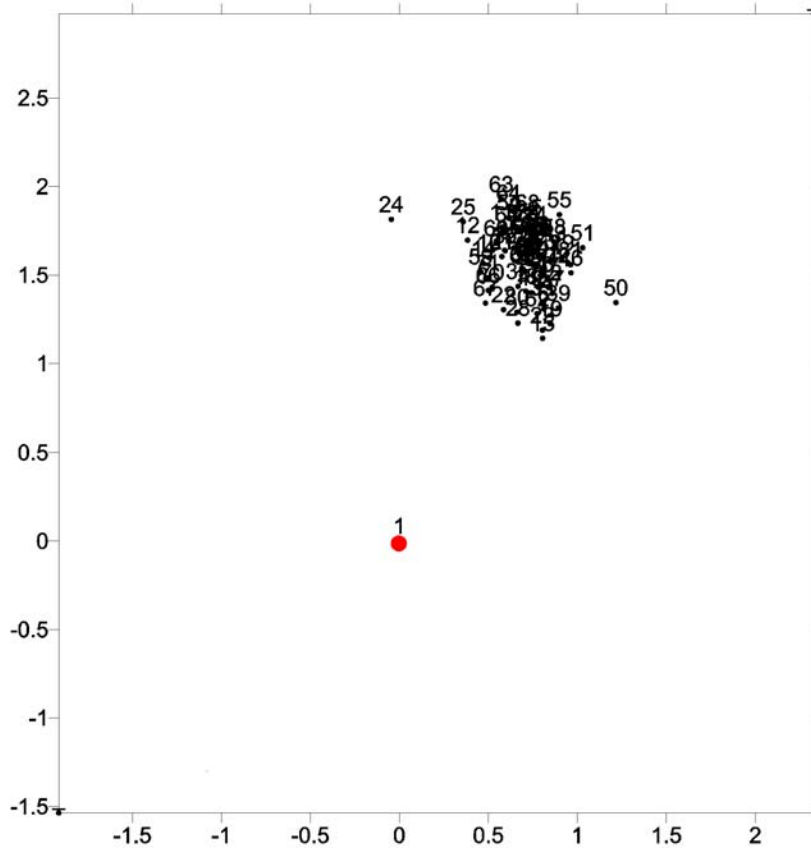
CBRU - Bruntál



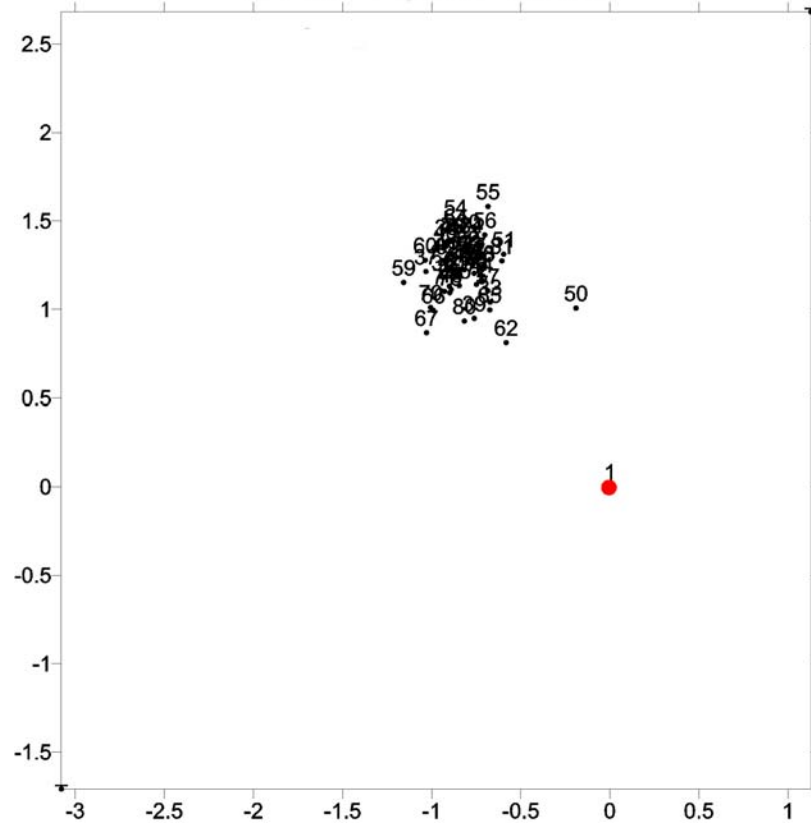
CDAC - Dačice



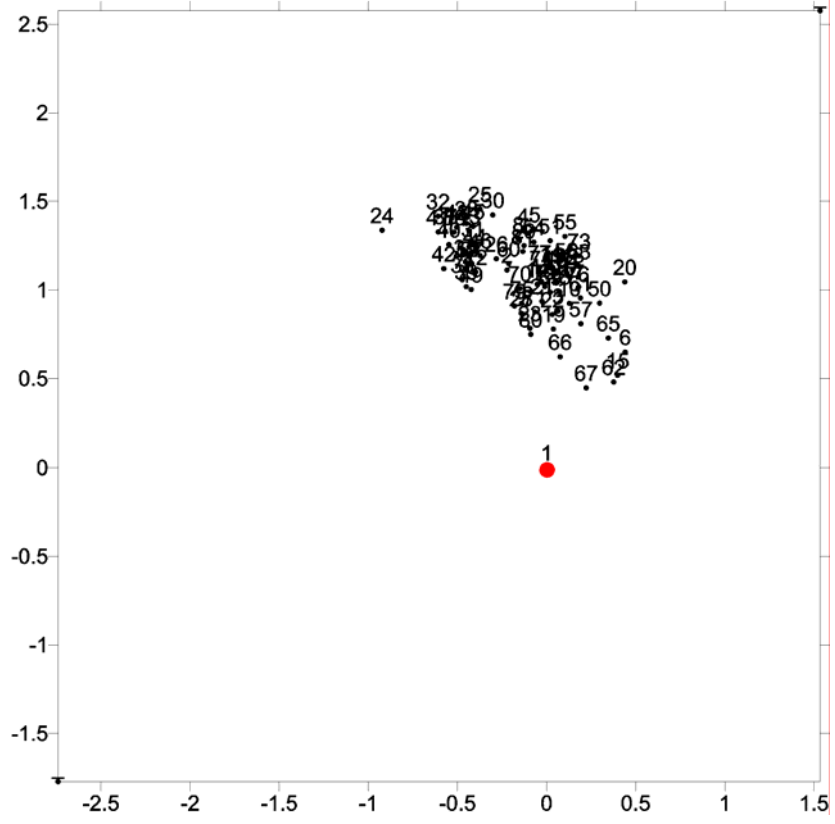
CDOM - Domažlice



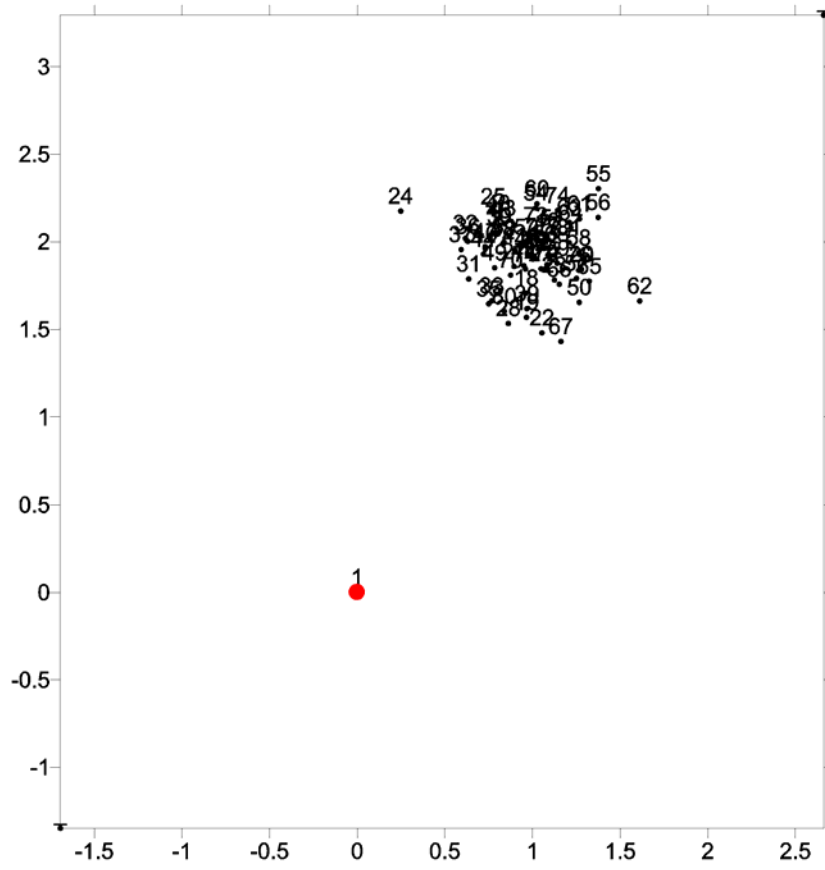
CFRM - Frýdek - Místek



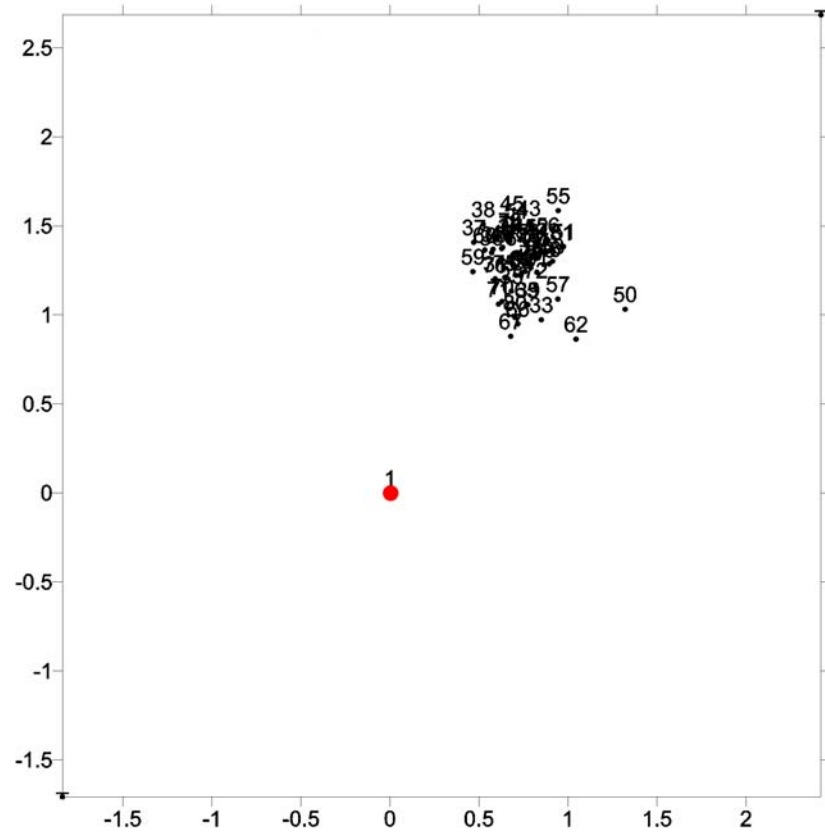
CJIH - Jihlava



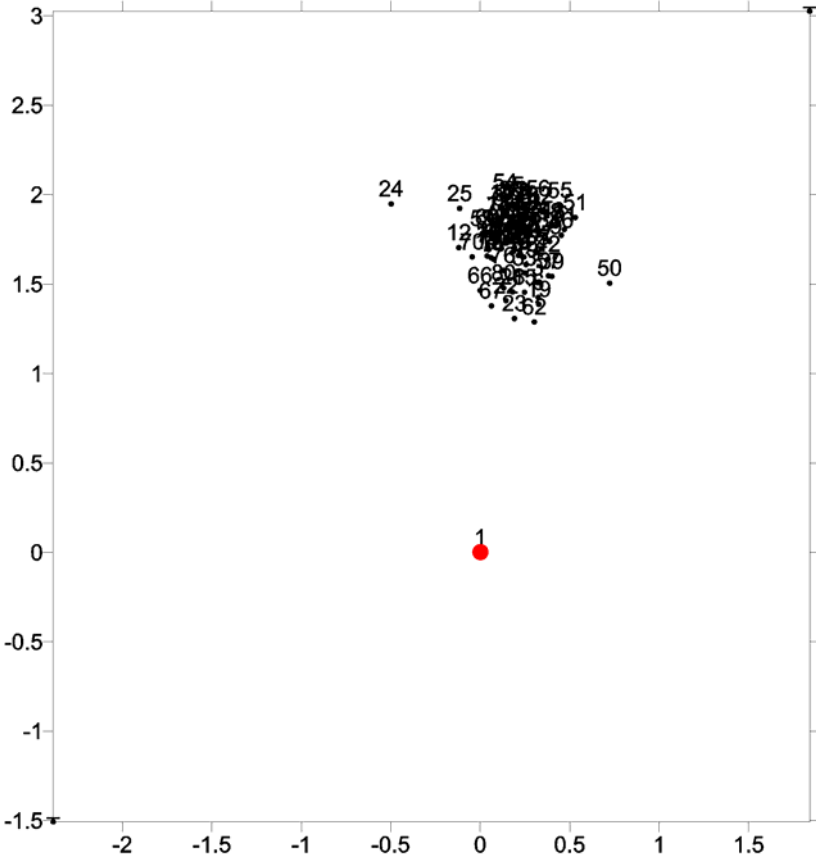
CKAP - Kaplice



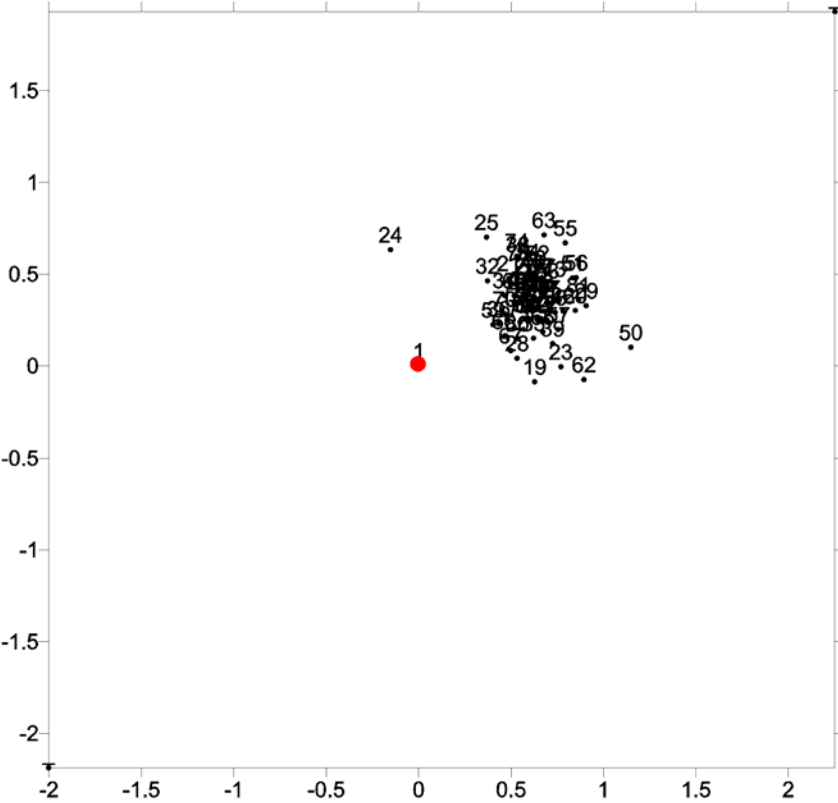
CKRO - Kroměříž



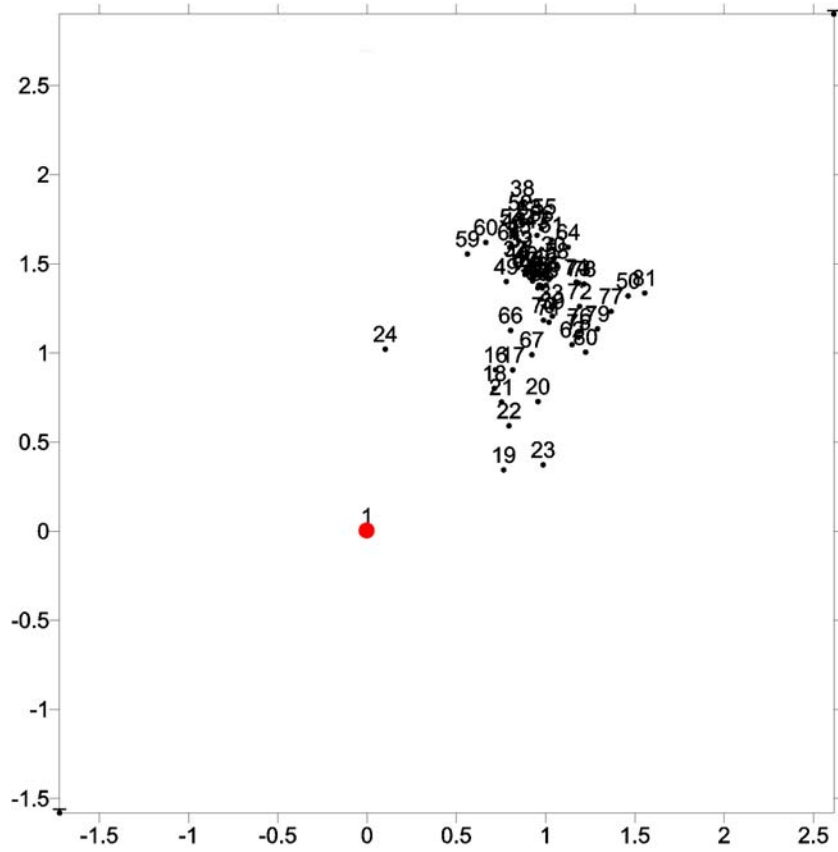
CKVA - Karlovy Vary



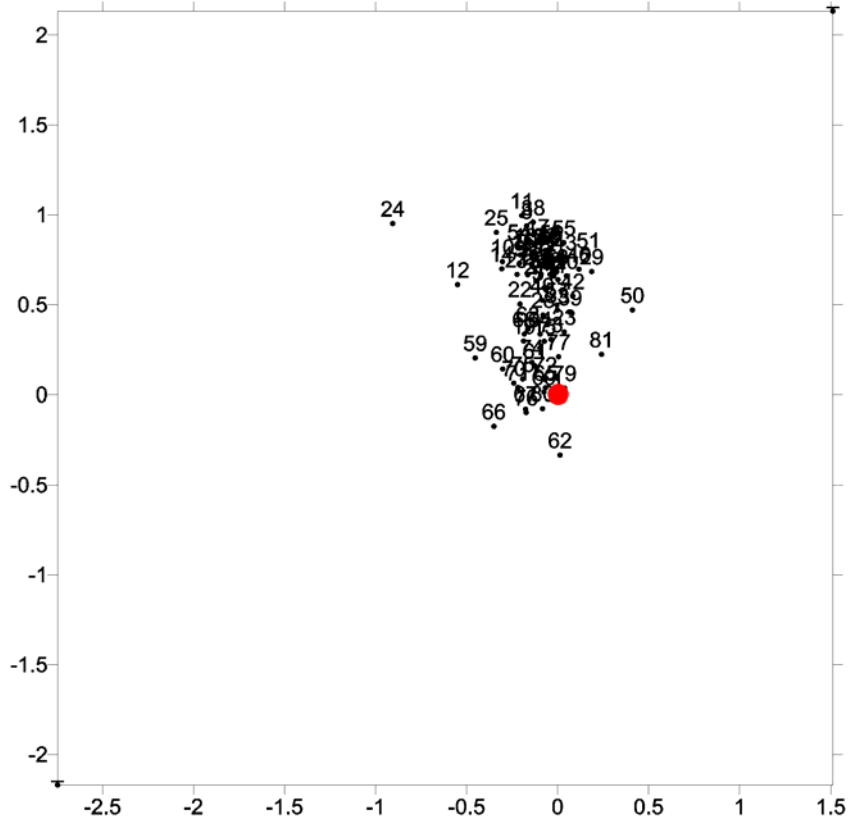
CLIB - Liberec



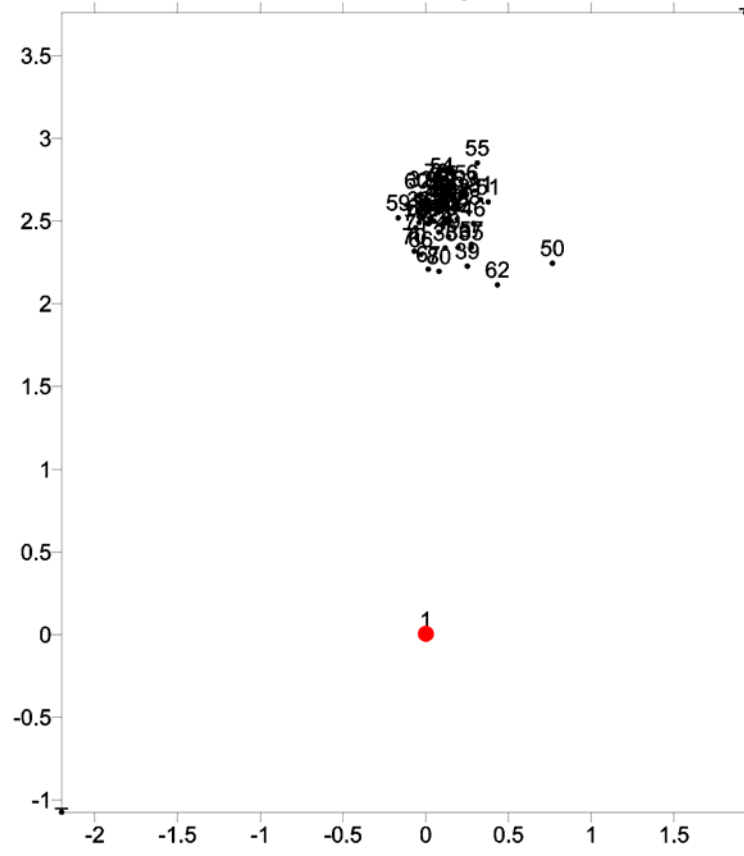
CLIT - Litoměřice



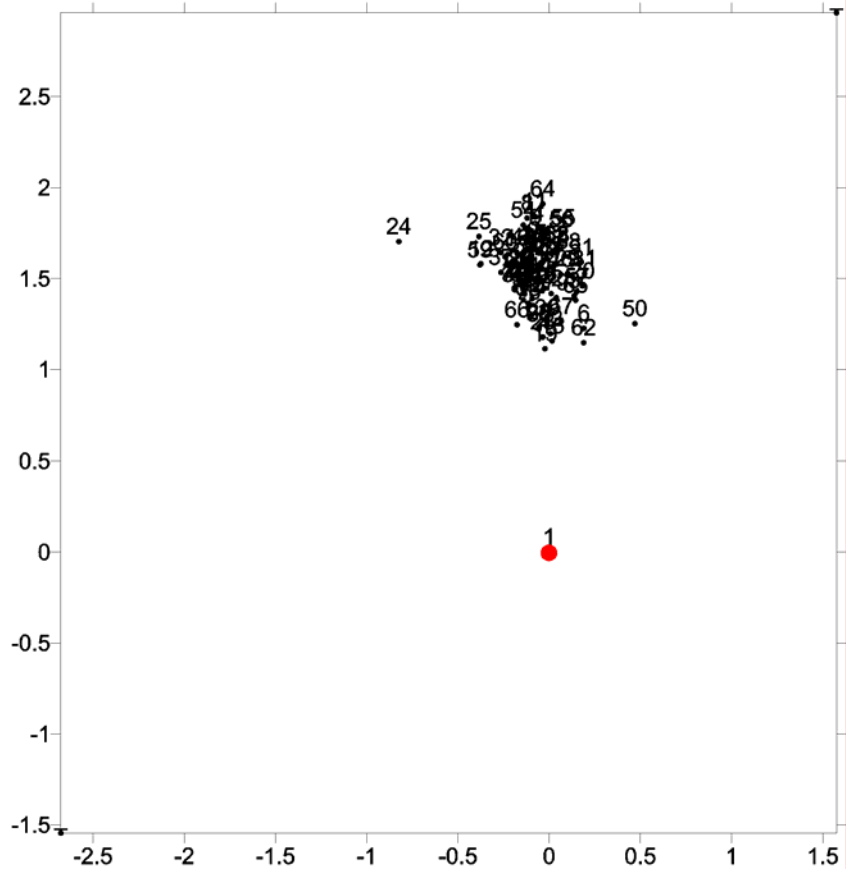
CMBO - Mladá Boleslav



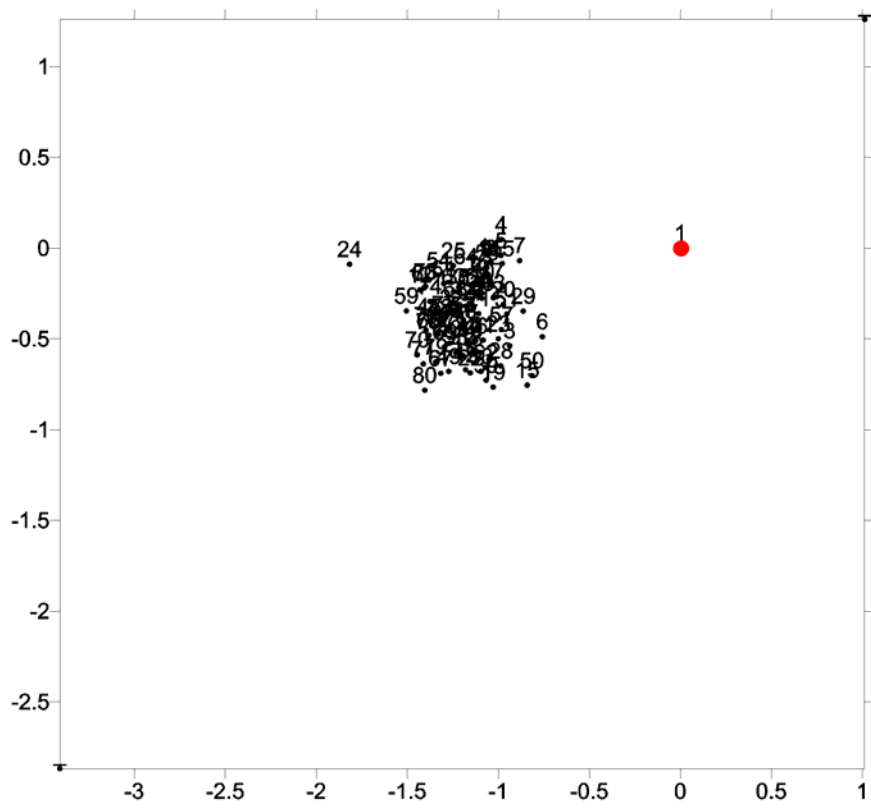
CMOK - Moravský Krumlov



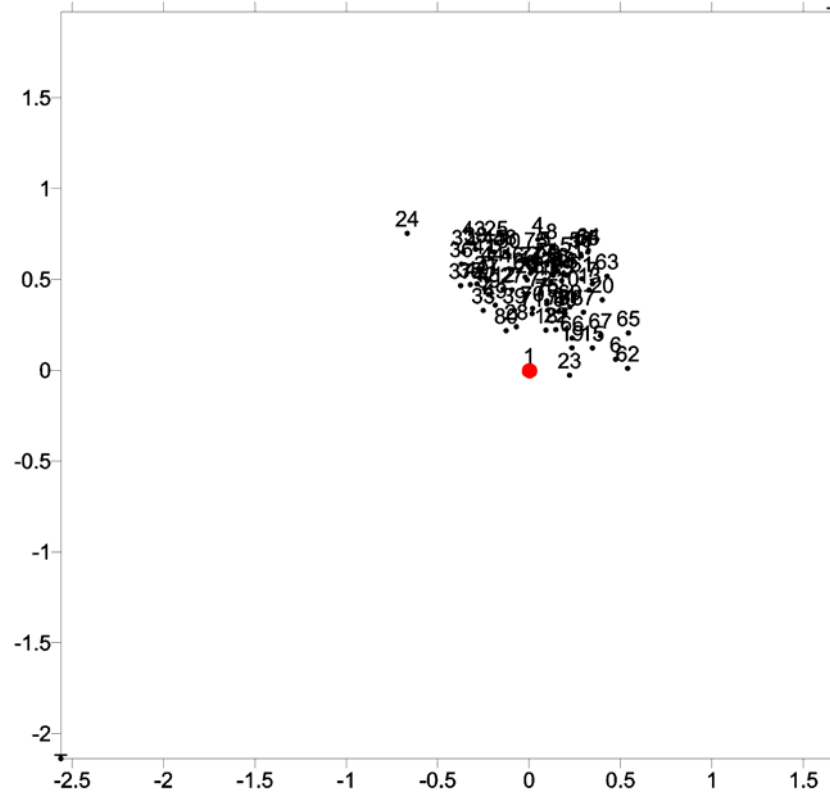
CPAR - Pardubice



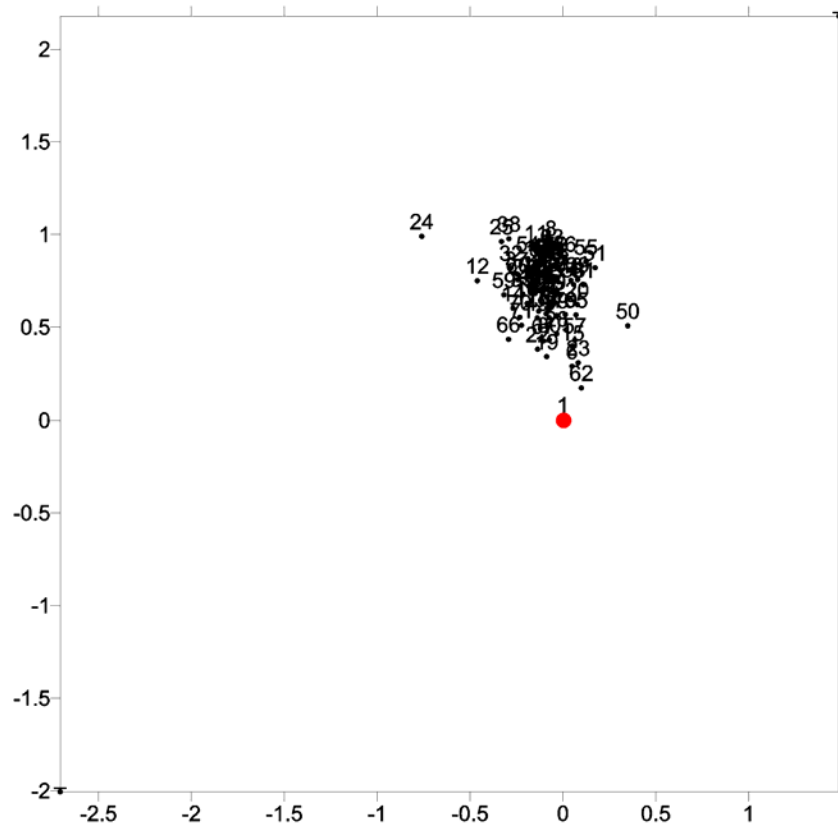
CPRA - Prachatice



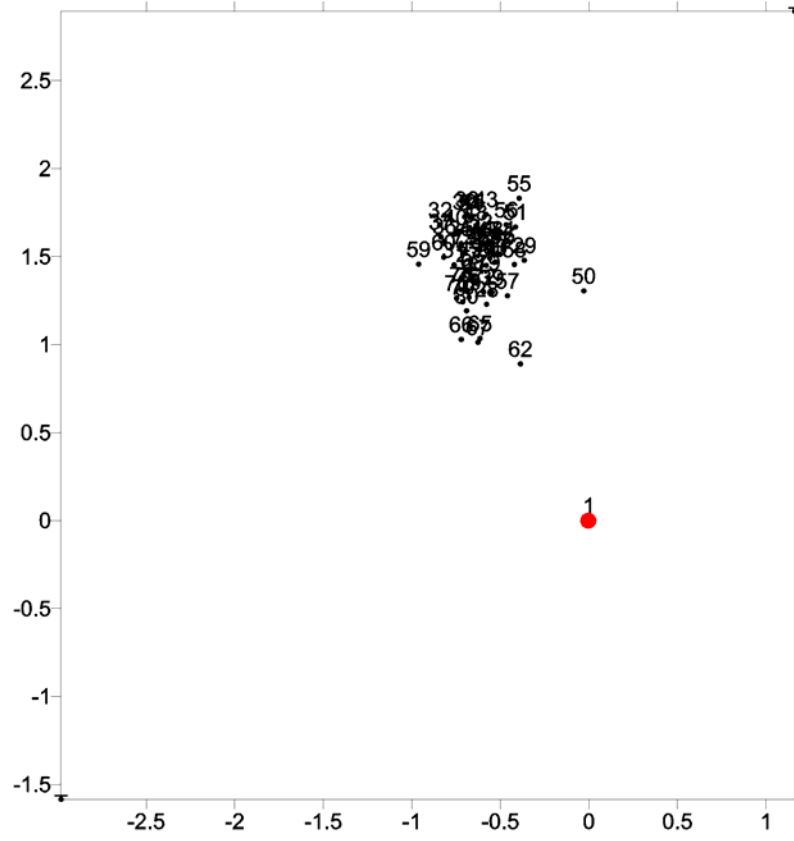
CPRI - Příbram



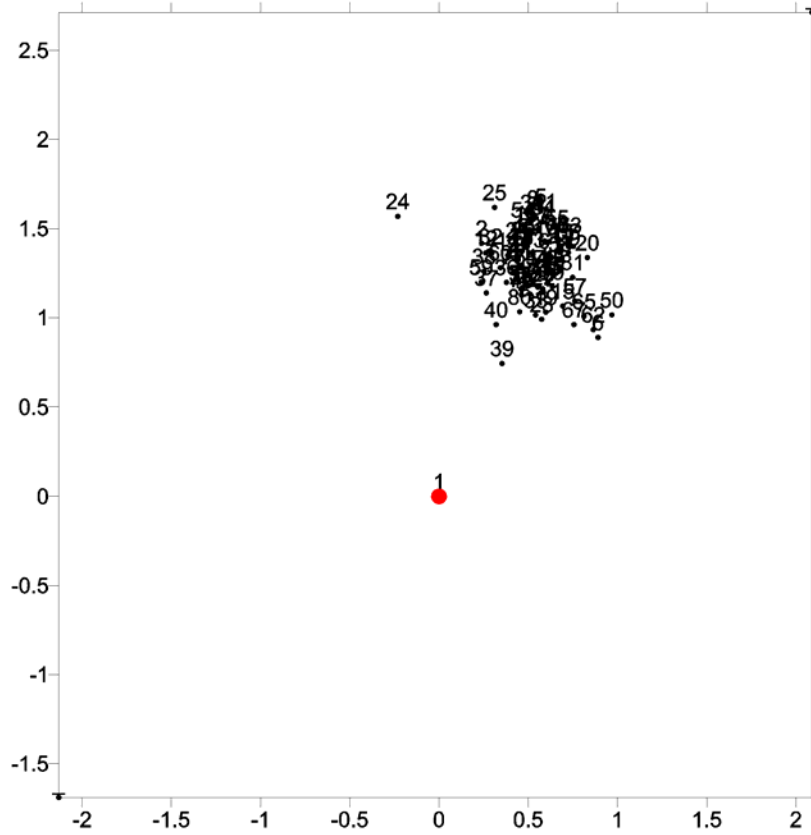
CRAK - Rakovník



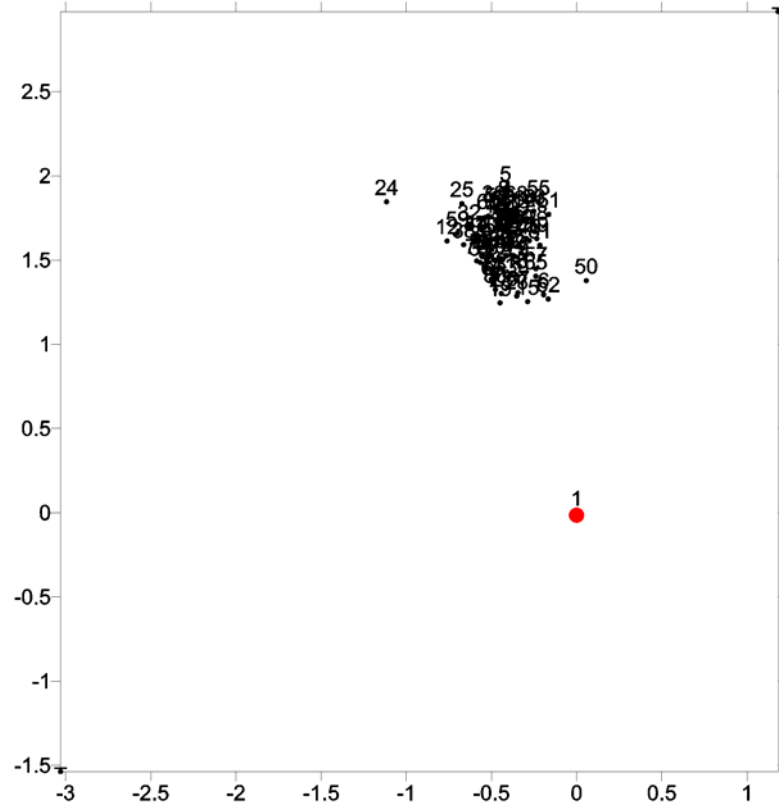
CSUM - Šumperk



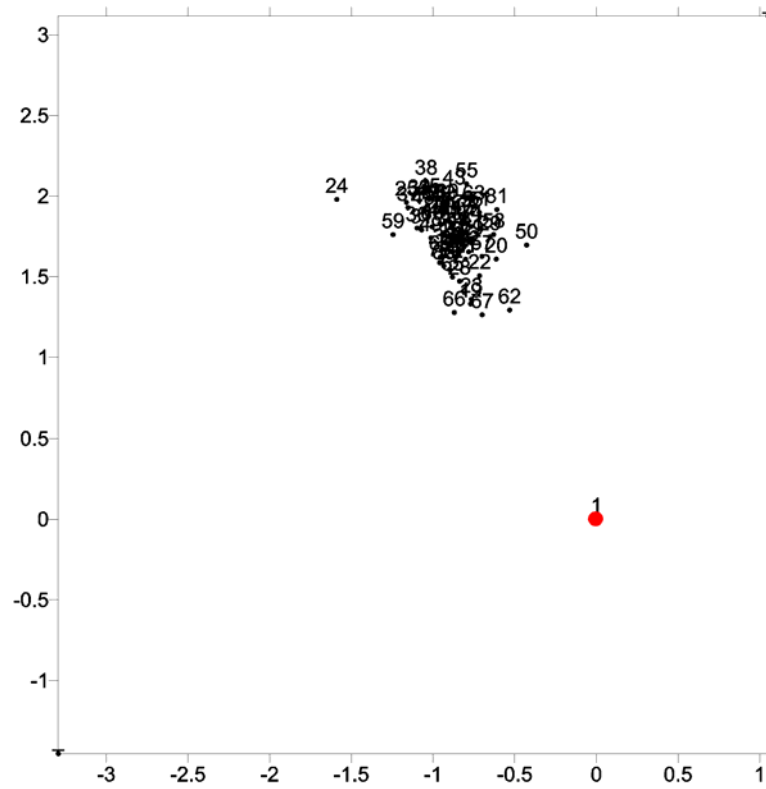
CSVl - Svitavy



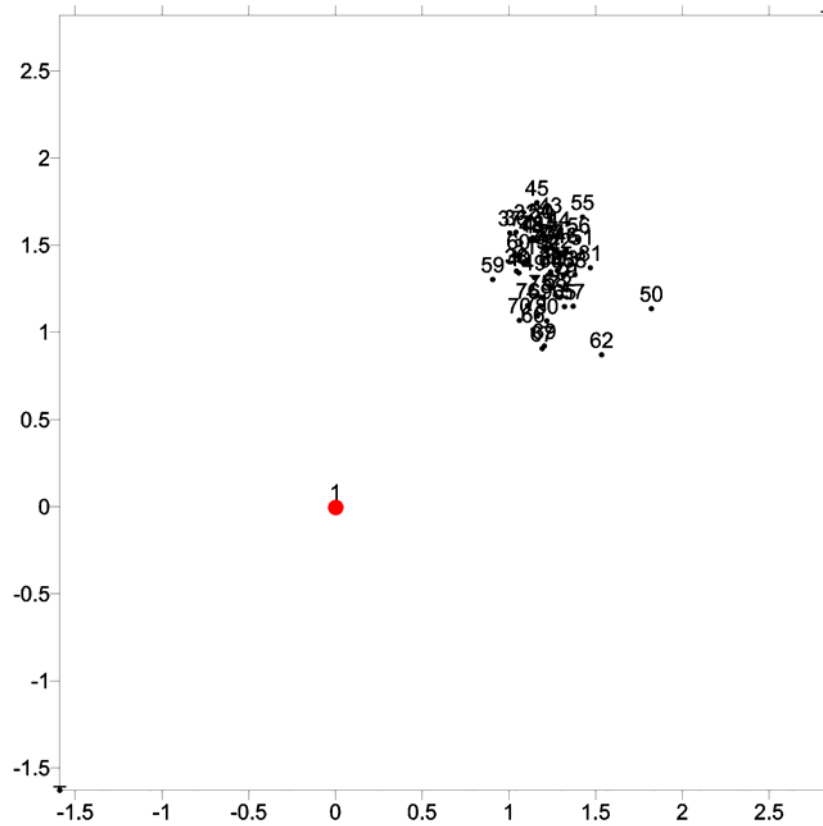
CTAB - Tábor



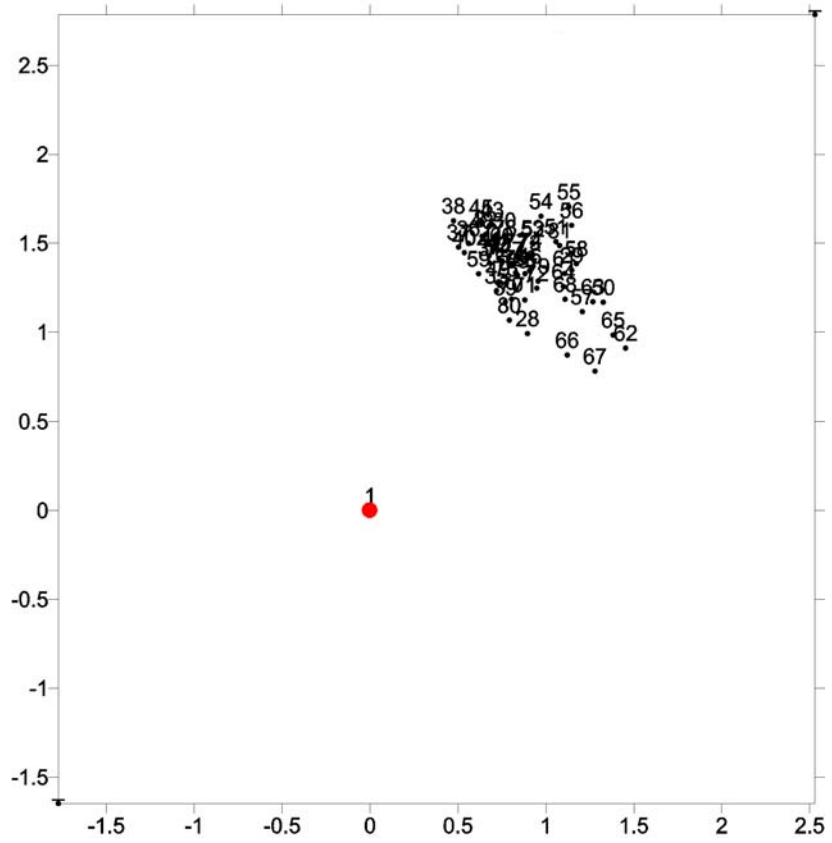
CTRU - Trutnov



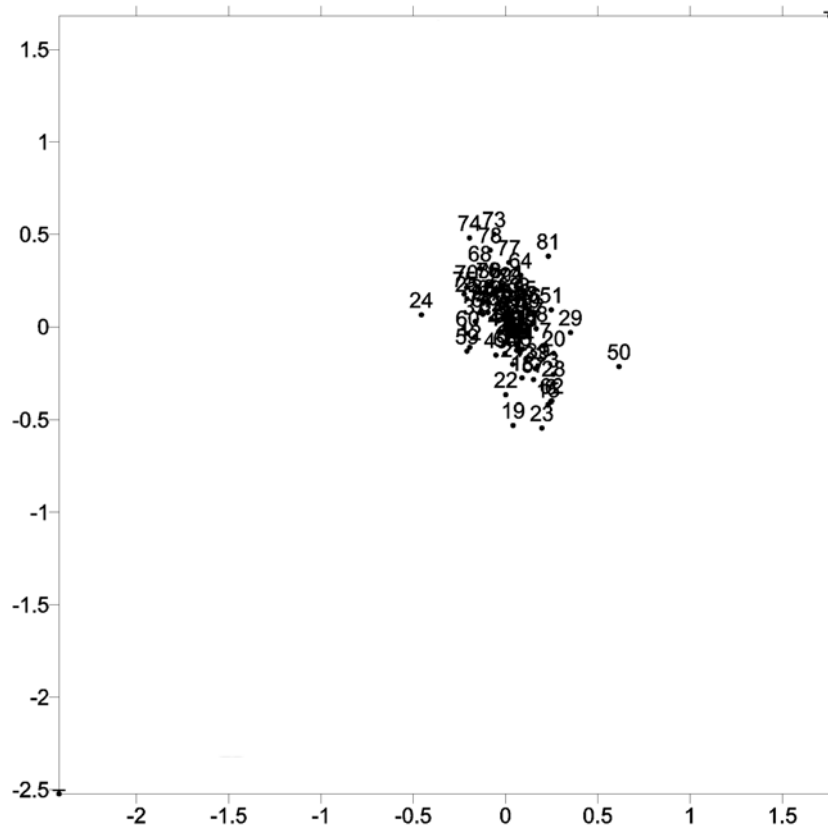
CVSE - Vsetín



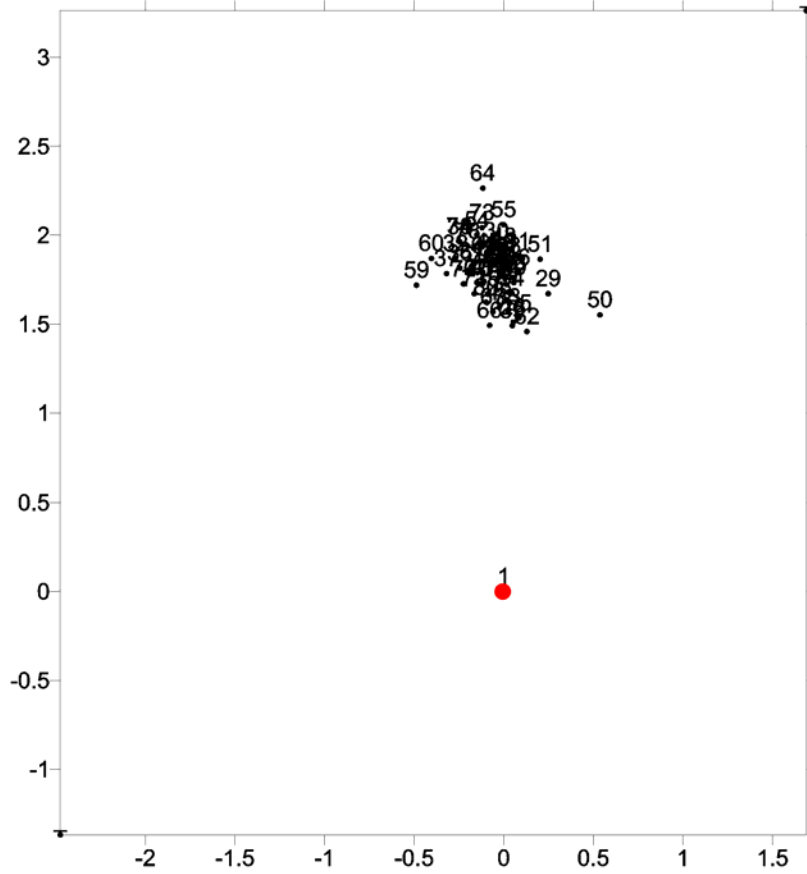
CHOD - Hodonín



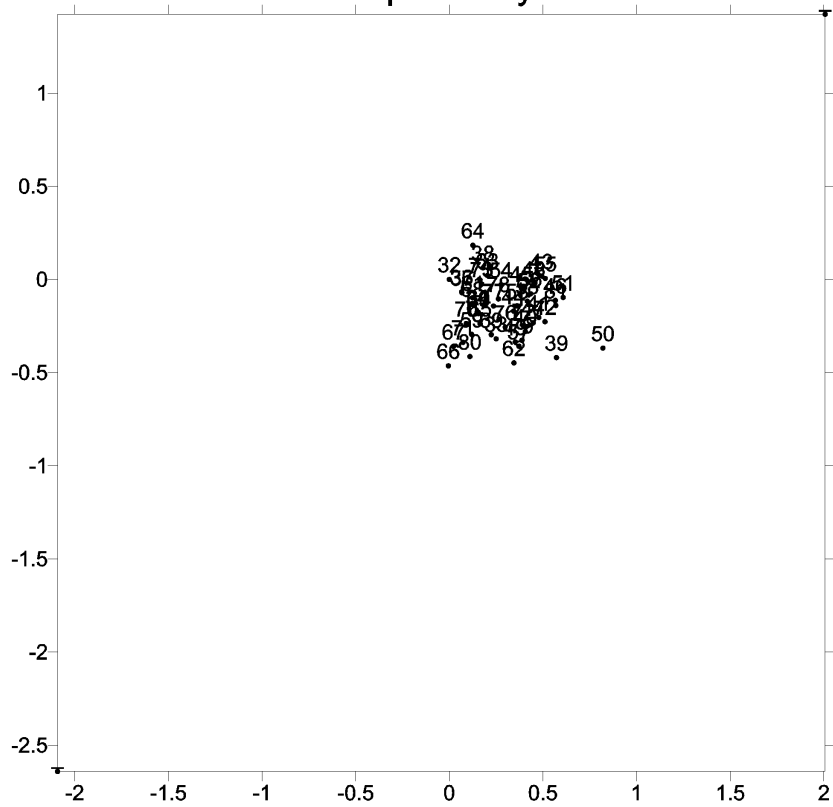
GOPE - Geodetická observatoř Pecný, Ondřejov



VSBO - Vysoká škola báňská, Ostrava



PLZE - Západočeská univerzita v Plzni,
Fakulta aplikovaných věd



TUBO - VUT v Brně, Stavební fakulta

