První začlenění českých, slovenských a maďarských polohových geodetických základů do Evropského referenčního rámce EUREF v letech 1991 až 1994

MILAN TALICH

KLÍČOVÁ SLOVA
EUREF, ETRS, ETRF, ITRS, ITRF, geodetické základy

ÚVOD

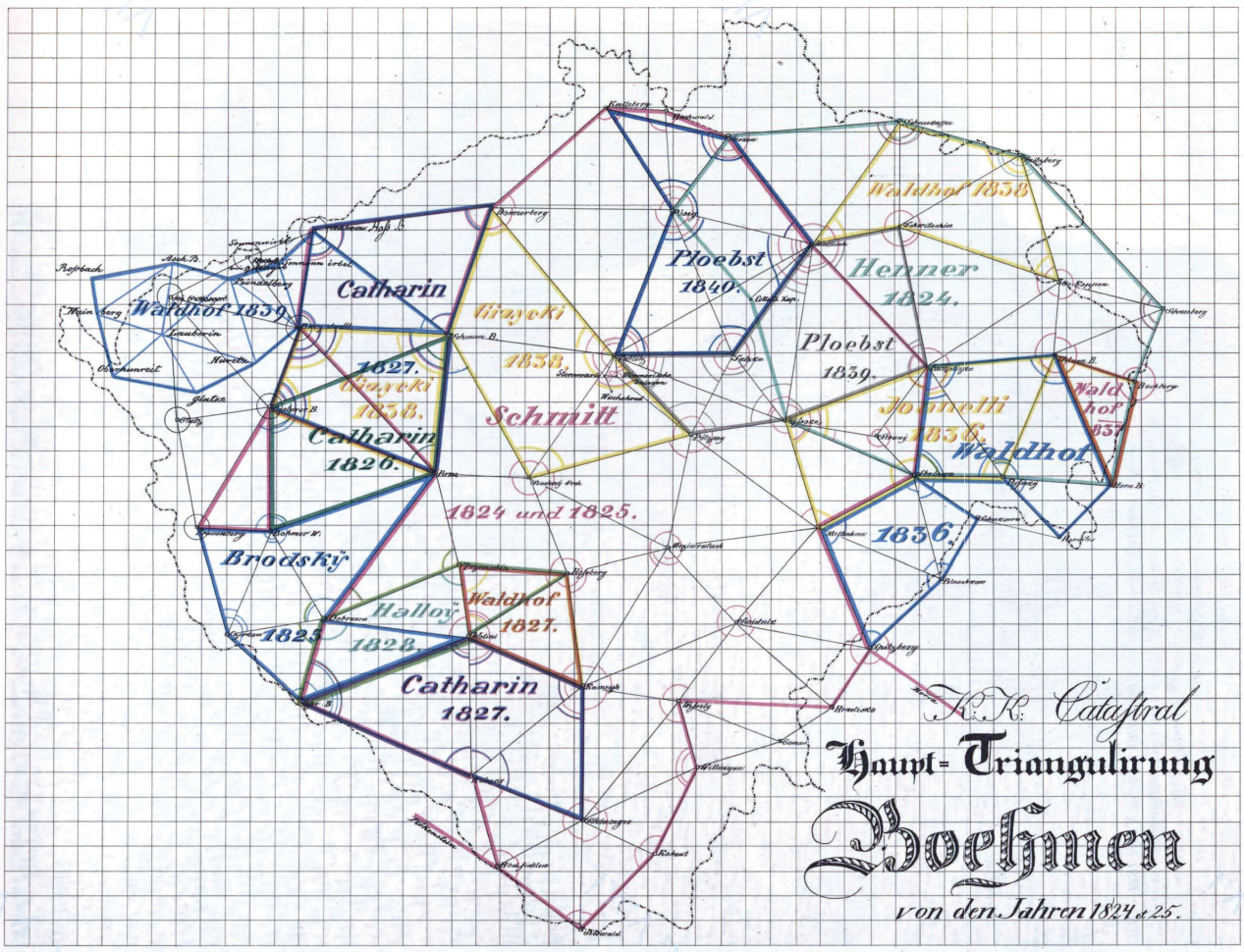
Geodetické polohové základy slouží primárně k řešení problému lokalizace objektů na Zemském povrchu. Snahou je samozřejmě dosáhnout co nejvyšší přesnosti v určení této polohy. Vzhledem k tomu, že Země má z globálního hlediska tvar koule, přesněji rotačního elipsoidu a z praktického globálního hlediska pak tvar geoidu, který v daném bodě na povrchu Země určuje jak vodorovnou rovinu, tak i směr tížnice, tedy svislice, nabízí se pro určování polohy na Zemi využití sférických nebo elipsoidických souřadnic. Zde je třeba rozlišovat astronomické zeměpisné souřadnice vztažené k místní tížnici a geodetické zeměpisné souřadnice vztažené k normále elipsoidu, vždy procházející daným bodem na povrchu Země. Rozdíly mezi těmito typy souřadnic jsou až v desítkách vteřin, přičemž jedna vteřina odpovídá cca 31 m v délce poledníku na povrchu Země. Praktická měření na povrchu Země jsou ale obvykle z důvodu urovnání stroje vztažena k vodorovné rovině, ve které se měří vodorovné směry a do které se redukují šikmo měřené délky. Svislé směry (zenitové vzdálenosti) jsou pak měřeny k tížnici. V mapách se navíc z praktických důvodů pro jak znázornění polohopisu, tak i odměřování, používají nejčastěji rovinné souřadnice. V geodetické a kartografické praxi tedy potřebujeme rovinné souřadnicové systémy. Nastává zde tudíž i problém zobrazení zemského povrchu do roviny. K tomu se používají kartografická zobrazení (úhlojevná, plochojevná nebo délkojevná). Důležité je si uvědomit, že **souřadnicový systém, používaný geodety v praxi, je fyzicky realizován souřadnicemi bodů, které jsou v terénu stabilizovány geodetickými body**, obvykle nazývanými mezníky.

Souřadnice bodů fyzicky realizujících souřadnicový systém byly dříve určovány metodou triangulace, tedy úhlovým měřením v trojúhelníkové síti s výslednou přesností směru 1″–2″. Takto se dal relativně přesně určit tvar sítě. K určení jejího rozměru se měřila jedna nebo více délkových základen, obvykle invarovými dráty, s následným přenesením její délky pomocí rozvinovací sítě na délku trigonometrické strany v trojúhelníkové síti. Bylo třeba určit délku trigonometrické strany větší než 10 km s výslednou přesností několika málo cm. Pro vysokou pracnost bylo takových základen měřeno v každé síti obvykle jen několik (nebo dokonce žádná, byla-li možnost převzít rozměr jiným způsobem, např. transformací na známé body). K určení polohy a orientace sítě na zemském elipsoidu se pak měřily na vybraných bodech zeměpisné souřadnice a azimut trigonometrické strany (Laplaceovy body).

K tomu, abychom si uvědomili význam prvního začlenění českých, slovenských a maďarských polohových geodetických základů do Evropského referenčního rámce EUREF, potřebujeme znát historii budování polohových geodetických základů na našem území. Uvedu jen stručný nástin.

HISTORIE BUDOVÁNÍ POLOHOVÝCH GEODETICKÝCH ZÁKLADŮ NA ÚZEMÍ ČR

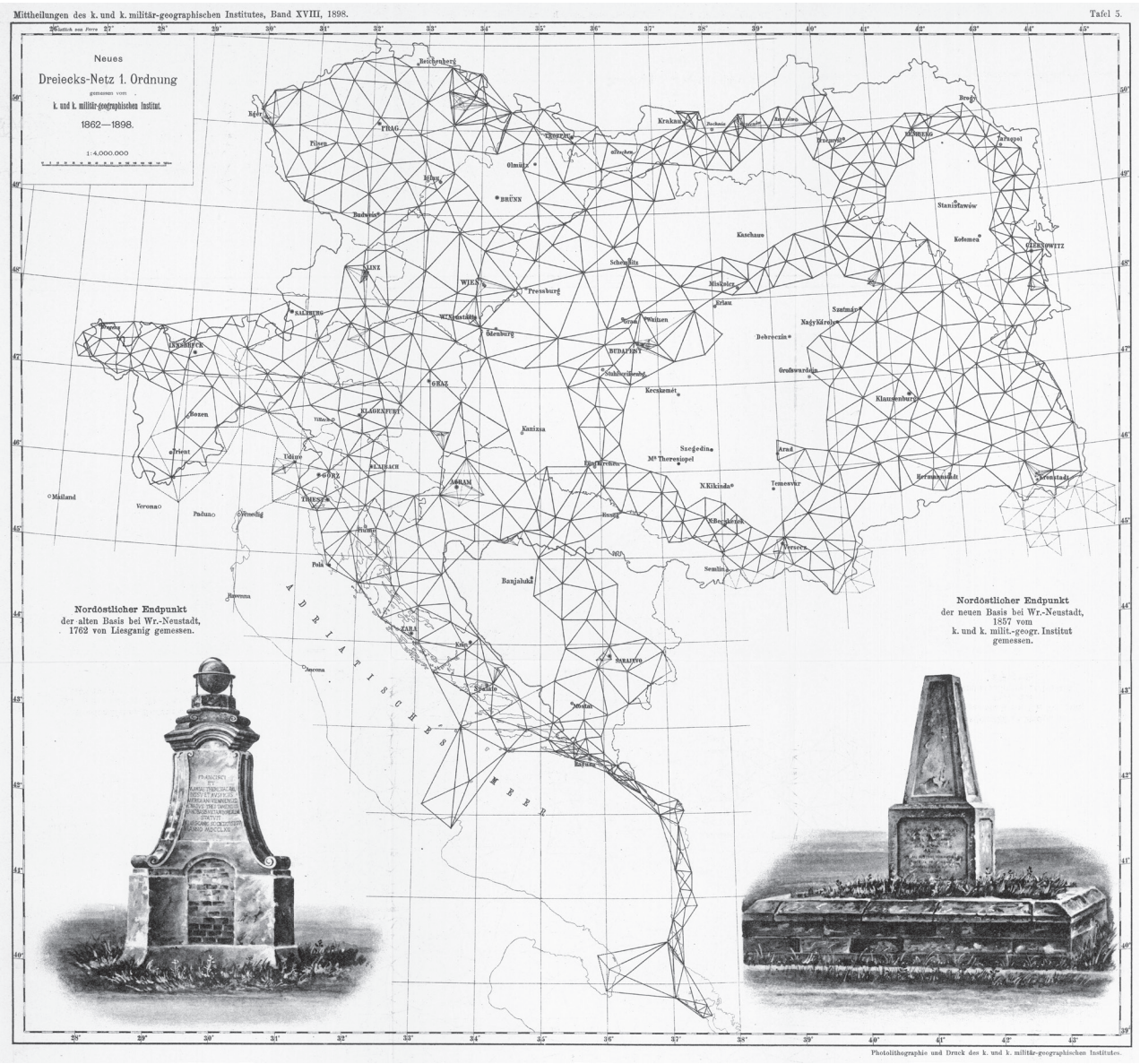
První geodetické základy na území dnešní České republiky, ale platí to i o území Slovenska a Maďarska, byly budovány od první poloviny 19. století v souvislosti s katastrálním měřením v tehdejším Rakouském císařství (Habsburské monarchii). Jednalo se o tzv. **Katastrální triangulaci z let 1821 až 1864**. Území bylo pokryto souvislou trigonometrickou sítí, která posloužila pro katastrální mapování v měřítku 1 : 2880. Použito bylo Cassiniho zobrazení, při němž dochází k délkovým deformacím, které rostou se vzdáleností od základního poledníku procházejícího počátkem



Obr. 1 Schéma sítě katastrální triangulace v Čechách z let 1824-25 (Boguszak – Císař, Vývoj mapového zobrazení území ČSSR, díl III, 1961)

souřadnicové soustavy. Proto bylo území rozděleno na několik oblastí se samostatnými souřadnicovými soustavami s počátky ve význačných trigonometrických bodech I. řádu. Pro Čechy to byl počátek v trig. bodě Gustergerg, pro Moravu a Slezsko byl počátek v trig. bodě Sv. Štěpán ve Vídni, pro Slovensko byl počátek v trig. bodě Gellérthegy v Budapešti. Vodorovné úhly sítě I. řádu byly měřeny Reichenbachovými teodolity až dvanáctinásobnou repeticí. Čtyři měřené základny: u Vídeňského Nového Města v Dolním Rakousku, u Welsu v Horním Rakousku, u Radouce v Bukovině a u Hall v Tyrolsku, posloužily k odvození rozměru sítě. Body sítě, které v praxi realizovaly souřadnicový systém stabilního katastru, byly stabilizovány dřevěnými kůly a jejich trvalá stabilizace mezníky (označenými K.V. = „Katastral Vermessung") byla provedena až 20 let po triangulaci. To mělo neblahý vliv na přesnost jejich polohy. Malé území Hlučínsko bylo před r. 1918 součástí bývalého Pruska, kde v r. 1876 Schreiber vyrovnal triangulaci až do 3. řádu v tzv. "Doppelprojektion". Pro katastrální mapování byly přitom výsledky triangulace přepočteny do většího počtu soustav Cassiniho zobrazení, přičemž pro Hlučínsko byl zvolen souřadnicový systém s počátkem v trig. bodě Pšov. Další podrobnosti ke katastrální triangulaci a mapování jsou např. v [1], [2], dále též v knize [3], která se nachází na [4]. Taktéž jsou další informace a příslušné instrukce stabilního katastru na [5] a [6]. Je přitom třeba dodat, že souřadnicové systémy stabilního katastru jsou dodnes používány pro katastrální mapy.

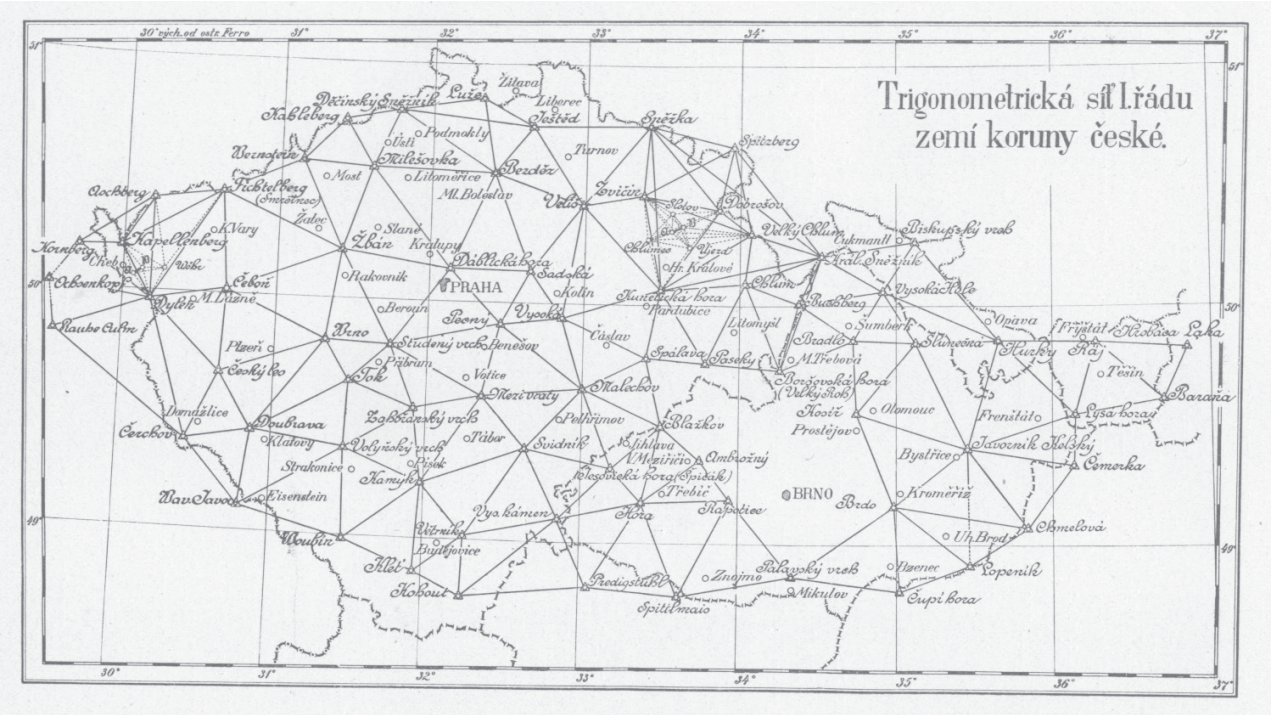
Dalším obdobím v budování polohových geodetických základů na našem území byla **vojenská triangulace v letech 1862–1898**. Výsledkem byla poměrně přesná trigonometrická síť I. řádu vybudovaná Vojenským zeměpisným ústavem ve Vídni na území bývalého Rakousko-Uherska. Ačkoliv to byla plošná trojúhelníková síť, obsahovala i zdvojené trojúhelníkové řetězce a prázdné prostory, zřejmě podle důležitosti konkrétní části mocnářství. Prázdné prostory byly mimo jiné na Moravě a především na Slovensku. Celkem bylo měřeno 22 délkových základen, z toho na našem



Obr. 2a Schéma 1. řádu sítě vojenské triangulace z let 1862 – 1898 v Rakousko-Uhersku s vyznačením délkových základen. Značné části včetně jižní Moravy a Slovenska nebyly zaměřeny. (Mittheilungen des K. u. k. Militär-Geographischen Institutes, Band XVIII 1898.)

území dvě: u Josefova a u Chebu. Většina základen však plnila pouze kontrolní funkci. Rozměr sítě byl prakticky nejvíce ovlivněn pouze geodetickou základnou u Josefova. Referenčním elipsoidem sítě byl Besselův elipsoid, síť nebyla převedena do roviny. Základním bodem byl Hermannskogel, jehož astronomicky naměřené souřadnice a azimut byly použity jako výchozí pro geodetický výpočet celé sítě tzv. metodou rozvinovací a to bez korekcí z odchylky tížnice (byl zde pouze jeden Laplaceův bod). To způsobilo stočení celé sítě o cca 9,9″. Ačkoliv výsledkem této etapy byla na tehdejší dobu dosti přesná síť (střední chyba ve směru podle Ferrerova vzorce byla 0,93″), tak chyba ve stočení sítě, použití pouze jedné základny k určení jejího rozměru a vyrovnání sítě po blocích podmínkovým vyrovnáním výsledky znehodnocuje. Další podrobnosti viz např. [7] a především [38]. Důležité pro dnešek je to, že značné množství bodů sítě (42 v Čechách a 22 na Podkarpatské Rusi) bylo převzato do pozdější „Československé Jednotné trigonometrické sítě“ a to včetně měřených směrů.

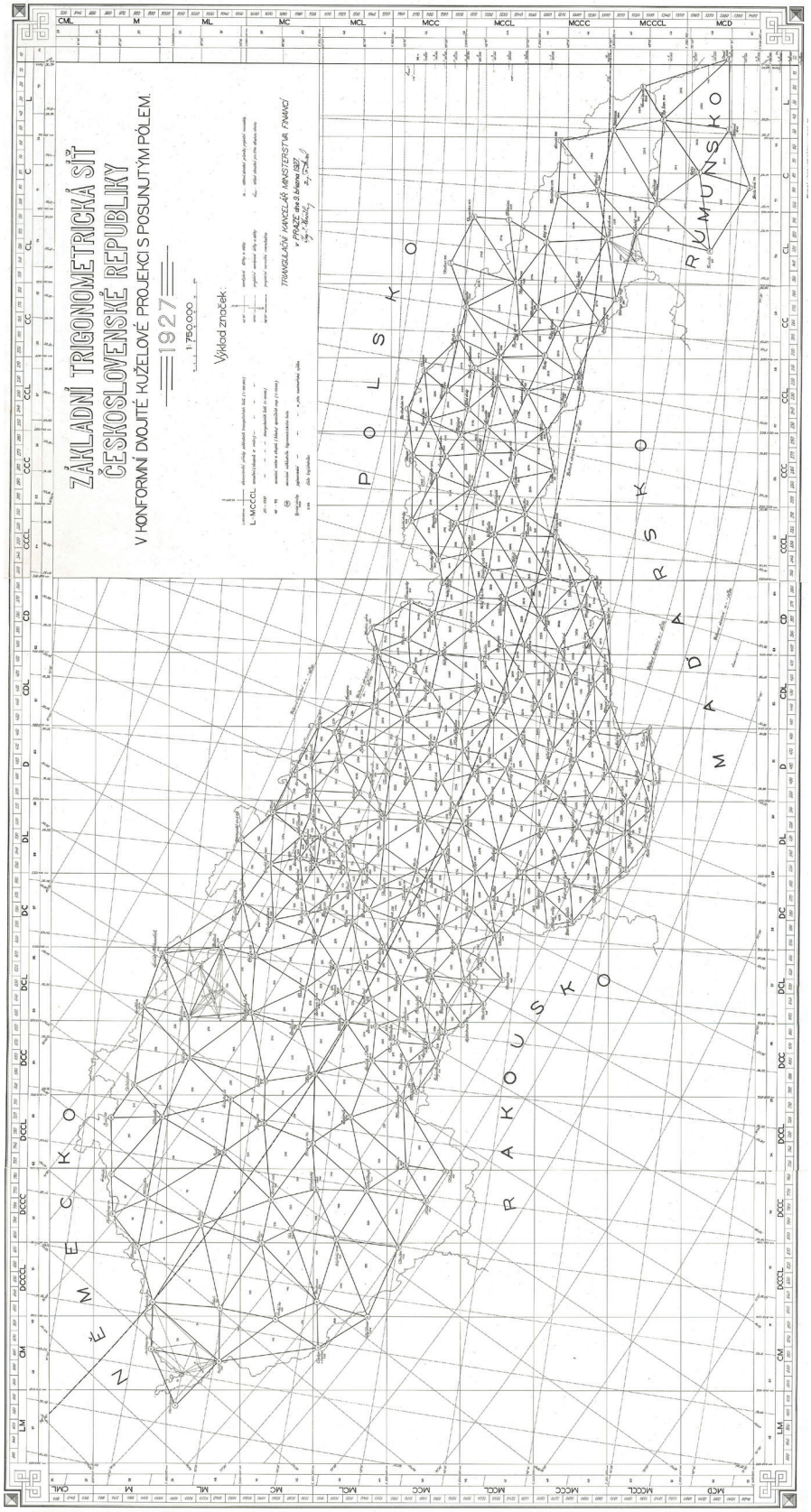
Československá Jednotná trigonometrická síť **(JTSK)** byla budována po vzniku Československa. V letech 1920–27 proběhlo zaměření „Základní trigonometrické sítě I. řádu“. Zaměření a zpracování „JTS I. řádu“ následovalo v letech 1928–37. Zaměření a zpracování ostatních



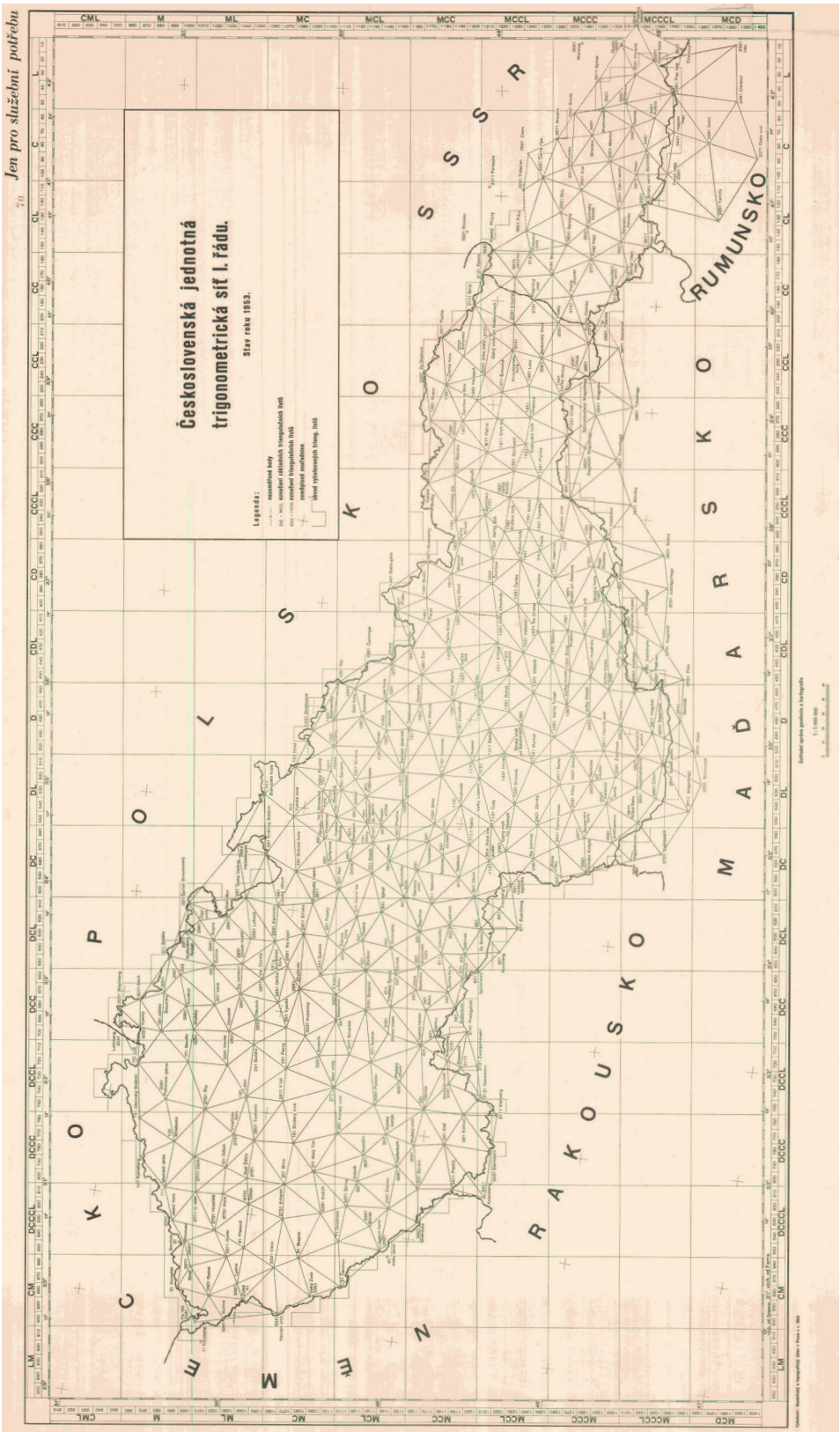
Obr. 2b Schéma sítě vojenské triangulace v Čechách, jejíž část byla později převzata do JTSK. Za povšimnutí stojí největší zaměřený trojúhelník Sněžka – Králický Sněžník – Kunětická hora, s nejdelší záměrou ca 98 km. (Novotný, F., Vyšší geodesie, 1909)

bodů JTS, tj. bodů II., III., IV. a V. řádu pak v letech 1928–1957. Protože při první etapě bylo snahou co nejrychleji vybudovat spolehlivý základ pro další zhušťování, nebyla provedena nová astronomická měření, nebyly měřeny délkové (geodetické) základny a síť nebyla spojena se sítěmi sousedních států. Navíc na celkem 64 bodech byla převzata měření směrů z Vojenské triangulace – viz výše. Pro určení rozměru, polohy a orientace sítě na Besselově elipsoidu pak byla použita Helmertova transformace na 42 identických bodů z vojenské triangulace v Čechách (tytéž body, u nichž byla převzata měření). Vzhledem k tomu, že navíc nebyly měřeny žádné azimuty na bodech sítě, nebylo možné zabránit ani ohybu sítě (deformacím tvaru). Všechny chyby v určení polohy i orientace sítě na elipsoidu a v jejím rozměru, které měla síť vojenské triangulace, se tak přenesly i do této nové sítě. Ta obsahovala celkem 268 bodů a 456 trojúhelníků, z nichž ovšem bylo 107 bodů totožných (identických) se sítí vojenské triangulace. Spolu s body II., III. a IV. řádu a body podrobné trigonometrické sítě, později nazývané body V. řádu, bylo na území ČSR přes 47 000 trig. bodů. Na území ČR je to cca 28 900 trig. bodů. Další podrobnosti jsou např. v [1], [2] a [7]. Důležité je, že takto vzniklý „Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální", zkratka S-JTSK, se dodnes používá v civilní geodetické praxi.

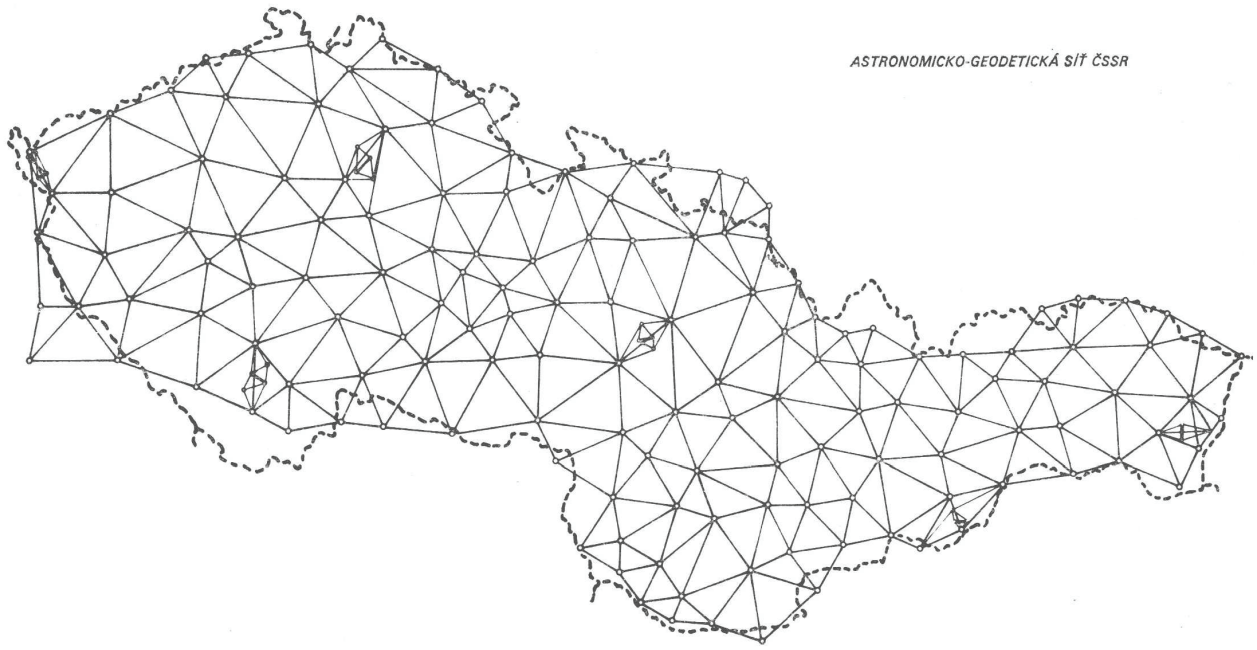
Souřadnicový systém 1952 (S-52) byl realizován jako předběžný systém pro zapojení S-JTSK do jednotné soustavy, jejímž jádrem byla astronomicko-geodetická síť (AGS) západní části SSSR. Požadavkem doby totiž bylo vytvořit pro nové topografické mapy předběžný systém, přesný natolik, aby se od pozdějšího přesného lišil jen velmi málo a bez nepříznivých důsledků pro započaté topografické mapování v Gaussově zobrazení. V roce 1951 byly ze SSSR dodány souřadnice několika desítek bodů na území ČSR, vypočtených v sovětském souřadnicovém systému 1942 (Krasovského elipsoid, Gaussovo zobrazení). Studie [8] ukázaly, že tento bodový podklad je méně přesný než naše JTS, což bylo mj. způsobeno tím, že k výpočtu bylo použito starších výsledků vojenské triangulace (1862-1898). JTS byla tedy transformována výpočtem klíče konformní kubické transformace. Pro hromadný převod bodů daných v S-JTSK do S-52, byly vypočteny tabulky, ve kterých ke každému bodu čtvercové sítě 10 x 10 km (Křovákova zobrazení, S-JTSK), byly použitím klíče uvedené konformní kubické transformace vypočteny rovinné pravoúhlé souřadnice Gaussova zobrazení v S-52. Výsledkem bylo: JTS byla přibližně převedena z lokálního (národního) Křovákova souřadnicového systému a zobrazení na Besselově elipsoidu do sovětského souřadnicového systému 1942 a všeobecně zaváděného Gaussova zobrazení na Krasovského elipsoidu. Tím byla zčásti napravena její



Obr. 3 Schéma Základní trigonometrické sítě ČSR, stav k r. 1927 po doplnění oblastí nezaměřených vojenskou triangulací (VUT Brno)



Obr. 4 Schéma Československé jednotné trigonometrické sítě I. řádu, stav k r. 1953 po provedení zhuštění menšími trojúhelníky v oblastech, kde byla původně převzata měření z vojenské triangulace (Čechy a Podkarpatská Rus), dále po propojení v jižních Čechách s Rakouskem a také po propojení do Maďarska a na východ do po válce zvětšeného SSSR

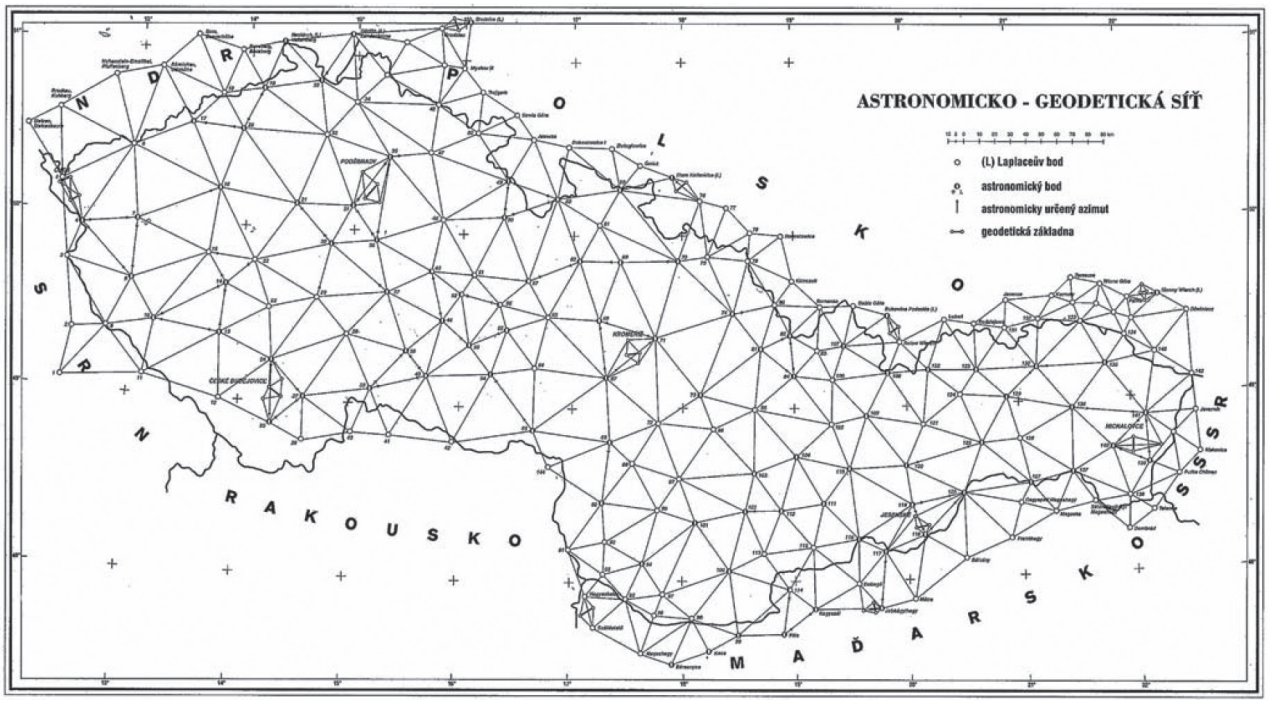


Obr 5a Schéma Astronomicko-geodetické sítě Československa včetně 6 délkových základen, stav k r. 1953

nesprávná poloha na zemském elipsoidu, její orientace a rozměr. Zároveň se ale naše JTS (přesnější) tvarově deformovala do méně přesných podkladů, dodaných SSSR. Další podrobnosti jsou např. v [1], [2] a [8].

Během let 1931 až 1953 byla vedle JTS, jejíž zhušťování dále probíhalo, budována současně i tzv. „(Nová) Základní trigonometrická síť", s většími trojúhelníky (s ≈ 36 km), s nejvyšší dosažitelnou přesností a podle nejnovějších vědeckých poznatků. Té se později dostalo mezinárodně zavedeného označení „**Astronomicko-geodetická síť**" (AGS) a posloužila jako základ pro přesnější **Souřadnicový systém 1942 (S-42)**. Většina bodů této sítě je identická s body I. řádu JTSK. Do r. 1953 bylo zaměřeno úhlově 227 trojúhelníků (144 bodů sítě), zaměřeno astronomicky 53 bodů, zaměřeno 6 základen (invarovými dráty) s rozvinovacími sítěmi, zaměřeno gravimetricky 108 bodů I. řádu a 499 bodů II. řádu a provedeno částečné spojení se sousedními zeměmi. Tyto počty trojúhelníků, bodů a základen jsou vztaženy k části sítě na území Československa v hranicích 1945–92, tedy po postoupení Podkarpatské Rusi do SSSR, kde byla v letech 1931–38 budována (Nová) Základní trigonometrická síť také. V letech 1956–58 byla tato síť (AGS) vyrovnána (v Moskvě) společně se sítěmi zemí Východní Evropy. Vyrovnání bylo realizováno na Krasovského elipsoidu a pro rovinné souřadnice (x, y) bylo použito Gaussova zobrazení. Od r. 1958 byla do této AGS, vyrovnané v S-42, převáděna JTS a všechny ostatní v S-JTSK polohově určené body tak, aby se zachovala vysoká lokální přesnost S-JTSK a přitom se korigovaly místní (zejména délkové) deformace této sítě. Takto vzniklý S-42 byl první souřadnicový systém v ČSR, jehož tvar, rozměr a orientace byly určeny (prostřednictvím AGS) na úrovni srovnatelné s podobnými systémy v Západní Evropě. Tento systém byl v ČR používán až do r. 2006 pro vojenské topografické mapy. Porovnáním (S-42) s (S-JTSK) byly zjištěny závažné délkové deformace S-JTSK, zejména na Slovensku a zvláště pak v jeho jižní části. Deformace, dosahující hodnot až 30mm/km, jsou dosud problémem při použití dnešních přesných měřických technik – totálních stanic, GPS, laserového skenování, atd. Je to proto, že naprosto nic z AGS nebylo dosud použito pro civilní souřadnicový systém (S-JTSK), jehož orientace a rozměr byly určeny z měření vojenské triangulace z druhé poloviny předminulého (19.) století. Další podrobnosti jsou především v [9] a [7].

V následující době, tj. v letech 1958 až 1983 byla provedena další zpřesňující měření v AGS. Bylo zaměřeno (el. dálkoměry) 14 délek stran pro „Základnu kosmické triangulace" (ZKT), dále 10 délek stran AGS, rozložených rovnoměrně v AGS, z nichž 6 stran byly původní odvozené ze základen, zaměřených invarovými dráty. Byly zaměřeny některé nové astronomické veličiny, zejména azimuty, a další překontrolovány. Byly nově určeny tížnicové odchylky a převýšení kvazigeoidu. Byly opraveny některé úhly a doplněno souvislé spojení se sítěmi sousedních států:



Obr. 5b Schéma Astronomicko-geodetické sítě ČSSR, stav k r. 1983 po provedení zpřesňujících měření a propojení se sítěmi sousedních států, označovaná též jako JAGS. ("Historický vývoj zeměměřických činností ve veřejném zájmu a státních orgánu v civilní sféře (1918–2018)", Český úřad zeměměřický a katastrální, 2018, ISBN 978-80-88197-07-2)

NDR, Polsko, SSSR, Maďarsko. Bylo provedeno 2. testovací vyrovnání AGS v různých variantách, a takto připravený a ověřený materiál byl zaslán k novému mezinárodnímu vyrovnání do Moskvy. Výsledkem byla vyrovnaná AGS v rámci „Jednotné astronomicko-geodetické sítě" (JAGS). Ta byla základem pro **Souřadnicový systém 1942/83 (S-42/83)**. Tímto došlo především k významnému zlepšení tvaru sítě a její orientace (zejména jižní polovina Moravy) a došlo i ke všeobecnému zlepšení rozměru sítě. Vyrovnaná AGS/JAGS byla tedy ve své době nejkvalitnějším a tehdy prakticky jediným možným základem pro zpřesnění čs. geodetických základů. K transformaci bodů JTS ze systému S-JTSK do S-42/83 byl zvolen tento postup: 1) do dané Čs. AGS, vyrovnané v rámci JAGS, vyrovnat společně body I. až (zhruba poloviny) IV. řádu s uvážením vah jednotlivých řádů. 2) další polohově určené body (včetně V. řádu) převést Jungovo transformací. Systém S-42/83, používající mj. Krasovského elipsoid a Gaussovo zobrazení je dosud nejpřesnější a zřejmě poslední souřadnicový systém na bázi pouze terestrických měření na našem území. Další podrobnosti jsou především v [10], [1], [2] a [7].

Závěrem této kapitoly je třeba si uvědomit, že terestrická ať už úhlová nebo délková měření nebylo možno provádět na vzdálenosti vetší než 60 km (výjimečně šlo o vzdálenosti 80 - 100 km). Proto také vybudování celosvětové (globální) sítě s potřebnou přesností nebylo terestrickými metodami měření možné. Teprve až s nástupem kosmické geodézie v 60. letech 20. století bylo možné začít využívat relativně vysoko letících umělých družic Země pro tvorbu kýženého celosvětového systému. Situace v používání souřadnicových systémů v ČR v měřické praxi byla kolem roku 1990 taková, že pro civilní účely se používal S-JTSK se všemi výše uvedenými nedostatky, pro vojenské účely pak S-42 (S-42/83). Mapy byly v civilním sektoru v Křovákově zobrazení (S-JTSK), přitom katastrální mapy byly v Cassini-Soldnerově zobrazení (systémy stabilního katastru) a vojenské mapy v Gauss-Krügerově zobrazení (S-42). Po změně politické situace však došlo k možnosti využití nových moderních metod, jako byl např. GPS, a to i v běžné praxi, čímž vyvstala velká potřeba realizace přesného geocentrického souřadnicového systému na našem území včetně jeho zapojení do Evropských polohových geodetických základů.

SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY GLOBÁLNÍHO ROZSAHU

První souřadnicové systémy globálního rozsahu začaly být budovány v šedesátých letech 20. století v souvislosti s rozvojem kosmických technik. V tomto příspěvku zcela pomineme Mezinárodní nebeský referenční systém (ICRS – International Celestial Reference Systém), který je realizován rovníkovými souřadnicemi (rektascenze a deklinace) vybraných kvasarů a dalších mimogalaktických objektů

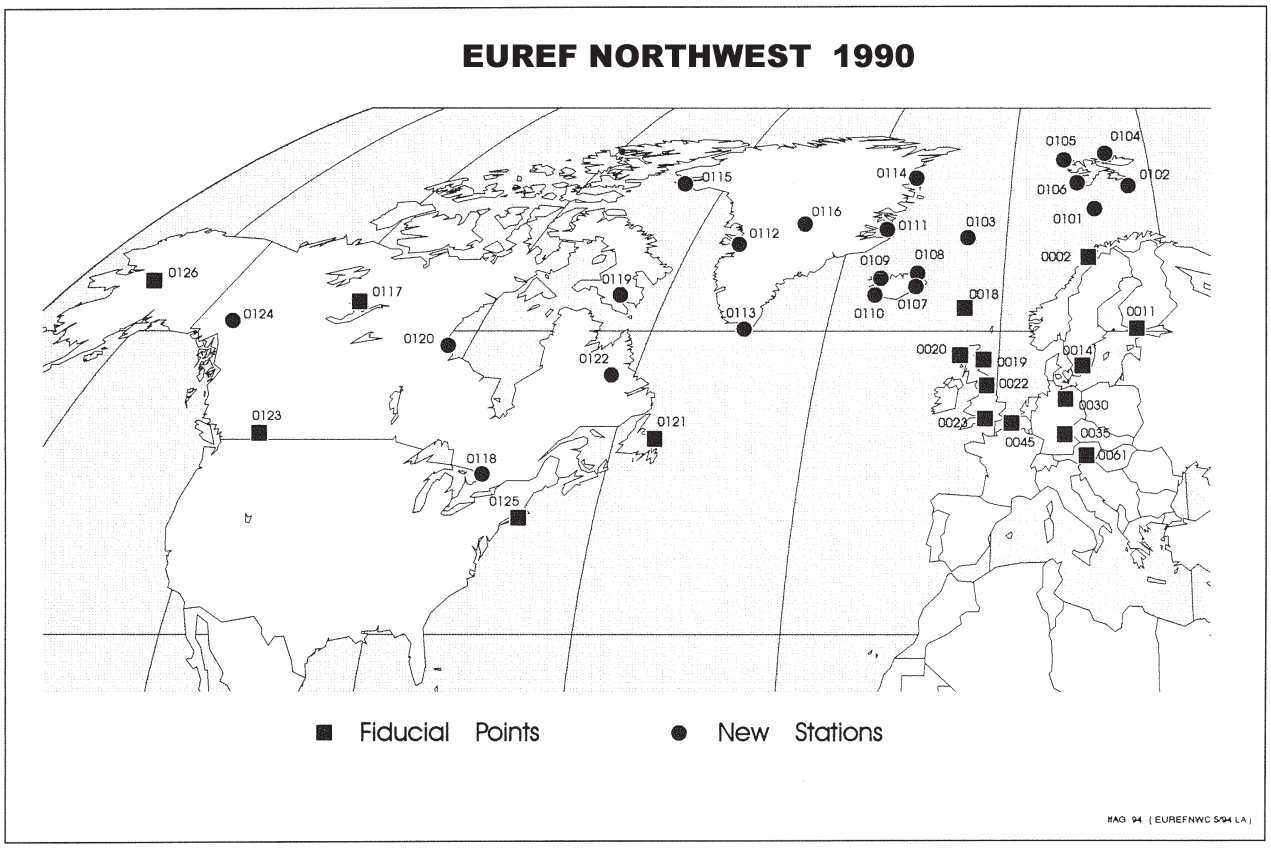
[11]. Soustředit se budeme na terestrické geocentrické systémy. Až do počátku roku 1987 byl používán Světový geodetický systém WGS-72 (**World Geodetic System**), vytvořený především pomocí navigačního systému TRANSIT. Poté byl nahrazen novým systémem **WGS84**, který byl již vytvořen pomocí nového navigačního systému družic NAVSTAR (GPS) [12],[13]. Přesnost souřadnic bodů GPS určených přímo v systému WGS84 (při použití přijatých efemerid a statického měření) byla cca 0,4m v poloze a 0,5m ve výšce. Pro přesné geodetické práce ale tato přesnost nepostačuje, proto mezinárodní geodetické a astronomické organizace podporovaly a stále podporují vytvoření přesnějších globálních souřadnicových systémů.

Od roku 1988 je realizací nového přesného geocentrického systému pověřena tehdy nově založená (1987) Mezinárodní služba rotace Země (IERS – International Earth Rotation Service). Služba byla založena společně Mezinárodní astronomickou unií (IAU – International Astronomical Union) a Mezinárodní unií geodetickou a geofyzikální (IUGG – International Union of Geodesy and Geophysics). V roce 2003 byla poté přejmenována na Mezinárodní službu rotace Země a souřadnicových systémů (**IERS – International Earth Rotation and Coordinate Systems Service**) [14].

IERS vytváří Mezinárodní terestrický souřadnicový systém (**ITRS – International Terrestrial Reference System**) [15]. Jedná se o kartézský systém souřadnic, počátek je v blízkosti těžiště Země, osy X a Z vytváří realizaci Greenwichského poledníku, osy X a Y leží na rovníku. Primárními souřadnicemi jsou tedy kartézské souřadnice X, Y, Z, které lze ovšem přepočítat na geodetické zeměpisné souřadnice φ, λ na zvoleném elipsoidu. Tento systém je v praxi realizován Mezinárodním terestrickým referenčním rámcem (**ITRF – International Terrestrial Reference Frame**) [16], obsahujícím geocentrické souřadnice a jejich časové změny (rychlosti pohybů) geodetických bodů, na kterých se pozoruje některou z těchto kosmických technik: Interferometrie na velmi dlouhé vzdálenosti (**VLBI** – Very Long Baseline Interferometry), Laserové měření vzdálenosti mezi pozorovací stanicí a družicí s odraznými hranoly (**SLR** – Satellite Laser Ranging), metoda Dopplerovská využívající Dopplerova efektu kde pozorování jsou zpracovávána v rámci systému **DORIS** a známá technologie **GNSS** (Global Navigation Satellite System), kde se využívá měření na permanentních stanicích. Samozřejmě nejdůležitější roli hrají body, kde se měří více technikami současně, tzv. kolokační stanice. IERS poté publikuje výsledky zpracování v „IERS Annual Reports" [17], „IERS Technical Notes" [18], popřípadě v dalších publikacích. Zatím poslední realizací (psáno v r. 2018) je ITRF2014 [19].

Časové změny souřadnic bodů rámce ITRF dosahují v tektonicky aktivních oblastech až několik dm za rok. Jsou způsobeny pohybem tektonických ker. V Evropě dochází k pohybu Euro-asijské desky cca 27mm za rok směrem na severovýchod. V praxi by to znamenalo měnit neustále (každoročně) souřadnice všech bodů realizujících souřadnicový systém na evropském území. Pro odstranění tohoto problému byl již v roce 1989 definován Evropský terestrický referenční systém **ETRS89** (**European Terrestrial Reference System**) [20], [21], který vznikl zakonzervováním pohybu Evropských stanic IERS v epoše 1989.0, tak, aby byl jejich pohyb nulový. ETRS89 se tedy pohybuje (je unášen) spolu s Euro-asijskou tektonickou deskou. Samozřejmě stále zde z hlediska geodynamiky zbývají ještě vnitrodeskové pohyby, tj. pohyby jednotlivých bodů vůči desce, ty jsou však obvykle alespoň o jeden řád menší. Systém ETRS89 je obdobně jako je tomu v případě ITRS realizován příslušným referenčním rámcem **ETRF** (**European Terrestrial Reference Frame**). Na jeho počátku se využilo IERS evropských stanic a výsledků GPS kampaně EUREF'89 [22]. Přitom pro každou následující realizaci ITRF existuje příslušný ETRF. Vztahy mezi ETRS a ITRS, jsou popsány v „EUREF Technical Note 1" [23]. Definicí, realizací a údržbou (zpřesňováním) ETRF se zabývá mezinárodní organizace **EUREF – The IAG Subcommision for the European Reference Frame** [24]. Kromě již uvedené literatury lze podrobnější souborné informace o systémech WGS, ITRS a ETRS a jejich vzniku najít např. i v [2].

Velkým problémem pro dosažení co nejvyšší přesnosti v realizaci globálních terestrických rámců s využitím techniky GPS počátkem 90. let byla neexistence dostatečně přesných drah družic. Proto vznikla v rámci IAG iniciativa **IGS** – International GPS Service for Geodynamics. Ta měla a dodnes má za cíl poskytovat formou služby vysoce přesné dráhy družic GPS, EOP parametry a souřadnice permanentních stanic GPS zapojených do sítě IGS. Vznik a vývoj této služby je popsán např. v [25], [26]. Dnes je služba nazývána **International GNSS Service (IGS)** [27]. Služba začala po řadě organizačních meetingů spuštěním testovací kampaně „IGS Test Campaign" 21. června 1992, která byla původně plánována jen do 23. září 1992. První výsledky, které byly po ca dvou týdnech, znamenaly ale velký úspěch a značné zvýšení přesnosti v určení drah družic použitelných pro běžnou geodetickou praxi v rámci postprocesingu. Bylo tedy rozhodnuto ustanovit pilotní službu „IGS Pilot Service" pro překlenutí období než bude spuštěna služba oficiální. Zároveň se pokračovalo ve sbírání a zpracovávání dat z permanentních stanic. Pilotní služba začala oficiálně pracovat 1. listopadu 1992. Současně s tím začalo zpracovávání



Obr. 6 Rozložení stanic kampaně EUREF NORTHWEST 1990

dat v 7 analytických centrech (CODE Bern, EMR Ottawa, ESOC Darmstadt, GFZ Potsdam, JPL Pasadena, SIO San Diego, UTX Austin) a porovnávání jejich výsledků v „IGS Analysis Center Coordinator". Toto porovnávání vedl v EMR Ottawa Jan Kouba, český geodet pracující od 60. let v Kanadě. Výsledkem pak byly jedny „kombinované" dráhy družic, které měly podstatně vyšší přesnost než jakékoliv jiné do té doby dostupné dráhy. Navíc díky kombinování výsledků z různých center používajících různé vyhodnocovací SW byly zbaveny hrubých chyb. Od 1. ledna 1994 pak začala tímto způsobem pracovat oficiální IGS služba, která v pozměněné modernizované podobě funguje dodnes. Důležité je, že od listopadu 1992 bylo tedy možné s využitím IGS drah družic určovat výrazně přesněji polohy bodů technologií GPS. Tehdy se jednalo o zlom, který umožnil jít s přesností v poloze určovaných bodů např. v Evropě z cca 3–5 cm na cca 1 cm. Je třeba také dodat, že vznik této služby (IGS) by nebyl možný bez vzniku a rozšíření internetu, který umožnil velmi rychlé automatizované přenosy velkého množství naměřených dat do datových a analytických center a posléze on-line poskytování výsledků. Byl to příklad neočekávaného a přitom velmi prospěšného využití jak původně vojenského navigačního systému GPS, tak i sítě internet, která se v té době teprve začala šířit po světě.

Zpřesnění souřadnicových systémů prakticky používaných v Československu počátkem 90. let tedy bylo možné a zároveň i žádoucí realizovat zapojením tehdejších polohových geodetických základů do nového Mezinárodního terestrického referenčního rámce ITRF a tím následně i do Evropského terestrického referenčního rámce ETRF. Přitom přesnost v určení polohy kolokačních bodů IERS v geocentrickém souřadnicovém rámci ITRF, resp. ETRF, tedy absolutní přesnost vůči počátku v těžišti Země, byla v tehdejší době v rozsahu 13 – 23 mm. Šlo tedy o **zcela zásadní a průlomový skok v kvalitě polohových geodetických základů** ve srovnání s tím co bylo do té doby možné – viz např. výše zmíněné deformace S-JTSK vůči S-42, které byly až 30 mm/km. Navíc se jednalo o postupně velmi rychle budovaný první skutečně celosvětový (ITRS) a celoevropský (ETRS) sytém s přesností dostačující pro drtivou většinu běžných geodetických prací. Pro možnost dalšího zhuštění bodového pole na Evropském kontinentě, realizujícího souřadnicový rámec ETRF, bylo ovšem zapotřebí provádět další měření technikou GPS, tedy uskutečnit další měřické kampaně.

Přehled GPS kampaní provedených počátkem 90. let 20. století na evropském kontinentě lze nalézt např. v [2] a [37]. Jednalo se o:

1990:

- NORTHWEST 1990 – 16 nových stanic v severských státech a na severních ostrovech – viz [36]. Na této kampani lze velmi dobře ilustrovat potíže, které byly v počátcích budování geodetických sítí metodou GPS, jež se v té době prudce rozvíjela. Kampaň obsahovala 20 nových stanic a 16 stávajících „fiducial points", což se zdá být dostatečným počtem. Na obrázku 6 je vidět rozložení stanic, které se nacházely především v severozápadní části Evropy mezi 60. a 80. rovnoběžkou. Výsledné souřadnice nově určovaných bodů však byly velmi nepřesné. Ačkoliv střední chyby souřadnic určené z finálního řešení (z vyrovnání MNČ), tedy tzv. vnitřní přesnost, byly vyhovující: SX= 0,015m, SY=0,015m, SZ=0,019m, tak střední chyby souřadnic určené z opakovaných denních řešení, tedy tzv. vnější přesnost, byly: SX=1,2m, SY= 1,5m, SZ=1,8m, tj. zcela nevyhovující požadavkům EUREF. Důvodů bylo více: příliš krátké observační okno (4-5 hodin) pro řešení single-diferencí, dlouhé základny (obvykle přes 1 000 km), použití šesti různých typů GPS přijímačů, z nichž tři byly bez P-Code, extrémně vysoká aktivita ionosféry v roce 1990 ve spojení s umístěním bodů mezi 60. a 80. rovnoběžkou, velká ztráta L2-dat u přijímačů Wild-Magnavox umístěných v Grónsku (až 50%). Nakonec musely být výsledky celé kampaně zahozeny a všechny body určovány postupně v rámci jiných pozdějších kampaní. Mezi pracovníky IfAG Frankfurt, kde byla kampaň vyhodnocována, byla důvěrně označována za „katastrofu", protože veškeré nemalé náklady na měření i zpracování přišly vniveč. Až na poučení, které z toho plynulo a které pak umožnilo u pozdějších kampaní dosáhnout kvalitních výsledků.
- Turecká GPS síť – 16 nových bodů,
- SEGAU – 11 stanic v bývalé NDR, 2 stanice v Polsku

1991:

- EUREF-EAST ,91 (EUREF-CS/H ,91) – 6 nových bodů v Československu, 5 bodů v Maďarsku

1992:

- POLREF ,92 – 11 nových stanic v Polsku,
- Bulharská síť – 7 nových bodů,
- Síť baltských států (Litva, Lotyšsko, Estonsko) – 13 nových stanic,

Obr. 7 Přehled stanic EUREF v kampaních za roky 1989 až 1996

- Švýcarsko,
- Velká Británie

1993:

- Kypr – 6 nových bodů,
- Německo, Nizozemí, Bulharsko, Švýcarsko, Island, Francie

1994:

- Slovinsko, Chorvatsko, Dánsko, Lucembursko, Rakousko, Rumunsko

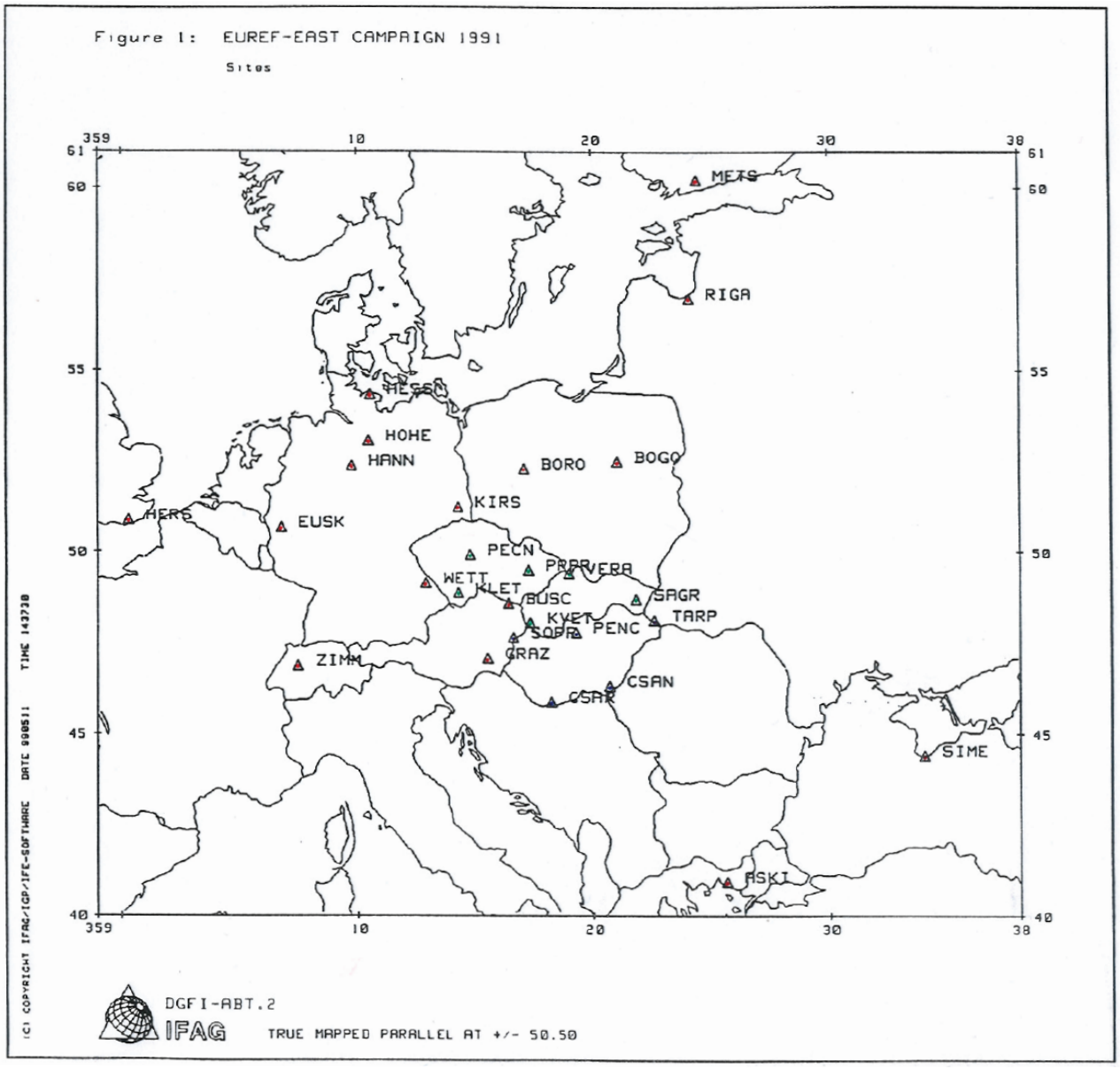
1995:

- Ukrajina, Rakousko, Velká Británie, Irsko, Slovinsko

1996:

- Malta, Chorvatsko, Slovinsko, Makedonie

V těchto kampaních bylo měřeno technikou GPS jak na určovaných bodech, tak ale současně i na kolokačních bodech (stanice s více než jednou kosmickou technikou), nebo na bodech zaměřených v předchozích kampaních. Souborné schéma stanic je na **obr. 7**. Ze všech uvedených kampaní je pro nás nejdůležitější EUREF-EAST ,91 (později nazvaná EUREF-CS/H ,91), protože právě díky této kampani došlo k pořízení prvních bodů na území tehdejšího Československa, které byly zapojeny do globálních souřadnicových rámců ITRF a ETRF a mezinárodními geodetickými organizacemi takto i uznány.



Obr. 8 Rozložení stanic kampaně EUREF-CS/H ‚91

KAMPAŇ EUREF-EAST ‹91 (EUREF-CS/H ‹91)

Kampaň EUREF-CS/H ‚91 (do roku 1994 označovaná jako EUREF-EAST ‚91) byla prvním krokem k rozšíření sítě EUREF na východ na území bývalého Československa a Maďarska. Bylo to první systematické měření technologií GPS za účelem realizace geocentrického systému na území těchto států. Pozorování bylo provedeno na jedenácti nových bodech (tři v České republice, tři na Slovensku a pět v Maďarsku) a pro jejich zapojení do sítě EUREF bylo použito spolu s referenčními stanicemi celkem 27 bodů. Kampaň přístrojově a částečně i personálně zajišťoval tehdejší **Institut für Angewandte Geodäsie** (**IfAG**) z Frankfurtu nad Mohanem (od r. 1997 přejmenován na Bundesamt für Kartographie und Geodäsie – BKG [28],[29]).

Zpracování GPS dat bylo provedeno v **IfAG** ve dvou etapách. Nejprve byly získány tzv. předběžné výsledky, uveřejněné na mezinárodním sympoziu EUREF v Budapešti 1993 [30]. Zpracování trvalo od října 1992 do května 1993 a provedl jej převážně M. Talich z VÚGTK, dále se na něm podíleli A. Kenyeres z Maďarska a E. Arslan z Turecka. Definitivní výsledky pak byly uveřejněny o rok později na mezinárodním sympoziu EUREF ve Varšavě [31], kde byly taktéž oficiálně přijaty na zasedání pracovní technické komise EUREF (EUREF TWG - viz [32]) a zařazeny do třídy přesnosti B dle klasifikace EUREF TWG (přibližně 1 cm v epoše pozorování). Tyto definitivní výsledky získal M. Talich na základě nového zpracování kampaně EUREF-CS/H ‹91

v březnu a dubnu 1994, za svého druhého pobytu v IfAG Frankfurt. Výpočty byly provedeny pomocí UNIXové verze Bernese GPS software 3.4 na HP workstation.

OBSERVAČNÍ KAMPAŇ

S ohledem na budoucí další zhuštění byly na území České republiky původně vybrány pro zapojení do ETRF body 209 PECNÝ, a 210 Přední příčka, na Slovensku to byly body 206 Kvetoslavov, 207 Velká Rača a 208 Šaňkovský grúň. Současně však bylo rozhodnuto provést v době kampaně i měření na bodě Kleť aparaturou Zeměměřického ústavu v Praze. Na návrh autora bylo toto měření později zahrnuto do oficiálního zpracování kampaně EUREF-CS/H ‹91 v IfAG Frankfurt, čímž byly na území České republiky také tři body určené v ETRF jako tomu bylo na Slovensku. To je také důvod proč bod Kleť nemá přiděleno žádné EUREF číslo (viz také tabulka 1). Rozložení stanic kampaně EUREF-CS/H ‹91 je znázorněno na **obr. 8**.

Observační skupiny byly tvořeny vždy dvěma observátory, jeden pracovník byl z IfAG a druhého dodala česká resp. slovenská strana, vyjma bodu Kleť, na kterém měřili pracovníci Zeměměřického ústavu v Praze s vlastní aparaturou.

Pozorování byla provedena od 29. října (13: 00h UT) do 3. listopadu (6: 00h UT), 1991. Každý den 3 seance (sessions) v době 7:00–13:00h, 13:00–21:00h, 22:00–7:00h. Během noční seance (22:00–7:00h) operovaly pouze permanentní stanice včetně Pecného. Stanice jsou uvedeny v tabulce 1. Vzorkovací frekvence (sampling rate) pozorování byla nastavena na 15 sekund a elevační maska (elevation cut-off angle) na 15 stupňů.

Název stanice	**Zkratka**	**EUREF č.**	**Zem. šířka**	**Zem. délka**	**Kód na L2**
Herstm 7840	HERS		50 52	0 21	-
Hohenbuenstorf	HOHE	9030	53 04	10 29	P
Hannover	HANN	0030	52 22	9 45	-
Hessenstein	HESS	1629	54 20	10 33	P
Euskirchen	EUSK	5306	50 41	6 46	-
Kirschberg	KIRS	0204	50 45	13 44	P
Wettzell 1201	WET1	1201	49 08	12 52	P
Wettzell 7597	WET2	7597	49 08	12 52	P
Zimmerwald 7810	ZIMM	0056	46 53	7 28	P
Buschberg	BUSC	0059	48 35	16 24	-
Graz 7839	GRAZ	0061	47 04	15 30	P
Askites 7510	ASKI	0088	40 56	25 34	P
Simeiz	SIME	0202	44 25	33 59	P
Riga 1884	RIGA	0201	56 57	24 04	P
Metsahovi	METS	0011	60 13	24 24	P
Pecný	PECN	0209	49 54	14 47	P
Přední příčka	PRPR	0210	49 30	17 14	P
Kleť	KLET	KLET	48 51	14 16	-
Kvetoslavov	KVET	0206	48 03	17 19	P
Šankovský Grúň	SAGR	0208	48 42	21 48	P
Velká Rača	VERA	0207	49 24	18 58	P
Sopron	SOPR	0211	47 39	16 36	P
Penc	PENC	0212	47 47	19 17	-
Tarpa	TARP	0213	48 08	22 33	-
Csanádalberti	CSAN	0214	46 19	20 40	-
Csarnóta	CSAR	0215	45 53	18 13	-
Borowiec 7811	BORO	0216	52 17	17 04	-
Borowa Góra	BOGO	0217	52 28	21 02	-

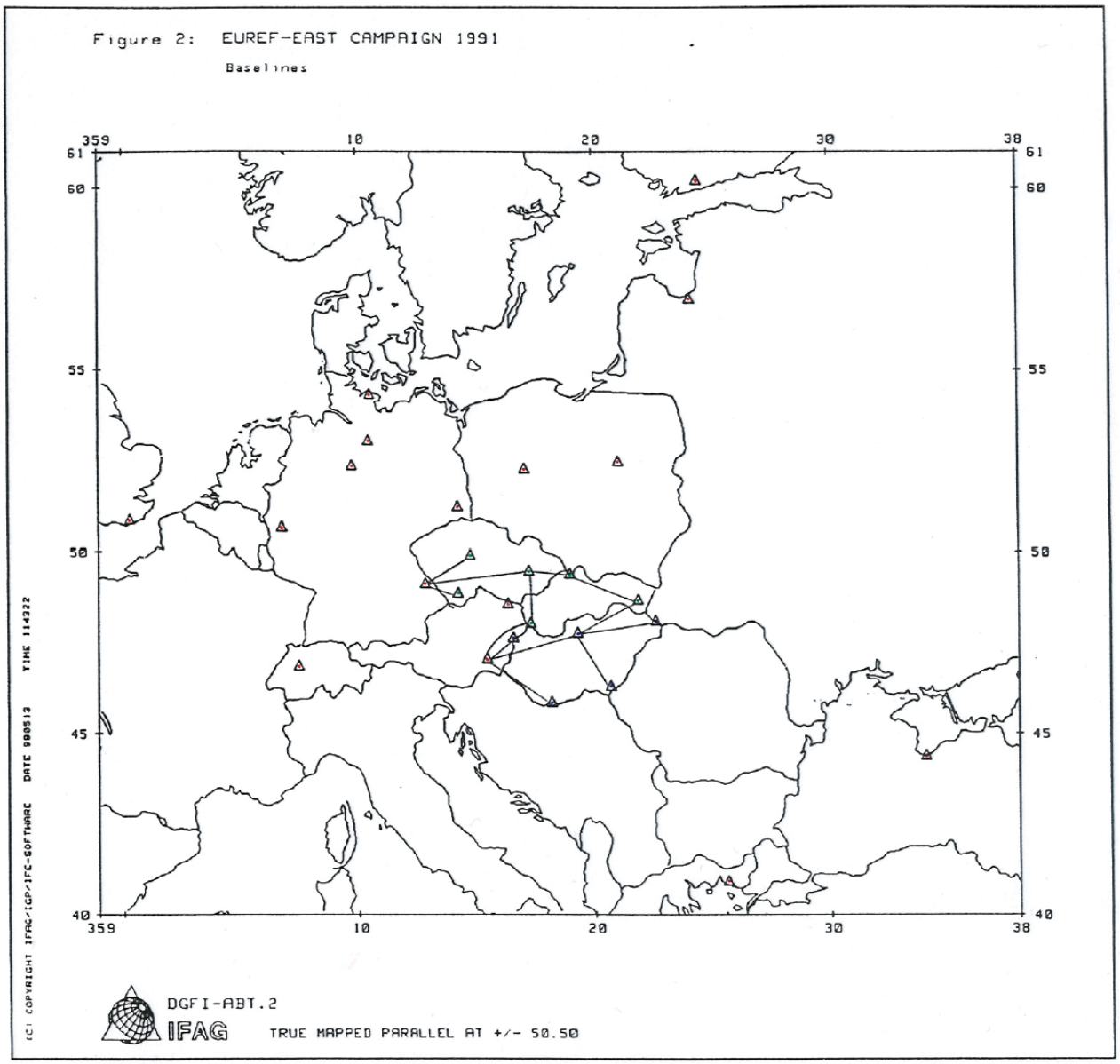
Tab. 1 Seznam stanic kampaně EUREF-CS/H ‹91, určované body jsou tučně zvýrazněné

Na každé stanici byly použity dvoufrekvenční přijímače Trimble 4000 SST, kromě stanic KLET, CSAR a CSAN, kde byly použity dvoufrekvenční přijímače Geotracer 100 firmy GEODIMETER (licence Trimble). Většina přijímačů pracovala s P kódem na L2 frekvenci, jen málo přijímačů používalo squaring metodu (viz také tabulka 1). Trimble SST antény byly instalovány na všech stanicích, takže se zabránilo problémům s různými fázovými centry antén v závislosti na jejich typu. Antény byly během observací centrovány na měřickou značku centra, vyjma bodu Kleť, kde bylo observováno na excentrickém pilíři č. 28.5. Na bodě PECNÝ byl střed křížku trigonometrického bodu provážen na observační stolek útvarem Inženýrské geodézie VÚGTK, výška (asi 17 m) byla přenesena na observační stolek pomocí záměr na invarové pásmo [2].

ZPRACOVÁNÍ GPS DAT

Hlavním účelem bylo určení souřadnic jedenácti nových bodů v České republice, na Slovensku a v Maďarsku, v souřadnicových rámcích ETRF-89 a ITRF-92. Strategie a zvláštnosti výpočetního postupu sítí EUREF pro jejich zapojení do souřadnicových rámců jsou uvedeny především v [33], tehdy byla ovšem k dispozici pouze předchozí verze téhož textu [34]. Celý výpočet probíhá v souřadnicovém rámci ITRF-XX, kde XX je čas (poslední dvojčíslí roku) realizace tohoto rámce (v naší kampani konkrétně rok 91 pro předběžné řešení a 92 pro definitivní), a dále pak v aktuální epoše pozorování (1991.8). Po výpočtu se souřadnice přetransformují podle uvedených vztahů do ETRF-89, epocha 1989.0. Pro odhalení hrubých chyb a nesrovnalostí v měřených datech byl zvolen tehdy obvyklý postup při zpracování sítí takovýchto rozměrů a přesnosti:

- výpočet jednotlivých základen pro jednotlivé seance, porovnání výsledků,
- výpočet jednotlivých denních řešení pro jednotlivé základny,



Obr. 9 Schéma základen (baselines)

- výpočet jednotlivých denních řešení pro sekce,
- výpočet jednotlivých denních řešení pro celou síť,
- definitivní řešení.

První krok – tvorba RINEX observačních souborů byl proveden na čtyřech výpočetních pracovištích: česká a slovenská část ve VÚGTK ve Zdibech, Maďarská část na geodetické družicové observatoři FÖMI, Penc. Družicová observatoř v Grazu (Rakousko) zpracovala 6 stanic (Metsähovi, Zimmerwald, Graz, Buschberg, Boroviec a Borova Góra) a zbytek (10 stanic) byl zpracován v IfAG Frankfurt.

Všechny další výpočty již byly prováděny v IfAG Frankfurt. Pro předběžné řešení, viz [30] byly použity přesné efemeridy družic ze služby NGS (CIGNET). Služba IGS v době kampaně totiž ještě neexistovala, což se později ukázalo být limitujícím faktorem při zpracování dat. Přesnost těchto NGS efemerid, určovaných tehdy z kódových pozorování, byla asi do 10 m. Stanice Wettzell a Graz s dostatečně přesnými souřadnicemi v rámci ITRF-91 byly při vyrovnání sítě voleny jako pevné. Z těchto dvou bodů byly definovány základny k novým stanicím v České republice, Slovensku a Maďarsku. Chyba z variací fázových center antén v závislosti na elevačním úhlu k družici byla odstraněna korekcemi při výpočtech. Přesnosti výsledků, tj. souřadnic nových bodů v ITRF-91 epocha 1991.8, odhadnuté z porovnání denních řešení (vnější přesnost), jsou udány v tabulce 2.

Průměrné hodnoty pro všechny nové body sítě jsou přibližně: 22 mm a 34 mm pro severní a východní složku a 28 mm pro výšky. Vzhledem k výše uvedené přesnosti tehdejších NGS drah družic kolem 10 m, lze v našem případě očekávat přibližnou přesnost v poloze nových bodů odhadnutou podle Baueršímova vzorce $dr/r = db/b$ asi 3 - 5 cm (dr je přesnost drah, $r = 20\,000$ km, db je přesnost základen a b je průměrná délka základen). To koresponduje s výsledky z nezávislých denních řešení.

STANICE	DNY	RMS		
		N	E	H
Pecný	5	.007	.013	.024
Přední Příčka	5	.020	.026	.016
Kleť	4	.006	.017	.033
Kvetoslavov	5	.013	.032	.040
Šaňkovský Grúň	5	.041	.063	.031
Velká Rača	5	.030	.037	.035
Sopron	5	.008	.023	.021
Penc	5	.026	.050	.031
Tarpa	5	.037	.057	.044
Csanádalberti	5	.033	.045	.020
Csarnóta	5	.016	.013	.012

Tab. 2 Střední chyby souřadnic v [m] z jednotlivých denních řešení (v severní, východní a výškové složce), předběžný výpočet 1992/93

Při porovnávání výsledků řešení jednotlivých seancí, a později také při porovnávání výsledků jednotlivých denních řešení, byly odhaleny systematické chyby na jednotlivých základnách pro tytéž seance. Vzhledem k tomu, že šlo o chyby různých, ale přibližně stejně velkých hodnot na všech základnách, byl závěr ten, že se jedná o blíže nezjištěný problém na některé (některých) z družic, popřípadě o chyby v dráze družice. Spolu se snahou dosáhnout co nejvyšší možné přesnosti výsledků tj. souřadnic určovaných bodů, které měly sloužit jako podklad pro čs. síť NULRAD s následným zhuštěním sítí DOPNUL atd., byla snaha odstranit tyto chyby motivací pro vypracování definitivního řešení využívajícího **zlepšení drah družic** (určení vlastních drah). Podle teoretických odhadů bylo možné provést určení drah družic fixováním známých bodů jako pevných při vyrovnání, s přesností do asi 0.5 m. Tomu by pak následně odpovídala přesnost v určení polohy nových bodů asi 10 –15 mm.

Při **definitivním řešení** byly pro určení vlastních drah družic **fixovány souřadnice bodů Metsähovi, Wettzell, Graz a Askites** v souřadnicovém rámci ITRF-92 v epoše 1991.8. Nově určené dráhy družic se od původních (NGS) odlišovaly obvykle v hodnotách kolem dvou metrů, ale u jedné družice šlo o hodnoty od 20 do asi 150 metrů. Byla tím odhalena výše zmíněná chyba, kterou nebylo možné jinak detekovat. Všechna pozorování k této družici byla proto nadále z výpočtů vyloučena a bylo provedeno nové určení drah bez této družice. S novými drahami pak bylo dosaženo výsledků přesnosti v poloze nových bodů, které jsou uvedeny v tabulce 3. Jedná se opět o odhady z porovnání denních řešení, tedy objektivní určení vnější přesnosti. Průměrné hodnoty pro všechny nové stanice jsou nyní kolem 12 mm a 11 mm pro severní a východní složky a 30 mm pro výšky.

STANICE	DNY	RMS		
		N	E	H
Pecný	5	.007	.005	.023
Přední Příčka	5	.014	.007	.050
Kleť	4	.004	.006	.031
Kvetoslavov	5	.006	.008	.013
Šaňkovský grúň	5	.020	.018	.024
Velká Rača	5	.020	.015	.057
Sopron	5	.003	.008	.014
Penc	5	.010	.010	.026
Tarpa	5	.023	.019	.043
Csanádalberti	5	.016	.013	.033
Csarnóta	5	.009	.008	.023

Tab. 3 Střední chyby souřadnic v [m] z jednotlivých denních řešení (v severní, východní a výškové složce), definitivní výpočet 1994

TRANSFORMACE DO ETRS-89 EPOCHA 1989.0

Jak bylo již zmíněno výše, byla k určení souřadnic nových bodů v ETRS-89 epocha 1989.0 použita následující formule z [34] resp. [33]:

$$\mathbf{X}_E(t_c) = \mathbf{X}_{YY}(t_c) + \mathbf{T}_{YY} + \mathbf{R} \,.\, \mathbf{X}_{YY}(t_c) \,.\, (t_c - 1989.0)\,,$$

kde:

$\mathbf{X}_E(t_c)$ jsou souřadnice v ETRS-89 epocha 1989.0 ,

$\mathbf{X}_{YY}(t_c)$ jsou souřadnice v ITRF-YY epocha t_c (v našem případě ITRF-92 epocha 1991.8),

$\mathbf{T}_{YY}$ jsou translace v globální transformaci z ITRF-YY do ITRF-89 včetně měřítka,

$\mathbf{R}$ je rotace zpět do epochy 1989.0 vlivem pohybu evropské desky s jednotlivými rychlostmi, jsou-li dostupné, nebo s využitím modelu pohybu evropských desek (European Plate Motions Model) NNR-NUVEL1 (IERS Technical Note 13, 12, 15) [18],

$(t_c - 1989.0)$ je časový rozdíl (1991.8 - 1989.0).

V tabulce 4 jsou uvedeny výsledné souřadnice nově určovaných bodů v ITRF-92 epocha 1991.8 (výsledek závěrečného vyrovnání sítě) a souřadnice v ETRS-89 epocha 1989.0 (po transformaci).

Souřadnice nových stanic v ITRF-92, epocha 1991.8			
STANICE	**X(M)**	**Y(M)**	**Z(M)**
Pecný	3979250.3692	1050396.9203	4857100.1306
Přední Příčka	3963414.9316	1230404.3497	4827514.6060
Kleť	4074496.7196	1037305.9637	4781602.9263
Kvetoslavov	4077419.6634	1271623.0321	4721250.9935
Šaňkovský grúň	3915265.1785	1566567.4849	4769327.3601
Velká Rača	3932647.0063	1351716.8080	4821561.0042
Sopron	4125619.0227	1230225.9491	4690656.2242
Penc	4052449.7722	1417680.9032	4701406.9927
Tarpa	3939065.8214	1635574.6658	4726647.1839
Csanádalberti	4128720.6445	1557707.3467	4589954.3230
Csarnóta	4224902.7530	1390480.2396	4556477.6917
Souřadnice nových stanic v ETRS-89, epocha 1989.0			
STANICE	**X(M)**	**Y(M)**	**Z(M)**
Pecný	3979250.4512	1050396.9097	4857100.0685
Přední Příčka	3963415.0150	1230404.3394	4827514.5445
Kleť	4074496.8009	1037305.9525	4781602.8635
Kvetoslavov	4077419.7465	1271623.0210	4721250.9313
Šaňkovský grúň	3915265.2646	1566567.4752	4769327.2999
Velká Rača	3932647.0908	1351716.7980	4821560.9433
Sopron	4125619.1052	1230225.9376	4690656.1616
Penc	4052449.8565	1417680.8924	4701406.9311
Tarpa	3939065.9079	1635574.6560	4726647.1238
Csanádalberti	4128720.7293	1557707.3355	4589954.2613
Csarnóta	4224902.8360	1390480.2276	4556477.6288

Tab. 4 Souřadnice nových bodů v ITRF-92 (epocha 1991.8) a v ETRS-89 (epocha 1989.0)

PREZENTACE VÝSLEDKŮ A JEJICH PŘIJETÍ PRACOVNÍ TECHNICKOU KOMISÍ A ÚČASTNÍKY SYMPOZIA EUREF

Uvedené definitivní výsledky byly získány při použití souřadnic pevných bodů v souřadnicovém rámci ITRF-92, epocha 1991.8 a určení vlastních drah družic (jako předběžné dráhy byly použity dráhy NGS). Bylo dosaženo výsledné přesnosti v určení polohy nových bodů, kterou lze charakterizovat hodnotami 12 mm a 11 mm pro severní a východní složky a 30 mm pro výšky.

Výsledky byly spolu s postupem zpracování uveřejněny a úspěšně obhájeny na zasedání pracovní technické komise EUREF (EUREF TWG) před zahájením sympozia EUREF v červnu 1994 ve Varšavě [32]. Po jejich oficiálním uveřejnění na vlastním sympoziu [31] a následném přijetí, byla **kampaň EUREF-CS/H ‚91 zařazena do třídy přesnosti B (střední chyba v poloze bodů přibližně 1 cm v epoše pozorování)**. Toto je doloženo **rezolucí č. 1** ze zmíněného sympozia viz [35].

Během symposia ve Varšavě (8. – 11. června 1994) byl na žádost maďarských kolegů změněn název kampaně z EUREF-EAST ‚91 na **EUREF CS/H ‚91**.

ZÁVĚR

Tímto poměrně zdlouhavým výše popsaným postupem bylo určeno prvních šest bodů na území tehdejšího Československa a pět bodů na území Maďarska. Byly to první body v těchto státech, které byly oficiálně zapojeny do Mezinárodního referenčního rámce ITRF a současně i do Evropského referenčního rámce ETRF. Polohová přesnost bodů byla charakterizována třídou B, tj. cca 1 cm v epoše pozorování. Byly to tedy současně i první body na území těchto států, určené s polohovou přesností cca 1cm v moderním geocentrickém souřadnicovém rámci. Velkým úspěchem bylo, že se tak stalo ještě před spuštěním služby IGS poskytující přesné efemeridy drah družic. U všech následujících kampaních už bylo mnohem snazší dosáhnout stejně či dokonce více kvalitních výsledků.

Excursion to the Satellite Geodetic Observatory Penc; May 19, 1993

from left to right: JANUSZ ZIELINSKI, KAZIMIERZ CZARNECKI, ERHARD ERKER, ELISABETH SIGL, PIERRE VOET, ISTVÁN FEJES, PAUL DENYS, RUDOLF SIGL, HANS VAN DER MAREL, JAN DENEKAMP, CHRISTINE GURTNER, BO-GUNNAR REIT, WERNER GURTNER, RUDOLF SCHMIDT, JUHAN KAKKURI TEUVO PARM, SÁNDOR NAGY, BENEDIKT ZEBHAUSER, MILAN TALICH, CLAUDE BOUCHER, JAN KOSTELECKY, ERICH GUBLER, FREDE MADSEN, JÓZSEF ÁDÁM, FRITS BROUWER, HELMUT HORNIK, BJØRN GEIRR HARSSON.

photo: BJØRN GEIRR HARSSON

Obr. 10 fotografie účastníků symposia EUREF 1992 v Budapešti, pořízená během exkurze na observatoř Penc. Penc byl jedním z nově určených bodů v kampani EUREF CS/H ‚91

Výsledné souřadnice bodů sítě EUREF na území Československa pak posloužily jako podklad (pevné body) při zpracování GPS sítě CS-NULRAD-92, tj. sítě nultého řádu, do které se pak na území ČR následně vkládala síť DOP-NUL. Přitom předběžné výsledky EUREF CS/H ‹91 [30] posloužily pro zpracování CS-NULRAD-92 - řešení 1993 (Bernským software) a definitivní výsledky EUREF CS/H ‹91 [31] posloužily pro definitivní řešení CS-NULRAD-92 z roku 1994 (opět Bernským software). Postup využití výsledků EUREF CS/H ‹91 při zpracování sítě CS-NULRAD-92 je dobře souhrnně popsán např. v [2]. Bylo to tedy založení moderních 3D prostorových geodetických základů na území těchto států, začleněných do výrazně přesnějšího geocentrického souřadnicového systému (ETRS, ITRS) než bylo do té doby klasickými terestrickými metodami možné.

LITERATURA A ZDROJE

[1] CIMBÁLNÍK, Miloš, Souřadnicové systémy na území České republiky. In: *3rd International Conference and 3rd International Trade Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics GEOS 2008*, Conference Proceedings, Prague, 27th – 28th February 2008, Ed: Milan Talich, Zdiby, 2008, VÚGTK, Volume 54, Publication No. 44, ISBN 978-80-85881-29-5.

[2] Geodetické referenční systémy v České republice. Vývoj od klasických ke geocentrickým souřadnicovým systémům. Praha. *Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Zdiby, Volume 44* (1998), Publication No. 21, s. 186, ISBN: 80-85881-09-8.

[3] NOVOTNÝ, František, *Nauka o rakouském katastru a o knihách pozemkových se zvláštním zřetelem na Království české*. Praha, 1896, 275 s.

[4] *Zeměměřictví a katastr 1999*. CD-ROM. VÚGTK, Zdiby, 1999, Publikace č. 25, roč. 45

[5] *Zeměměřictví a katastr III*. CD-ROM. VÚGTK, Zdiby, 2001, Publikace č. 29, roč. 47

[6] *Zeměměřictví a katastr IV*. CD-ROM. VÚGTK, Zdiby, 2005, Publikace č. 37, roč. 51, ISSN 1801-5484

[7] CIMBÁLNÍK, M. – MERVART, L., *Vyšší geodézie 1*. Skriptum ČVUT Praha, 2002.

[8] PICK, M., *Transformace Československé jednotné katastrální sítě s elipsoidu Besselova do systému 1952 na elipsoid Krasovského*. Vojenský topografický obzor, zvl. výtisk, MNO, Praha 1956.

[9] CIMBÁLNÍK, M., Transformation des Tschechoslowakischen Einheitsnetzes in das Internationale System. *Studia geophysica et geodaetica 4* (1960), 133-152. NČSAV, Praha.

[10] CIMBÁLNÍK, M., *Řešení problému modernizace geodetických polohových základů ČSSR*. Doktorská disertační práce, FSv ČVUT Praha, 1989.

[11] *The International Celestial Reference System (ICRS)*. https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ICRS/icrs.html

[12] *NGA: DoD World Geodetic System 1984 - Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*. http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html

[13] *World Geodetic System*. Wikipedia, the free encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System

[14] *About IERS*: https://www.iers.org/IERS/EN/Organization/About/about.html

[15] *The International Terrestrial Reference System (ITRS)*. https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRS/itrs.html

[16] *The International Terrestrial Reference Frame (ITRF)*. https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html

[17] *IERS Annual Reports*. https://www.iers.org/IERS/EN/Publications/AnnualReports/AnnualReports.html

[18] *IERS Technical Notes*. https://www.iers.org/IERS/EN/Publications/TechnicalNotes/TechnicalNotes.html

[19] ALTAMINI, Z. – REBISCHUNG, P. – MÉTVIER, L. – COLLILEUX, X., *ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2017, DOI: 10.1002/2016JB013098. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JB013098/full

[20] *EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM 89 (ETRS89)*. http://etrs89.ensg.ign.fr/

[21] *European Terrestrial Reference System 1989*. Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/European_Terrestrial_Reference_System_1989

[22] GURTNER, W. – FANKHAUSER, S. – EHRNSPERGER, W. – WENDE, W. – FRIEDHOFF, H. – HABRICH, H. – BOTTON, S., EUREF'89 GPS Campaign - Results of the Processing by the „Berne Group". In: *Report on the Symposium of the IAG Subcommission European Reference Frame - EUREF - in Berne*, March 4–6, 1992. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Heft Nr. 52, 146-169, München 1992.

[23] ALTAMINI, Z., *EUREF Technical Note 1 : Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems*. IGN, France, Version November 16, 2017. http://etrs89.ensg.ign.fr/pub/EUREF-TN-1.pdf

[24] *EUREF - The IAG Subcommision for the European Reference Frame*. http://www.euref.eu/

[25] BEUTLER, G. – MUELLER, I.I. – NEILAN, R.E., (1996) The International GPS Service for Geodynamics (IGS): The Story. In: BEUTLER, G. – MELBOURNE, W.G. – HEIN, G.W. – SEEBER, G. (eds.) *GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne, and Spaceborne Applications*. International Association of Geodesy Symposia, vol 115. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-80133-4_1, ISBN 978-3-642-80133-4. ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/usrs/PS-DOCUMENTS/igsiugg.ps

[26] MERVART, L., Mezinárodní služba GPS pro geodynamiku. *Geodetický a kartografický obzor, 38* (80), 1992, Č. 9, s. 189–192.

[27] *International GNSS Service (IGS)*. http://www.igs.org/

[28] *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*. https://www.bkg.bund.de/

[29] *Institut für Angewandte Geodäsie*. https://de.wikipedia.org/wiki/Institut_f%C3%BCr_Angewandte_Geod%C3%A4sie

[30] Seeger H. – Schlüter W. – Talich M. – Kenyeres A. – Arslan E. – Neumaier P. – Habrich H., Preliminary Results of the EUREF-EAST ,91 GPS Campaign. In: *Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame (EUREF) held in Budapest*, 17-19 May, 1993. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Heft Nr. 53, 78-82, München 1993.

[31] SEEGER, H. – SCHLÜTER, W. – TALICH, M. – KENYERES, A. – ARSLAN, E. – NEUMAIER, P. – HABRICH, H., Results of the EUREF CS/H ,91 GPS Campaign. In: *Proceedings of the 4th IAG/EUREF Subcommittee Symposia, 8–11 June 1994, Warsaw, Poland*. Veröffentlichungen der Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung der BAW, Heft Nr. 54, pp.87–90, München 1994.

[32] Meeting of the EUREF Technical Working Group in Warsaw, June 7 and 8, 1994. In: *Veröfentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften*. Heft Nr. 54, 56–57, München 1994.

[33] BOUCHER, C. – ALTAMINI, Z., *Specifications for Reference Frame Fixing in the Analysis of a EUREF GPS Campaign*. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Helsinki, 3–6 May, 1995. Veröfentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Heft Nr. 56, 265–267, München 1995, see also EUREF TWG Circular Letter from March 28, 1995. http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf

[34] BOUCHER, C., *Specifications for Reference Frame Fixing in the Analysis of a EUREF GPS Campaign.* 1993.

[35] Resolutions of the EUREF Symposium in Warsaw, 8–11 June 1994. In: *Proceedings of the 4th IAG/EUREF Subcommittee Symposia, 8–11 June 1994, Warsaw, Poland*. Veröffentlichungen der Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung der BAW,

Heft Nr. 54, pp.360–361, München 1994. http://www.euref.eu/html/resolutions_warsaw1994.pdf

[36] HABRICH, H. – NEUMAIER, P. – SEEGER, H., Results of the EUREF-North-West 1990 GPS – Campaign. In: *Proceedings of the 4th IAG/EUREF Subcommittee Symposia, 8–11 June 1994, Warsaw, Poland*. Veröffentlichungen der Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung der BAW, Heft Nr. 54, pp.144–149, München 1994.

[37] SEEGER, H. – FRANKE, P., EUREF Activities from May 1993 to May 1994. In: *Proceedings of the 4th IAG/EUREF Subcommittee Symposia, 8–11 June 1994, Warsaw, Poland*. Veröffentlichungen der Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung der BAW, Heft Nr. 54, pp.82–86, München 1994.

[38] STERNECK, R. v., Das neue Dreicksnetz I. Ordnung der österreichisch-ungarischen Monarchie. In: *Mittheilungen des Kaiserl. u. königl. Militär-Geographischen Institutes, Band XVIII* 1898, Verlag des K. und k. Militär-Geographischen Institutes, pp. 41-63, Wien 1899.