

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY



Vývoj bodových polí na území České republiky

The development of geodetic control points in the Czech Republic

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jiří Loula

Bakalant: Lukáš Tetík

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tetík Lukáš

Vodní hospodářství

Název práce

Vývoj bodových polí na území České republiky

Anglický název

The development of geodetic control points in the Czech Republic

Cíle práce

Literární rešerše - popsat vývoj bodového pole na území České republik (historie, metody měření a určení, výskyt souřadných a výškových systémů na území České republiky). Popsat použité systémy a zhodnotit jednotlivé chyby, které vznikly při jejich realizaci. Práci doplnit o obrázky a tabulky pro lepší představu o vývoji.

Metodika

literární rešerše dle osnovy:

- 1) Úvod
- 2) Základní bodové pole a jeho doplňování
- 3) Vývoj bodového pole polohopisného
- 4) Výškové systémy
- 5) Vývoj bodového pole výškového
- 6) Vývoj gravimetrické sítě
- 7) Závěr

Práce pojednává o vývoji bodových polí na území České republiky a tím navazujících bodových polí jiných států (území České republiky v minulosti spadalo pod území jiných států). Práce se také zabývá problematikami při vývoji a událostmi vedoucími ke vzniku používaných systémů.

Harmonogram zpracování

2.12.2013 první kontrola průběhu bakalářské práce.

16.4.2014 odevzdání bakalářské práce.

Rozsah textové části

cca 40 stránek

Klíčová slova

polohové určení, výškopis, gravimetrie, kyvadlová měření, souřadnicové systémy

Doporučené zdroje informací

ÚZ Katastr nemovitostí

Odborné anglické texty pro obor geodézie a kartografie:

Geodézia v stavebníctve

Vyhláška ČÚZK č. 31/1992 Sb.

<http://www.cuzk.cz/>

VYKUTIL J. Vyšší geodézie. Kartografie, Praha 1982

ABELOVIČ J. aj. Meranie v geodetických sieťach. Alfa Bratislava 1990, ISBN 80-05-00548-2

KOSTELECKÝ J., KOSTELECKÝ J. Realizace polohového systému – dosavadní zkušenosti. In Sborník Současný stav a vývoj bodových polí, VUT Brno, Fakulta stavební, Ústav geodézie, ECON publishing, s.r.o. Brno 2004, ISBN 80-86433-29-3

Vedoucí práce

Loula Jiří, Ing.

Elektronicky schváleno dne 2.4.2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2.4.2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma **Vývoj bodových polí na území České republiky** vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Jiřího Louly“. „Při vyhotovení jsem použil všechny uvedené literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal“.

V Praze dne 14. 4. 2014

.....
Lukáš Tetík

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Loulovi za veškeré poskytnuté rady, odborné vedení a připomínky týkající se jejího obsahu.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, přátelům a v neposlední řadě své přítelkyni za podporu při vyhotovení bakalářské práce.

Velký dík patří knihovně Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického ve Zdibech za velikou ochotu a poskytnutí důležitých materiálů.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je zpracování literární rešerše. Obsah bakalářské práce je věnován souhrnu vývoje bodových polí na území České Republiky. Jsou zde řešeny procesy vývoje, události a okolnosti vedoucí k budování jednotlivých bodových polí, vzniklé chyby při zaměřování a určování bodových polí a souřadnicových systémů.

Práce je rozčleněna do několika hlavních kapitol, přičemž každá podkapitola se zabývá vývojem bodového pole v určitém časovém úseku. Bakalářská práce je rozdělena tak, aby ve výsledku tvořila přehledný celek s jasnou a jednoduchou orientací.

Hlavním důvodem zpracování této práce byla skutečnost, že neexistuje na našem území takto jednotně a podrobněji zpracovaný přehled o vývoji bodových polí na území České Republiky. Z mé zkušenosti, s hledáním v archívech, jsem se pouze setkal s pracemi, které byly sice velmi podrobné, ale byly rozděleny do několika knižních výtisků. Některé práce byly zase pouze v podobě jednoho knižního výtisku, ale na úkor menší podrobnosti. V této práci jsem se snažil vypracovat mé zvolené téma tak, aby netrpěla podrobnost sdílených informací na úkor vhodného rozsahu práce.

Klíčová slova: polohové určení, výškopis, gravimetrie, kyvadlová měření, souřadnicové systémy

Abstract

The objective of this bachelor's thesis is elaboration of the literary search. The content of the bachelor's thesis is devoted to the summary of development of the geodetic point fields in the Czech Republic territory. The paper deals with development processes, events and circumstances leading to building the individual point fields, and errors occurring during surveying and determination of the point fields and coordinate systems.

The paper is divided into several main chapters. Each sub-chapter deals with development of the point field in a certain time period. The bachelor's thesis is divided so that it created a well-arranged whole with clear and simple orientation.

The main reason to elaborate this paper was the fact, that there is not any uniform and detailed overview on the development of point fields in the Czech Republic territory. During my search in archives, I only found works, which were very detailed, however divided into several books. Some works were in form of one book, but at the expense of details. In this study I tried to work out the selected topic so that the details of shared information did not suffer at the expense of suitable work scope.

Key Words: positioning, altimetry, gravimetry, pendulum determination, coordinate systems

Obsah:

1	Úvod	1
2	Literární rešerše	3
2.1	Definice bodového pole	3
2.2	Rozdělení bodových polí v dnešní době	3
2.2.1	Rozdělení a obsah bodového pole polohového	3
2.2.2	Rozdělení a obsah bodového pole výškového.....	3
2.2.3	Rozdělení a obsah bodového pole tíhového	4
2.3	Vývoj bodového pole polohového	4
2.3.1	Historie do roku 1918	4
2.3.2	Historie v letech 1918 až 1945	9
2.3.3	Historie v letech 1945-1987	11
2.3.4	Historie v letech 1987 až současnost	16
2.4	Vývoj bodového pole výškového	19
2.4.1	Historie do roku 1918.....	20
2.4.2	Historie v letech 1918-1945	26
2.4.3	Historie v letech 1945-1989	28
2.4.4	Historie po roce 1989	35
2.4.5	Stabilizace a signalizace nivelačních bodů	35
2.5	Vývoj bodového pole tíhového	43
2.5.1	Historie do roku 1918.....	44
2.5.2	Historie v letech 1918 až 1945	45
2.5.3	Historie v letech 1945 až 1987	46
2.5.4	Historie v letech 1987 až dodnes.....	51
3	Diskuse	54
4	Závěr	55
5	Přehled literatury a použitých zdrojů	56
6	Seznam obrázků	59

7	Seznam tabulek	61
8	Seznam příloh.....	62

Seznam použitých zkratk

λ	zeměpisná délka
AGS	Československá astronomicko-geodetická síť
BEV	Bundesamt für Eich und Vermessungs wessen Wien
CZEPOS	Česká síť permanentních stanic pro určování polohy
ČGS	Československá gravimetrická síť
ČR	Česká republika
ČSJNS	Československá jednotná nivelační síť
ČSJNS/J	Československá jednotná nivelační síť v jadranském výškovém systému
ČSR	Československá republika
ČSSR	Československá socialistická republika
ČSTS	Československá jednotná trigonometrická síť
DMA	Defense Mapping Agency
ETRF89	European Terrestrial Reference Frame
EUVN	Evropské výškové sítě
GIS	Geografický informační systém
GLONASS	Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema nebo Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
ITRS	International Terrestrial Reference System
ITRS2000	International Terrestrial Reference System established 2000
IUGG	The International Union of Geodesy and Geophysics
JGS	Jednotná gravimetrická síť socialistických států
KNB	Katalog nivelačních bodů
MLR	Maďarská lidová republika
MVP	Ministerstvo veřejných prací

NAVSTAR GPS	Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System
OB1, 2	orientační bod číslo 1, 2
PN	přesná nivelace
PT	podrobná trigonometrie
RTK	Real Time Kinematic
RUVZÚ	Rakousko-uherský vojenský zeměpisný ústav
S-42	vojenský souřadnicový systém vzniklý v roce 1942
S-JTSK	Systém-Jednotná trigonometrická síť katastrální
SR	Slovenská republika
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
UELN	United European Levelling Network
ÚGK	Úřad geodetický a kartografický
VRS	Virtual Reference Station
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
VZÚ	Vojenský zeměpisný ústav
ZGS	základní geodynamická síť
ZNB	základní nivelační bod
ZNS	zvláštní nivelační síť

1 Úvod

Práce se zabývá vývojem bodových polí na území České Republiky. Vývoj na území České republiky nejde jen ohraničit hranicemi našeho státu. Důvod neohraničení práce čistě jen na území České republiky je ten, že území České republiky nebylo dlouhou dobu samostatné. Z tohoto důvodu jsou v práci popsány i vývoje bodových polí na územích států, jejichž součástí jsme byli. Práce dále obsahuje návaznost tehdejších sítí na sítě sousedních států, zmínku o všech důležitých letopočtech, státních a soukromých institucích, událostech, rozhodnutích a osobách, které stáli za historickým vývojem bodového pole.

Geodetické sítě neboli bodová pole tvoří množina geodetických bodů, které jsou účelně rozloženy na zemském povrchu. Geodetický bod je trvale označený bod stanovený měřickými značkami a signalizačními nebo ochrannými zařízeními. Bodová pole jsou jedny z nejzákladnějších stavebních kamenů oboru geodézie a vůbec celého stavebního průmyslu. Potřeby vybudování bodových polí jsou známé již z dávné historie. Důvodem potřeby bodových polí byly budování nejrůznějších staveb ve starověku (např.: budování zavlažovacích a odvodňovacích kanálů). Na našem území jsou první zmínky o potřebě bodového pole výškového již z poloviny 16. století, kdy docházelo k budování rybníků. Potřeba vybudování polohového bodového pole je zmíněna až v druhé polovině 18. století. Za vznikem bodového pole výškového a polohového stojí taktéž potřeba vojenská, kdy bylo velmi důležité zmapovat a znát perfektně území státu z důvodu ochrany. Nejmladším bodovým polem je bodové pole tíhové. O budování bodového pole tíhového pocházejí první zmínky z konce 19. století. Hlavním důvodem vzniku byla touha po poznání tvaru a rozměrů zemského tělesa (geoidu) a jeho vnějšího tíhového pole.

V dnešní době patří úroveň bodových polí na území České republiky k absolutní celosvětové špičce. Vysoká úroveň je způsobena častým a systematickým obnovováním bodového pole. Další podíl na vysoké úrovni mají dozajista i dnešní vyspělé technologie, s jejichž pomocí dochází jen k velmi malému procentu chyb při obnově a údržbě. Vysoký podíl na přesnosti má taktéž propojení naší sítě se sousedními státy.

Doufám, že tato moje práce bude alespoň skromným přínosem pro osoby zabývající se historickým vývojem oboru geodézie, protože bez bodových polí by dle mého názoru nemohl tento obor existovat.

2 Literární rešerše

2.1 Definice bodového pole

Bodové pole obsahuje v terénu vhodně rozložené, stabilizované, souřadnicemi a výškou dané body. Dobře udržované bodové pole bude v budoucnu snad jediné, co se z výsledků mapování dá udržet stále ve stejném stavu, jak se zmiňuje Císař et al (1966). V dnešní době se jedná o nákladnější mapovací investici, ale bohužel bodová pole neustále zanikají a vznikají nová.

2.2 Rozdělení bodových polí v dnešní době

Nejprve, než se tato práce začne věnovat postupnému vývoji bodových polí, je potřeba si uvést rozdělení bodových polí v dnešní době.

Bodové pole se dělí na bodové pole polohové, bodové pole výškové a bodové pole tíhové. Polohová, výšková a tíhová bodová pole se dále dělí na základní a podrobná bodová pole. (dle §1vyhlášky ČÚZK č. 31/1995 Sb.)

2.2.1 Rozdělení a obsah bodového pole polohového

Základní bodové pole polohové obsahuje trigonometrické body 1. až 5. řádu včetně bodů astronomicko-geodetické sítě. (Císař et al 1966, Staněk et Hostinová 1999)

Podrobné bodové pole obsahuje body zhušťovací, polygonové, body určené protínáním a další druhy bodů, určené jinými způsoby, pokud splňují podmínky přesnosti pro body bodového pole. (Císař et al 1966)

2.2.2 Rozdělení a obsah bodového pole výškového

Do základního bodového pole výškového patří základní nivelační body (jedná se o 11 bodů) a body České státní nivelační sítě I. až III. řádu. (Císař et al 1966)

Podrobné bodové pole výškové obsahuje body České státní nivelační sítě IV. řádu, body plošné nivelační sítě a stabilizované body technické nivelace. (Císař et al 1966, Staněk et Hostinová 1999)

2.2.3 Rozdělení a obsah bodového pole tíhového

Základní bodové pole tíhové obsahuje Absolutní tíhové body. Tyto body tvoří Body české státní gravimetrické sítě (0., I. a II. řádu) a Body hlavní gravimetrické základny.

Síť podrobných tíhových bodů tvoří Body gravimetrického mapování a Body účelových sítí. (Schenk 2004)

2.3 Vývoj bodového pole polohového

Na našem území bylo již vybudováno pro mapování v různých obdobích několik bodových polí polohových. Většina bodů se v terénu zachovala a značná část bodů starších bodových polí se přejímala do nově budovaných bodových polí.

Pro správné posouzení katastrálních map, napojených na starší bodová pole a dosud ve velkém rozsahu používaných a pro další jejich plné a účelné využití, je nutno znát přesnosti, přednosti a vady starších bodových polí, pramenící již ze způsobu jejich budování. (Císař et al 1966, Marek et al 1991)

2.3.1 Historie do roku 1918

2.3.1.1 První stupňové měření na našem území

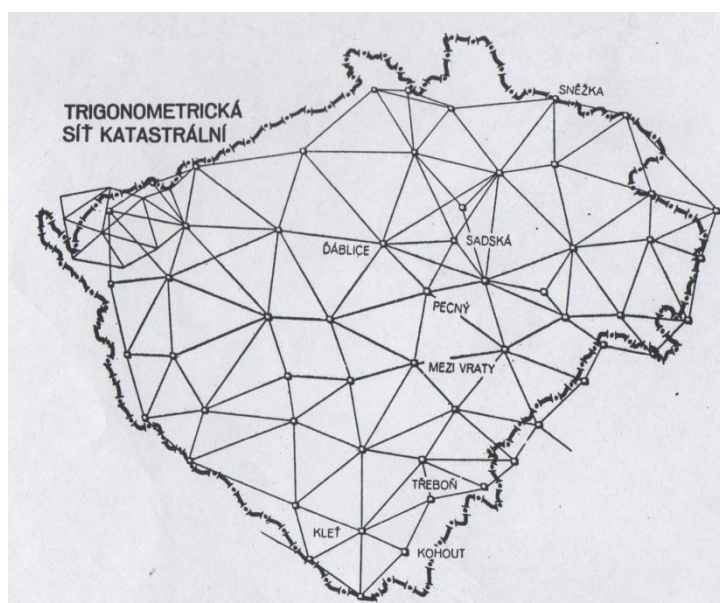
Joseph Liesanig (1719 až 1799) provedl v druhé polovině 18. století (v letech 1759 až 1768) první stupňové měření na území dnešní České a Slovenské republiky. Jednalo se o první triangulaci. Podnět k měření vydala panovnice Marie Terezie.

Počáteční bod měření byl střed věže kapličky svatého Kříže na území Soběšic (jednalo se i o první trigonometrický bod na našem území). Joseph Liesanig vedl z tohoto bodu síť trojúhelníků přes Vídeň, Štýrský Hradec až do Varaždinu (Chorvatsko). Určení rozměru sítě provedl změřením geodetické základny ve Vídni (Wiener Neustadt) pomocí dřevěných latí (dlouhé 6 sáhů = 11, 379 m). Délka základny byla rovna 6 410, 903 sáhů (12 158, 174 m). Od této základny směrem na Brno a na Varaždin byl stejný počet trojúhelníků (11). Prováděl astronomická i geodetická měření. Výsledkem těchto prací bylo určení délky jednoho stupně poledníku u Vídne. Hodnota délky stupně poledníku byla 58 664, 2 sáhů (111 255, 71 m). (Vykuřil 1968)

2.3.1.2 Trigonometrická síť pro rakouský stabilní katastr (katastrální triangulace)

Trigonometrická síť rakouského stabilního katastru se začala budovat roku 1807. Budování sítě trvalo až do roku 1860. V Čechách a na Moravě se katastrální triangulace prováděla v letech 1821 až 1840. Na území Slovenska se katastrální triangulace prováděla v letech 1853 až 1864. Pro určení rozměru této sítě se zřídily 4 základny: u Vídeňského Nového Města v Dolních Rakousích (odvozené z Liesanigovy základny), u Welsu v Horních Rakousích, u Radovce v Bukovině a u Hallu v Tyrolích (poslední tři základny byly nově změřené). Délka základen se pohybovala od 5,6 do 15 km. Poloha koncových bodů základen a příslušných azimutů se určovaly astronomicky. Na základny dále z nich odvozené a na některé trigonometrické body v sousedních státech se připojila trigonometrická síť I. řádu (obrázek 2.1) o průměrné délce trojúhelníkových stran 15-30km.

Obrázek 2.1: Trigonometrická síť I. řádu pro stabilní katastr v Čechách



Zdroj: Císař et al. (1966)

Trigonometrická síť II. řádu se odvodila úhlovým měřením a číselným výpočtem. Délky stran jsou u trigonometrické sítě II.řádu 9-15km. Na obě sítě pak navazovala síť III. řádu o délce stran 4-9km. Z důvodu neurčení Besselova elipsoidu se musely trigonometrické body umístit na elipsoid, který měl parametry: $a = 6\,376\,045$ m (hlavní poloosa), $i = 1 : 310$ (zploštění). Trigonometrická síť se orientovala na světové strany. (Císař et al 1966, Vykutíl 1968, Procházka 1985, Marek et al 1991)

Tyto sítě musely vyhovovat podmínce, aby na jeden fundamentální list o rozměrech 4 000° x 4 000° případly alespoň 3 číselně určené trigonometrické body, z nichž alespoň 1 by mohl být stanoviskem. Úhly v síti I. řádu se měřily velmi přesně.

Vady sítě byly tyto:

- a) Při výpočtu se trojúhelníky mezi trigonometrickými body považovaly za rovinné, ale ve skutečnosti se jednalo o trojúhelníky sférické.
- b) Při budování sítě se nepostupovalo podle plánů.
- c) Nedodržovala se zásada "z velkého do malého"
- d) Nerozlišovaly se řády sítě

Trigonometrické body se stabilizovaly až za 20 i více roků po jejich určení. Kvůli pozdní stabilizaci se u celých stovek bodů nenašly dočasné znaky. Horší však bylo, že některé body se stabilizovaly na podkladě vytyčování podle záznamů, které byly po ruce. Původní stabilizace trigonometrických bodů byla provedena jen dřevěnými kůly. Novější stabilizace byla pomocí kamenných hranolů. Tato stabilizace se provedla až o 20 let později. (Císař et al 1966, Vykutil 1968, Marek et al 1991)

Mapovaná území byla rozdělena na více poledníkových pásů se samostatnými souřadnicovými systémy. Důvod rozdělení byl ve vyhotovení katastrálních map stabilního katastru. Souřadnicové soustavy měly nekonformní Cassini-Soldnerovo zobrazení (rovinné souřadnice X, Y se rovnají sférickým $X = x, Y = y$). Území Čech mělo souřadnicový systém, jehož počáteční bod byl Gusterberg u Lince. Pro území Moravy a Slezka měl souřadnicový systém výchozí bod na věži kostela svatého Štěpána ve Vídni. Území Slovenska mělo pro souřadnicový systém výchozí bod Gellérthegey v Budapešti. (Bóhm et al 1981)

Síť měla velké zkreslení. Od osy X se zvyšující se vzdáleností vznikaly velká délková zkreslení. Východní oblast Čech a Moravy měla například délkové zkreslení až 50 cm na 1 km. Směrová oprava pro stranu o délce 5 km byla až 50". Největší zkreslení délek a oprava směrů byla v soustavě Gellérthegey. (Vykutil 1968)

Trigonometrická síť nevyhovovala vysokým požadavkům na přesnost. I přes tyto nedostatky dobře splnila svůj cíl, protože měla dvě přednosti: 1) dostatečná hustota bodů; 2) poloha trigonometrických bodů byla určena pravoúhlými souřadnicemi. Síť se používala až do roku 1918. (Marek et al 1991)

2.3.1.3 Grafická triangulace

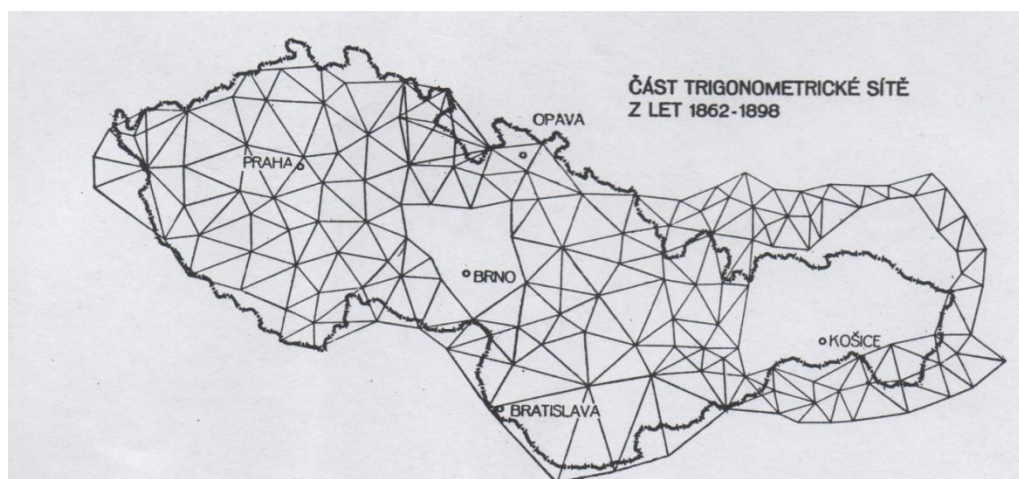
Příliš velká vzdálenost číselně určených bodů (nad 4 km) vedlo k problému. Důvod byl ten, že by do rámce mapového listu 1:2880 o rozměrech 1 000° x 800° nepadl ani jeden trigonometrický bod. Číselná síť se proto ukvapeně zhusťla grafickou triangulací v síti IV. řádu tak, aby na 1 mapový list připadly zhruba 3 trigonometrické body. Alespoň jeden bod z těchto třech bodů měl být stanoviskem. Grafická triangulace probíhala tak, že na sklo upevněné na měřickém stole se napnul papír a na něm se přesně zobrazil v měřítku 1:14 000 fundamentální list. List se rozdělil čtyřmi sloupci a pěti vrstvami na 20 mapových listů. Do takto vzniklých mapových listů se přesně zakreslily číselně určené trigonometrické body. Zákres bodů se kontroloval.

Pomocí grafického protínání z více určovacích směrů, jejichž rysky se na listu co nejpečlivěji vyryly kovovým rydlem, docházelo k určení nových bodů IV. řádu. Pomocí měřítka s mikrometrickým šroubem se souřadnice nových bodů odměřily na desetiny sáhu. Měření probíhalo ještě na napjatém papíře od všech čtyř sekčních čar mapového listu. Součet obou protilehlých úseků se porovnával s délkou sekční čáry, která byla s nimi rovnoběžná. Kontrolované souřadnice se vyrovnávaly na délku sekční čáry s nimi rovnoběžné a zapisovaly se do protokolu. Takto graficky určené body byly v měřítku 1:14 000. (Císař et al 1966)

2.3.1.4 Nová vojenská triangulace pro evropské stupňové měření

Vojenská triangulace (obrázek 2.2) se budovala na celém území Rakousko-Uherské monarchie v letech 1862-1898. Vojenský zeměpisný ústav ve Vídni měl její budování na starosti. Spočívala na zcela nových základech jako nová samostatná síť (proto byla první trigonometrická síť na našem území vyhovující požadavkům na přesnost) a převzalo se z ní přes 100 bodů z katastrální triangulace. Síť byla součástí evropského stupňového měření a stala se základem pro tzv. třetí vojenské mapování. Tato síť byla připojena na základní referenční bod Hermanskogel u Vídně, orientována na azimut Hermanskogel-Hundsheimerberg. Zeměpisná délka λ na referenčním bodě Hermanskogel u Vídně se geodeticky odvodila z astronomicky určené hodnoty v hvězdárně ve Vídni. (Císař et al 1966, Procházka 1985, Marek et al 1991)

Obrázek 2.2: Nová vojenská triangulace pro evropské stupňové měření (část na území ČSR)



Zdroj: Císař et al. (1966)

Měření úhlů (každý úhel se měřil 48 krát) probíhalo pomocí teodolitu se strukturovanými mikroskopy. Metoda měření úhlů probíhalo pomocí repetiční metody (násobením). (Vykutíl 1968, Procházka 1985)

Výpočetní práce se prováděly na Besselův elipsoid z roku 1841 ($a = 6\,377\,397,155$ m; $i = 1 : 299,153$). Vyrovnávala se pro urychlení prací empiricky a zeměpisné souřadnice se do roviny nepřeváděly. Zaměřeno bylo 22 geodetických základen. Většina základen měla ale jen kontrolní význam (při určování rozměrů sítě se neuplatňovaly). Dvě základny byly i na našem území (Josefov (část města Jaroměř), délka základny 5,3 km; Cheb, délka základny 4,3 km). Průměrná délka sítě I. řádu byla 40 km. Velké mezery obsahovala trigonometrická síť na Moravě, ještě větší na Slovensku (například u Brna a na východním Slovensku nebyla dokončena). (Císař et al 1966, Vykutíl 1968, Procházka 1985)

Zhuštění sítě proběhlo díky doplnění sítě II. a III. řádu. K převedení trigonometrické sítě I. řádu do roviny nikdy nedošlo.

Vojenská triangulace sloužila jako základ pro novou katastrální triangulaci v Uhrách, vybudovanou v roce 1864. (Marek et al 1991)

Nedostatek vojenské triangulace spočíval v tom, že výchozí bod Hermanskogel je umístěný na rozhraní alpského masívu a Dunajské nížiny, nastával tedy problém ve ztotožnění svislice výchozího bodu a Besselova elipsoidu. Síť tedy byla stočená ve směru hodinových ručiček a posunutá na východ. Ve směru sever-jih bylo vše v pořádku. (Procházka 1985, Marek et al 1991)

2.3.2 Historie v letech 1918 až 1945

Po roce 1918, kdy vznikla Československá republika (dále jen ČSR), nebyly na jejím území spolehlivé polohové geodetické základy. Ze staré katastrální triangulace nezbylo mnoho bodů v terénu, síť byla velmi řídká a nacházelo se zde více souřadnicových soustav.

Tyto okolnosti vedly roku 1919 ke zřízení Triangulační kanceláře v Praze. Zřízení této kanceláře mělo na starosti Ministerstvo financí. Vedoucím Triangulační kanceláře v Praze byl jmenován geodet Ing. Josef Křovák (1884 – 1951). Hlavním úkolem kanceláře bylo vybudovat v krátkém časovém intervalu pro celé území ČSR Jednotnou trigonometrickou síť katastrální (dále jen S-JTSK). (Klimeš et Nejedlý 1990)

2.3.2.1 Jednotná trigonometrická síť katastrální (S-JTSK)

Polohové geodetické základy na našem území měly po roce 1918 4 sítě, počítané v 9 souřadnicových soustavách na 2 elipsoidech. Vojenská síť měla jen zeměpisné souřadnice. Aby se splnil požadavek na rychlé vybudování nové jednotné sítě, vycházelo se proto z vojenské triangulace pro stupňové měření, která znamenala náskok 36 let nesnadné měřické a výpočetní práce (1862-1898). Z triangulace RUVZÚ (Rakousko-uherského vojenského zeměpisného ústavu, dále jen RUVZÚ) byly převzaté měřené osnovy směrů na 42 TB (trigonometrické body, dále jen TB) v Čechách a 22 TB na území Podkarpatské Rusi. Převzalo se taktéž 107 identických bodů, ale pozdější zjištění ukázalo, že bude výhodnější použít jen 42 bodů. Z těchto 42 bodů byly určeny koeficienty Helmertovy transformace a pak s pomocí tohoto klíče byly vypočteny pravoúhlé souřadnice všech trigonometrických bodů I. řádu v rovině Křovákova zobrazení.

Budování nové trigonometrické sítě I. řádu začalo roku 1920. Budování začalo na území Moravy a dále se pokračovalo směrem na východ. Měření směrů probíhalo pomocí Schreiberovy metody. V letech 1936 a 1937 probíhalo měření směrů pomocí vrcholové metody. Měření probíhalo pomocí teodolitů firem: Breithaupt, Fenel, Frič, Heyde, Hildebrand, Neuhöfer, Starke-Kammerer a Wild. (Charvát 1960)

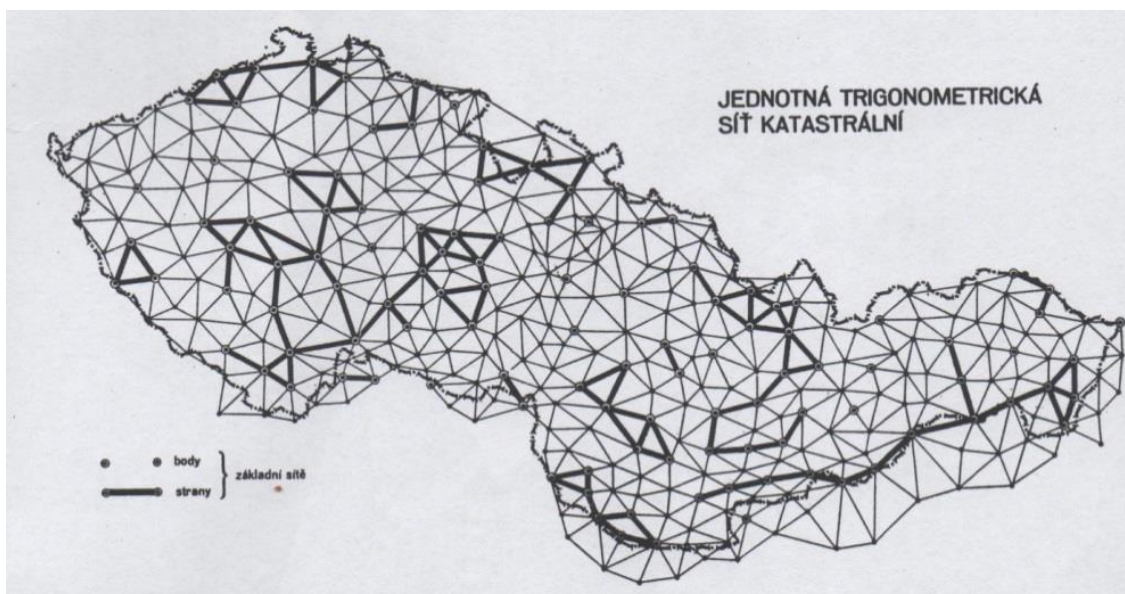
Československá trigonometrická síť I. řádu v Čechách vznikla převzetím vojenského měření a zhuštěním řídké sítě.

Trigonometrická síť I. řádu se zhušťovala postupným vkládáním bodů. Po doplnění na stejnoměrnou hustotu bodů měla trigonometrická síť průměrnou délku

trojúhelníkových stran asi 25 km (před zhuštěním sítě byly průměrné délky stran délky 40 km).

Trigonometrická síť I. řádu byla budována systematicky v letech 1920 až 1957. V letech 1920 až 1927 byla budována jako Základní trigonometrická síť I. řádu, od roku 1928 jako Jednotná trigonometrická síť I. řádu. V Čechách došlo k rozšíření sítě díky naměření 93 TB v letech 1928 až 1936. Další rozšíření sítě proběhlo díky zaměření 20 TB v letech 1949 až 1950 v okolí hranic mezi Československem a Maďarskem. Vyrovnávání sítě začalo v roce 1926. Vyrovnání proběhlo metodou nejmenších čtverců. Trigonometrická síť I. řádu byla vyrovnána kromě 31 bodů na jihozápadním Slovensku jako celek. Vynechání těchto bodů bylo způsobeno ještě probíhajícími měřeními na těchto bodech. Připojení těchto bodů k síti I. řádu proběhlo v roce 1927. Trigonometrickou síť I. řádu (obrázek 2.3) tvořilo po roce 1927 268 bodů (115 na Slovensku). (Delong 1960, Klimeš et Nejedlý 1990)

Obrázek 2.3: Jednotná čs. trigonometrická síť I. řádu s body základní sítě



Zdroj: Císař et al. (1966)

Trigonometrická síť 1. řádu se počítala na Besselově elipsoidu. Dokonalejší elipsoid Hayfordův (doporučený v roce 1924) se již nemohl použít, protože práce na Besselově elipsoidu již pokročily. Pozdější zjištění poukázalo, že na výchozím bodě Hermanskogel se nachází značná tížnicová odchylka, která měla nepříznivý vliv na správné umístění sítě na referenčním elipsoidu, nikoliv však na její praktické používání.

Budování trigonometrické sítě II. až IV. řádu a Podrobné trigonometrické sítě V. řádu již neprobíhalo systematicky. Budování probíhalo postupně v různých částech území podle požadavků katastrálního mapování. Vyrovnání trigonometrických bodů probíhalo postupně jednotlivě nebo ve skupinách podle řádů.

Průměrné délky stran trojúhelníků byly u II. řádu zhruba 12 km, u III. řádu asi 7 km a u IV. řádu asi 4 km. Dbalo se při tom, aby do sítě přešly všechny body vojenské triangulace, většina bodů katastrální triangulace a body ze sítí pohraničních a jiných triangulací.

Druhá světová válka způsobila budování sítě odděleně (území Čech a Moravy se budovalo odděleně od území Slovenska).

Trigonometrická síť byla dobudována na našem území ČSR roku 1957. Dostala označení Československá trigonometrická síť (I. – V. řádu). (Císař et al 1966, Klimeš et Nejedlý 1990)

2.3.3 Historie v letech 1945-1987

2.3.3.1 Dobudování čs. trigonometrické sítě

Skončení II. světové války umožnilo pokračování prací na dokončení Jednotné trigonometrické sítě katastrální (I. až IV. řád) a podrobné trigonometrie V. řádu (dále jen PT). Dokončení prací na síti proběhlo roku 1957. Průměrná hustota bodu byla: jeden bod na 2,7 km². IV. řád na jihovýchodní části Čech nemusel být zhuštěn V. řádem. Na celém území Čech s Moravy obsahovala síť (JTSK I. až IV. řád + PT V. řádu) 29 051 trigonometrických bodů. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.3.3.2 Označování bodů JTSK

Body se označovaly názvem a pořadovým číslem, u I. řádu průběžně pro celé státní území, u vyšších řádů v každém základním triangulačním listu. U V. řádu v každém triangulačním listu samostatně. Za pořadové číslo bodu se připojovaly arabské číslice 1-5, označující řády (např. 1261 Melechov, 122 Galša, 33 Strážov, 44 Vrchy, 15 Cep). Body II. až V. řádu se mohou však jednoznačně určit teprve po předřazení znaku triangulačního listu, v němž leží, např. 680-12800: 15 Cep.

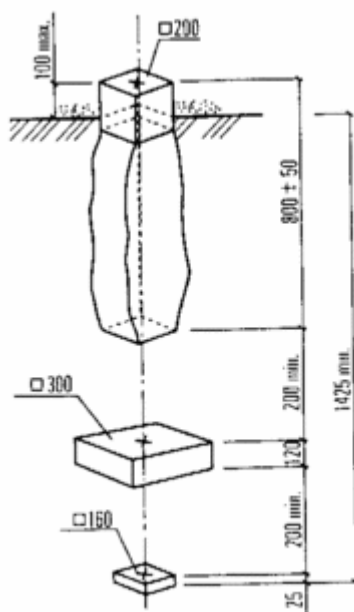
Trigonometrické body vyšších řádů (1. až 4.) se zakreslují přesně do základního triangulačního listu v měřítku 1: 100 000 a všechny trigonometrické body do triangulačního listu. v měřítku 1: 20 000. V obou zákresech se zapisují čísla a názvy, vyznačující jednoduché trojúhelníkové strany mezi sousedními body vyšších řádů a

v podrobné síti (5. řád) i určovací směry se šipkami označujícími určení. (Císař et al 1966)

2.3.3.3 Stabilizace a signalizace bodů ČSTS

Stabilizace probíhala jednotně pro body Československé jednotné trigonometrické sítě (dále jen ČSTS) žulovými kameny se dvěma podzemními značkami (obrázek 2.4.). V případě, kdy nemohlo dojít z nějakého důvodu k úplné stabilizaci, přecházelo se k náhradnímu řešení. Náhradní řešení bylo provedeno tak, že stabilizace bodů ČSTS byly doplněny zajišťovacími body ve stejném počtu, kolik chybělo stabilizačních značek.

Obrázek 2.4: Stabilizace žulovým kamenem + 2 podzemní značky



Zdroj: Schenk (2004)

Signalizace bodů ČSTS I. řádu byla provedena vystavením měřické pyramidy, kde na jejich vrcholu byla umístěna černobílá výtyčka. Body II. až V. řádu byly signalizovány především pomocí výtyčky ve stojánku.

Orientace bodů proběhla tak, aby pro zajištění směrového připojení byl každý bod opatřen orientačním směrem na sousední bod. Tento směr mohl být orientován ještě na orientační bod, který byl zřízen speciálně pro tento účel. (Klimeš et Nejedlý 1988, Abelovič et al 1990)

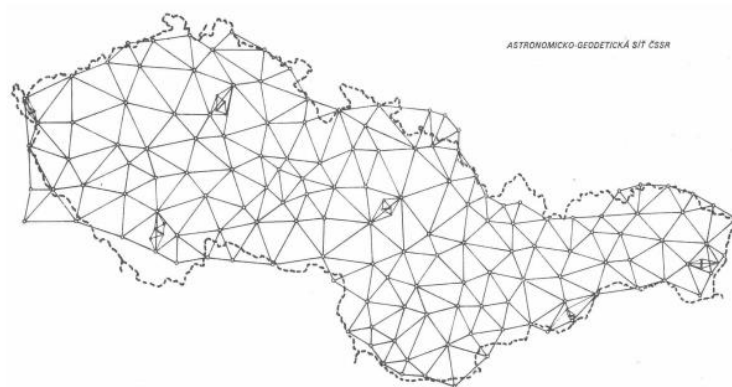
2.3.3.4 Budování a dobudování Československé astronomicko-geodetické sítě (AGS)

Budování Československé astronomicko-geodetické sítě (dále jen AGS) (obrázek 2.5) začalo roku 1930. Budování měl na starosti organizační výbor geodetický a geofyzikální při tehdejší Národní radě badatelské. První léta byla věnována hojným pokusným měřením k výzkumu přístrojů, metod měření a vlivu refrakce.

Byla navržena síť trojúhelníků o průměrné délce stran 36,1 km, bylo naplánováno spojení se základními trigonometrickými sítěmi sousedních států. AGS měla 144 bodů, 366 stran a 227 trojúhelníků. Řada bodů byla totožná s body I. až V. řádu sítě Jednotné trigonometrické sítě katastrální (dále jen JTSK).

Úhly se měřily vrcholovou metodou v laboratorních jednotkách. K měření vodorovných směrů a úhlů se přistoupilo v letech 1935 až 1943. Střední chyba úhlů z uzávěrů trojúhelníku byla pro území Čech a Moravy 0,38".

Obrázek 2.5: Astronomicko-geodetická síť



Zdroj: Schenk (2004)

Do roku 1938 byla provedena astronomická měření na čtýřech bodech, provedeno měření základny u Jesenského a uskutečněno spojení se sítí rakouskou a rumunskou. Spojení AGS s SSSR (Svaz sovětských socialistických republik) proběhlo v letech 1954 a 1966. V roce 1949 a 1950 došlo k propojení AGS se sítí MLR (Maďarské lidové republiky). Při spojení k těmto sítím se používala metoda Schreiberova.

K určení rozměru sítě AGS bylo potřeba vybudovat základny. V roce 1943 – 1951 bylo zaměřeno 6 základen. Měření probíhalo relativně pomocí invarových

drátů ke srovnávací hladině Praha - Hvězda. V letech 1960 až 1974 došlo k doměření úhlů na ostatních bodech AGS na Slovensku, byly změřeny další Laplaceovy body a došlo ke zhuštění gravimetrické sítě. Vyrovnání sítě proběhlo v letech 1956 – 1958. Pomocí elektrooptických dálkoměrů proběhlo nové určení rozměrů sítě v letech 1968 – 1974.

Měření a určení AGS se dá rozčlenit do tří skupin:

- Měření v letech 1924 až 1941
- Měření v letech 1943 až 1956
- Měření v letech 1960 až 1974

K převedení Československé astronomicko-geodetické sítě do systému S-42 (vojenský souřadnicový systém vzniklý v roce 1942) došlo v letech 1956 až 1957. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.3.3.5 Čs. jednotná trigonometrická síť katastrální převedená do souřadnicového systému S-42

Převedení ČSTS do souřadnicového systému S-42 (dále jen S-42) začalo v letech 1958 – 1959. Nejprve došlo k vyrovnání I. řádu ČSTS. Vyrovnáno bylo po blocích 195 bodů. Body II. řádu a výjimečně body III. řádu se vkládaly v blocích do bodů I. řádu. Na území Československa se takto získalo celkově 731 rovnoměrně rozložených bodů. Ostatní body, které se takto nevyrovnávaly, se převedly do systému S-42 pomocí transformace. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.3.3.6 Klasifikace bodů

Po převodu bodů do systému S-42 došlo ke klasifikaci bodů ČSTS. Klasifikace bodů měla tyto parametry:

- a) střední chyba měřeného směru
- b) střední souřadnicová chyba
- c) způsob stabilizace
- d) průměrná délka stran

Podle těchto parametrů se trigonometrické body rozčlenily na body státní a podrobné sítě. Pro přesnou orientaci se v letech 1960 až 1964 na bodech státní sítě vybudovaly orientační body pro přesnou orientaci. Jednalo se o dva orientační body (OB1, OB2). Tyto body měly za úkol zajistit směrovou přesnost, která se rovnala 2,5".

Československá státní trigonometrická síť, rozdělená nově na I. až IV. řád podle přesnosti určení a minimálních středních délek určovaných směrů obsahuje body čs. astronomicko-geodetické sítě a body sítí 1. až 4. řádu (bývalé vyšší řády) aspoň v hustotě 1 bodu na každých 20 km².

Čs. podrobná trigonometrická síť obsahuje bývalé trigonometrické body 5. řádu, výjimečně i 4. řádu, které vyhovují kritériím uvedeným v tabulce 2.1. (Císař et al 1966, Klimeš et Nejedlý 1988)

Tabulka 2.1: Kritéria pro body 5. řádu, výjimečně i pro body 4. řádu

Průměrná délka	Uzávěr trojúhelníku	Střední chyba		
		podle Ferrera	ve směru	v souřadnicích
2-3 km	4,5''	1,60''	2,10''	0,015 m

Zdroj: Císař et al. (1966) (upraveno)

2.3.3.7 Označování bodů

Nové číslování bodů ČSTS bylo zavedeno roku 1969. V témže roku bylo zavedeno rozhodnutí o používání S-JTSK pro všechny civilní organizace. V nové síti se již označování bodů neřídilo řádem, do něhož bod patří. Nahrazuje se průběžným číslováním pro všechny řády v prostoru mapového listu 1: 100 000 Gaussova zobrazení. Body se zakreslují do čtyř evidenčních listů mapy 1: 50 000, které vyplňují mapu 1: 100 000, v níž se body průběžně číslují. Body čs. státní trigonometrické sítě se číslují na mapách 1: 50 000 v kilometrových vrstvách od západu k východu a od severu k jihu čísla 1-299 průběžně a jen v prostoru listu 1: 100 000. Body čs. podrobné trigonometrické sítě se zakreslí mezi ně obdobně a číslují se od 301 do 999. Podle potřeby je lze číslovat i přes 1000. Body zhušťovací se číslují od 1001 nebo čísla navazujícími za poslední číslo bodů podrobné sítě od první volné stovky až do 1999, přestože nepatří do základního bodového pole. (Císař et al 1966)

2.3.3.8 Údržba, obnova a doplňování bodů ČSTS

Od roku 1966 se revize bodů ČSTS prováděla periodicky v pětiletých až desetiletých cyklech.

Při údržbě se zjišťoval stav jednotlivých bodů a uplatňovala se opatření, aby body mohly být plně využívány pro připojení měřických a mapovacích prací.

Obnova bodů ČSTS se prováděla na částech sítě, které byly ve větším rozsahu zničeny. Dále se prováděla údržba u bodů, kde již nastala nedostatečná přesnost (nevyhovovaly tehdejšími kladenými požadavky). V letech 1967 až 1968 probíhala údržba klasickou triangulací. Od roku 1969 byla zvolena metoda, shrnující kombinaci úhlového a délkového měření.

Doplňování sítě probíhalo na místech, kde průměrná vzdálenost dvou sousedních bodů překročila délku 3 km. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.3.3.9 Lokální trigonometrické sítě

Lokální trigonometrické sítě se zhotovily na místech, kde S-JTSK nevyhovovala svojí přesností. Jednalo se o sítě využívající stabilizaci bodů ČSTS. Rozdíl byl ale ve výpočetních pracích, které využívaly lokální souřadnicové systémy.

Představitelé lokálních trigonometrických sítí jsou tito:

- sítě pro investiční výstavbu
- sítě pro sledování stability zemské kůry

Nejvýznamnějším představitelem je výstavba pražského metra. Z důvodu stavby byla vytvořena síť s názvem S-Praha. Tato síť obsahovala 17 bodů, z kterých bylo 9 identických s body ČSTS. Průměrná délka stran mezi body byla rovna 8,3 km. Umístění a orientace sítě proběhlo díky použití modifikované Helmertovy transformace. Tato transformace vycházela z 9 identických bodů ČSTS. Obnova sítě proběhla v souvislosti s další výstavbou a prodloužením pražského metra v roce 1984. Při obnově bylo zaměřeno nových 8 bodů sítě, které byly připojeny na stávajících 8 bodů. Obnova sítě a nové přeměření sítě potvrdilo neměnnost stávajících připojovacích bodů. Došlo ale ke snížení stávající délky stran sítě. Délka stran sítě se snížil ze stávající hodnoty 8,3 km na délku 5,9 km. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.3.4 Historie v letech 1987 až současnost

2.3.4.1 Mezinárodní vztahný systém a jeho realizace na území české republiky

V roce 1988 zahájila nově vzniklá organizace s názvem Mezinárodní služba rotace Země realizaci globálního geocentrického souřadnicového systému ITRS (International Terrestrial Reference System – Mezinárodní terestrický referenční systém). Realizace probíhala výhradně pomocí technik kosmické geodézie. (Kostecký et Dušátko 1998).

Zatím poslední realizací systému je ITRS2000, který obsahuje 600 stanic rozmístěných po celém světě. Jedna stanice se nachází i na našem území, konkrétně jde o stanici Pecný. Šlo o pozorovací kampaň pohybu tektonických desek, která byla prováděna až do roku 1999. Měření probíhalo pomocí technologie Global Positioning System (dále jen GPS). (Torge 2001, Kostecký et Kostecký 2006)

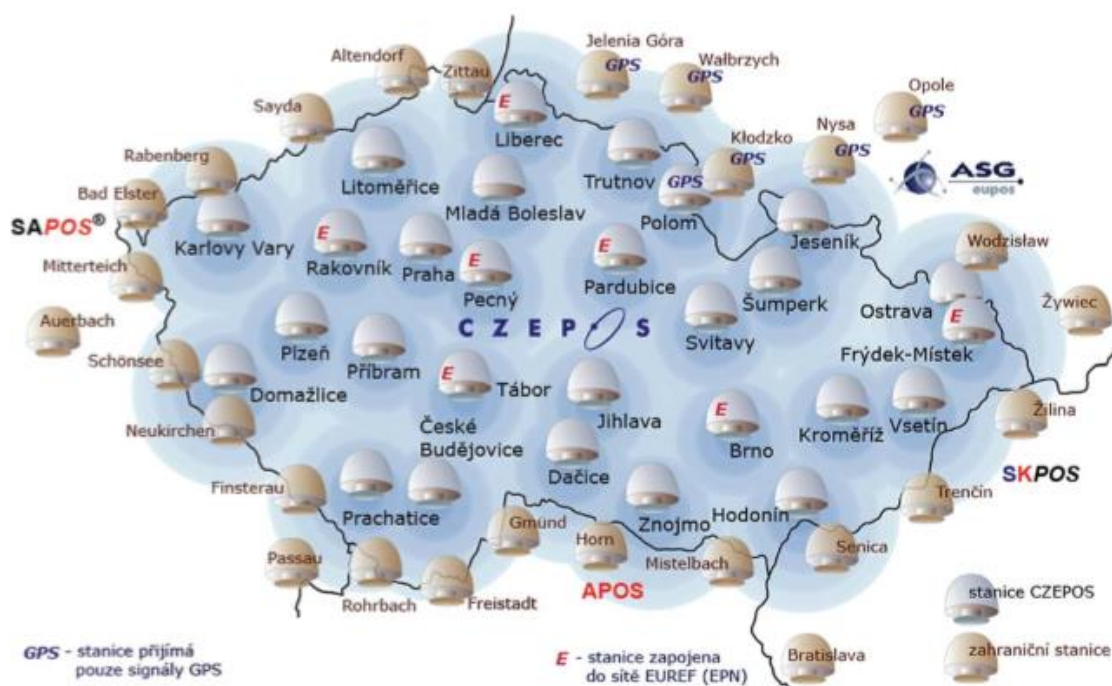
2.3.4.2 Souřadnicový systém S-JTSK/95

Systém obsahuje geocentrické souřadnice ETRF89 (European Terrestrial Reference Frame 1989 – Evropský pozemní referenční systém 1989) + rovinné souřadnice v modifikovaném Křovákově zobrazení (modifikace spočívá v tom, že do zkruslení ze zobrazení je přidán další člen, který zohledňuje deformace stávajícího S-JTSK). Vzájemný převod souřadnic byl realizován exaktním matematickým vztahem pomocí podobnostní Helmertovou transformací. Zpřesnění systému S-JTSK/95 (systém jednotné trigonometrické sítě katastrální modifikovaný v roce 1995) bylo prováděno pomocí přímého měření technologií GPS. (Kostecký et Kostecký 2006)

2.3.4.3 Síť permanentních stanic GNSS ČR – CZEPOS

GNSS (Global Navigation Satellite System – Globální družicový polohový systém, dále jen GNSS) se stále více uplatňoval v oboru geodzie už v průběhu 90. let minulého století. Technologie GNSS měla obrovský ekonomický a časový přínos. Vybudování této sítě přistoupil Český úřad zeměměřický a katastrální (dále jen ČÚZK) v roce 2004 a 2005 ve třech etapách. Na vývoji této nové sítě se podílel Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (dále jen VÚGTK) a ČÚZK. Ekonomický důvod vedl ke kompatibilitě pouze s americkým NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System). Nová síť dostala název Česká síť permanentních stanic pro určování polohy (dále jen CZEPOS). CZEPOS tvořilo na začátku 26 stanic se vzájemnými vzdálenostmi do 60 km. Doplnění sítě proběhlo v letech 2006 a 2011. V roce 2006 došlo k připojení stanice Praha a v roce 2011 o stanici Polom v Dobrušce. Po roce 2008 byla síť rozšířena o 27 příhraničních stanic obdobných sítí v sousedních státech. Dnes tvoří síť 28 stanic CZEPOS a 27 zahraničních stanic. Podrobný přehled rozmístění stanic na území České republiky je možno vidět na obrázku 2.6. (Kostecký et Kostecký 2006, Černohorský 2013)

Obrázek 2.6: Síť CZEPOS



Zdroj: Černohorský (2013)

2.3.4.4 Trimble VRS Now Czech

Jedná se o síť, která poskytuje korekce všem GPS/GNSS přijímačům. Tato síť je využitelná pro přijímače jak v oboru geodézie, tak i v oboru GIS (Geografický informační systém). Trimble VRS Now Czech obsahuje na území České republiky 24 stanic. Z důvodu lepšího pokrytí západní části České republiky poskytuje data taktéž síť 8 stanic Trimble VRS Nov Deutschland. Rozmístění sítí na území České republiky je možné vidět na obrázku 2.7. (GEOTRONICS Praha 2008)

Obrázek 2.7: síť Trimble VRS Now Czech



Zdroj: (GEOTRONICS, 2008)

2.3.4.5 TopNET

Práce na síti TopNET byly zahájeny roku 2004. Síť TopNET tvoří 35 GNSS permanentních stanic, které poskytují uživatelům korekční data pro určení správné polohy. Síť poskytuje data z navigačních systémů GPS (Global Positioning System) a GLONASS (Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema nebo Global Navigation Satellite System). 32 stanic sítě je rozmístěno tak, aby celá republika byla pokryta RTK (Real Time Kinematic) a VRS (Virtual Reference Station) korekcemi. Tři stanice jsou součástí rakouské sítě EPOSA. (GEODIS TopNet 2012)

2.4 Vývoj bodového pole výškového

Vývoj bodového pole výškového je ovlivněn na našem území výškovými systémy, které byly na našem území používány. Jedná se o dva výškové systémy:

- Jadranský výškový systém
- výškový systém Balt po vyrovnání

Veškeré výšky Rakousko-Uherské nivelační sítě byly určeny v jadranském výškovém systému (nivelační síť se připojila na střední hladinu Jadranského moře). Z důvodu vyrovnání po třech částech vznikly na území tehdejšího Česko-Slovenska první dva výškové systémy.

Jednalo se o:

- jadranský výškový systém – Lišov (výška bodu Lišov 565, 148 3 m)
- jadranský výškový systém – Strečno (výška bodu Strečno 371, 001 2 m)

Důvod zavedení výškového systému Balt po vyrovnání a převod do tohoto výškového systému je podrobně popsán v kapitole 2.4.3.1.2. (Marek et al 1991)

2.4.1 Historie do roku 1918

První zmínky o myšlence nivelace pocházejí z Babylonu, Číny a Egypta. Tato myšlenka je stará několik tisíc let před naším letopočtem, v souvislosti se stavbou velkých kanalizačních, odvodňovacích a zavodňovacích zařízení.

První zmínky o vývoji nivelace v Českých zemích zaznamenal ve své práci, nazvané De piscinis z roku 1547 (kniha II, kapitola 2), olomoucký biskup Jan Skála z Doubravy (1486 až 1553). Jan Skála z Doubravy popisoval ve své práci nivelaci rybníků a přístrojů, které byly použity. Jakub Krčín z Jelčan a Sedlčan (1535 až 1604) použil tuto práci jako měřičský podklad pro budování a zakládání rybníků a stok v Jižních Čechách.

Dalších první zmínky o nivelaci patří autorovi Christianu Willenbergu (1676 až 1731). Odůvodnil důležitost a význam nivelace. Ve své knize napsal: "Zamýšlím vysvětlovat nivelaci, na kterou se všude klade velký důraz". (Bóhm et Svoboda 1960)

Z důvodu potřeb obrany státu začal rozvoj nivelační metody až od poloviny 19. století. První výškopisné mapy pro obranu státu obsahovaly výškopisnou složku, která byla zhotovena šrafovací metodou. Pro mapy malých měřítek se používalo barevné odstupňování pro území různých výšek. Jen na malém počtu map bylo použito i výškové kóty význačných bodů terénu. (Bóhm et Svoboda 1960, Císař 1966)

Určování výšek se provádělo v této době pomocí metod trigonometrické a barometrické nivelace. Geometrická nivelace pro nákladnost, ale i pro pomalost se používala jen zřídka. Geometrická nivelace byla použita jen na celkem malých územích nebo na územích s velmi malými sklony.

Geometrická nivelace se začala rozvíjet až v druhé polovině 19. Století. Důvodů bylo několik:

- nové, vhodnější konstrukce nivelačních přístrojů
- snahy o přesnější určení tvarů země a morfologické poznání zemského povrchu
- rychlý rozvoj průmyslu a s tím související stavební ruch, především stavba komunikací; vyhledávání a využívání ložisek užitkových nerostů; ochrana zemí před záplavami a podobně

(Marek et al 1991)

2.4.1.1 Výšková síť na území bývalého Rakouska-Uherska

Vědecké sdružení jménem "Středoevropské stupňové měření" (roku 1866 bylo toto sdružení přejmenováno na Evropské stupňové měření) stálo za vybudováním První sítě přesných nivelací, která byla vybudována v druhé polovině 19. století. Za vznikem tohoto sdružení stál pruský geodet generál Johann Jakob Bayer (1794 až 1885). Při prvním valném shromáždění tohoto sdružení roku 1864, byl tímto sdružením podán návrh, aby se výšky určovaly též geometrickou nivelací. Do této doby se používalo při určování výšek jen trigonometrická nivelace. Při druhém valném shromáždění roku 1867 byl tento návrh schválen a přijat. (Marek et al 1991)

Vojenský zeměpisný ústav ve Vídni začal budovat v letech 1873 až 1895 na území bývalého Rakouska-Uherska síť přesných nivelací (schválené v letech 1864 a 1867). Tato síť měla též název RUVZÚ (síť rakousko-uherského Vojenského zeměpisného ústavu). (Marek et al 1991)

V. Farolfim v roce 1875 určil střední hladinu Jaderského moře. Střední hladina Jaderského moře byla určena z jednoletého měření výšky mořské hladiny na mareografu proto, že měla sloužit jako srovnávací plocha pro RUVZÚ. Referenčním (nulovým) bodem se stala stabilizovaná nivelační značka na budově s limnigrafem v Terstu na Molo Sartorio. Výška tohoto bodu byla 3,352 0 m nad střední hladinou Jadranského moře. Určení výšky této značky došlo takto: výška nuly stupnice nad střední hladinou Jadranského moře (1,1280 m) + převýšení mezi nivelační značkou a nulou stupnice (2, 2240 m). (Kruis 1957)

Pozdější víceleté měření mareografů (postavených na Molo Sartorio a na dalších místech pobřeží Dalmácie) zjistilo chyby, které poukázaly na fakt, že jednoleté měření střední hladiny Jadranského moře bylo nedostatečné a krátké. (Wittinger 1947)

V. Faroldi odhadl přesnost střední hladiny na 1 cm. Například přesnost na 1 mm by potřebovala desetileté měření, a proto došlo k novému určení střední hladiny Jadranského moře. V tomto případě bylo provedeno čtvrtroční měření, které zjistilo novou výšku nuly stupnice 1, 0280 m nad střední hladinou Jadranského moře. Tento nově zjištěný fakt odhalil prvně chybně určené převýšení mezi nivelační značkou a nulou stupnice. Nově určené převýšení mělo hodnotu rovnu 2, 2341. Nová výška referenčního bodu se rovnala 3, 3621 m (1, 1280 m + 2, 2341 m), tedy o 0,0899 m níž než původně určená výška. (Forman 1957, Kruis 1957, Marek et al 1991)

Na území bývalého Rakouska-Uherska se vybuďovalo 7 základních nivelačních bodů. Určení těchto nově vzniklých základních nivelačních bodů proběhlo měřením (především po železničních tratích) nivelačních bodů od nulového bodu v Terstu, i když tento bod byl velmi excentrický a příliš vzdálený od hlavní části nivelovaného území. Z geologických průzkumů, které měly za úkol odhalit aspoň relativně stálé skalnaté podklady, byla provedena na takto určených skalách stabilizace nově vzniklých základních nivelačních bodů. (Hrabě et Beneš 1997, Marek et al 1991)

Do dnešní doby se dochovali pro území České republiky (ČR) a Slovenské republiky (SR) dva základní nivelační body z této sítě. Tyto body jsou dodnes stále využívány, jedná se o bod Lišov (u Českých Budějovic – zřízený v roce 1877, přičemž ochranný pomník je z roku 1889) a Strečno (u Žiliny). Další dochované body jsou na území Maďarska (jedná se o jeden bod u jezera Velence, poblíž Napad), Slovinska (obec Ruše), Ukrajiny (obec Trebušany) a dále po jednom bodě v Rumunsku a Itálii. Ochrana těchto bodů před poškozením je opatřena trojdílným, 2 m vysokým žulovým pomníkem s latinským nápisem, jehož překlad zní: "Hlavní pevný bod přesné nivelace vykonaný v Rakousku-Uhersku v souvislosti s evropským stupňovým měřením poledníkovým a rovnoběžkovým. Zřízený v roce...". (Marek et al 1991)

Geometrická nivelace ze středu se stejně dlouhými záměry a s urovnanou libelou byla určena jako hlavní a jediná metoda měření. Nivelační soustavy se měřily ve směru tam a zpět, tedy 2x. Bohužel měření zpět se provádělo až po několikaletém odstupu. Jsou známé případy, kdy odstup od měření tam a zpět byl i 15 let. Použité přístroje a nivelační dřevěné latě byly od firmy Starke-Kammerer. Do roku 1875 se zjišťování změn laťového metru neprovádělo. Mezi lety 1876 až 1885, kde byla změřena už téměř polovina území, se začaly komparovat měřické latě před i po skončení měření v terénu. Bohužel při výpočetních pracích se opravy z délek laťového metru nezaváděly do výpočtu převýšení. (Kruis 1953, Kruis 1961)

Nivelační síť byla rozdělena do třech částí. První část, nazývaná západní, spojovala města Ostrava – Břeclav – Vídeň – Štýrský Hradec – Terst. Druhá část, nazývaná severozápadní, spojovala města po trase Vídeň – Štúrovo – Budapešť – Debrecín – Trebušany. Poslední část sítě, nazývaná jihovýchodní, byla připojena na vyrovnané uzlové body západní a severovýchodní části. Vyrovnání nivelační sítě tedy neproběhlo vcelku, ale po již zmíněných třech částech. Tímto nešťastným rozhodnutím došlo při vyrovnání sítě k deformaci výšky bodů. (Kruis 1957)

Podle údajů bývalého Vojenského zeměpisného ústavu ve Vídni je zde pro přehled o přesnosti sítě následující tabulka 2.2.

Tabulka 2.2: Údaje o přesnosti sítě

Část sítě	Střední chyba kilometrová v mm	
	po vyrovnání	z rozdílu tam a zpět
Západní	4,1	1,4
Severovýchodní	5,3	1,5
Jihozápadní	5,8	1,4

Zdroj: Marek et al (1991)

Z hodnot v tabulce vyplývá, že nejpřesnější je změřena západní část sítě (pokrývá i území Čech a Moravy). Na území Slovenska (území Slovenska spadá pod severovýchodní část sítě) byla zaměřena síť s nižší přesností, totéž platí i o jihovýchodní části sítě. (Marek et al 1991)

Bývalý Vojenský zeměpisný ústav ve Vídni měl mít vyrovnání této sítě na starosti, ale k jejímu uskutečnění nikdy nedošlo. Důsledkem nevyrovnání sítě byla první světová válka a pozdější rozpad Rakouska-Uherska. (Marek et al 1991)

Rakousko-Uherskou nivelační síť přesných nivelací tvořilo:

- 27 nivelačních měření, které tvořily 69 uzavřených polygonů o celkové délce 18 210 km
- 7 základních nivelačních bodů
- 3 252 bodů I. řádu o průměrné délce 5,5 km
- 9 132 bodů II. řádu o průměrné délce 2 km

Z tohoto počtu připadá na území České Republiky a Slovenské Republiky:

- 77 nivelačních tahů o délce 4 658 km
- 2 základní nivelační body (Lišov a Strečno)
- 820 bodů I. řádu
- 2 510 bodů II. řádu
- 39 polygonů, které procházely přes území dnešní ČR a SR, jen 15 jich bylo uzavřených a jejich obvod se pohyboval od 10 km do 488 km
- Zbýlých 24 polygonů přerušily hranice nově vznikajícího Česko-Slovenska. Rakousko-Uherská nivelační síť byla též propojena se sítěmi sousedních států (Bavorsko, Prusko, Sasko, Württemberska, Rumunská, Ruska, Švýcarska a Itálie)

Výškové síti na území bývalého Rakousko-Uherska předcházela soustavná měření. Postup těchto soustavných měření je popsán v podkapitolách níže pod touto kapitolou. (Marek et al 1991)

2.4.1.1.1 První soustavné výškové měření na našem území

Soustavnější výškové měření na našem území pocházejí z dob katastrálního vyměřování (20. léta 19. století). Z tohoto vyměřování se výškově určily trigonometrické body. Výšky těchto bodů se nejdříve vztáhly na střed číselníku hodin kostela svatého Štěpána ve Vídni a až později, po spojení s Jadranským mořem, se přepočítaly na nadmořské výšky. Výšky se určovaly trigonometricky a barometricky, a proto jejich přesnost byla nižší. V okolí Prahy byla přesnost takto určených trigonometrických bodů na 1 sáh (1,896m). Trigonometrické body byly však umístěny do vyšších výšek a tento problém stěžoval použití těchto bodů pro určení nadmořských výšek v nížinách. (Kruis 1957, Marek et al 1991)

2.4.1.1.2 Druhé soustavné výškové měření na našem území

S rozšířením budování železničních tratí bylo potřeba tyto tratě znivelovat. Jednalo se o druhé rozsáhlejší výškové měření na našem území. Při tomto měření ale došlo k několika chybám:

- měření nebylo vykonávané soustavně a ani pečlivě
- bylo zvoleno více výchozích bodů

Zde jsou uvedeny výsledky těchto chyb:

- výška nivelační značky na železniční stanici v Liberci z nivelace německé spojovací železnice Liberec – Pardubice je 376,4 m a z nivelace Saských drah (železnic) je 379,4 m
- Výška nivelační značky na železniční stanici v Pardubicích z nivelace státní dráhy a severozápadní dráhy se liší o 4,2 m

(Kruis 1957)

2.4.1.1.3 Třetí soustavné výškové měření na našem území

Třetí výškové měření se nazývá též říční nivelace. K této nivelaci došlo z důvodu potřeb úprav vodních toků. Vycházelo se od ústí řek (jednalo se o ústí řek do moře) a měření se zpravidla připojovala na nivelace sousedních států. Území Čech mělo výhodu, protože téměř všechny řeky patřily do labského povodí, to je jednomu moři. Základem těchto nivelací byl nulový bod vodočtu v Mělníku. Výška tohoto bodu ve výškovém systému Normal – Null (Severní moře) byla rovna výšce 160,162 m. Výšku tohoto bodu určily německé orgány při nivelaci splavné části řeky Labe v roce 1864. (Semerád 1927, Kruis 1957, Marek et al 1991)

Z později provedených opakovaných měření v roce 1869 a 1872 od Mělníka k Saským hranicím vyplynuly závažné chyby. Závažná chyba nastala u uvedené výšky vodočtu v Mělníku. Chyba byla způsobena tím, že se vycházelo od hladiny nejnižšího pozorovacího odlivu v přístavu Cuxhaven (Německo). Důvod umístění výchozího bodu do přístavu Cuxhaven byl ten, aby všechny údaje na vodočtech při ústí Labe byly za odlivu kladné. (Bóhm et Svoboda 1960, Marek et al 1991)

2.4.1.1.4 Soustavné výškové měření na našem území velkých měst

Další výšková měření se vykonávala na území velkých měst. Zde nastala taktéž chyba se zvolenými výchozími body. Největší problém se projevil na území Prahy. První nivelace byla vykonaná posluchači Polytechnického ústavu pražské techniky pod vedením Christiana Jahanna Dopplera (1803 – 1853). V této nivelaci se vyskytly hrubé chyby. K. F. E. Kořistka (1825 až 1916) vykonal další výškové měření Prahy a okolí pro vrstevnicový plán v roce 1856. Měření provedl na návrh přírodovědeckého sboru Musea království Českého. Výšky trigonometrických bodů použil z Katastrálního vyměřování. (Kruis 1957)

Druhá nivelace na území Prahy a okolí, vykonaná v roce 1873, byla provedena opět pro vrstevnicový plán. Srovnávací hladina pro toto měření procházela o 3,02 m výš, než hladina Jadranského moře. Tahle chyba se zjistila až později, z tohoto důvodu byly všechny výšky naměřených bodů o výšku 3,02 m menší. (Kruis 1957, Marek et al 1991)

V roce 1889 vznikla nivelační síť, která byla připojena na body rakousko-uherské nivelační sítě, která ale nebyla vyrovnaná. Z tohoto důvodu byly výšky bodů této sítě v průměru o 91 mm větší. Za vznikem nivelační sítě stála Kanalizační kancelář Městského stavebního úřadu. Důvodem vzniku byl kanalizační projekt pro Prahu. (Marek et al 1991)

Doplnění, spojení a rozšíření sítě proběhlo až v roce 1920 česko-slovenským Vojenským zeměpisným ústavem Praha. Výchozím bodem se stal bod rakousko-uherské nivelační sítě, stabilizovaný na skále u železniční zastávky Praha - Strašnice. (Pudr 1947, Marek et al 1991)

2.4.2 Historie v letech 1918-1945

V roce 1918 převzala Československá republika část rakousko-uherské sítě přesných nivelací (PN), zaměřenou v letech 1873 až 1895 v Jadranském výškovém systému Rakousko-Uherského vojenského zeměpisného ústavu ve Vídni, včetně třech základních nivelačních bodů (ZNB). Jmenovaly se: Lišov (poblíž Českých Budějovic), Strečno (poblíž Žiliny) a Trebušany (tento bod se nacházel na Podkarpatské Rusi, dnes Zakarpatská Ukrajina). Tato převzatá nivelační síť, která byla převážně vedená po železničních tratích, byla velmi řídká a nemohla proto spolehlivě plnit zvýšené požadavky technického rozvoje nové republiky.

Nivelace vykonaná RUVZÚ nebyla na území ČSR jediná. Na území ČSR se nacházely taktéž jiné nivelace vytvořené různými organizacemi. Jednalo se o nivelace, které měly různé výškové horizonty, a proto nedošlo k jejich napojení na rakousko-uherskou nivelační síť.

Potřeba vytvoření jednotnosti výškových horizontů vedlo v roce 1919 ke zřízení oddělení nivelační služby. Za vznikem oddělení nivelační služby stálo Ministerstvo veřejných prací (MVP). Hlavním úkolem bylo doplnění dosavadní rakousko-uherské nivelační sítě dalšími nivelačními tahy tak, aby byla dosažena taková hustota nivelačních bodů, která by sloužila potřebě připojení podrobných výškových měření. Pro tento úkol se využila všechna měření vyhovujícím podmínkám platným pro přesnou nivelaci, vykonané na území ČSR. (Klimeš et Nejedlý 1990)

Roku 1920 vydalo MVP nařízení (viz. Sbíрку zákonů a nařízení č. 43 z roku 1920, část IX), která obsahovalo ustanovení o jednom vykonávání přesných nivelací. Ustanovení obsahovalo tyto body:

- postup jejich připojování na jednotný horizont
- způsobu stabilizace nivelačních bodů a jejich ochrana
- krajní odchylky pro obousměrnou nivelaci
- předkládání a zhodnocení výsledků dosavadních a nových PN

(Klimeš et Nejedlý 1990)

2.4.2.1 Budování 1. československé nivelace

Budování 1. československé nivelace započalo roku 1920. Budování mělo na starosti Ministerstvo veřejných prací, ale bohužel nedošlo k perfektnímu zabezpečení po stránce finanční, personální a technické. Například: finanční zabezpečení nepokrylo ani budování sítě na území Čech a Moravy. Z tohoto důvodu budování sítě na území Slovenska a Podkarpatské Rusi se musel ujmout Vojenský zeměpisný ústav v Praze (dále jen VZÚ).

Postup budování 1. čs. nivelace byl tento:

- podle potřeb a hospodářských požadavků se 1. čs. nivelace budovala od západu na východ
- nivelační tahy byly vedené převážně po železničních tratích
- nivelační body rakousko-uherských nivelačních sítí byly použity jako základ pro měření (tímto se 1. čs. nivelace zařadila do jadranského výškového systému)
- výchozí (retenční) bod byl zvolený pro Slovensko ZNB Strečno a pro území Čech a Moravy ZNB Lišov (původní vzájemný vztah těchto bodů nebyl ověřený, a tak na styku mezi oběma sítěmi vznikly citelné rozdíly)
- zavedly se nové typy nivelačních značek (stupnicová skleněná značka s možností přímého čtení na stupnici; čepová značka s výstupkem, označovaná jako čepová značka VZÚ; klinečková a čepová značka I. a II. MVP, které se dají rozlišit jen před stabilizací)
- měření probíhalo pomocí nivelačních přístrojů firem Kern, Wild, Zeiss s planparalelní deskou a invarové latě stejných značek
- délka laťového metru se každoročně určovala v laboratořích na komparátoru, ale i v průběhu měřických prací v terénu
- naměřená převýšení se opravovala o korekci z délky laťového metru
- metoda měření byla použita geometrická nivelace ze středu s rovnými dlouhými záměry a s přesně urovnanou nivelační libelou

- nivelační tahy byly přeměřované v obou směrech (probíhala snaha o to, aby měření druhým směrem bylo vykonané pokud možno v ten samý den, ale v jinou denní dobu
- při budování bylo vykonáno několik spojovacích měření se sítěmi sousedních států (s Maďarskem, s Polskem a s Rakouskem) a byly zřízeny další tři ZNB (Mrač, Vrbatův Kostelec a Vlaské)

Problémy budování 1. čs. nivelace byly tyto:

- nivelační síť nebyla vyrovnaná souborně, ale postupně po menších délkách, z tohoto důvodu byla celá síť vyrovnána až v roce 1952
- První Čs. nivelace nepokryla celou republiku ani za téměř 20 let jejího budování
- Více referenčních bodů

(Klimeš et Nejedlý 1990)

2.4.3 Historie v letech 1945-1989

Naše území mělo původně výškový systém jadranský (ČSJNS/J), jehož nulová hladinová plocha prochází nulovým bodem Jadranského moře na Molo Sartorio v Terstu. V dnešní době je pro území České Republiky závazný Výškový systém baltský – po vyrovnání. Tento systém je vztažen k nulové hladině Baltského moře, určené na vodočtu v Kronštatě.

Při určování výšek nad hladinovou plochou v novém systému se přiblíží k výsledkům gravimetrického měření, a proto se tento systém nedá pro přesné práce odvozovat z jadranského horizontu pouhým odečítáním určité konstantní hodnoty. Například v Praze se liší výšky výškového systému Balt po vyrovnání od jadranského systému v průměru o minus 40cm. (Císař et al 1966)

2.4.3.1 Československá jednotná nivelační síť (ČSJNS)

Definice Československé jednotné nivelační sítě je následující: Československá jednotná nivelační síť (ČSJNS) je souborem trvale stabilizovaných a po celém území státu vhodně rozložených výškových bodů, jejichž výšky se vztahují k jedinému horizontu a byly určeny s vysokou přesností v mezích stanovených celostátními předpisy. (Císař et al 1966)

Nová nivelační síť (označovaná též jako 2. Čs. nivelace) se začala budovat v roce 1939. Postup prací byl narušen druhou světovou válkou. Na části území

Čech a Moravy byla v tomto období ale vybudována síť, která sloužila jako součást německé nivelační sítě ve výškovém systému Normal-Null s referenčním bodem Hoppegarten nedaleko Berlína, který je vztažen na hladinu Severního moře (nulový bod v Amsterdamu). Hlavní část budování Česko-Slovenské jednotné nivelační sítě (ČSJNS) byla realizována až do roku 1945 v Jadranském výškovém systému. Po osvobození Československa v roce 1945 byly všechny výšky přepočítány konstantní hodnotou 0,2486 m a tím převedené do Jadranského výškového systému s referenčním bodem Lišov. Dobudování ČSJNS (I. - III. řád, čs. podrobná síť – zahrnující pořady IV. řádu, body plošné nivelační sítě) skončilo na celém území republiky roku 1960. Většina sítě I. řádu byla dokončena do roku 1949, Síť II. řádu byla z větší části dobudována do roku 1953. Síť III. řádu byla dokončena roku 1960. Podrobná nivelační síť navazovala v pozdějších letech na dobudovanou síť státní.

Československá jednotná nivelační síť se skládala z:

- a) Základní nivelační body
- b) Československé státní síť I. – III. řádu
- c) Československé podrobné sítě (zahrnující pořady IV. řádu)
- d) body plošné nivelační sítě

ČSJNS se budovala podle moderních zásad pro přesnou nivelaci. Tyto zásady byly přijaty Mezinárodní geodetickou a geofyzikální unií (IUGG – The International Union of Geodesy and Geophysics). Při měření se využívalo metody geometrické nivelace ze středu (délky záměr maximálně do 50 m, minimální výška záměry nad zemí 50 cm). Měření probíhalo na nivelačních pořadech 2x (poprvé při směru tam a podruhé při směru zpět při různých denních dobách). Při nivelaci se používaly nivelační přístroje: Wild III, Wild N3, Zeiss III a Zeiss A. Nivelační latě (při měření se používaly dvě) byly vybaveny dvoustupnicovým invarovým páskem. Délky těchto pásků se zjišťovaly etalonovými metry fy Rost. Měření sítí I. a II. řádu nesmělo překročit mezní odchylku (jedná se o rozdíl nivelačního převýšení ve směru tam a zpět a daného převýšení).

Mezní odchylka Δ (mm) = $2 * \sqrt{R}$, kde R udává délku nivelačního pořadu v km.

Pro síť III. řádu byla mezní odchylka Δ (mm) = $5 * \sqrt{R}$, kde R se zadává v km a jedná se o délku nivelačního pořadu.

Na Slovensku po roku 1939 byla nivelační síť VZÚ (1 Čs. nivelace) doplněná několika novými nivelačními tahy III. řádu. Tyto tahy se přizpůsobily hranicím

Slovenska z roku 1939 (nejmenší přizpůsobení hranicím bylo na jihu Slovenska). Ministerstvo dopravy a veřejných prací, oddělení státní nivelace, vykonávalo taktéž obnovu téměř zničených nivelačních tahů VZÚ.

Z důvodu časové úspory byly převzaty z předchozí sítě Ministerstva veřejných prací některé pořady identických tras. Jednalo se převážně o trasy, které vedly převážně po železničních tratích. Takto převzaté nivelační trasy byly určeny hlavně pro síť III. řádu.

Pro přehled provedeného rozsahu prací od roku 1939 do roku 1960 je níže uvedená tabulka 2.3.

Tabulka 2.3: Rozsah prací provedených v letech 1939 až 1960

Řád	Délka pořadu v km	Počet bodů	Počet pořadů	Počet bodů na 1 km	Střední kilometrová chyba m_0
I.	3 645	7 300	72	2	0,43
II.	5 594	11 400	228	2	0,41
III.	13 872	33 670	805	2,4	0,59
státní síť	23 111	52 370	1 105	2,3	

Zdroj: Klimeš et Nejedlý (1988), Hrabě et Beneš (1997)

Vyrovnaní sítě probíhalo postupně od roku 1949. Nejprve se vyrovnávala síť I. řádu. Vyrovnaní sítě II. a III. řádu probíhalo postupně v rámci polygonů. Vyrovnaní probíhalo pomocí metody nejmenších čtverců, obecným aritmetickým průměrem nebo pomocí vetknutého pořadu. (Císař et al 1966, Klimeš et Nejedlý 1988)

2.4.3.1.1 Členění a značení sít

ČSJNS se člení na základní nivelační body, pomocné základní nivelační body, nivelační sítě I. a II. řádu, nivelační sítě III. a IV. řádu, výškové indikační body a výškové indikační pole.

Počet základních nivelačních bodů je roven 22, z toho bylo 11 na Slovensku. Označují se římskými číslicemi I-XXII a názvem obce, v jejímž obvodu leží. Například: I Lišov. Nejvýznamnější z nich je již zmíněný výškový bod I Lišov, který je i výchozím bodem. Určen výškově byl již při evropském stupňovém měření v roce 1889.

Pomocné základní body jsou 3 a slouží ke kontrole a zajištění nivelačních bodů v oblastech, kde se mohou předpokládat pohyby zemské kůry (poddolovaná území apod.).

- Nivelační síť I. řádu, tzv. základní nivelační síť, tvoří nivelační polygony I. řádu o délce obvodu od 300 do 400 km
- Nivelační oblasti I. řádu, označované velkými písmeny abecedy, jsou plochy ohraničené nivelačními polygony I. řádu
- Nivelační polygony II. řádu se vkládají do oblastí I. řádu a vytvářejí v nich nivelační oblasti II. řádu, označované malými písmeny abecedy
- Nivelační pořady I. nebo II. řádu tvoří stykové úseky mezi oblastmi I. nebo II. řádu a označují se sdruženým písmem nivelačních oblastí I. nebo I. a II. řádu, které se v nich stýkají

Do nivelačních oblastí II. řádu se vkládají nivelační body III. řádu, které spojují nivelační body pořadů I. nebo II. řádu a označují se jen arabskými číslicemi. Mezi nivelační pořady I. až III. řádu se vkládají nivelační pořady IV. řádu, které spojují nivelační body III. řádu s nivelačními body ostatních řádů a označují se arabskými číslicemi s předřazením 0.

Do nivelačních sítí IV. řádu patří také místní nivelační sítě, které zhušťují body v nivelačních pořadech I. až IV. řádu v místech, kde má dojít k plošnému výškovému měření (nivelací nebo tachymetrií) ve větším rozsahu. Označovaly se inventárním číslem místně příslušné dokumentace bývalého ÚGK (úřadu geodetického a kartografického) a názvem místa, v němž se budovaly (např. 311 Benešov). Nivelační body se číslovaly pro celou místní síť průběžně od 1.

Výškové indikační body a výškové indikační pole sloužily převážně k sledování svislých pohybů zemské kůry.

Všechna označení oblastí, pořadů a bodů začínají písmenem příslušejícím oblasti I. řádu. K němu se u každé oblasti II. řádu připojuje písmeno této oblasti, u pořadu III. řádu ještě čísla pořadů a u pořadů IV. řádu jejich čísla s předřazením 0. Každý pořad se kromě toho označuje názvy obcí, v nichž začíná a končí.

Příklady označení:

Oblasti I. řádu: A, B, C (české kraje), SA, SB, SC (Slovensko), Z₀, Z₁, Z₂, (pohraniční neuzavřené oblasti)

Oblasti II. řádu: Aa, Ab, Ac; SAa, SAb, SAc; Z₁a, Z₁b, Z₁c...

Nivelační pořady a body prvního řádu: JN – Tábor – Jihlava, JN-1, JN-2, JN-3; SAC-Trenčanská Teplá – Žilina, SAC-1, SAC-2, SAC-3; Z₁₅Z₁₆-Hranice – Znojmo, Z₁₅Z₁₆-1, Z₁₅Z₁₆-2...

Nivelační pořady a body II. řádu: Nbc-Pelhřimov – Telč, Nbc-1, Nbc-2, Nbc-3; SAde-Horní Lideč – Púchov, SAde-2, SAde-3; Z₁₅ab-Jemnice – Znojmo, Z₁₅ab-1, Z₁₅ab-2...

Nivelační pořady a body III. řádu: Oh4-Lachovice-Božice, Oh4-1, Oh4-2, Oh4-3; SAe2-Nemšová-Dulov, SAe2-1, SAe2-2, SAe2-3; Z₁₆a3- Hrádek – Jaroslavice, Z₁₆a3-1, Z₁₆a3-2, Z₁₆a3-3...

Nivelační pořady a body IV. řádu: Mf04-Záboří-Křemže, Mf04-1, Mf04-2, Mf04-3; SAc01-Turzovka-Kotešová, SAc01-1, SAc01-2, SAc01-3; Z₁₄c-01 Majdalena-Staňkov, Z₁₄c01-1, Z₁₄c01-2...

(Bóhm et Svoboda 1960, Císař et al 1966, Hrabě et Beneš 1997)

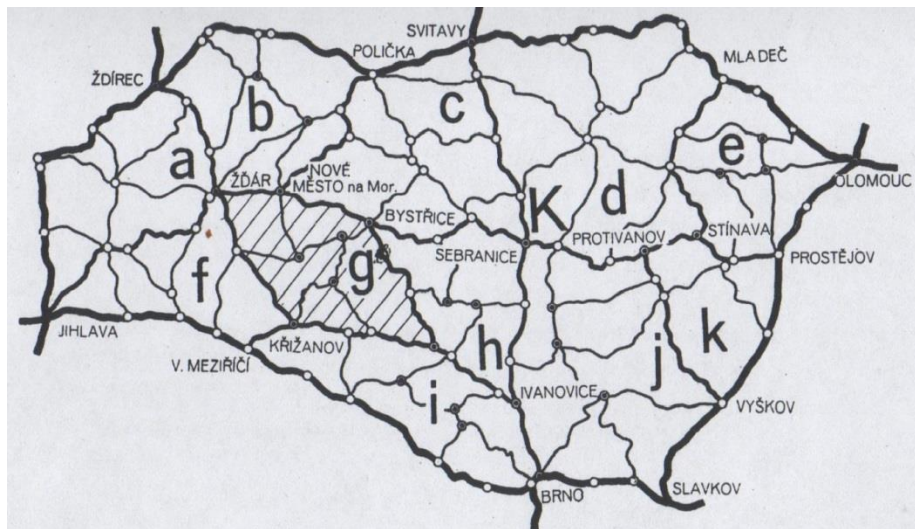
Pro přehled o členění a značení sítě ČSJNS poslouží ještě obrázky 2.8, 2.9 a 2.10.

Obrázek 2.8: Schéma ČSJNS I. řádu



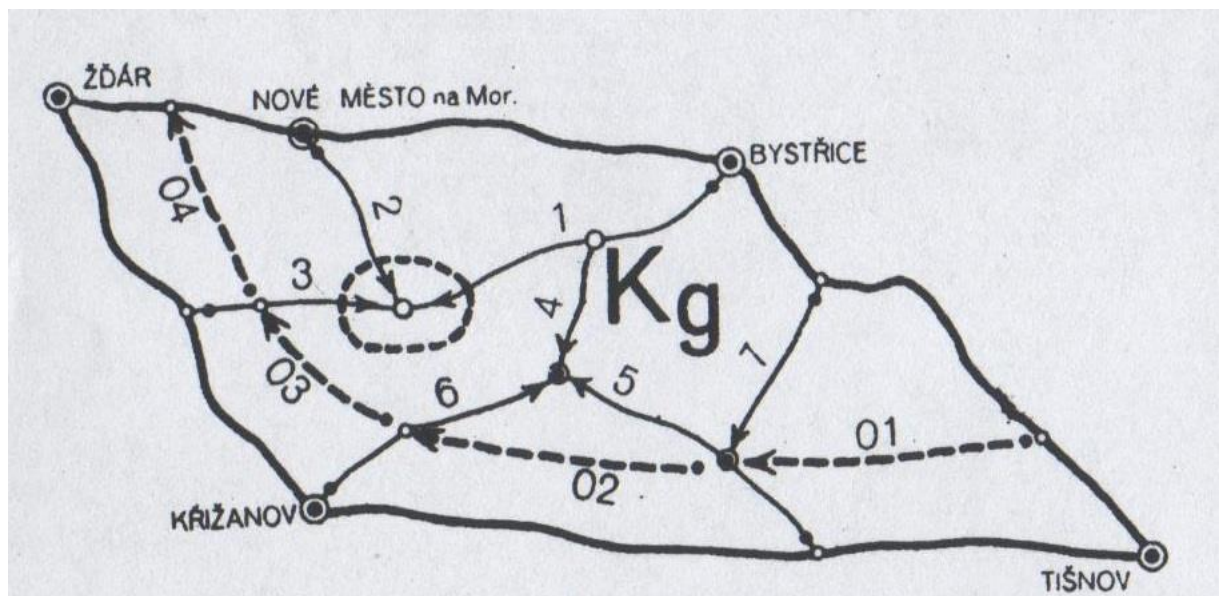
Zdroj: Císař et al. (1966)

Obrázek 2.9: Schéma ČSJNS II. a III. řádu



Zdroj: Císař et al. (1966)

Obrázek 2.10: Schéma ČSJNS III. a IV. řádu



Zdroj: Císař et al. (1966)

2.4.3.1.2 Převod Československé jednotné nivelační sítě do výškového systému balt po vyrovnání

Důvod zavedení nového výškového systému spočíval v tom, že jednotlivé socialistické státy měly různé nulové hladiny pro své sítě. Snahou od počátku 50. let bylo sjednotit výškové systémy na území těchto států. Roku 1957 bylo na

společném zasedání zástupců geodetických služeb dohodnuto, že pro výpočet výšek bude sloužit jednotná srovnávací hladina. Jednalo se o hladinu Baltského moře v Kronštatě. S převáděním výškového systému do Baltu po vyrovnání se započalo již při budování a dokončování sítě III. řádu ČSJNS.

Převod do nového systému probíhal postupně. Nejprve souborným vyrovnáním došlo ke zpracování sítě I. řádu, poté následovalo vyrovnání sítě II. a III. řádu v rámci jednotlivých polygonů vyšších řádů. Pro lepší přehled o nových výškách bodů sloužil nově vzniklý Katalog nivelačních bodů (KNB). Obsahoval nivelační body všech řádů vyskytující se v jednotlivých listech užitého mapového podkladu. Nové výšky byly oproti Jadranskému výškovému systému asi o 40 cm menší. (Císař et al 1966, Klimeš et Nejedlý 1988)

2.4.3.2 Zvláštní nivelační síť (ZNS)

Zvláštní nivelační síť se zaváděly nejčastěji v důlních oblastech. Důvod zavádění těchto sítí byl způsoben závažnými výškovými změnami nivelačních bodů.

První území, které vyžadovalo zavedení vlastní sítě už v roce 1951, byl prostor Ostravsko-karvinské pánve. Obdobná problematika vyžadovala vlastní nivelační síť například na územích: ZNS Kladno (1961), ZNS Most (1965), ZNS Plzeň (1982).

Stacionární polygon Lišov sloužil pro výzkum soudobých pohybů zemské kůry. Tento polygon byl pravidelně měřen dle požadavků VÚGTK. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.4.3.3 Údržba státních sítí

Geodetická služba měla na starosti kromě budování nivelačních sítí I. až III. řádu též jejich udržování. Z důvodu výstavby silnic, úpravy různých objektů nesoucí nivelační značky a pod., došlo k poškození nebo zničení některých výškových bodů.

Obnova většiny pořadů I. řádu proběhla během zkušebních prací v 60. letech. Další obnova I. řádu proběhla v letech 1973 – 1978 při mezinárodních opakovaných měřeních. Zbývající, dosud neobnovené body, prošly přeměřením v následujících letech.

Nivelační pořady II. a III. řádu bylo třeba přeměřit. Přeměření těchto řádů poukázalo na zhruba 20% úbytek bodů a zjištěné výškové změny, které se týkalo zhruba 50% bodů. Systematická obnova pořadů II. řádu a některých pořadů III. řádu proběhla v 80. letech.

Celková obnova státní sítě byla dokončena v 90. letech minulého století. Dnes dochází jen k preventivní údržbě sítě. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.4.4 Historie po roce 1989

Po roce 1989 došlo k dokončení ČSJNS. Dokončení bylo myšleno v tom smyslu, že došlo k propojení ČSJNS se sítěmi západních států (sousedů). Připojení na sítě západních sousedních států (Rakouska a Spolkové republiky Německo) proběhlo v letech 1991 až 1992. V roce 1989 začala taktéž příprava ČSJNS k připojení na celoevropskou jednotnou nivelační síť UELN (United European Levelling Network). (Hrabě et Beneš 1997)

2.4.5 Stabilizace a signalizace nivelačních bodů

2.4.5.1 Od počátků budování nivelační sítě na území ČR

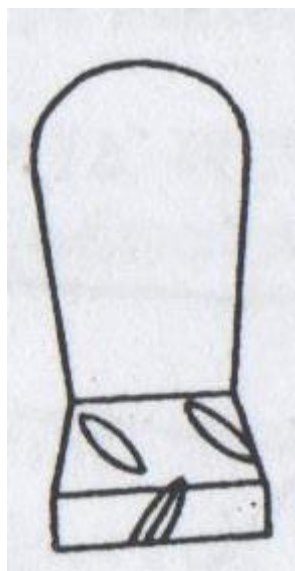
Základní nivelační body se volily v místech, které již nepodléhaly pohybu a rozrušování v zemské kůře. Stabilizace byla provedena pomocí přirozených značek, které byly vybroušeny na skále (čtvereček o straně 15 cm) a přikrytými pomníkem (obrázek 2.11). Hlavní stabilizační značka se zajišťovala několika zajišťovacími značkami (obrázek 2.12) ve vzdálenosti zhruba 100 m (obrázek 2.13). Zajišťovací značky byly ze zvláštní hmoty (skla, Monelova kovu), z litiny (převážně z šedé litiny), které byly obezděny a přikryty žulovou deskou. Značky ze zvláštní hmoty měly tvar hruškovitý nebo krychlový tvar. Značky vyrobené ze šedé litiny se dělí na čepové značky (obrázek 2.14) s polokruhovým výstupkem na horní straně nebo s kulatou hlavou nebo na hřebové značky (obrázek 2.15) se zploštělou hlavou nebo s kulovou hlavou. Na místech, kde nebylo možno zabudovat kovové značky do zdi nebo skály, docházelo k usazení nivelačních kamenů (obrázek 2.16) o rozměru 0,25 x 0,25 x 1,10 m. Do hranolu nivelačního kamene docházelo k umístění ještě hřebové značky, která byla umístěna na středu horní plochy nebo čepové značky, která byla umístěna z boční strany hranolu. (Bóhm et Svoboda 1960, Abelovič et al 1990, Čada 2007)

Obrázek 2.11: Základní nivelační bod Lišov



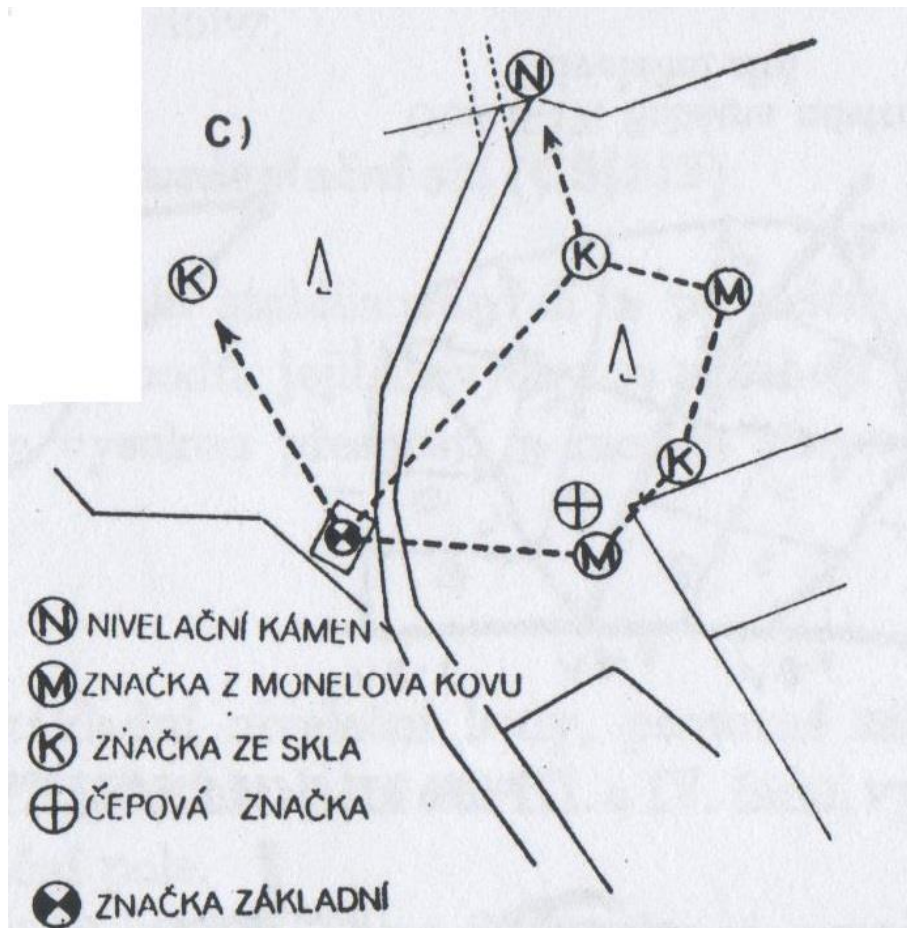
Zdroj: (Zeměměřič, 2002)

Obrázek 2.12: Stabilizační značka zajišťovacího bodu



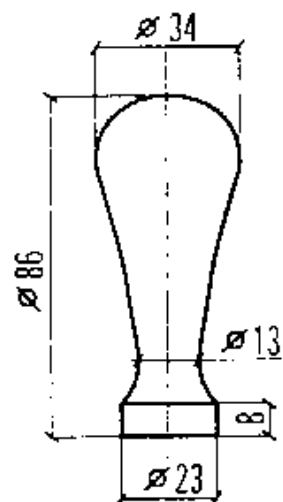
Zdroj: Císař et al. (1966)

Obrázek 2.13: Polohopis bodů



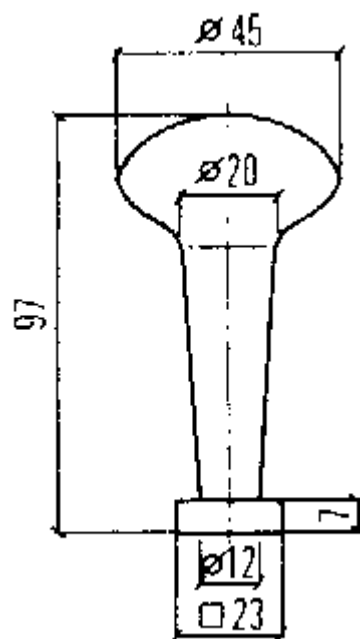
Zdroj: Císař et al. (1966)

Obrázek 2.14: Hřebová značka (rozměry v mm)



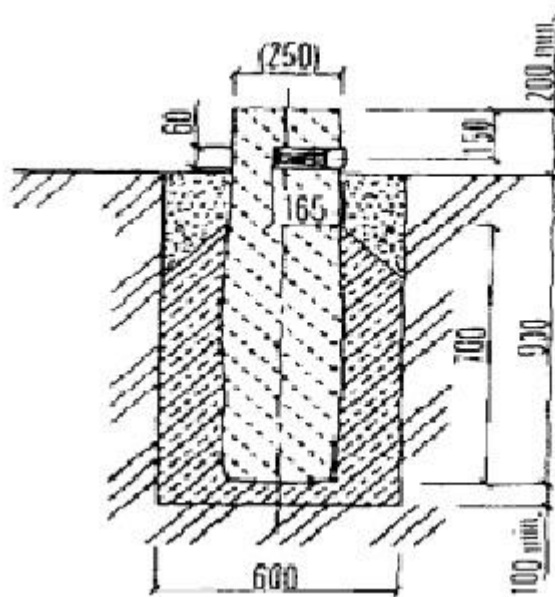
Zdroj: (ZČU, 2007)

Obrázek 2.15: Čepová značka (rozměry v mm)



Zdroj: (ZČU, 2007)

Obrázek 2.16: Nivelační kámen s čepovou značkou (rozměry v mm)



Zdroj: (ZČU, 2007)

2.4.5.2 Současnost

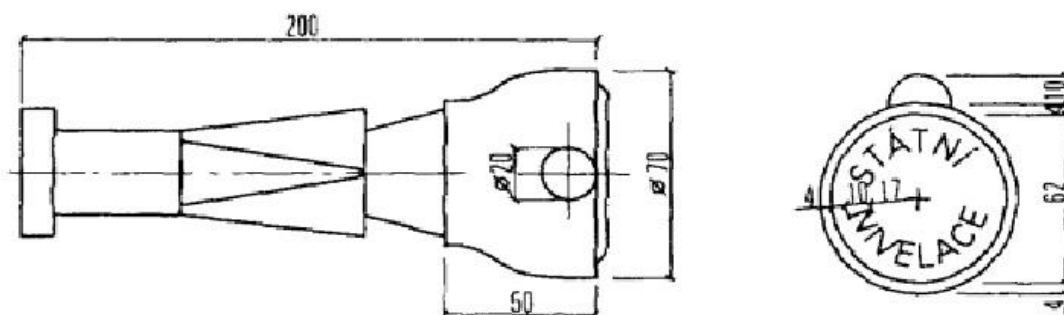
2.4.5.2.1 Stabilizace

V současné době je dovoleno používat značky, které jsou v souladu s vyhláškou číslo 31/1995 Sb. Tato vyhláška dělí nivelační značky na 6 druhů:

- a) čepová značka s označením "Státní nivelace" pro body základního výškového pole, která se osazuje do stěn vybraných staveb, ze strany nivelačního kamene nebo do svislých ploch skalních stěn (obrázek 2.17)
- b) hřebová značka, která se osazuje shora nebo ze strany do svislé polohy skal a vybraných staveb
- c) hřebová značka, která se osazuje shora do vodorovné plochy skal, balvanů, staveb a nivelačních kamenů
- d) hřebová značka pro hloubkové stabilizace (obrázek 2.18)
- e) hřebová značka pro tyčové stabilizace (obrázek 2.19)
- f) skalní značka (vytesaná vodorovná ploška nebo vodorovná ploška s polokulovým vrchlíkem uprostřed)

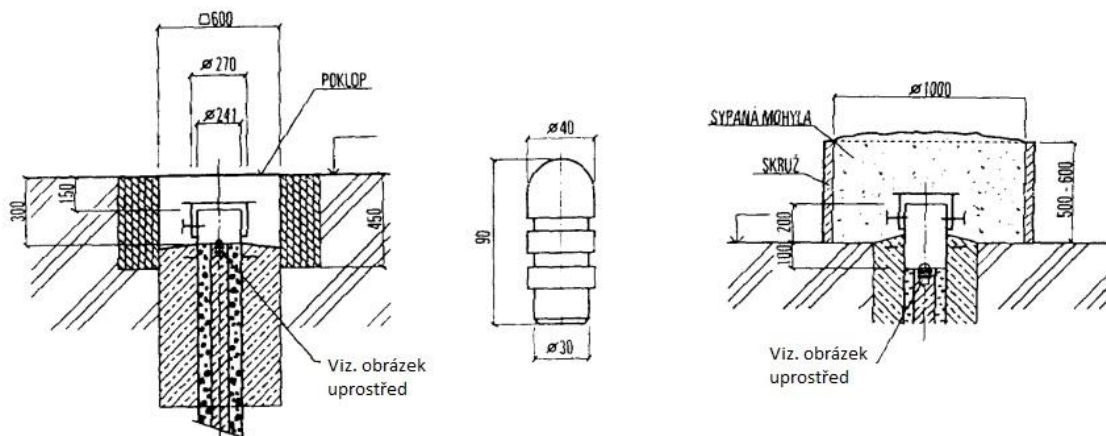
(dle §1 vyhlášky ČÚZK č. 31/1995 Sb.)

Obrázek 2.17: Čepová značka s označením "Státní nivelace" pro body základního výškového pole (rozměry v mm)



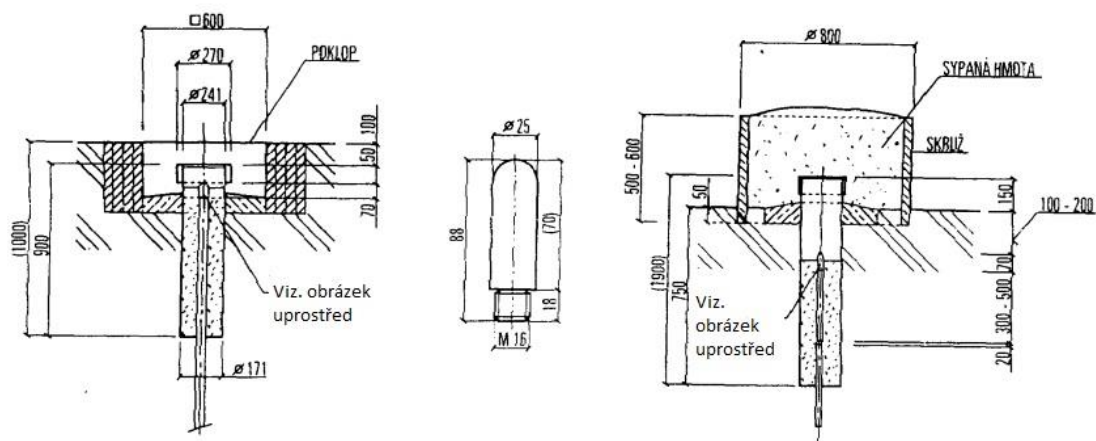
Zdroj: (ZČU, 2007)

Obrázek 2.18: Hřebová značka pro hloubkové stabilizace (rozměry v mm)



Zdroj: (ZČU, 2007) (upraveno)

Obrázek 2.19: Hřebová značka pro tyčové stabilizace (rozměry v mm)



Zdroj: (ZČU, 2007) (upraveno)

Nivelační body I. až IV. řádu se stabilizují nivelačními značkami čepovými nebo hřebovými. Tyto značky jsou z litiny. Čepové značky jsou zasazovány do zdiva z boku nanejvýš ve výšce 50 cm nad zemí. Hřebové značky jsou osazovány do nivelačního kamene nebo krycích desek shora. V místech, kde nejsou vhodné objekty pro zasazení nivelačních značek do zdiva nebo kamene, osazují se nivelační kameny se značkou v boku nahore nebo s oběma. Předpisy připouštějí pro body základního bodového pole výškového také jiné značky dříve osazené. Jejich tvar musí zaručit jednoznačné určení výšky bodů.

Výškové indikační body se stabilizují na skalách, podzemními nivelačními kameny, výjimečně na budovách nebo povrchovými nivelačními kameny. (Císař et al 1966, Klimeš et Nejedlý 1988)

Výška se u všech nivelačních značek se vztahuje k vodorovné tečné rovině přiložené ze shora ke kulovým vrchlíkům na hlavě značky nebo k zaoblené kulové nebo čočkové hlavě značky. U nivelačních měření je tato vodorovná rovina totožná se spodní plochou kovové patky nivelační latě. (Klimeš et Nejedlý 1988)

2.4.5.2.2 *Signalizace*

K ochraně a vyhledání nivelační značky nebo kamene slouží řada opatření. Pro základní nivelační body slouží pomníky. Časté je taktéž umístění štítku s nápisem "STÁTNÍ NIVELACE. POŠKOZENÍ SE TRESTÁ" (obrázek 2.20) nad nivelační značku. Tento štítek se umísťuje na stěnách staveb a skal právě nad nivelační značkou. Značky osazované shora na skály se zakrývají poklopem s obezděním. K jejich snadnějšímu nalezení se na vhodném místě poblíž značky umísťuje vyhledávací tyč nebo křížek vytesaný do skály. (dle §1vyhlášky ČÚZK č. 31/1995 Sb.)

Obrázek 2.20: Štítek s nápisem "VÝŠKOVÁ ZNAČKA STÁTNÍ NIVELACE. POŠKOZENÍ SE TRESTÁ" umístěný na stěně stavby



Zdroj: vlastní zdroj (fotka Praha - Smíchov)

K povrchovému nivelačnímu kameni se osazuje ochranná tyč se štítkem, na kterém se nachází nápis: "STÁTNÍ NIVELACE. POŠKOZENÍ SE TRESTÁ". Ochranná tyč má červenobílou barvu. Pro lepší představu poslouží obrázek 2.21. (dle §1vyhlášky ČÚZK č. 31/1995 Sb.)

Obrázek 2.21: Ochranná tyč se štítkem "STÁTNÍ NIVELACE. POŠKOZENÍ SE TRESTÁ" (URL 1)



Zdroj: (PROFIGEO s.r.o., 1999)

K ochraně podzemních značek (jedná se o hloubkové a tyčové stabilizace a podzemní nivelační kameny) často slouží betonové skruže, které mají průměr 0,8 m nebo 1.0 m. Značky jsou chráněny nejen ochrannými poklopy, ale i sypaným materiálem uvnitř skruže. Na okruzích bývá nápis "Státní nivelace". (dle §1vyhlášky ČÚZK č. 31/1995 Sb.)

2.5 Vývoj bodového pole tíhového

Gravimetrie, jako samostatný vědný obor, se začala vyvíjet až na sklonku 19. století. Tento obor dostal vlastní název ve světě vědy až ve 20. století. Hlavním důvodem vzniku gravimetrické sítě bylo lepší poznání, studium tvaru a rozměrů zemského tělesa (geoidu) a jeho vnějšího tíhového pole. Důvodem bylo poznání stavby a složení Země a také průzkum a vyhledání užitkových nerostů a surovin. (Pícha 1954)

Gravimetrická síť má oproti nivelační a trigonometrické síti speciální postavení. Speciální postavení gravimetrické sítě je způsobeno tím, že nivelační síť a trigonometrická síť využívají pro svoje zpřesnění výsledků právě údajů z gravimetrické sítě. (Marek et al 1991)

2.5.1 Historie do roku 1918

2.5.1.1 Kyvadlové měření na našem území

První relativní tíhové měření provedl v letech 1882 až 1883 generál Robert Sterneck Doudlebský (1839 až 1910) z Vojenského zeměpisného ústavu ve Vídni. Cílem měření bylo stanovení zákona změny tíhového zrychlení s hloubkou pod zemským povrchem. Z naměřených výsledků dále počítal Robert Sterneck Doudlebský (1839 až 1910) střední hustotu Země. Pokusil se též určit zákon rozdělení hustot v zemském tělese. Pro měření použil kyvadlový přístroj vlastní konstrukce. Měření prováděl v dolech na Březových Horách (u Příbrami) a v Krušné Hoře u Berouna. (Pícha 1954)

První tíhová měření na území dnešní České republiky a Slovenské republiky (obrázek 2.22) bylo provedeno v letech 1889 až 1895 Robertem Sterneckem Doudlebským. Přesnost měření byla ± 13 mGal. Měření se vykonávalo na 107 tíhových bodech v Čechách a na Moravě. Měření na území Slovenska bylo provedeno na 35 tíhových bodech s přesností $150 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. I přes velmi dobrou přesnost této plošné gravimetrické sítě, je pro dnešní využití tato síť již nedostatečná. V dnešní době je možné síť použít jen pro hrubou orientaci. (Marek et al 1991, Träger 2000)

Obrázek 2.22: Sterneckova měření z let na území dnešní České a Slovenské republiky 1889-1895



Zdroj: Träger (2000)

2.5.2 Historie v letech 1918 až 1945

Tíhová měření obnovil po roce 1918 profesor Vysoké školy technické v Brně B. Kladivo. Spolupracoval s panem Mrkosem a Potočkem. Pro měření byl použit Fechnerův čtyřkyvadlový přístroj. Referenční tíhový bod zvolil pro Československou republiku v Brně. Nejprve připojil referenční tíhový bod na Postupim v roce 1926 a poté v roce 1928 na Vídeň. (Klimeš et Nejedlý 1990, Träger 2000)

2.5.2.1 Kyvadlová měření na území ČSR

Síť kyvadlových tíhových bodů na území ČSR začal v letech 1936 – 1938 budovat B. Kladivo se svými spolupracovníky. V letech 1936 a 1937 byl měřicí přístroj používán jako jednokyvadlový (kyvadla kývala postupně po dobu 40 minut). Kyvadla na přístroji byla sladěna až na přelomu roku 1937/38, od této doby přístroj sloužil a byl používán jako čtyřkyvadlový (všechna kyvadla kývala současně). Střední chyba přístroje byla ± 2 mGal. Tíhová měření byla napojena na referenční bod v Brně. Další měření přerušila druhá světová válka. (Klimeš et Nejedlý 1990, Träger 2000)

2.5.2.2 Kyvadlová měření na našem území po roce 1939

V letech 1939 – 1943 provedl postupimský Geodetický ústav pod vedením pana K. Weikena měření, které probíhalo v rámci tehdejší německé sítě I. řádu na několika tíhových bodech na našem území (obrázek 2.23). Měření probíhalo čtyřkyvadlovým Fechnerovým přístrojem s odhadovanou přesností ± 1 mGal. (Klimeš et Nejedlý 1990, Träger 2000)

Obrázek 2.23: Československá a německá kyvadlová měření z let 1936-1938, resp. 1939-1943



Zdroj: Träger (2000)

2.5.2.3 Měření statickými gravimetry

První měření statickými gravimetry bylo provedeno v letech 1941 – 1942. Účelem tohoto měření bylo vyhledání nerostných ložisek. Měření provedla soukromá německá společnost. Měření probíhalo na jihovýchodní Moravě, jižním Slovensku a východním Slovensku. (Klimeš et Nejedlý 1990)

Zeměměřický úřad Čechy a Morava začal uskutečňovat tíhové měření pro geodetické účely podél nivelačních tahů v Čechách a na Moravě v roce 1944. Použitý přístroj byl starší typ Grafova gravimetrického přístroje Gs3. Po roce 1945 se připojil k měření taktéž Státní geologický ústav v Bratislavě, Státní geologický ústav v Praze a Vojenský zeměpisný ústav v Praze. Měření tentokrát probíhalo pomocí Grafova gravimetrického přístroje Gs4. (Klimeš et Nejedlý 1990)

2.5.3 Historie v letech 1945 až 1987

2.5.3.1 Československá gravimetrická síť 1954

Zeměměřický úřad, oddělení geodetické gravimetrie, měl jako prvořadou úlohu vybudovat po roce 1945 gravimetrické základy. V roce 1947 započaly práce na budování gravimetrické sítě I. a II. řádu. V témže roce byl taktéž zakoupen Nörgaardův gravimetr TNK 310 s přesností $2,3 \mu\text{ms}^{-2}$. Měření základní gravimetrické sítě v letech 1951 a 1952 probíhalo s pomocí využití letecké přepravy (aerotaxi). Letecké měření probíhalo pomocí gravimetrů TNK 310 a TNK 381. Měřické práce v síti byly dokončeny v roce 1954, zpracování sítě probíhalo až do roku 1957.

Československá gravimetrická síť obsahovala:

- v roce 1954 obsahovala čs. gravimetrická síť 607 bodů
- 8 gravimetrických základů (například nejdůležitější gravimetrické základny jsou Ještěd a Lomnický štít)
- základní síť obsahovala 26 bodů na letištních seskupeních do třech sedmiúhelníků; každý sedmiúhelník tvořilo sedm trojúhelníků, které měly společný vrchol uprostřed
- síť I. řádu obsahovala 108 tíhových bodů, tvořící vrcholy trojúhelníků
- síť II. řádu obsahovala 499 tíhových bodů, které byly umístěné na stranách trojúhelníků I. řádu
- referenčním bodem sítě byla kyvadlová stanice Praha–Strahov zaměřená v roce 1943

Postup měření sítě:

- měření 26 bodů na letištních seskupeních probíhalo v rámci jednoho měřického dne, kde byly zaměřeny vždy dva sousední trojúhelníky (měření začínala a končila na centrálním bodě)
- síť I. a II. řádu byla zaměřena současně; měření v trojúhelníku probíhalo v rámci jednoho dne dvakrát v opačných směrech (vždy měření začínalo a končilo na stejném bodě – jeho vrcholu); střední chyba v tíži na bodě byla ± 0.23 mGal

(Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

2.5.3.2 Československá gravimetrická síť 1964

Zpřesnění sítě proběhlo v letech 1958 – 1964. Důvodem byla nevyhovující přesnost sítě. Zpřesnění proběhlo pomocí zakoupení novějších gravimetrů Gs 12 a Gs 11, s jejichž pomocí byla čs. gravimetrická síť přeměřena. Hlavní důraz byl kladen na určení a zajištění rozměrů sítě a její homogenity. Došlo tedy k vybudování síťové základny Hřensko – Dolní Dvořiště (příloha 1 – strana 63) (sloužila pro cejchování gravimetrů) v roce 1959, tvořící 20 bodů, která určovala rozměr ČGS (Československá gravimetrická síť). Měření probíhalo letecky gravimetrem Gs 12 č. 129, pomocí hvězdicové metody z bodů Praha-Ruzyně a Sliač. Každé rameno této základny bylo měřeno dvakrát v různých dnech. Tato základna byla pravidelně měřena každý rok, konkrétně na začátku a konci měřických prací. (Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

Síť byla dále napojena na mezinárodní gravimetrickou síť, která byla vybudována Institutem fyziky Země Akademií věd SSSR v letech 1957 – 1958. Napojení ČGS na mezinárodní gravimetrickou síť proběhlo na bodech Praha, Berlín, Varšava a Budapešť. (Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

Do gravimetrické sítě 1964 byly převzaty body gravimetrické sítě 1954. Referenčním bodem byl zvolen bod mezinárodní sítě Praha–Ruzyně a z vertikálních základen byly ponechány základny Ještěd a Lomnický štít. (Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

V letech 1959 až 1964 byla vybudována síť hlavních a vedlejších pořadů (tvořící 610 bodů). Hlavní pořady spojovaly body základní sítě. Vedlejší pořady navazovaly na hlavní pořady a vytvořily výplň mezi hlavními pořady. Měření bylo provedeno gravimetrem Gs 12 č. 129, poté gravimetrem Gs 12 č. 181 a nakonec gravimetrem Gs 11 č. 153. Zaměření hlavních pořadů bylo provedeno dvakrát (jednou směrem tam, po druhé směrem opačným s časovým odstupem), jednou

gravimetrem Gs 12, po druhé gravimetrem Gs 11. Metoda měření probíhala trojnásobnou profilovou metodou s překrytí. Vedlejší pořady byly zaměřeny taktéž trojnásobnou profilovou metodou s překrytí, ale jen jedním směrem. Vliv slapových změn tíže, které jsou ovlivněny pohybem Slunce a Měsíce, byl zohledněn.

2.5.3.3 Vyrovnání gravimetrické sítě 1964

Vyrovnání gravimetrické sítě 1964 proběhlo ve třech etapách:

- a) vyrovnání rozměrových koeficientů gravimetrů a tíhových rozdílů vertikálních základů
- b) vyrovnání hodnot tíže šířkové základny
- c) vyrovnání gravimetrické sítě

Jako neproměnné hodnoty při vyrovnání bylo rozhodnuto použít:

- a) měřítko Mezinárodní gravimetrické sítě
- b) hodnotu tíže bodu Praha–Ruzyně
- c) tíhového rozdílu koncových bodů šířkové základny

Pro některé body je v tabulce 2.4 uvedena střední chyba vyrovnané tíže.

Tabulka 2.4: Střední chyba vyrovnané tíže na vybraných bodech

Číslo bodu	Název bodu	M_i [mGal]
1L	Cheb	± 0.014
49L	Brno	± 0.012
81L	Sliač	± 0.011
104L	Kamenica nad Círochou	± 0.018
1927a	Benátky nad Jizerou	± 0.024
0207a	Dolní Jamné	± 0.029

Zdroj: Klimeš et Nejedlý (1988)

Vyrovnání výsledků měření proběhlo pomocí samočinných počítačů, které řešily cca 400 normálních rovnic. Přesnost sítě byla charakterizována chybou $0,26 \mu\text{ms}^{-2}$,

z toho vyplývá, že přesnost výsledků byla zvýšená desetkrát. (Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

2.5.3.4 Mezinárodní spolupráce

Geodetická služba Československé socialistické republiky (dále jen ČSSR) začínala v první polovině 60. let 20. století řešit úlohy, jejichž realizace vyžadovala mezinárodní spolupráci. Mezinárodní dohoda zapříčinila vznik nové sítě bodů na území ČSSR v roce 1966-1967. Body se volily na geologicky vhodných oblastech. V roce 1973 došlo k napojení této sítě na mezinárodní regionální síť. Účelem periodických měření v této síti bylo prokázání nebo vyvrácení existence neslapových změn tíhového pole Země v těchto regionech. (Klimeš et Nejedlý 1988)

Mezinárodní skupina gravimetrů prováděla v pravidelných pětiletých intervalech relativní měření. Pomocí sovětského absolutního laserového balistického gravimetru jménem GABL, se provádí po roce 1976 taktéž absolutní tíhové měření na vybraných věkových bodech. Přesnost GABLu byla $0,1 \mu\text{ms}^{-2}$. Tato přesnost se objevovala na bodech geodetické observatoře Pecný a Žilina. (Klimeš et Nejedlý 1988)

V roce 1968 se geodetická služba ČSSR, ve spolupráci geodetických služeb SSSR a ostatních států východní Evropy, podílela na vybudování Mezinárodního komparačního polygonu. V letech 1969 – 1970 dochází ke zpřesnění tíhových národních základů v socialistických státech. Na území Slovenska se začala budovat v této souvislosti základna Balassagyarmat–Javorina.

Tato měření prokázala několik chyb:

- a) chyba na referenčním bodě Praha–Ruzyně = -0.19 mGal
- b) nejistotu měřítka tíhového systému 1964 na úrovni $1 \cdot 10^{-4}$
- c) místní deformace až $\pm 0.06 \text{ mGal}$

V letech 1971 – 1973 dochází ke spojovacím měřením se sítěmi Německé demokratické republiky, Polska a Maďarska. V roce 1978 pak se sítí SSSR. (Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

Zvýšené požadavky na přesnost mezinárodního tíhového měření měly za důsledek dovoz přesného Sharpe. Další důsledek zvýšených požadavků na přesnost byl rozvoj instrumentální gravimetrie, laboratorních a experimentálních měření a rozvoj metod etalonování gravimetrů. (Klimeš et Nejedlý 1988)

Pro přesnější přehled o rozměru sítě poslouží Příloha 2 – strana 64.

2.5.3.5 Budování Jednotné gravimetrické sítě

Z důvodu prudkého rozvoje výstavby a zvelebování měst a obcí došlo k poškození značné části bodů ČGS. V průběhu 70. let tedy docházelo k údržbě a rekonstrukci bodového pole. Na území ČSR bylo zničeno až 32 % bodového pole. Lokální deformace sítě dosahovaly až 0.1 mGal. (Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

Nehomogenita ČGS z konce 70. let vynutila rozhodnutí o modernizaci ČGS. Za modernizací ČGS stály taktéž zvyšující se požadavky fyzikální geodézie, geofyziky a další vědní obory. Rozhodnutí taktéž zahrnovalo zapojení ČGS do budované Jednotné gravimetrické sítě socialistických států (dále jen JGS). Na pracích se podílely Zeměměřický úřad Praha, Geodetický a kartografický ústav Bratislava a Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Budapest. (Klimeš et Nejedlý 1988)

V souvislosti s budováním JGS bylo nutné zabývat se problémy teoretickými, experimentálními a i organizačními problémy, jako jsou například:

- optimalizace plánů nových měření
- studium faktorů limitujících měřickou přesnost
- statistická analýza měřických souborů, zejména s ohledem na studium systematických chyb
- studium neslapových změn tíhového pole Země
- zpracování výsledků měření a jeho automatizace

(Klimeš et Nejedlý 1988)

JGS byla rozdělena na leteckou síť a pozemní síť. Letecká síť, zaměřena v letech 1882 - 1885 byla tvořena 18 body. Zaměření probíhalo pomocí skupiny 7 gravimetrů typu Sharpe a Worden a 1 gravimetru LaCoste Romberg. Letecká síť byla napojena na 7 absolutních bodů (Kraków, Budapest, Siklós, Kőszeg, Szerencs Pecný, Žilina) zaměřených gravimetrem GABL. Pozemní síť, nazývaná též opěrná, byla zaměřena pořady na celém území ČSSR. Opěrnou síť tvoří I. a II. řád. Pořady sítě I. řádu v ČSR a z části na území SSR byly zaměřeny pomocí skupiny 4 až 5 gravimetrů (2 Sharpe, 2 Worden, 1 Sodin). Pořady II. řádu sítě, na nichž byly zahájeny práce v roce 1987, byly zaměřeny nejméně 2 gravimetry. Spojovací síť mezi Slovenskem a Maďarskem byla zaměřena až devíti gravimetry. Měřicí metoda byla používána standardně čtyřnásobná profilová metoda. (Klimeš et Nejedlý 1988, Träger 2000)

2.5.4 Historie v letech 1987 až dodnes

2.5.4.1 Mezinárodní spolupráce

Spolupráce se západními zeměmi se uskutečnila až po roce 1989. Spolupracovalo se především s Německem, Rakouskem, ale i se Spojenými státy americkými. Důsledek této spolupráce byla modernizace JGS pomocí dalších nových měření a propojení s rakouskou a německou sítí (Příloha 3 – strana 65). V roce 1991 v Československu zahájil absolutní měření Bundesamt für Eich und Vermessungswesen Wien (BEV) gravimetrem JILA G-6 a v roce 1993 pak Defense Mapping Agency (DMA) ze Spojených států amerických gravimetrem AXIS FG 5, přičemž na některých absolutních bodech byla provedena i opakovaná měření. V JGS byla nová měření ukončena roku 1992, ale dodatečná měření na nově zřízených absolutních bodech probíhala až do roku 1995. (Träger 2000)

Zeměměřický úřad uvažoval při vyrovnání výsledků měření tři druhy neznámých:

- parametry chodu gravimetru v rámci denního úseku
- rozměrové koeficienty gravimetrů (uvažoval se jeden koeficient pro každý gravimetr a každou měřickou sezónu)
- tíže pro jednotlivé tíhové body

Opravy byly přisouzeny i absolutním měřením. Vlastní vyrovnání probíhalo podle zásad mnohoskupinového vyrovnání vypracovaných panem Helmertem. Ukončení výpočetních prací proběhlo v roce 1995. (Träger 2000)

Variantu vyrovnání JGS charakterizují následující údaje:

Období zpracování relativních měření: 1971-1994

jednotková střední chyba: <i>mGal</i>	± 0.021
počet zpracovaných denních úseků:	7 702
počet rovnic oprav:	75 452
počet neznámých chodu gravimetru:	26 096
počet neznámých rozměrových koeficientů gravimetrů:	185
počet neznámých hodnot tíže:	1 124
počet nadbytečných měření:	45 047

počet absolutních měření (1978-1993):	16
počet absolutních bodů (1978-1993):	29
střední chyby vyrovnaných tíží: 0.020 mGal	0.003 –

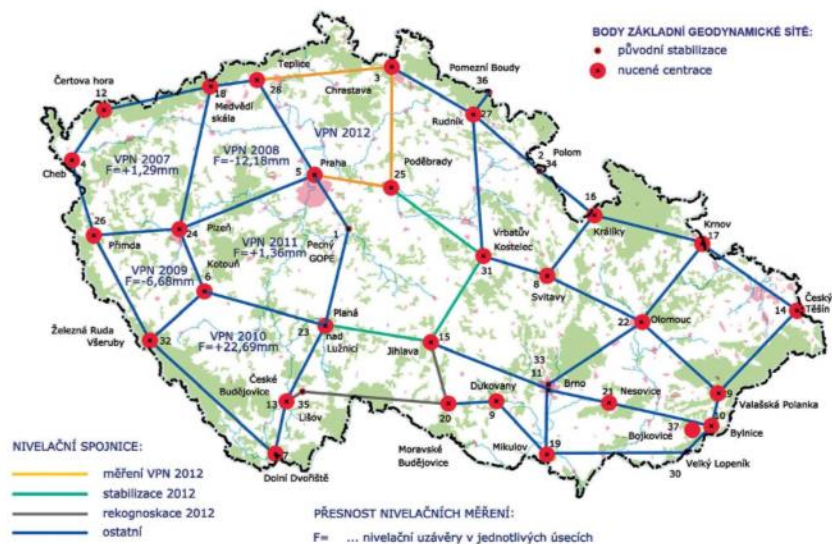
Tíhový systém 1995 je založený v plném rozsahu na absolutních bodech. Rozložení absolutních bodů znázorňuje Příloha 4 – strana 66. Jedná se o první tíhový systém na území bývalého Československa, který stojí na těchto bodech. (Träger 2000)

2.5.4.2 Současný stav

V současné době probíhá jen údržba a případné spojování se systémy sousedních států, čímž dochází k ověření přesnosti.

Z důvodu sledování změn tíhového pole byla v České republice zřízena Základní geodynamická síť (ZGS). Tato síť je složená z kvalitních geodynamických bodů, které slouží ke sledování pohybů zemského povrchu (obrázek 2.24). Od roku 2003 je tato síť obnovována novými stanovisky, která mají hloubkovou stabilizaci doplněnou o nucenou centraci pro připojení antény GNSS a žulovou desku pro gravimetrická měření. Pomocí metody GNSS je ZGS pravidelně proměřována. ZGS je kromě metody GNSS ještě zaměřována velmi přesnou nivelací a gravimetricky. ZGS je připojena do Evropské výškové sítě (EUVN).

Obrázek 2.24: – Základní geodynamická síť České republiky (stav v roce 2012)



Zdroj: Geodetický a kartografický obzor, červenec 2013

V současné době tvoří gravimetrickou síť 463 tíhových bodů. Zeměměřický úřad v Praze odpovídá za jejich údržbu (Olejník 1997)

2.5.4.3 Stabilizace a signalizace

Absolutní tíhové body se zřizují v suterénech veřejných budov s betonovou podlahou. Absolutní tíhové body mají většinou jeden až dva excentrické body mimo budovy, které jsou stabilizovány bronzovým hřebem.

Ostatní body základní sítě jsou stabilizovány betonovým pilířem. Tyto pilíře jsou na úrovni terénu zakončeny žulovou nebo betonovou deskou.

Body podrobného bodového pole jsou voleny na bodech polohového a výškového bodového pole, proto jejich stabilizace je zajištěna těmito body.

Signalizace bodů bodového pole tíhového je zajištěna červenobílou ochrannou tyčí s tabulkou, která obsahuje nápis " TÍHOVÝ BOD. POŠKOZENÍ SE TRESTÁ". (vyhláška č. 31/1995 Sb)

3 Diskuse

V této práci došlo ke shrnutí teoretických základů vývoje bodového pole na území České republiky. Práce dále obsahuje shrnutí o základních a nejdůležitějších informacích, jako jsou metody měření a přístroje, které byly použity při měření. V práci jsou též zahrnuta všechna rozhodnutí a okolnosti, které vedly k vývoji bodového pole.

Během vývoje bodových polí docházelo k výrazným chybám. Chyby vznikaly převážně z nedodržení základních pravidel, jako jsou například: chyby při výpočtech (jako příklad slouží například výpočet vztahů mezi body v Rakouském stabilním katastru, kde docházelo k výpočtu podle rovinných trojúhelníků, ale skutečnost byla ta, že se jednalo o sférické trojúhelníky), nedodržení harmonogramu a rozpisu provedených prací, opakovaná měření se prováděla až po mnohaletém časovém odstupu. V tehdejších dobách docházelo k chybám, které zapříčinila přesnost tehdejších měřických přístrojů, a proto sítě zaměřené těmito přístroji musely být v pozdější době přeměřeny, jelikož nevyhovovaly čím dál se zvyšujícím požadavkům na přesnost sítí. Dle mého názoru lze chyby sítí způsobené nízkou přesností používaných přístrojů prominout tehdejším geodetům, jelikož technologický rozvoj i v oboru geodézie je na vysoké úrovni a dochází k neustálému vylepšování přístrojů z hlediska kvality a přesnosti.

V průběhu vypracování mé bakalářské práce jsem se setkal s několika nepřesnostmi. Tyto nepřesnosti se týkaly převážně rozdílného uvádění dat (datum provedení jednotlivých prací a nařízení, které vedly k provádění těchto prací) u jednotlivých podkladů použitých k vypracování této práce. Postup práce, použité technologie, rozdělení sítí a vše ostatní se již perfektně shodovalo. Myslím si, že chybně uváděná data jsou nejspíš způsobena nedochováním některých potřebných dokumentů. Později došlo k objevení nových, doposud neznámých podkladů. Důvod rozchodu některých dat může být způsoben taktéž rozdílnou výpovědí tehdejších pamětníků.

Jistě lze předpokládat, že bude v budoucnu docházet k dalšímu vývoji bodových polí na našem území. Důvod dalšího budoucího vývoje bude jistě zapříčiněn neustále se rozvíjejícím se technologickým a metodickým rozvojem v oboru geodézie. Rozvoj bude taktéž zapříčiněn neustále se rozvíjejícími požadavky na přesnosti sítí.

4 Závěr

Vývoj bodových polí na území České republiky prošel za svoji poměrně dlouhou existenci velikým pokrokem a vývojem. Zprvu se jednalo o stovky bodů, které se vyvíjely samostatně v rámci jednoho státu. Později docházelo k připojování na sítě okolních států. Připojení na sítě okolních států mělo a má za důsledek projevení doposud nezjištěných nedostatků bodových polí. Tyto zjištěné nedostatky vedly k dalšímu postupnému rozvoji a zkvalitňování sítí. Tato bakalářská práce se právě zaměřuje na poukázání všech okolností a historických událostí vedoucích k postupnému rozvoji bodových polí. Úkolem této práce bylo taktéž vysvětlit rozložení bodových polí (z čeho se jednotlivá bodová pole skládala a z čeho se skládají dnes).

Při dalším rozvoji by se mělo zaměřit taktéž na pečlivé uschování a přesné sepsání všech okolností, důsledků a postupů při následném vývoji bodových polí. Bylo by to velmi důležité pro předání informací následujícím generacím, jestliže by projevily zájem o získání informací, týkající se vývoje bodového pole.

Doufám, že tato vyhotovená bakalářská práce je a bude vhodným podkladem pro budoucí odbornou studii dané problematiky.

5 Přehled literatury a použitých zdrojů

Abelovič J., Šovan M., Mitáš J., Bučko E., Mičuda J., Černý P., Mojzeš M., 1990: Meranie v geodetických sieťach. *Alfa, Bratislava, 280 s.*

Bóhm J. et Svoboda J., 1960: Geometrická nivelace. *SNTL v Praze, Praha, 226 s.*

Bóhm J., Hora L., Kolenatý E., 1981: Vyšší geodézie – díl 2. *ČVUT, Praha, 334 s.*

Císař J., Boguszak F., Janeček J., 1966: Mapování. *Střední průmyslová škola Zeměměřická, Praha, 492 s.*

Čada V., 2007: Přednáškové texty z Geodézie. *Západočeská univerzita, Plzeň, online: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch10s02.html>, cit. 6.4.2014.*

Černohorský J., 2013: Dvacet let Zeměměřického úřadu. *Geodetický a kartografický obzor 7: 137 – 168.*

Delong B., 1960: Zhodnocení Československé trigonometrické sítě I. řádu. *Geodetický a kartografický sborník 6: 5 – 15.*

Forman V., 1957: Geodetické systémy a příčiny jejich vzniku. *Geodetický obzor 11: 212 – 216.*

GEODIS TopNet, 2012: TopNet. *GEODIS Brno, Brno, online: <http://topnet.geodis.cz/topnet/topnet.aspx>, cit. 11.4.2014.*

GEOTRONICS Praha, 2008: Trimble VRS Now Czech. *Geotronics Praha, Praha, online: <http://www.geotronics.cz/specifikace-site>, cit. 11.4.2014.*

Hrabě A. et Beneš F., 1997: Vývoj výškových základů na území České republiky. *ZÚ v Praze, Praha.*

Charvát O., 1960: Vybudování jednotné trigonometrické sítě na území Československé republiky. *Geodetický a kartografický obzor 6: 45 – 50.*

Klimeš M. et Nejedlý A., 1988: Kapitoly z historie geodézie v Československu 1945-1987. *Slovenská kartografia Bratislava, Bratislava.*

Klimeš M. et Nejedlý A., 1990: Kapitoly z historie geodézie v Česko-Slovensku 1918-1945. *VIDEOPRESS Bratislava, Bratislava.*

Kostelecký J., Dušátko D. [eds.], 1998: Geodetické referenční systémy v České republice. Vývoj od klasických ke geocentrickým souřadnicovým systémům. *Monografická publikace VÚGTK a VZÚ Praha, Zdiby, online: https://www.vugtk.cz/odis/sborniky/cd/cd_zak/systemy/start.htm, cit. 7.4.2014.*

- Kostelecký J. et Kostelecký J., 2006:** Perspektiva polohových geodetických základů v České Republice. *VÚGTK a VZÚ Praha, Zdíby, online:*
http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/17_kostelecky_j_j/paper/17_kostelecky_j_j.pdf, cit. 1.4.2014.
- Kruis B., 1953:** Posouzení přesnosti nivelačních základů ČSR. *Zeměměřický sborník 1: 8 – 45.*
- Kruis B., 1957:** Srovnávací studium nivelačních horizontů ČSR a okolních států. *Geodetický a kartografický sborník 1: 28 – 34.*
- Kruis B., 1961:** Budování československých výškopisných základů (Výzkumná zpráva č. 107). *VÚGTK, Praha, 105 s + 55 příloh.*
- Marek J., Petrovič M., Prikryl L. V., Procházka E., Skládal L., Špaček Š., Vanko J., 1991:** Kapitoly z historie geodézie na území Česko-Slovenska do roku 1918. *Katedra mapovania a pozemkových úprav – Realizačné pracovisko SvF STU, Bratislava, 230.*
- Olejník S., 1997:** Vývoj gravimetrických základů na území České Republiky. *Zeměměřický úřad, Praha.*
- Pícha J., 1954:** Gravimetrie. *SNTL, Praha, 164 s + 3 přílohy.*
- Procházka E., 1985:** Trigonometrické sítě na území českých zemí v 1. polovině 19. století. In: Škopková O. [ed]: Z dějin geodézie a kartografie 4. *Národní technické muzeum, Praha: 61 – 65.*
- Pudr J., 1947:** Nivelace města Prahy. *Zeměměřický obzor 8, 121 – 124.*
- Ratiborský J., 2002:** Zeměměřické památky v ČR (díl 1.) – Jihočeský kraj. *Zeměměřič 11, Praha, online:*
http://www.zememeric.cz/default.php?clanek_tisk.php?zaznam=1498, cit. 12.4.2014.
- Semerád A., 1927:** Posouzení nivelace některých vodních toků v Čechách a na Moravě. *Zprávy veřejné služby technické IX, 3 – 12.*
- Schenk J., 2004:** Geodetické sítě – Bodová pole: *Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava.*
- Staněk V., Hostinová G., 1999:** Geodézia v stavebnictve. *Jaga grup v Bratislavě, 1999.*
- Torge W., 2001:** Geodesy. *Walter de Gruyter, Berlin, 416 s.*

Träger L., 2000: Vývoj gravimetrické sítě na území bývalého Československa. *Zeměměřický úřad, Praha, online:*
https://www.vugtk.cz/odis/sborniky/sb2005/Sbornik_50_let_VUGTK/Part_1-Scientific_Contribution/12-Trager.pdf, cit. 21.3.2014.

URL 1: PROFIGEO s.r.o. (online) [cit. 2014.04.15], dostupné z
<<http://www.profigeo.info/zememericke-vykony/>>

Vyhláška č. 31/1995 Sb., Českého úřadu zeměměřického a katastrálního ze dne 1. února 1995, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, dle změn provedených vyhláškou č. 212/1995 Sb. a č. 365/2001 Sb. znění platné od 1.11.2001, **v platném znění.**

Vykutíl J., 1968: K 200 výročí první triangulace na území ČSSR. *Geodetický a kartografický obzor* 14, 230 – 233.

Wittinger M., 1947: Základní výškový bod Lišov. *Zpráva veřejné služby technické XXVII:* 331 – 336.

6 Seznam obrázků

Obrázek 2.1	Trigonometrická síť I. řádu pro stabilní katastr v Čechách	5
Obrázek 2.2	Nová vojenská triangulace pro evropské stupňové měření (část na území ČSR)	8
Obrázek 2.3	Jednotná čs. trigonometrická síť I. řádu s body základní sítě	10
Obrázek 2.4	Stabilizace žulovým kamenem + 2 podzemní značky	12
Obrázek 2.5	Astronomicko-geodetická síť	13
Obrázek 2.6	Síť CZEPOS	18
Obrázek 2.7	síť Trimble VRS Now Czech	19
Obrázek 2.8	Schéma ČSJNS I. řádu	32
Obrázek 2.9:	Schéma ČSJNS II. a III. řádu	33
Obrázek 2.10:	Schéma ČSJNS III. a IV. řádu	33
Obrázek 2.11	Základní nivelační bod Lišov	36
Obrázek 2.12	Stabilizační značka zajišťovacího bodu	36
Obrázek 2.13	Polohopis bodů	37
Obrázek 2.14	Hřbová značka (rozměry v mm)	37
Obrázek 2.15	Čepová značka (rozměry v mm)	38
Obrázek 2.16	Nivelační kámen s čepovou značkou (rozměry v mm)	38
Obrázek 2.17	Čepová značka s označením "Státní nivelace" pro body základního výškového pole (rozměry v mm)	39
Obrázek 2.18	Hřbová značka pro hloubkové stabilizace (rozměry v mm)	40
Obrázek 2.19	Hřbová značka pro tyčové stabilizace (rozměry v mm)	40
Obrázek 2.20	Štítek s nápisem "STÁTNÍ NIVELACE. POŠKOZENÍ SE TRESTÁ" umístěný na stěně stavby	42
Obrázek 2.21	Ochranná tyč se štítkem "STÁTNÍ NIVELACE. POŠKOZENÍ SE TRESTÁ"	43
Obrázek 2.22	Sterneckova měření z let na území dnešní České a Slovenské republiky 1889-1895	44

Obrázek 2.23 Československá a německá kyvadlová měření z let 1936-1938, resp. 1939 -1943	45
Obrázek 2.24: Základní geodynamická síť České republiky (stav v roce 2012)	52

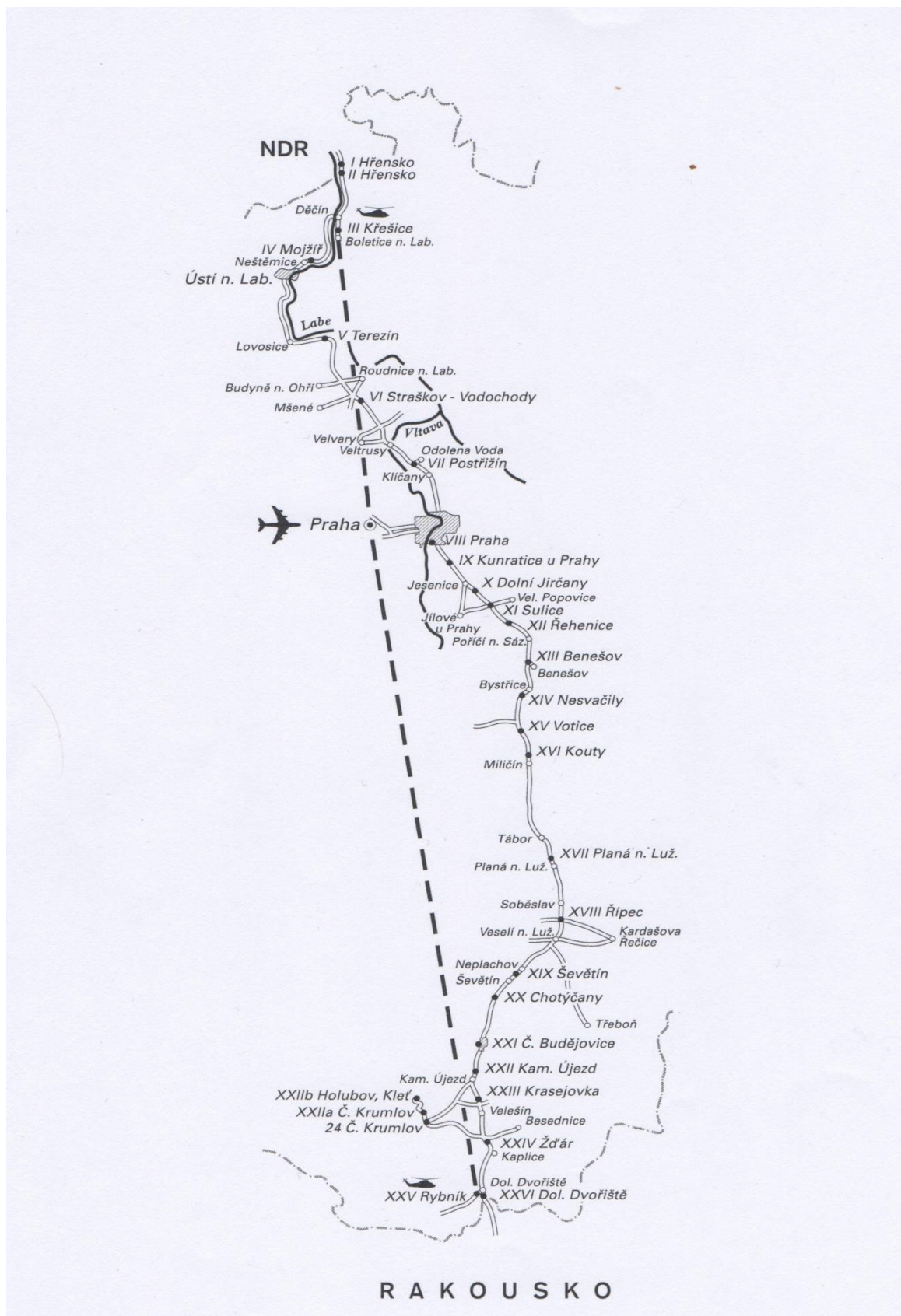
7 Seznam tabulek

2.1	Kritéria pro body 5. řádu, výjimečně i pro body 4. řádu	15
2.2	Údaje o přesnosti sítě	23
2.3	Rozsah prací provedených v letech 1939 až 1960	30
2.4	Střední chyba vyrovnané tíže na vybraných bodech	48

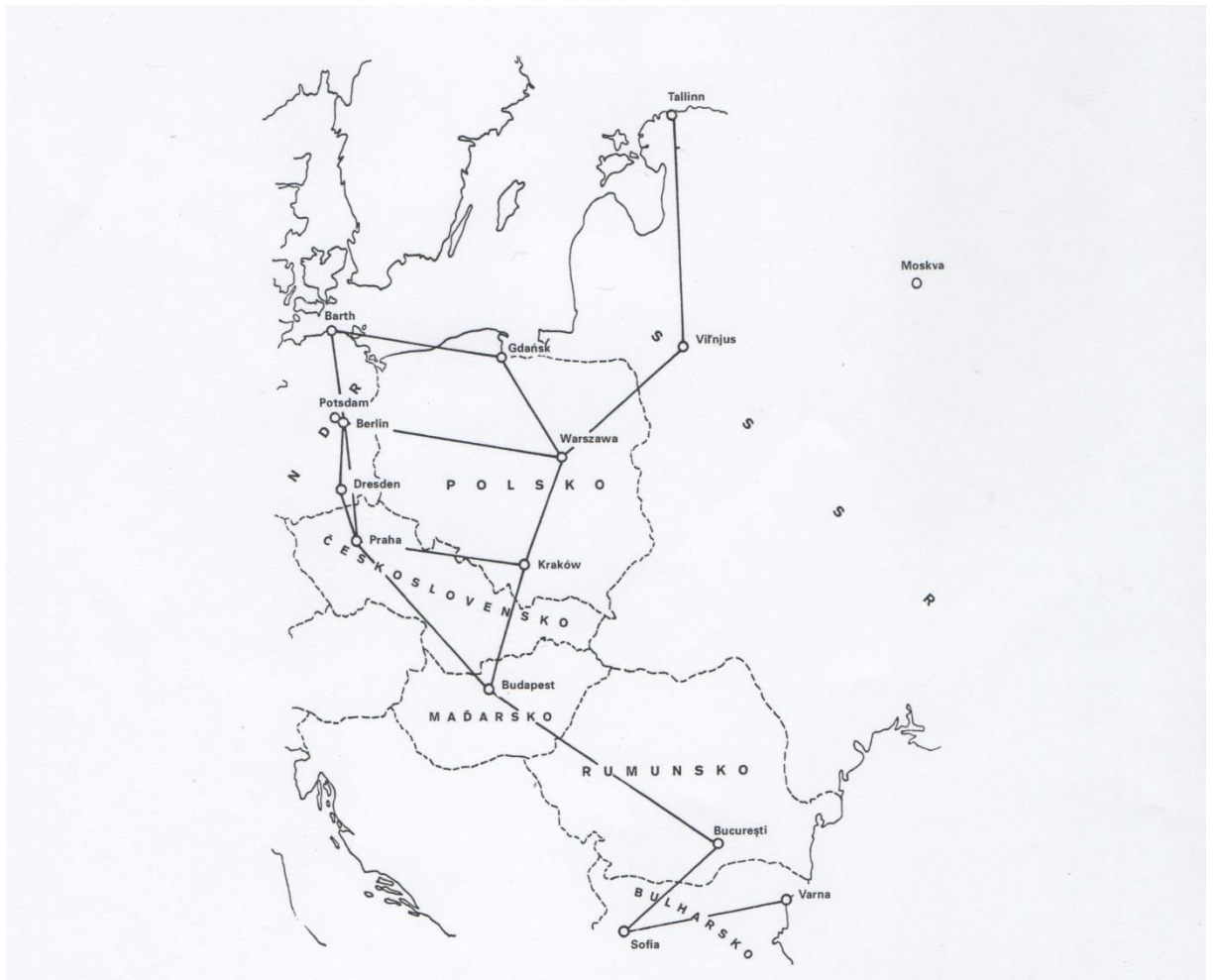
8 Seznam příloh

Příloha 1: Hlavní gravimetrická základna Hřensko – Dolní Dvořiště	63
Příloha 2: Mezinárodní gravimetrická síť na území východní Evropy	64
Příloha 3: Spojovací měření s německou a rakouskou gravimetrickou sítí	65
Příloha 4: Rozložení absolutních bodů	66

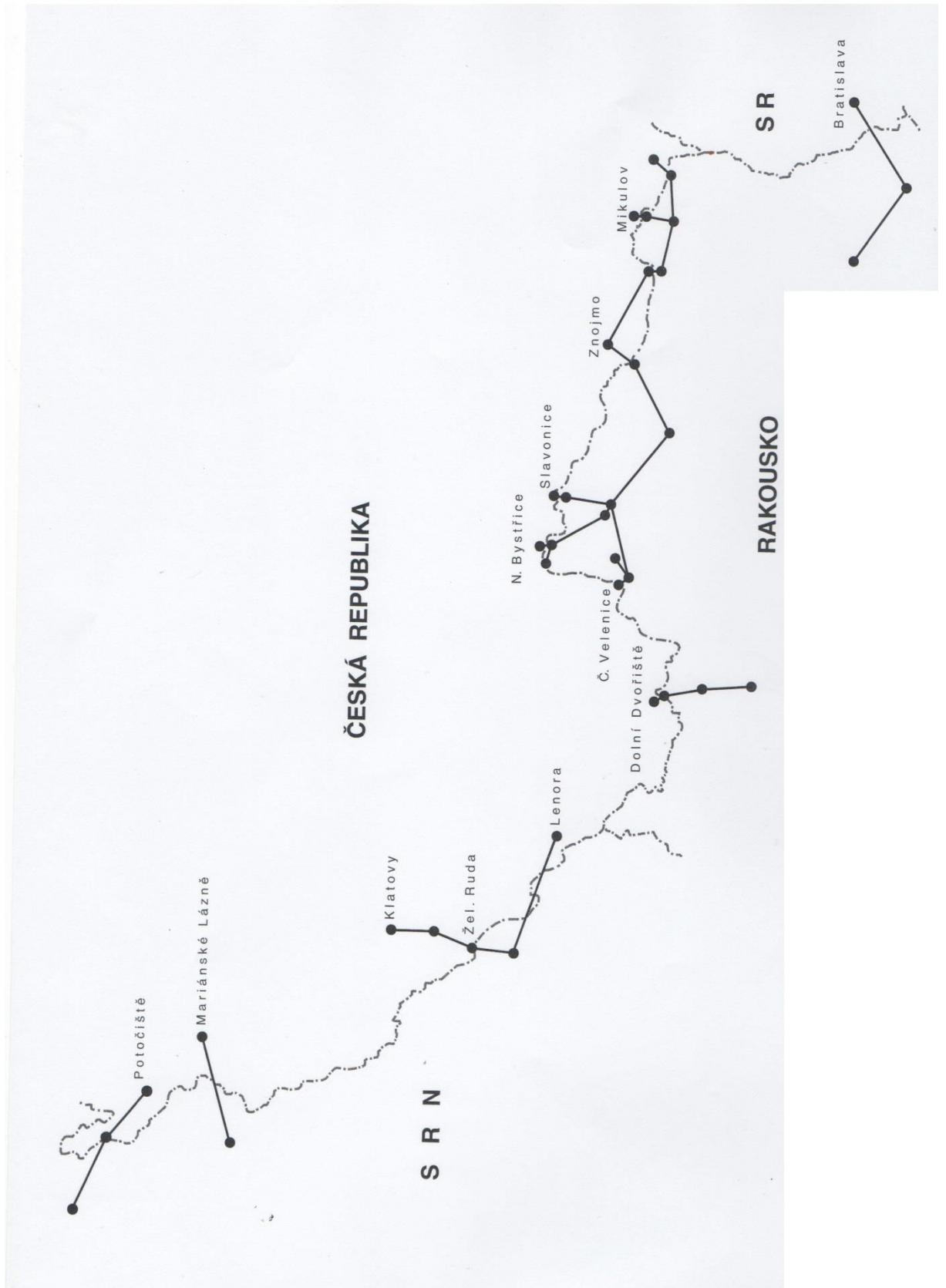
Příloha 1: Hlavní gravimetrická základna Hřensko – Dolní Dvořiště



Příloha 2: Mezinárodní gravimetrická síť na území východní Evropy



Příloha 3: Spojovací měření s německou a rakouskou gravimetrickou sítí



Příloha 4: Rozložení absolutních bodů

