



Lesnická
a dřevařská
fakulta

Geodézie
Přednáška

Geodetické základy Bodová pole a sítě bodů

Mendelova
univerzita
v Brně



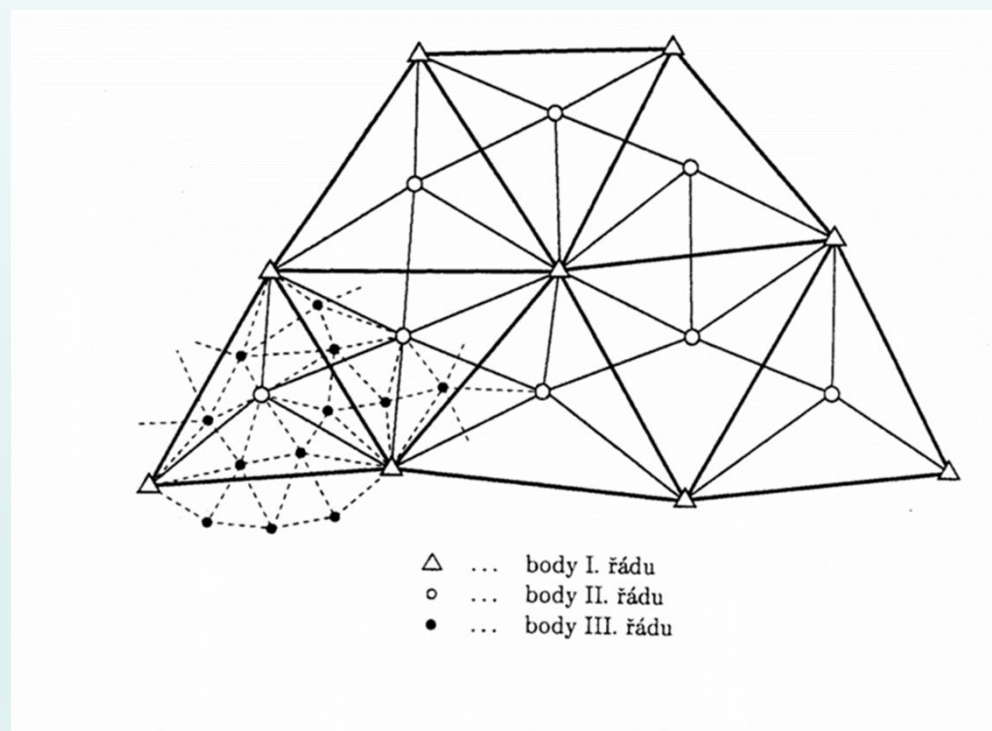
- ❑ každé geodetické měření většího rozsahu se musí opírat o předem vybudované sítě pevných bodů
- ❑ body v těchto sítích jsou polohově a výškově přesně určeny (trvale stabilizovány, případně signalizovány)
- ❑ soubory bodů vytvářejí bodová pole, která jsou geodetickými základy státu (základem pro definování postupně užívaných souřadnicových systémů)
- ❑ v ČR má jejich správu na starosti státní instituce – Zeměměřický úřad
- ❑ cílem činností v geodetických základech je definovat a udržovat prostorovou polohu geometrického základu státu v referenčních systémech
 - národní polohový systém – S-JTSK
 - evropský geocentrický systém – ETRS89
 - mezinárodní výškový systém Balt po vyrovnání (Bpv)
 - mezinárodní tíhový systém (gravimetrický) – S-Gr95
- ❑ moderní geodetické základy reprezentují rovněž sítě referenčních stanic umožňující příjem signálů globálních navigačních satelitních systémů

Budování polohových bodových polí

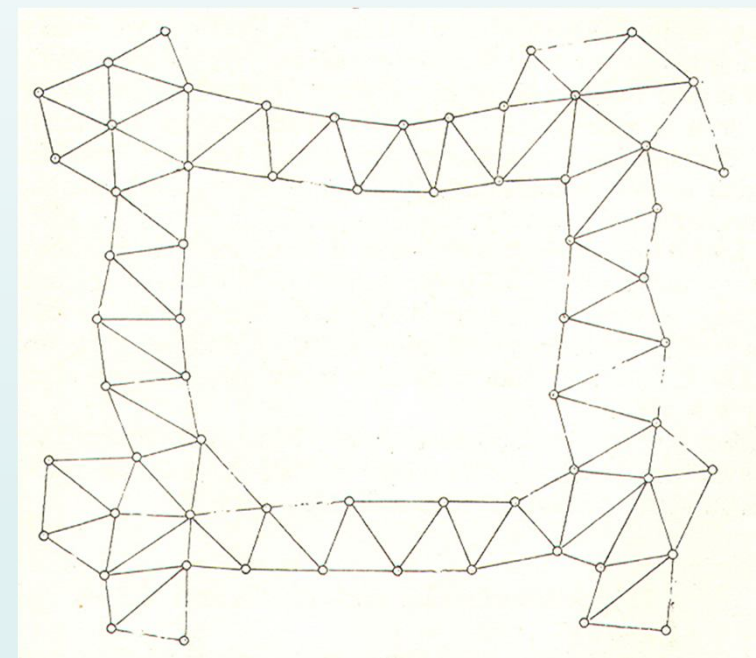
- při měření (mapování) větších územních celků vždy dochází k nevyhnutelným chybám
- abychom omezili hromadění těchto chyb, je třeba použít při budování polohových bodových polí určitý postup
- zásadou je postupovat z velkého do malého
- nejdříve se tedy budují sítě I. řádu s nejvyšší možnou přesností a do nich jsou vkládány sítě II. až V. řádu
- průměrná vzdálenost bodů musí vyhovovat budování podrobného polohového bodového pole (1,5 – 2 km)
- sítě I. řádu pokrývají buď souvisle celé území (plošné sítě) či jsou vedené jako řetězce přibližně po polednicích a rovnoběžkách (větší územní celky)
- při budování trigonometrických sítí je třeba nejprve zvolit na zemském povrchu body (trigonometrické body) jako vrcholy trojúhelníků, které mají výraznou dominanci nad okolím
- k budování trigonometrických sítí je možné použít některou z následujících metod: triangulace, trilaterace, spojení obou metod

Budování polohových bodových polí

Plošná síť



Řetězec



Triangulace

- soubor měřických prací v trigonometrických sítích, jejichž účelem je:
 - určit tvar a rozměry zemského tělesa
 - získat síť pevných bodů pro mapování velkých územních celků
- poprvé použil triangulaci holanďan Snellius v roce 1615 (k určení rozměrů zemského tělesa)
- v trigonometrické síti se měří v každém trojúhelníku všechny úhly (třetí úhel je nadbytečný prvek a slouží pro kontrolu a vyrovnání sítě)
- k určení rozměru sítě je třeba znát délku alespoň jedné výchozí trigonometrické strany - délky všech ostatních stran je možné postupně vypočítat sinovými větami
- v praxi se však měřilo několik trigonometrických stran (z důvodu zpřesnění sítě)
- dříve nebylo možné měřit délky přímo, a proto se měřily v tzv. základnových sítích (geodetická základna dlouhá 4-12 km)

- pro orientaci sítě na elipsoidu je nutné změřit azimut některé ze stran
- na výchozím bodě změříme astronomicky souřadnice φ a λ (vztažené přímo k zemskému povrchu) – **Laplaceovy body**
- potom z délek stran a jejich azimutů se vypočítají zeměpisné souřadnice (φ , λ) všech dalších bodů
- zaměřením všech úhlů a několika základen získáme nadbytečné veličiny pro vyrovnání sítě
- celá síť se z elipsoidu zobrazí na vhodně zvolenou zobrazovací plochu a vypočítají se pravoúhlé souřadnice této sítě ve zvoleném souřadnicovém systému
- ze zeměpisných souřadnic vypočítáme pravoúhlé (pouze u základních trigonometrických bodů) - poloha ostatních bodů se určuje pouze výpočty v rovině
- určením polohy trigonometrických bodů ve vhodně zvoleném souřadnic. systému je dán geometrický základ k dalšímu zhušťování sítě, a tím i k podrobnému měření

Trilaterace

- přímo se měří délky všech trigonometrických stran v síti – možné až s nástupem elektronických dálkoměrů
- délky se mohou vyrovnat buď přímo na elipsoidu nebo v rovině zvoleného kartografického zobrazení
- poloha a orientace sítě na elipsoidu se určí stejně jako v triangulaci (astronomickým měřením souřadnic a azimutů alespoň na výchozím bodě)
- v praxi se měří další azimuty pro zpevnění sítě

Spojení obou metod

- měří se všechny úhly a některé délky nebo naopak, případně všechny úhly a všechny délky
- takovéto měření je značně nákladné a provádí se pouze v lokálních sítích (např. Místní trigonometrická síť Praha)

Etapy budování polohových bodových polí

- ❑ dříve se geodetické polohové základy (GPZ) budovaly klasickou triangulací
- ❑ dnes probíhá budování GPZ pomocí moderních elektronických dálkoměrů a metod kosmické (družicové) geodézie
- ❑ GPZ byly na území České republiky budovány v následujících etapách:
 - Katastrální triangulace
 - Vojenská triangulace
 - Československá Jednotná trigonometrická síť katastrální (JTSK)
 - Astronomicko-geodetická síť (AGS)

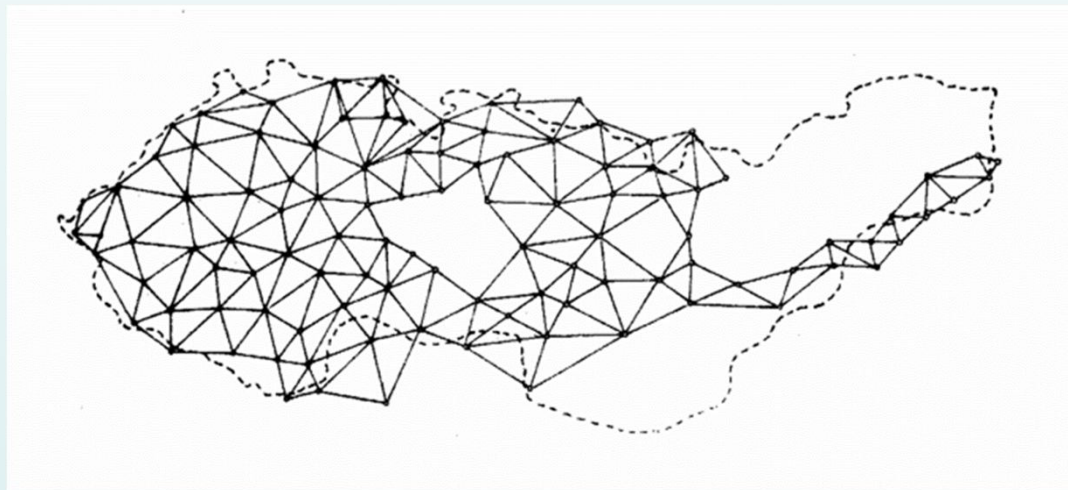
Katastrální triangulace (1821-1864)

- v letech 1821-1840 bylo území bývalé rakouské monarchie pokryto první souvislou trigonometrickou sítí I. řádu
- tato síť byla dále zhuštěna trigonometrickou sítí II. a III. řádu (číselná triangulace)
- katastrální triangulace probíhala až do roku 1864 pro mapování stabilního katastru v měřítku 1: 2 880
- vybudování trigonometrické sítě bylo svěřeno triangulační kanceláři c.k. generálního štábu
- práce byly prováděny po jednotlivých zemích, zaměřeny čtyři základny, které sloužily k odvození rozměru sítě
- délkovou jednotkou při měření a výpočtech byl vídeňský sáh
- průměrná vzdálenost bodů I. řádu byla 40 km
- síť I. řádu byla vyrovnána po menších celcích, přičemž byl uvažován sférický exces
- jednotlivé části již ale nebyly správně vyrovnány vzájemně mezi sebou (různé stočení)

- ❑ síť II. řádu s délkou stran 9 – 15 km byla vyrovnána jako síť rovinná
- ❑ délka stran sítě III. řádu byla 4 – 9 km
- ❑ podmínkou bylo, aby na triangulační (fundamentální) list připadly alespoň tři trigonometrické body číselně určené
- ❑ pro potřeby podrobného měření byla číselná síť zhuštěna sítí IV. řádu pomocí grafické triangulace (grafické protínání pomocí měřického stolu) – podmínka alespoň tří bodů na jeden mapový list
- ❑ výpočty trigonometrické sítě byly prováděny na Zachově elipsoidu
- ❑ nedostatky katastrální triangulace:
 - síť byla budována bez řádného plánu a nebyla vyrovnána jako celek
 - body byly stabilizovány dřevěnými kůly a jejich trvalá stabilizace byla provedena až 20 let po triangulaci (vliv na přesnost polohy jednotlivých bodů)
 - v Gusterberském systému bylo nalezeno stočení kladné větve osy X od severního směru k západu o $4'22,3''$

Vojenská triangulace (1862-1898)

- ❑ vojenská síť byla budovaná Vojenským zeměpisným ústavem ve Vídni v rámci středoevropského stupňového měření
- ❑ jednalo se o plošnou síť, ale na Moravě a na Slovensku byly poměrně velké mezery



- ❑ celkem bylo měřeno 22 základen (dvě na našem území – u Josefova a u Chebu) - většina však plnila pouze kontrolní funkci
- ❑ ke zpracování sítě byl použit Besselův elipsoid

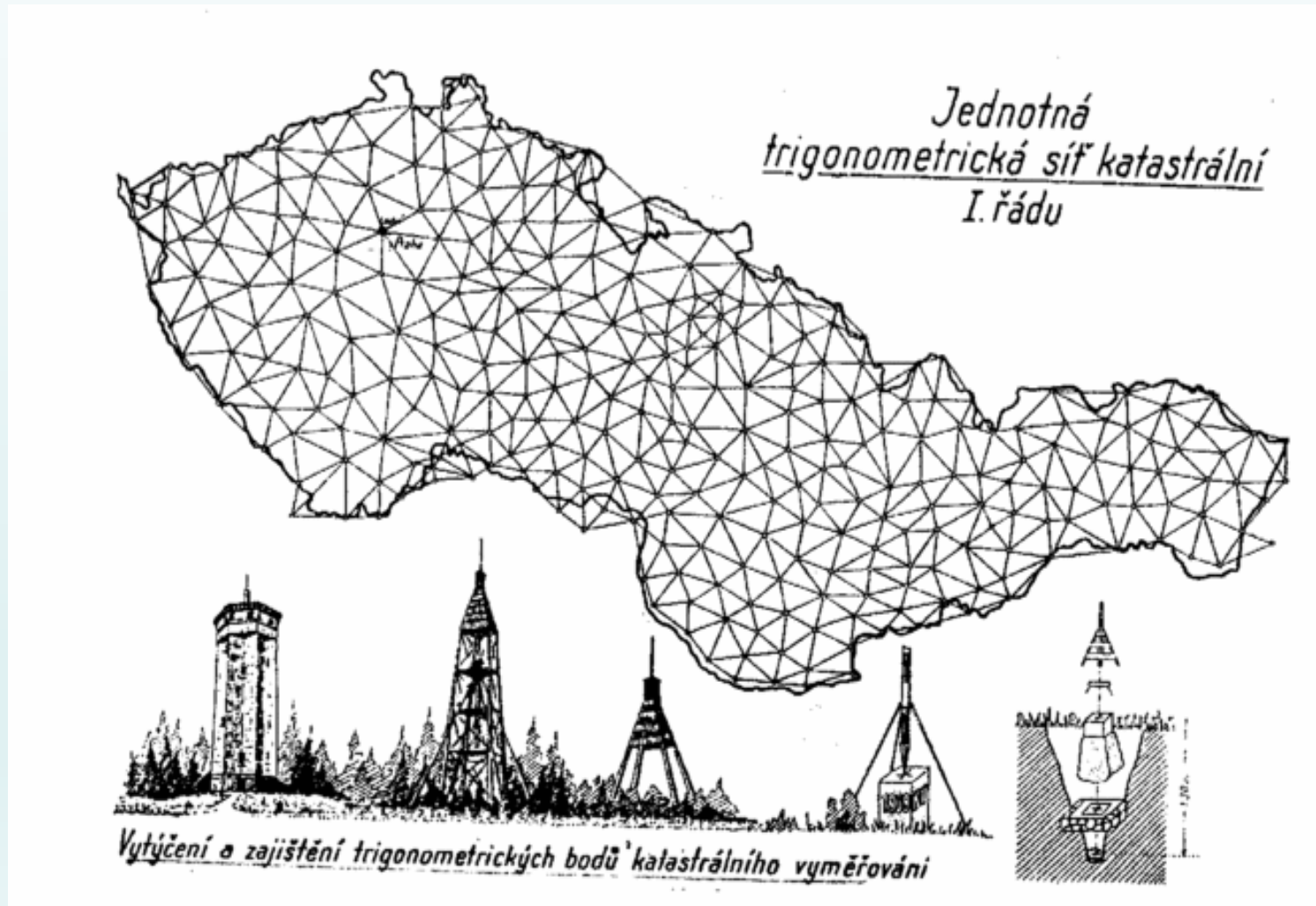
- základním trigonometrickým bodem byl zvolen Hermannskogel (u Vídně)
- souřadnice a azimut tohoto bodu byly změřeny astronomicky a následně použity pro výpočet geodetických souřadnic celé sítě
- k výpočtu souřadnic bylo použito rozvinovací metody, a to bez korekcí z odchylky tížnice (ta byla zjištěna později)
- výsledkem byla poměrně přesná síť, kde polovina uzávěrů trojúhelníků byla menší než $1''$
- nedostatkem sítě byla zejména její chybná orientace (téměř $10''$ v azimutu)

Jednotná trigonometrická síť katastrální (1920-1957)

- ❑ síť byla budována Triangulační kanceláří, v čele přednosta Ing. Josefem Křovák
- ❑ z časových důvodů však nebylo možné budovat síť dle všech tehdy známých požadavků:
 - nebyla provedena nová astronomická měření
 - nebyly měřeny geodetické základny
 - síť nebyla spojena se sítěmi sousedních států
 - na části území byly převzaty měřené osnovy směrů z vojenské triangulace (42 bodů v Čechách a 22 bodů v Podkarpatské Rusi)
- ❑ stabilizace nových trigonometrických bodů se zpravidla prováděla kamenným hranolem
- ❑ před měřením byly body signalizovány zpravidla čtyřbokými pyramidami se zvýšeným postavením nebo měřickými věžemi
- ❑ síť celkem obsahovala 268 bodů, z nichž 107 bylo identických s body I. řádu vojenské triangulace

- rozměr, poloha a orientace sítě na Besselově elipsoidu byly určeny nepřímo prostřednictvím zmíněných identických bodů s vojenskou triangulací
- definitivní tvar sítě byl získán jejím úhlovým vyrovnáním
- v letech 1928-1936 byla tato síť I. řádu doplněna v Čechách o dalších 93 bodů
- později v letech 1949-1950 byla doplněna o dalších 20 bodů podél československo-maďarské hranice
- od roku 1928 byla síť postupně zhušťována body II., III. a IV. řádu a body podrobné trigonometrické sítě (později označované body V. řádu)
- na území dnešní České republiky se nachází přibližně 28 900 trigonometrických bodů
- relativní přesnost sítě je dobrá (střední chyba v poloze sousedních bodů V. řádu je rovna cca 1 cm)
- celková kvalita však dobrá není – síť má proměnlivé měřítko, je otočena o cca 10'' a posunuta o přibližně 15'' směrem k východu z důvodu zanedbání tížnicové odchylky na bodě Hermannskogel

JTSK – I. řád



Astronomicko-geodetická síť

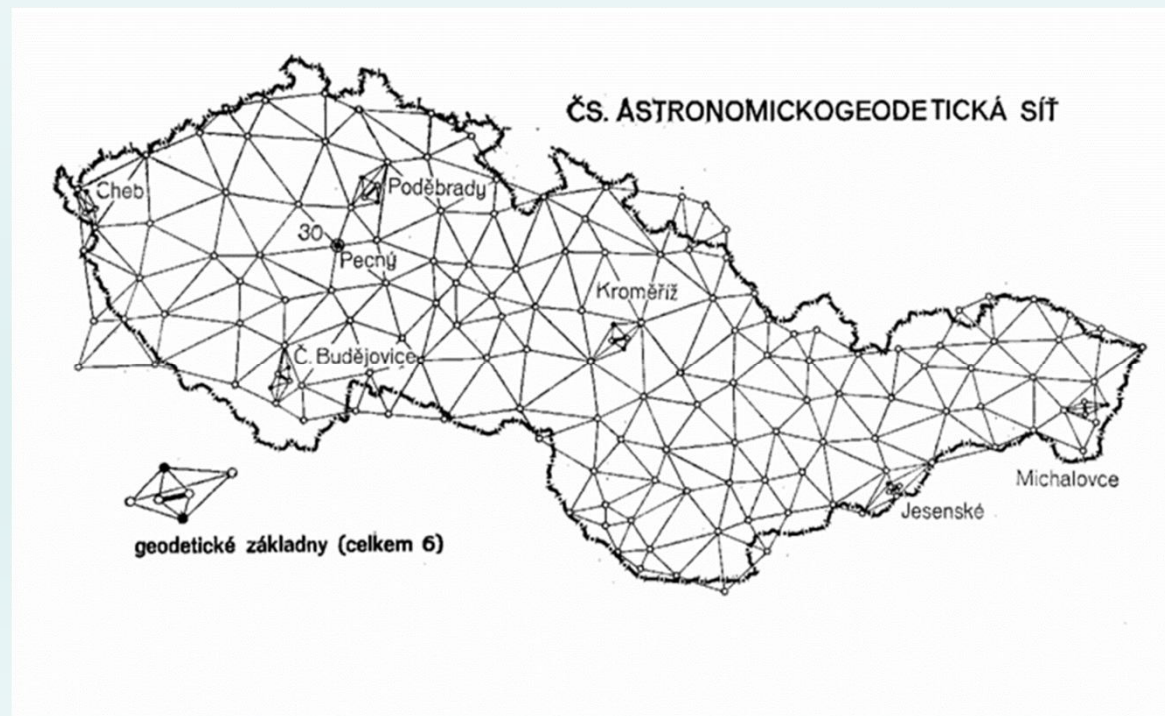
- Začala se budovat od roku 1931 (dříve označovaná jako Základní trigonometrická síť)
- byla budována s nejvyšší dosažitelnou přesností a podle nejnovějších vědeckých poznatků
- průměrná strana trojúhelníků byla zvolena 36 km
- většina bodů sítě je identická s body I. řádu JTŠK
- všechny body sítě byly nově stabilizovány
 - stabilizace se skládala z jedné značky povrchové (kamenný hranol 30x30x90 cm s křížkem) a třech značek podzemních
 - mimo těchto typů stabilizací bylo na bodech AGS postaveno 21 železobetonových pilířů, 9 pilířů zděných, na 9 bodech byly postaveny zděné měřické věže, na 7 bodech bylo použito věží hradů a rozhleden
- byla provedena astronomická a gravimetrická měření
- úhly měřeny metodou vrcholovou a Schreiberovou
- zaměřeny další základny

- ❑ síť byla napojena na sítě sousedních států, do roku 1954 byly měřické práce ukončeny
- ❑ celkem bylo změřeno:
 - úhlově 227 trojúhelníků se 144 vrcholy
 - astronomicky 53 Laplaceových bodů
 - 6 základen invarovými dráty
 - gravimetricky okolí 108 bodů I. řádu a 499 bodů II. řádu
- ❑ síť byla vyrovnána v letech 1956-58 společně s dalšími sítěmi zemí východní Evropy
- ❑ vzhledem k možnostem výpočetní techniky nemohly být vyrovnány všechny body – použití transformace, která však zachovává souřadnice bodů vyrovnaných
- ❑ po vyrovnání AGS v letech 1956-58 bylo provedeno další zpřesnění a doplnění naměřených hodnot:
 - zaměření některých délek elektronickými dálkoměry
 - zaměření nových astronomických veličin (azimuty)
 - byly nově určeny tížnicové odchylky a převýšení kvazigeoidu
 - doplněno souvislé spojení se sítěmi sousedících států

- ❑ provedeno nové mezinárodní vyrovnání sítě s doplněnými údaji (vznik Jednotné astronomicko geodetické sítě – JAGS)

Přínos nového vyrovnání:

- ❑ mírný posun, pootočení a mírné prohnutí sítě
- ❑ ovlivnění sítě na hranicích – nyní jde o souvislou plošnou síť
- ❑ významné zlepšení tvaru a orientace sítě v místech deformací v prvním vyrovnání
- ❑ všeobecné zlepšení rozměru sítě (v novém vyrovnání bylo větší množství přímo měřených délek)



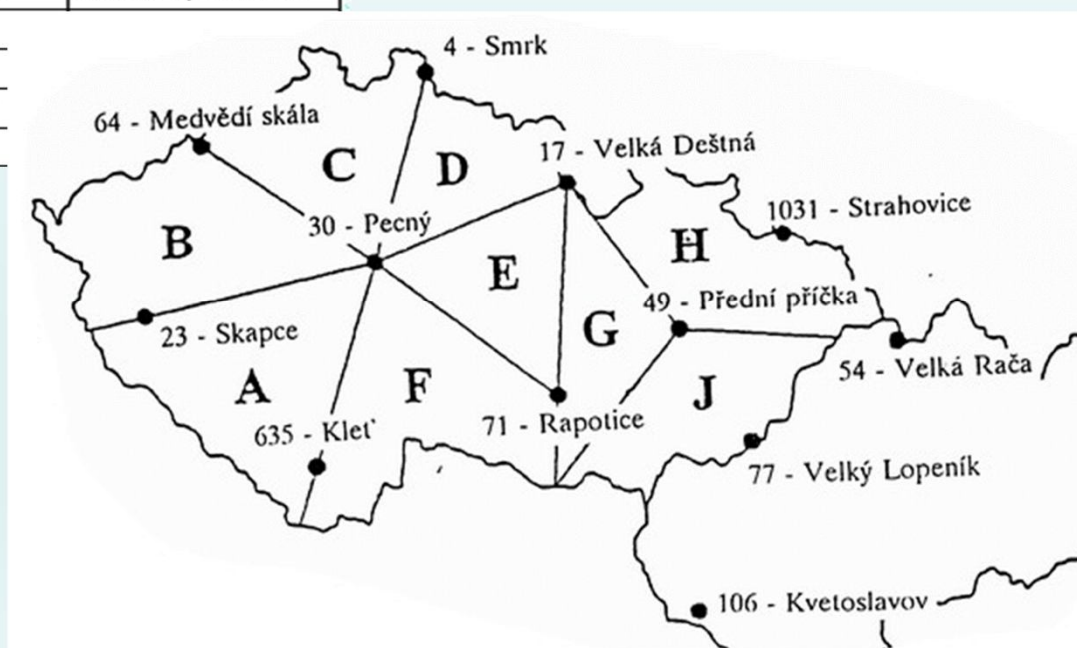
Dělení polohových bodových polí

1. Základní polohové bodové pole

- body referenční sítě nultého řádu
 - kampaň CS-NULRAD-92 zhustila původních 6 bodů kampaně EUREF-CS/H-91 na 19 (ČR 10, SR 9)
 - kampaň DOPNUL – vybráno 176 bodů identických s JT SK (mají souřadnice v JT SK i v ETRS, vyhovují pro terestrická měření i pro měření pomocí GNSS, hustota asi 5 km)
- body astronomicko-geodetické sítě (AGS)
 - celkem 144 bodů, v ČR 63
- body České státní trigonometrické sítě I. až IV. Řádu (ČSTS)
 - přibližně 40 000 bodů + 35 000 přidružených bodů
- body geodynamické sítě (38 bodů)
 - slouží ke sledování pohybu zemského povrchu
 - základní síť je opakovaně zaměřována pomocí GNSS, metody velmi přesné nivelace a gravimetricky

Body NULRAD a sektory kampaně DOPNUL

<i>pr.č.</i>	<i>NULRAD</i>	<i>S-JTSK</i>	<i>název</i>	<i>Poznámka</i>
9301	301		GOPE	Vestavěný pilíř GO Pecny
9635	635	40130285	KLEŤ	Zajišťovací bod na rozhledné
9023	23	1903021	SKAPCE	Bod AGS, centrum
9064	64	05040023	MEDVĚDÍ SKÁLA	Excentrické stan.
9004	4	0812006	SMRK	Bod AGS, centrum
9017	17	1724003	V. DEŠTNÁ	Bod AGS, centrum
9071	71	4311026	RAPOTICE	Bod AGS, centrum
9049	49	3524005	PŘEDNÍ PŘÍČKA	Bod AGS, centrum
9031	1031	2719020	STRAHOVICE	
9077	77	5706006	V. LOPENÍK	
9106	106		KVETOSLAVOV	
9054	54		V. RAČA	



2. Podrobné polohové bodové pole

- zaměřovány převážně polygonovými pořady připojenými na základní polohové bodové pole
- střední polohová chyba: $m_{xy} = 0,06$ m
- správu provádějí KÚ (nezahrnuje údržbu)
- body nejsou plošně ošetřovány ani udržovány
- počet bodů redukován činností člověka
- význam pro zeměměřickou praxi stále klesá – možnost připojení na body základního polohového bodového pole a zhušťovací body

3. Zhušťovací body

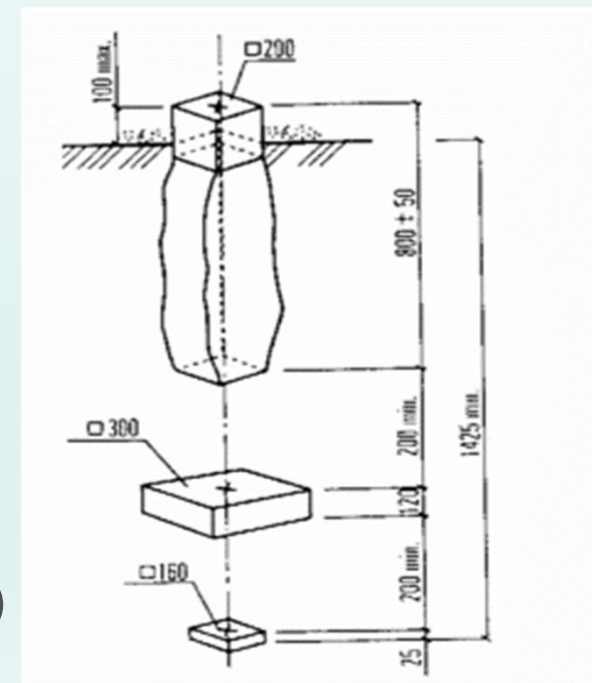
- asi 35 000 bodů, hustota 1-2 body/km²
- střední polohová chyba: $m_{xy} = 0,02$ m
- naprostá většina bodů má dvojí souřadnice (JTSK, ETRS89)
- mají většinou vyšší kvalitu než řada trigonometrických bodů
- práce realizuje 7 KÚ I. typu (Praha, Brno, Plzeň, Liberec, Pardubice, České Budějovice, Opava)

Stabilizace bodů

- ❑ technické požadavky na body jsou dány předpisy (příloha k vyhlášce ČÚZK č. 31/1995)
- ❑ poloha bodu základního polohového bodového pole (trigonometrické body) je volena tak, aby bod nebyl ohrožen, jeho signalizace byla jednoduchá a byl využitelný pro připojení bodů polohového bodového pole

Trigonometrický bod

- povrchovou a dvěma podzemními značkami
- povrchovou a podzemní značkou ve skále
- povrchovou nebo čepovou nivelační značkou
- kovovým čepem s křížkem (ploché střechy)
- dvěma konzolovými značkami
- bod s trvalou signalizací (makovice věže kostela)



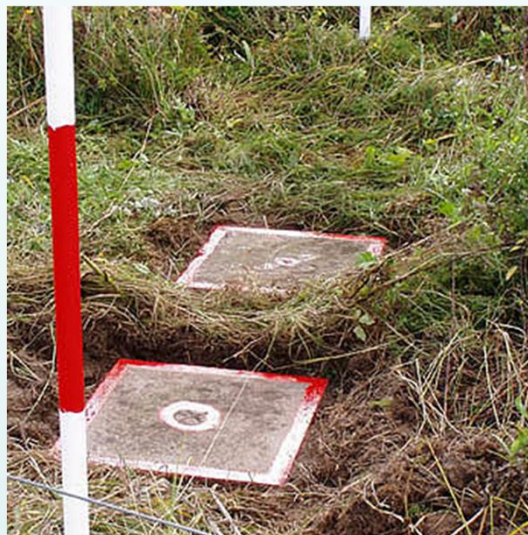
Zhušťovací bod

- stejný způsob jako trigonometrický bod (bez druhé podzemní stabilizace)
 - nelze-li provést podzemní stabilizaci, musí se zřídit zajišťovací bod
 - poloha bodu se volí tak, aby nebyla ohrožena stabilizace značky a přitom byl bod využitelný pro zeměměřické činnosti

Podrobné body

- poloha bodu se volí tak, aby nebyl ohrožen, aby signalizace byla jednoduchá a bod byl využitelný pro připojení podrobného měření
- body se volí přednostně na objektech trvalého rázu nebo na jiných místech tak, aby co nejméně překážely v užívání pozemků (např. v obvodu dopravních komunikací)
- možnosti stabilizace: stabilizační značka, kamenné hranoly, hřebové značky, kovové konzole, ocelové trubky, plastové znaky, rohy budov apod.

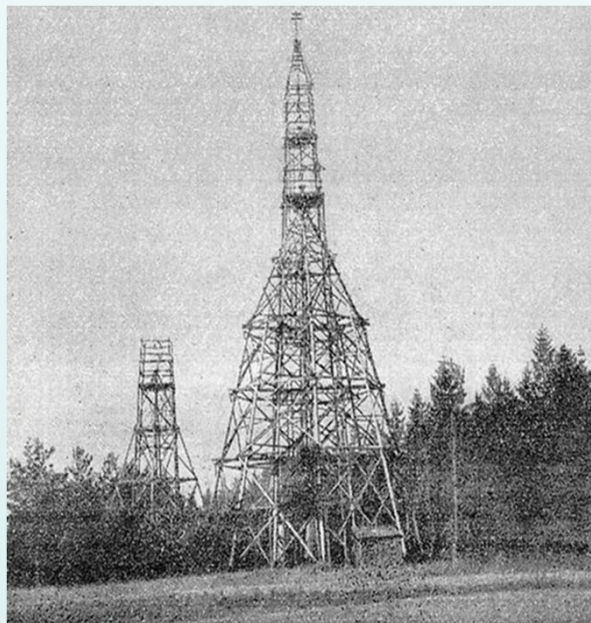
Ukázky stabilizace bodů



Signalizace bodů

- ochranná a signalizační zařízení trigonometrického, zajišťovacího a orientačního bodu jsou zřízena podle potřeby a tvoří je jedno nebo více z těchto zařízení:
 - červenobílá nebo černobílá ochranná tyč nebo tyče zpravidla umístěné 0,75 m od centra bodu
 - výstražná tabulka s nápisem "STÁTNÍ TRIANGULACE
POŠKOZENÍ SE TRESTÁ"
 - betonová skruž nebo sloupek
 - ochranný (vyhledávací) kopec
 - tříboká pyramida
 - na trigonometrickém bodu může být zřízeno signalizační zařízení (zvýšené měřické postavení, signál nebo měřická věž)

Ukázky signalizace bodů



Dokumentace trigonometrických bodů

☐ údaje o bodu obsahují:

- číslo a název bodu
- souřadnice a nadmořskou výšku
- lokalizační údaje o územních jednotkách (kraj, okres, obec)
- triangulační list, ZM-50, SMO-5
- místopisný náčrt a popis
- údaje o stabilizaci a signalizaci
- údaje o zřízení bodu

Číslo a název bodu		245		U Zahrádek		245		
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška	vztahuje se na			
245	ZHB	625372.60	1089224.96	505.09	hranol	dřev. sloup		
ETRS-89	B	L	Helips	549.92	STATIC	Proseč		
245		49 48 26.1647	16 07 31.1549			Budislav		
Orientace na body (v gradech) :								
Bod číslo :	Jižník	Délka strany	Bod číslo :	Jižník	Délka strany	Bod určen : metodou GPS		
203	84.88085	672.136						
Místopisný popis : Bod leží na stupni u silnice Proseč – Budislav, asi 0.5 km východně od kostela v Proseči.								
Bod určen : 245 – GPS.								
Bod	245							
Přím. síň	0.00	Zúla	0.00		0.00		0.00	
		16x16x74						
	.97	Zúla						
		20x20x10						
Ochranný znak (druh, rok)	OT-1998							
Katizora	Proseč u Skutče							
Popis	1555							
Bod	245							
Zřizen	1998 KÚ Pce							
Určení YX	1998							
Určení výšky	1998							
[Přel]Stabilizace	1998							
Rok	Údržba		1999					
Obnova								
Poznámka :								

**Děkuji za pozornost
Ing. Miloš Cibulka, Ph.D.**

**Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky
Lesnická a dřevařská fakulta
uhulag.mendelu.cz
tel.: 545 134 015**