

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Hornicko-geologická fakulta**

**Katedra geodézie a důlního měřictví**



## **Geodézie 1**

doc. Ing. Pavel Černota, Ph.D.

doc. Ing. Hana Staňková, Ph.D.

Ing. Rostislav Dandoš, Ph.D.

Ing. Petr Jadviščok, Ph.D.

Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Ing. Jakub Kostelecký, Ph.D.

# Geodézie 1

doc. Ing. Pavel Černota, Ph.D.

doc. Ing. Hana Staňková, Ph.D.

Ing. Rostislav Dandoš, Ph.D.

Ing. Petr Jadvišček, Ph.D.

Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Ing. Jakub Kostelecký, Ph.D.

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko-geologická fakulta

Katedra geodézie a důlního měřictví

Ostrava 2019

ISBN 978-80-248-4261-5

# Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Základní údaje a pojmy v geodézii .....	1
1.2	Tvar a rozměry Země. Referenční plochy.....	2
1.3	Geodetické základy a souřadnicové systémy .....	4
1.4	Způsoby zobrazení.....	7
1.4.1	Kartografické zobrazení .....	7
1.4.2	Kótované zobrazení .....	9
1.5	Mapa, plán, mapové soubory, mapová díla .....	10
1.5.1	Mapa.....	10
1.5.2	Plán .....	11
1.5.3	Mapové soubory, mapová díla.....	11
1.6	Úkoly geodézie .....	11
2	Základní měrové jednotky.....	13
2.1	Základní délková jednotka.....	13
2.2	Základní úhlová jednotka .....	14
2.3	Základní jednotka plošného obsahu .....	15
2.4	Základní jednotka objemu .....	15
3	Souřadnicové výpočty.....	16
3.1	Základní souřadnicové úlohy v S-JTSK.....	16
3.1.1	Základní (souřadnicová) úloha 1 .....	18
3.1.2	Základní (souřadnicová) úloha 2 .....	20
3.2	Určování polohy bodů protínáním .....	21
3.2.1	Protínání vpřed z úhlů .....	22
3.3	Určování polohy bodů polygonometricky.....	23
3.3.1	Obecné zásady při měření a výpočtu .....	23
3.3.1.1	Postup měření .....	24
3.3.1.2	Postup výpočtu .....	24
3.3.1.3	Kontrola výpočtu.....	25
3.3.2	Druhy polygonových pořadů.....	25
3.4	Výpočet a vyrovnání orientovaných polygonových pořadů .....	28
3.4.1	Výpočet a přibližné vyrovnání oboustranně orientovaného pořadu...28	
3.4.2	Polygonový pořad jednostranně orientovaný.....	30
3.4.3	Polygonový pořad uzavřený .....	30
4	Bodová pole .....	32

4.1	Polohová bodová pole.....	32
4.2	Výšková bodová pole .....	32
4.3	Stabilizace a signalizace bodů polohového bodového pole .....	33
4.3.1	Stabilizace bodů.....	33
4.3.2	Signalizace bodů.....	34
4.4	Stabilizace výškových bodů .....	35
4.5	Ochrana bodů a jejich místopis .....	36
5	Mapy .....	39
5.1	Mapy velkých měřítek.....	39
5.1.1	Katastrální mapa 1:2880 a 1:1440 .....	39
5.1.2	Základní mapa 1:2000 .....	40
5.1.3	Státní mapové dílo v měřítku 1:5000 .....	40
5.2	Mapy středních měřítek.....	40
5.2.1	Základní mapa ČR 1: 10 000 .....	41
5.2.2	Základní mapa České republiky 1: 25 000 .....	41
5.2.3	Základní mapa ČR 1:50 000 .....	41
5.2.4	Základní mapa ČR 1: 100 000 .....	42
5.2.5	Základní mapa ČR 1:200 000 .....	42
5.2.6	Mapy územních celků .....	42
5.3	Mapy malých měřítek .....	42
5.3.1	Mapa ČR 1: 500 000 .....	42
5.3.2	Mapy správního rozdělení .....	43
5.3.3	Klady listů map v měřítku 1:500 000 .....	43
5.4	Tematická státní mapová díla .....	43
5.4.1	Přehled výškové (nivelační) sítě 1: 50 000 .....	43
5.4.2	Přehled trigonometrických a zhušťovacích bodů 1: 50 000 .....	43
5.4.3	Silniční mapa ČR 1:50 000.....	44
5.4.4	Základní vodohospodářská mapa ČR 1: 50 000.....	44
5.4.5	Mapa základních sídelních jednotek ČR 1: 50 000.....	44
5.4.6	Silniční mapa krajů ČR 1: 200 000 .....	44
5.4.7	Česká státní nivelační síť I. – III. řádu 1:500 000 .....	44
5.5	Využití státních mapových děl .....	44
6	Základní pojmy z teorie měřických chyb a vyrovnávacího počtu .....	49
6.1	Rozdělení měřických chyb .....	50
6.2	Charakteristiky přesnosti .....	52
6.3	Vlastnosti náhodných chyb.....	53

6.4	Základní vztahy vyrovnávacího počtu.....	53
6.5	Vyrovňování přímých měření.....	54
6.6	Zákon o hromadění chyb.....	56
7	Základní polohové a výškové systémy na území ČR .....	58
7.1	Polohové souřadnicové systémy .....	58
7.1.1	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální.....	58
7.2	Výškové systémy .....	59
7.2.1	Jadranský výškový systém.....	60
7.2.2	Baltský výškový systém .....	60
8	Použitá literatura.....	61

# 1 Úvod

Geodézie je přírodní věda, jedna z věd o Zemi, která pomocí geometrických a fyzikálních metod získává o Zemi údaje metrického a fyzikálního charakteru. Geodézie je současně technický obor, zjišťující geometrické údaje pro tvorbu map a pro potřeby jiných oborů. Základním úkolem geodézie je určení tvaru a velikosti zemského tělesa a jeho podrobné zobrazení.

## 1.1 Základní údaje a pojmy v geodézii

Geodézie je vědecký a technický obor, jehož hlavním úkolem je měření Země a na Zemi, jakož i zpracování výsledků měření a jejich zobrazení do map a plánů, nebo naopak vytýčení projektovaných staveb v terénu.

Podle užšího zaměření na zkoumané jevy můžeme geodézii jako celek dělit na některá odvětví a specializace.

**Nižší geodézie** je základním pilířem geodézie. Je rozdělena mimo jiné na měřické metody a s tím související přístrojovou techniku, na zpracování výsledků měření, na budování polohových a výškových bodových polí, na zhotovování plánů a map velkého měřítká a na výpočet plošných obsahů a kubatur.

**Vyšší geodézie** se věnuje zejména určování rozměrů a tvaru Země a jejím náhradním plochám, budování základních geodetických sítí (polohových a výškových) a výpočtům na elipsoidu. Její součástí je astronomická a gravimetrická geodézie.

**Mapování** je spojeno se zaměřením daného území a na něm se nacházejících objektů a se zobrazením výsledků měření do map různých měřítek. Jde o měřítká velká (1:200 až 1:5000), měřítká střední (topografické mapy v měřítkách 1:10 000 až 1:200 000) a měřítká malá (menší než 1:200 000).

**Kartografie** obsahuje matematické postupy různých druhů zobrazení povrchu Země do rovinného souřadnicového systému a technické hodnoty vyhotovování map.

**Katastr nemovitostí** představuje soupis a popis nemovitostí a jejich geometrické a polohové určení. Součástí katastru je evidence vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem.

Ve smyslu uvedené klasické úlohy geodézie budeme za objekt měření považovat zemské těleso a jeho povrch se všemi přirozenými a umělými předměty na něm a za prostředí měření obecné prostředí na zemském povrchu.

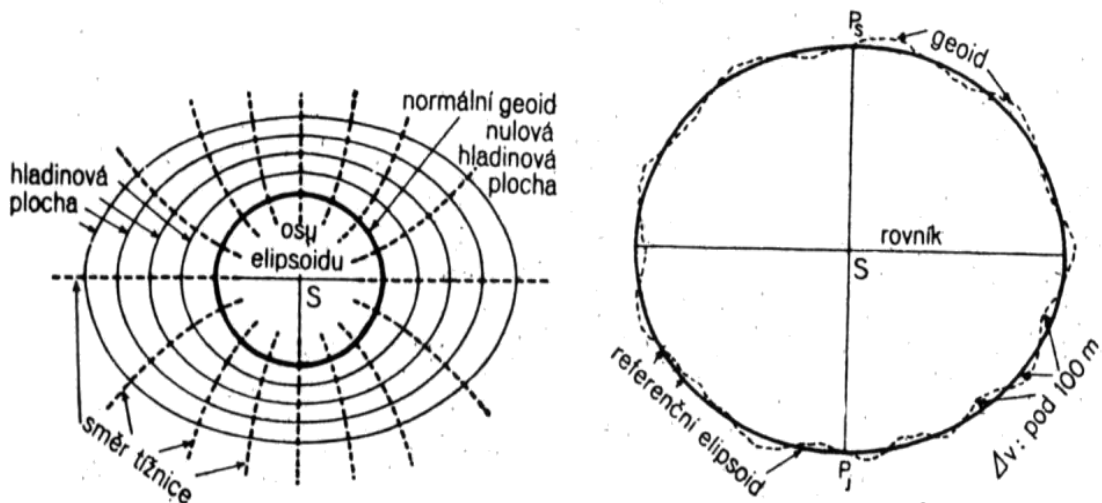
## 1.2 Tvar a rozměry Země. Referenční plochy.

Planeta Země naší sluneční soustavy je fyzikální těleso, jehož tvar je nepravidelný, protože jeho povrch charakterizuje vertikální a horizontální členitost kontinentů (nížiny, horstva), jakož i hladina moří. Hovoříme o **fyzickém (zemském) povrchu**, který je z geometrického hlediska nepravidelnou plochou a při matematickém řešení různých úloh souvisejících s měřením na zemském povrchu nevhodný. Pro tyto účely je třeba tuto plochu nahradit matematicky definovatelnými plochami.

V prvním přiblížení, při zanedbání topografického povrchu, charakterizuje zemské těleso v jeho celkovém tvaru plocha zvaná **geoid**. Tuto plochu si můžeme představit jako střední hladinu moří vzájemně propojených i pod pevninami, proto se jí také říká **nulová hladinová plocha** (obr. 1.1a).

Jelikož síla zemské tíže v důsledku nerovnoměrného rozložení a hustoty hmoty v zemské kůře je v každém bodě zemského povrchu jiná, je i hladinová plocha nepravidelná, zvlněná (obr. 1.1b).

Kromě nulové hladinové plochy můžeme každým bodem prostoru kolem Země vést myšlenou hladinovou plochu. Každá tato plocha je v kterémkoliv bodě kolmá k tížnici, tj. všude horizontální. Při měřeních, které vykonáváme na zemském povrchu, jsou tyto plochy na stanovisku měřícího přístroje realizovány vodorovným kruhem přístroje, který se do směru kolmého k tížnici urovná pomocí libely. Vertikální osa přístroje je totožná s tížnicí.



a) schéma nerovnoběžnosti hladinových ploch

b) referenční plocha s vyrovnáním nepravidelností geoidu

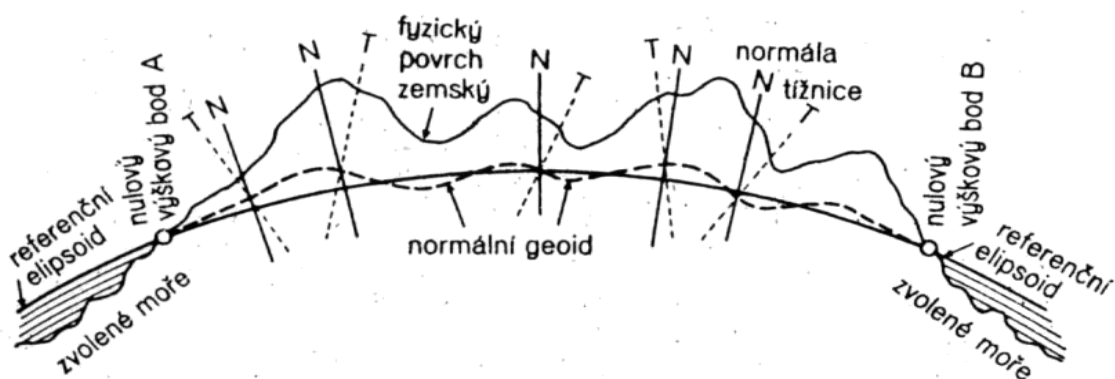
Obr. 1. 1 Základní hladinová plocha

**Geoid**, jako nulová ekvipotenciální hladinová plocha je pro řešení geodetických úloh velmi složitá a nahrazuje se jednodušší výpočetní plochou.

Takovou plochou je **sféroid**, tento tvar by Země získala působením gravitační a odstředivé síly, kdyby byla z homogenní tvárné hmoty. Bylo by to rotační těleso zploštělé na pólech. Sféroid je téměř totožný s **rotačním dvojosým elipsoidem** s vhodně zvolenými rozměry. Proto je účelné nahradit tvar zemského tělesa v druhém přiblížení rotačním elipsoidem s hlavní poloosou **a**, vedlejší poloosou **b** a zploštěním **i**.

$$i = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{300} \quad (1.1)$$

Geoid je plochou kolmou k tížnicím, zatímco referenční elipsoid je plochou kolmou k normálám. Rozdíl mezi polohami různých ploch při zemském povrchu, tížnic a normál je vyznačen schematicky a pro větší názornost silně přehnaně (obr 1.2).



Obr. 1. 2 Řez různými druhy ploch, tížnice a normály



### 1.3 Geodetické základy a souřadnicové systémy

Všechny geodetické a kartografické práce se musí navazovat na vybudované referenční systémy, které jsou jednotné na celém území ČR. Souhrnně bývají geodetické referenční systémy nazývány geodetickými základy. Dělí se na polohové, výškové a tíhové.

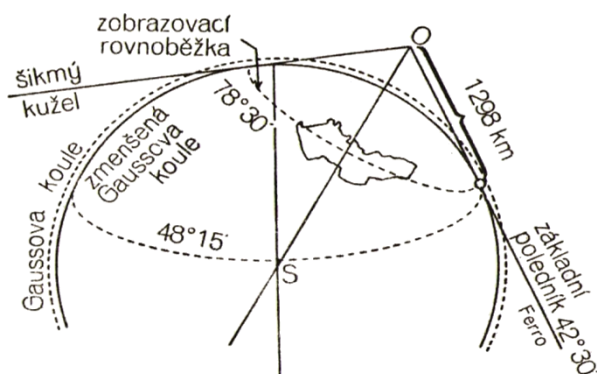
Závaznými polohovými referenčními systémy jsou v současné době světový geodetický referenční systém 1984, označovaný zkratkou **WGS 84**, evropský terestrický referenční systém **ETRS**, souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (**S-JTSK**) a souřadnicový systém 1942 (**S-42**).

Systémy WGS 84 a ETRS jsou družicové. Systém S-42 je používán v armádě. Je geodetickým základem vojenských topografických map od měřítek 1:10 000 až do 1:1 000 000.

Pro stavební práce a mapy velkého měřítka (katastrální mapy) je již od období první republiky používán S-JTSK, který byl vybudován jako národní systém pro bývalou Československou republiku. S-JTSK je charakterizován dvěma základními faktory: Křovákovým konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze a vybudovanou Jednotnou trigonometrickou sítí katastrální (JTSK).

**Česká státní trigonometrická síť (ČSTS)** dříve označovaná jako **Jednotná trigonometrická síť katastrální (JTSK)** vznikla z plošné trojúhelníkové sítě I. až V. řádu. Sousední trigonometrické body mají průměrnou vzdálenost 1,5 až 2,5 km v závislosti na hustotě osídlení, členitosti terénu a zalesnění. Všechny body jsou stabilizovány buď žulovými kameny s vytesaným křížkem a dvěma podzemními značkami nebo jsou to věže kostelů, zámků apod., zejména u bodů IV. řádu a V. řádu. Kamenné stabilizace ve volném terénu jsou opatřeny ochrannými červenobílými tyčemi.

Trigonometrická síť byla nejprve převedena na povrch referenčního Besselova elipsoidu a z něho na náhradní kouli. Z náhradní koule byla síť zobrazena na kužel. Vzhledem k protáhlosti území Československa a jeho pootočení ve směru jihovýchodním byl kužel přiložen na náhradní kouli v obecné šikmé poloze (obr. 1.3) a pak rozvinut do roviny. Kužel je velmi plochý a jeho vrchol je nad Finským zálivem. Přitom kužel protíná zobrazené území Československa na kouli ve dvou kružnicích (obr. 1.3) tak, aby délkové zkreslení  $\Delta s$  bylo minimální. Mezní hodnoty zkreslení pro délky 1 km dosahují -0,10 m až +0,14 m, což je v katastrálních mapách měř. 1:2000 menší hodnota než grafická přesnost 0,1 mm. V rozvinuté rovině kuželového zobrazení je zaveden pravotočivý souřadnicový systém  $y, x$  s počátkem ve vrcholu kužele. *Osa  $x$  byla zvolena z jihu, kladná větev osy  $y$  směřuje na západ.*

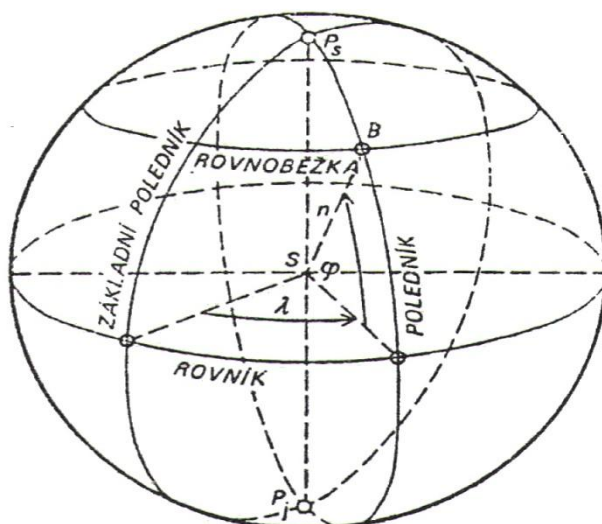


Obr. 1. 3 Schéma obecného konformního kuželového zobrazení (Křovákova)

Jednoznačné definování polohy bodu na referenčním elipsoidu, referenční kouli, ale i v rovině, vyžaduje zavedení **souřadnicových soustav**. Na elipsoidu resp. kouli se nejčastěji užívají **zeměpisné souřadnice**, tj. zeměpisná šířka a zeměpisná délka (obr. 1.4).

**Zeměpisná šířka** je úhel, který svírá normála **n** v uvažovaném bodě **B** na referenční ploše a rovina zemského rovníku. Na elipsoidu ji označujeme jako  **$\varphi$** , na kouli  **$U$** . Měříme ji od rovníku k pólům a je teda v rozsahu od  $0^\circ$  až  $90^\circ$ . Na severní polokouli je označována jako severní šířka (zkratka s.š. a je kladná), na jižní polokouli jako jižní šířka (zkratka j.š. a je záporná). Body o stejné zeměpisné šířce leží na kružnici, kterou nazýváme zeměpisná rovnoběžka. Rovnoběžka o zeměpisné šířce  $0^\circ$  se nazývá **rovník**.

**Zeměpisná délka** je úhel, který svírá rovina základního poledníku s rovinou místního poledníku. Poledník (meridián) je průsečnice roviny, procházející osou rotace referenční plochy s touto plochou a má konstantní zeměpisnou délku. Zeměpisnou délku na elipsoidu značíme  **$\lambda$** , na kouli  **$V$** . Měříme ji od základního poledníku na východ, tj. Proti pohybu hodinových ručiček kladně (zkratka v.d.), na západ tj. Po směru hodinových ručiček záporně (zkratka z.d.). Zeměpisná délka je tedy v intervalu  $0^\circ$  až  $180^\circ$ . Jako základní (nultý) poledník se užívá poledník procházející hvězdárnou v Greenwichi v Londýně (odtud též Greenwichský poledník). V dřívějších dobách se jako základní poledník užíval poledník procházející bodem na ostrově Ferro (Kanárské ostrovy), který byl ve středověku označován jako nejzazší bod starého světa. Rozdíl zeměpisných délek Greenwiche a Ferra je uváděn přibližnou hodnotou  $17^\circ 40'$ , přičemž Ferro leží západně od Greenwiche.



Obr. 1. 4 Zeměpisné souřadnice

Rozměry elipsoidu se určovaly nejdříve ze stupňových měření provedených geodetickými metodami, později k tomu přistoupily astronomická a gravimetrická měření a dnes jsou to pozorování umělých družic Země. S rostoucí velikostí a přesností pozorování byla určena řada elipsoidů, z nichž nejvýznamnější z hlediska jejich použití jako referenční plochy pro mapování jsou uvedeny v tabulce 1.1.

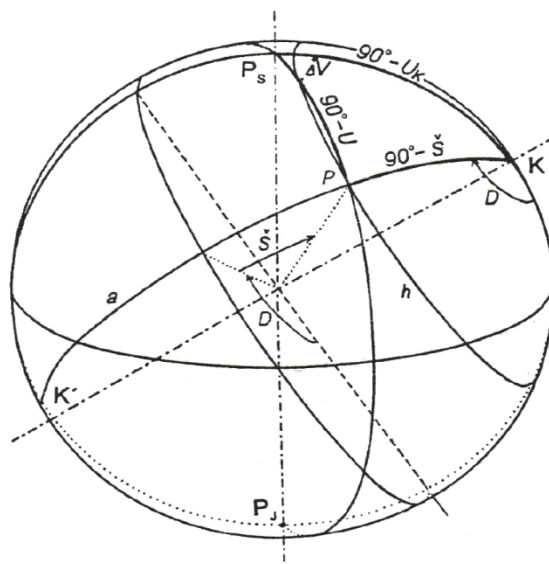
Tabulka 1.1 Nejvýznamnější elipsoidy

Název	Rok	$a$ [m]	$b$ [m]	$i$ [m]	Použití
Besselův	1841	6 377 397,155	6 359 078,963	1/299,15	S-JTSK
Hayfordův	1910	6 378388,000	6 356 911,946	1/297,00	ED87
Krasovského	1940	6 378 245,000	6 356 863,018	1/298,30	S-42
GRS 80	1980	6 378 137,000	6 356 752,314	1/298,26	NAD83
WGS 84	1984	6 378 137,000	6 356 752,314	1/298,26	GPS
GRS 80	1984	6 378 137,000	6 356 752,314	1/298,26	ETRS89

Pro mnohé účely geodézie a kartografie se elipsoid nahrazuje jednodušší sférickou plochou a to plochou **kulovou**, která je určena poloměrem. Nahrazením elipsoidu touto plochou se zjednoduší výpočty a zvolením středu a poloměru této plochy mluvíme o **referenční kouli**.

Pro malá území do průměru 20km lze jako referenční plochu použít **tečnou rovinu** ke koulí s dotykem ve středu území.

Ve speciálních případech je na kulové ploše vhodné použít místo rotační osy zemské  $P_sP_j$  jinak umístěnou osu zobrazovací plochy  $KK'$  (obr. 1.5). Souřadnicový systém takto vniklý nazýváme kartografický. Kartografické souřadnice jsou kartografická šířka  $\check{S}$  resp. kartografická délka  $D$  a jsou definovány analogicky jako zeměpisné souřadnice. Analogicky také hovoříme potom o kartografickém poledníku  $a$  a **kartografické rovnoběžce**  $h$ . Body  $K$  a  $K'$  jsou **kartografické póly** (obr. 1.5).



Obr. 1. 5 Kartografické souřadnice

## 1.4 Způsoby zobrazení

### 1.4.1 Kartografické zobrazení

Základním úkolem matematické kartografie je zobrazení povrchu referenční plochy (elipsoidu nebo koule) do roviny. Kartografickým zobrazením budeme potom nazývat vzájemné přiřazení polohy bodů na dvou různých referenčních plochách. Kartografické zobrazení je dáno matematicky vyjádřenou závislostí mezi zeměpisnými souřadnicemi na výchozí referenční ploše a souřadnicemi v obraze. Uvedený vztah definujeme zpravidla dvěma **zobrazovacími rovnicemi**. Např. při zobrazení koule do roviny budou zobrazovací rovnice v explicitním tvaru:

$$X = f(U, V); Y = g(U, V) \quad (1.2)$$

kde  $f, g$  jsou spojité, obecně na sobě nezávislé funkce. Podle nich každému bodu v originále odpovídá bod v obraze. Výjimku představují tzv. **singulární body**, což jsou zpravidla póly.

Pokud je zobrazení definované geometrickou cestou a zobrazovací rovnice jsou odvozeny pomocí perspektivní projekce (především referenční koule) na plochy rozvinutelné do roviny budeme jej označovat jako **projekci** neboli **perspektivní zobrazení**.

Podle použitých referenčních ploch rozlišujeme:

- zobrazení z elipsoidu do roviny
- zobrazení z koule do roviny
- zobrazení z elipsoidu na kouli

Posledně jmenovaný způsob užíváme v případech, kdy přímé zobrazení z elipsoidu do roviny je obtížně realizovatelné. V takových případech užíváme tzv. **dvojitě zobrazení**, kdy elipsoid nejprve zobrazíme na kouli a tu poté do roviny.

Každým kartografickým zobrazením dochází ke zkreslení některých prvků mapy. Při stanovení zobrazovacích rovnic lze však zvolit takové podmínky, aby se některé prvky mapy nezkreslovaly.

V kartografických zobrazeních, kterých používáme pro geodetické účely, uplatňujeme zpravidla požadavek, aby se nezkreslovaly naměřené úhly. Kartografická zobrazení, která splňují tuto podmínku, se nazývají zobrazení konformní (stejnouhlá).

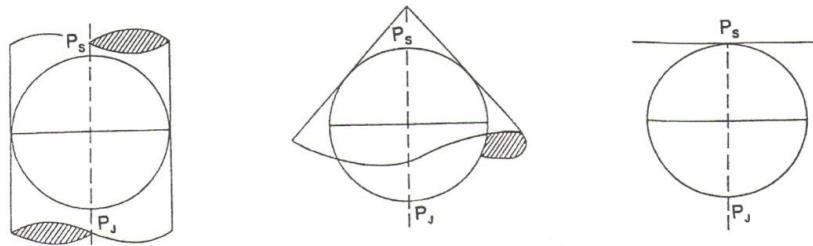
Kartografická zobrazení splňující podmínku nezkreslování délek nazýváme ekvidistantní (délkojevná).

Kartografická zobrazení nezkreslující plochy nazýváme ekvivalentní (stejnoplochá).

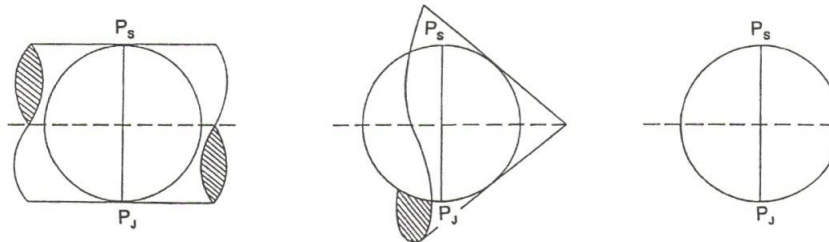
Zobrazení na rozvinutelné plochy (kuželová, válcová azimutální) máme možnost zlepšit věrnost obrazu přiřazením zobrazovací plochy danému území tak, že jí volíme:

- a) **v normální poloze** (obr. 1.6 a)
- b) **v poloze příčné** (transverzální – obr. 1.6 b)
- c) **v poloze obecné** (šikmé – obr. 1.6 c)

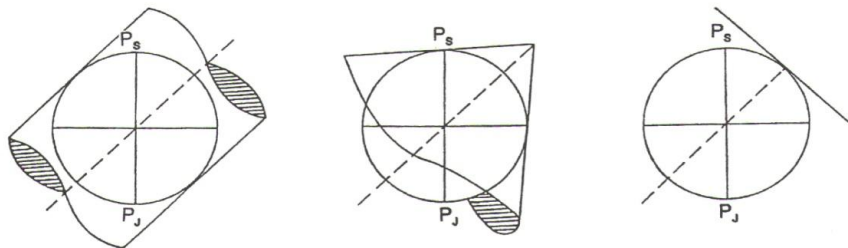
a)



b)



c)



Obr. 1. 6 a) b) c) Různé druhy kartografického zobrazení

### 1.4.2 Kótované zobrazení

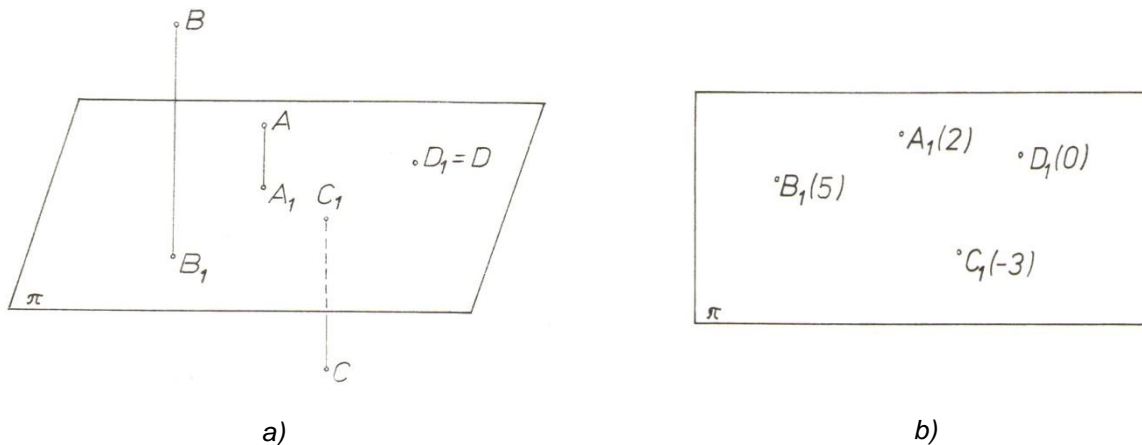
Vlastní zobrazení polohopisu a výškopisu v mapě se děje kótovaným promítáním, což je rovnoběžné pravoúhlé promítání na jednu průmětnu, v našem případě vodorovnou rovinu mapy. Bod  $\underline{A}$  v prostoru zobrazíme tak, že tímto bodem proložíme (spustíme) přímku kolmou k předmětné rovině (rovině mapy), kterou nazýváme v deskriptivní geometrii promítací přímku a její průsečík  $\underline{A}_1$  s průmětnou je obrazem (průmětem) bodu  $\underline{A}$ .

Obrazem  $\underline{A}_1$  není ovšem jeho originál  $\underline{A}$  v prostoru jednoznačně určen. Abychom dosáhli jednoznačnosti v opačném směru, uijeme tzv. **kóty**.

Orientovaná vzdálenost  $\underline{A}_1\underline{A}=\underline{Z}_A$  se nazývá kóta bodu  $\underline{A}$ . Kótu  $\underline{Z}_A$  připisujeme k průmětu  $\underline{A}_1$  do závorky; píšeme  $\underline{A}_{1(\underline{Z}_A)}$ . Pravoúhlý průmět bodu  $\underline{A}$  s kótou nazýváme kótovaný průmět bodu  $\underline{A}$ .

Kótované promítání je vzájemně jednoznačné zobrazení bodů prostoru do kótovaných průmětů v průmětně.

Podstata a princip kótovaného promítání (promítání na jednu průmětnu, která je v geodézii rovinou mapy) je zřejmý ze situace na (obr. 1.7 a, b).



Obr. 1. 7 a) b) Kótované promítání

## 1.5 Mapa, plán, mapové soubory, mapová díla

### 1.5.1 Mapa

**Mapa** je konečným výsledkem mapovacích prací. Je to rovinný obraz průmětu zemského povrchu a trvalých předmětů na něm vytvořený nejdříve jen teoreticky na jakousi průmětnu (elipsoid, kouli, rovinu) a pak zmenšený na geometricky podobný obraz do určitého vhodného měřítká a doplněny ještě v nezbytné míře dalšími potřebnými nebo užitečnými údaji.

Tato mapa poskytuje především informace o tvaru, rozsahu a vzájemném umístění zaměřovaných předmětů jen ve smyslu horizontálním o první základní složce mapového obrazu, polohopisu. Takovou základní úpravu měly mapy velkých měřítek nazývané polohopisné a patří k nim hlavně mapy katastrální.

Rozšíří-li se informace na mapě o znázornění tvarů zemského povrchu a o vzájemné vzdálenosti bodů také ve směru svislém (převýšení), krátce o výškopis, vznikají mapy výškopisné (topografické), v nichž polohopis je i nadále samozřejmou součástí.

**Topografická mapa** – zobrazuje věrně skutečný stav zemského povrchu<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> **Topografie** je nauka o vzhledu zemského povrchu a jeho zobrazení na mapě.

## 1.5.2 Plán

**Plán** je opět rovinným obrazem zemského povrchu a trvalých předmětů v něm, tentokrát na rovinnou průmětnu (při již zanedbatelném zakřivení), geometricky zmenšený do jakéhokoli měřítko a doplněny stejně jako mapa nebo ještě podrobněji. Přitom je třeba zdůraznit, že poměr zmenšení není rozhodujícím, jak se dříve uvádělo.

## 1.5.3 Mapové soubory, mapová díla

Soubor map vyhotovený a uspořádaný podle jednotné koncepce a vyjadřující informace o celém vymezeném území nebo zájmové problematice se nazývá **mapový soubor**.

V rámci souboru mají jednotlivé mapové listy jednotný značkový klíč a systém označení (např. pořadovým číslem a názvem). Mapy v souboru mají dále zpravidla stejné zobrazení, stejné měřítko. Mapové rámy však nemusí beze zbytku vyplňovat státní území, běžné jsou i překryvy i mezery (turistické mapy).

V případě **mapového díla** se předpokládá nejen jednotné měřítko, kartografické zobrazení a značkový klíč, ale především jednotná velikost mapových listů a její souvislý pokryv zájmového území. Z toho vychází i systém značení jednotlivých listů map, který v sobě zahrnuje určení sousedních listů a případně i polohy listů v rámci území.

Mapové dílo vyhotovované a udržované ve státním zájmu, tj. **Státní zeměměřičskou službou**, se nazývá **Státní mapové dílo**. Státní mapová díla vytvářejí profesní týmy geodetů, topografů a kartografů, řízených státními institucemi civilní nebo vojenské povahy.

## 1.6 Úkoly geodézie

Již v úvodu je uvedeno, že geodézie všeobecně představuje vědecký a technický obor, jehož hlavní náplní je měření Země a na Zemi, jakož i zpracování výsledků těchto měření. Základní úlohou geodézie je měření vzájemné polohy dvou bodů vůči sobě jak ve směru horizontálním, tak i vertikálním. Postupným přibíráním bodů dalších získáme představu o poloze všech bodů vůči sobě. Naměřené hodnoty po patřičném numerickém zpracování se stávají podkladovým materiálem pro tvorbu map či různé technické projekty.

Mapa, která je výsledkem práce geodetů a kartografů, uchovává minulost, zobrazuje současnost a v projektech do ní zakreslených je skryta budoucnost. Mapa je znakem vyspělosti civilizace.

Při geodetickém průzkumu **se využívá map převážně velkého, ale i středního měřítko**. Při těžbě nerostu jsou využívány, ale **i vytvářeny** převážně mapy velkých měřítek.



Zásadní význam má zde **Základní důlní mapa**, která je technickým i právním dokladem o uskutečněné hornické činnosti.

**Při průzkumných pracích** prováděných pro zjištění ložiska, jeho tvaru a velikosti zaměřujeme a následně zakreslujeme do topografických map průzkumné vrty a průzkumná díla umožňující zjistit celkový charakter ložiska, vypočítat zásoby a připravit základní dokumentaci k předání závodu provádějícímu výstavbu (viz kapitola 3,6,9)

Na tyto geodetické a mapovací práce prováděné při průzkumné činnosti navazují **práce spojené s výstavbou**, tj. přenesení (vytýčení) geometrických prvků projektu do přírody (terénu).

**Na provozních hornických závodech**, kde se již užitkový nerost dobývá (těží), geodetická měření umožňují správné projektování přípravných prací z hlediska bezpečnosti (např. stařin, které jsou obvykle nádržemi pro plyny a vodu) a z hlediska správného předvídání důlně geologických podmínek při rozdělování důlních polí na těžební úseky.

Hlavními směrnicemi pro tuto činnost, kterou nazýváme důlně měřičskou (nikoliv geodetickou, protože jde o činnost pod povrchem Země), je *Zákon o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon) č 44/88 Sb. a vyhláška č. 435/1992 Sb. Českého báňského úřadu o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem.*

### Otázky:

1. Co je to geodézie a jaký je její základní úkol?
2. Jaký je rozdíl mezi nižší a vyšší geodézií?
3. Co je to geoid a jaké jsou jeho vlastnosti?
4. Co je to referenční plocha?
5. Jaký je rozdíl mezi Českou státní trigonometrickou sítí (ČSTS) a Jednotnou trigonometrickou sítí katastrální (JTSK)?
6. Co jsou to zeměpisné a kartografické souřadnice?
7. Co je to kartografie a kartografické zobrazení? Jaké druhy znáte?
8. Princip a význam kótovaného promítání.
9. Vysvětlete pojem mapa, plán, mapový soubor a mapové dílo.

## 2 Základní měrové jednotky

Úhly, respektive směry, společně s délkami jsou základními geometrickými prvky, které určují prostorovou polohu bodu v plošné (použité) souřadnicové soustavě. Všechny dnes používané jednotky jsou buď přímo základními jednotkami mezinárodní soustavy jednotek SI a jejich násobky nebo díly jsou jednotkami doplňkovými, které byly doporučeny k trvalému užívání. Kromě nich jsou v soustavě SI trvale povoleny vedlejší jednotky důležité pro technickou praxi.

Doporučené je používat násobky  $10^3$  základní jednotky. V geodézii, jak je uvedeno v tab. 2.1 to jsou i násobky  $10^{-3}$ .

Tabulka 2.1 Předpony násobků a dílů jednotek SI tvořené násobkem  $10^3$  a  $10^{-3}$

<b>Předpona</b>	<b>Značka</b>	<b><math>10^n</math></b>	<b>Násobek</b>
<b><i>giga</i></b>	<i>G</i>	$10^9$	1 000 000 000
<b><i>mega</i></b>	<i>M</i>	$10^6$	1 000 000
<b><i>kilo</i></b>	<i>k</i>	$10^3$	1 000
<b><i>mili</i></b>	<i>m</i>	$10^{-3}$	0,001
<b><i>mikro</i></b>	$\mu$	$10^{-6}$	0,000 001
<b><i>nano</i></b>	$\eta$	$10^{-9}$	0,000 000 001

### 2.1 Základní délková jednotka

Základní délkovou jednotkou je **metr (m)**. Jeho délka byla v různých dobách různě definována. V současné době je definován délkou dráhy, kterou urazí světelný signál za  $\frac{1}{299\,792\,458}$  s.

V geodézii jsou nejčastěji používány jeho násobky  $10^3$  = kilometr (km) a  $10^{-3}$  = milimetr (mm). Doporučenou jednotkou je i centimetr (cm), což je  $10^{-2}$  násobek základní jednotky.

V zemích bývalého Rakouska – Uherska (naše území bylo jeho součástí) se před zavedením numerické soustavy používala sáhová soustava. S těmito jednotkami se můžeme setkat na mapách tzv. **stabilního katastru**, které dosud pokrývají 2/3 našeho státního území (rakouská míle = 400° (sáhů), 1° = 6′(stop) = 72′′(palců) = 1,896484 m).

## 2.2 Základní úhlová jednotka

Základní úhlovou jednotkou v soustavě SI je **radián (rad)** a doporučené díly jsou 1 miliradián (mrad = 0,001 rad) a 1 μrad ( μrad = 0,001 mrad = 0,000001 rad). Jeden radián odpovídá úhlu, který svírají dva poloměry vymezující délku oblouku kružnice shodnou s jejím poloměrem. Pak celé kružnici odpovídá počet radiánů, tj. zaokrouhleně 6,283185307 rad.

K trvale platným vedlejším úhlovým jednotkám patří úhly používané v geodézii. Je to tzv. **setinné** (centezimální) a **šedesátinné** (sexagezimální) dělení.

Setinné dělení je odvozeno z plného kruhu rozděleného na 400 stejných dílů. Jednomu dílu odpovídá 1 grad (g), pod kterým se ze středu kruhu jeví oblouk 1/400 kružnice. Pak pravý úhel je roven 100<sup>g</sup> a přímý úhel 200<sup>g</sup>. Jeden grad se dělí na 100 grádových minut (c) a 1 minuta na 100 grádových vteřin (cc), takže platí:

$$1^g = 100^c = 10000^{cc}, 1^c = 100^{cc}, 1^{cc} = 0,01^c = 0,0001^g, 1^c = 0,01^g.$$

V posledních letech se upouští od názvu grad a označení (g) a používá se nového názvu „gon“. Setinné dělení je výhodné pro praktické výpočty, protože jakákoliv úhlová míra se vyjadřuje v gonech. Např. 147,245 gon, 0,007 gon, 1 mgon = 10<sup>cc</sup>.

Druhou základní vedlejší jednotkou je jeden stupeň (°), který vznikne rozdělením kruhu na 360 dílů, tedy 360<sup>°</sup>. Jednomu stupni (1<sup>°</sup>) tedy odpovídá úhel, pod kterým vidíme ze středu kruhu 1/360 kružnice. Jeden stupeň se dělí na 60 šedesátinných minut (′) a jedna minuta na šedesát úhlových vteřin (′′). Bude tedy:

$$1^{\circ} = 60' = 3600'', 1' = 60'', 1'' = \frac{1'}{60} = \frac{1^{\circ}}{3600}, 1' = \frac{1^{\circ}}{60}$$

**Šedesátinné dělení** bylo povoleno jako úhlová jednotka proto, že **odpovídá šedesátinnému dělení zeměpisných souřadnic**.

Důležitá je v úhlových mírách znalost převodu vedlejších jednotek na radiány. Převodní koeficient se označuje **ρ** a je vyjádřen vztahy:

$$\rho^0 = \frac{180^0}{\pi} = 57,29578^0$$

$$\rho^g = \frac{200^g}{\pi} = 63,6620^g$$

$$\rho' = \frac{60 \cdot 180^0}{\pi} = 3438'$$

$$\rho^c = \frac{2 \cdot 10^{4c}}{\pi} = 6366,20^c$$

$$\rho'' = \frac{60 \cdot 60 \cdot 180^0}{\pi} = 206265''$$

$$\rho^{cc} = \frac{2 \cdot 10^{6cc}}{\pi} = 636620^{cc}$$

Pro lepší pochopení významu úhlových jednotek je vhodné uvést délku oblouku kružnice o poloměru  $r = 100\text{m}$ , odpovídající různým úhlovým jednotkám:

$$1 \text{ rad} \rightarrow 100 \text{ m}$$

$$1^0 \rightarrow 1,7453 \text{ m}$$

$$1 \text{ gon} \rightarrow 1,5708 \text{ m}$$

$$1 \text{ mrad} \rightarrow 0,1 \text{ m}$$

$$1' \rightarrow 29,1 \text{ mm}$$

$$1 \text{ mgon} \rightarrow 1,5708 \text{ mm}$$

$$1 \text{ } \mu\text{rad} \rightarrow 0,0001 \text{ m} = 0,1 \text{ mm}$$

$$1'' \rightarrow 0,485 \text{ mm}$$

Pro převod úhlových hodnot z šedesátinné do setinné soustavy nebo naopak vycházíme ze základních vztahů:

$$90^0 = 100^g, 5400' = 10\,000^c, 324\,000'' = 1\,000\,000^{cc}$$

### 2.3 Základní jednotka plošného obsahu

Základní jednotkou plošného obsahu je  $1 \text{ m}^2$ . Hlavní násobky a díly jsou  $1 \text{ km}^2 = 1 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  a  $1 \text{ mm}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ . Doporučené je používání jednotek  $1 \text{ dm}^2$ ,  $1 \text{ cm}^2$ . Dále je dovolená i jednotka hektar ( $1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$ ). Dříve se v geodézii v plošných výměřích pozemků používala i jednotka ar ( $1 \text{ a} = 10^2 \text{ m}^2$ ).

### 2.4 Základní jednotka objemu

Základní jednotkou objemu je  $1 \text{ m}^3$ . Trvale povolenou vedlejší jednotkou objemu je 1 litr (l).  $1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$ .

#### Otázky:

1. Definujte základní délkovou jednotku v SI a její předpony pro násobky a díly.
2. Co je to radián?
3. Jmenujte vedlejší jednotky pro velikost úhlů.
4. Odvoďte vztahy pro převod šedesátinného dělení úhlů na setinné a naopak.
5. Co je základní jednotkou plošného obsahu a objemu? Jaké jsou doporučené jednotky?

### 3 Souřadnicové výpočty

Pro stanovení polohy bodu v rovině používáme v geodézii pravoúhlých souřadnic podobně jako v matematice či deskriptivní geometrii. Je však třeba připomenout, že souřadnicové osy volíme v geodézii podle této zásady:

*Osa +y vznikne stočením osy +x o  $90^0$  ve směru pohybu hodinových ručiček.*

Porovnáme-li to se souřadnicovými osami, které používáme v matematice, lze konstatovat, že *orientace souřadnicových os je v geodézii opačná*. Je to však v souladu se způsobem měření vodorovných úhlů.

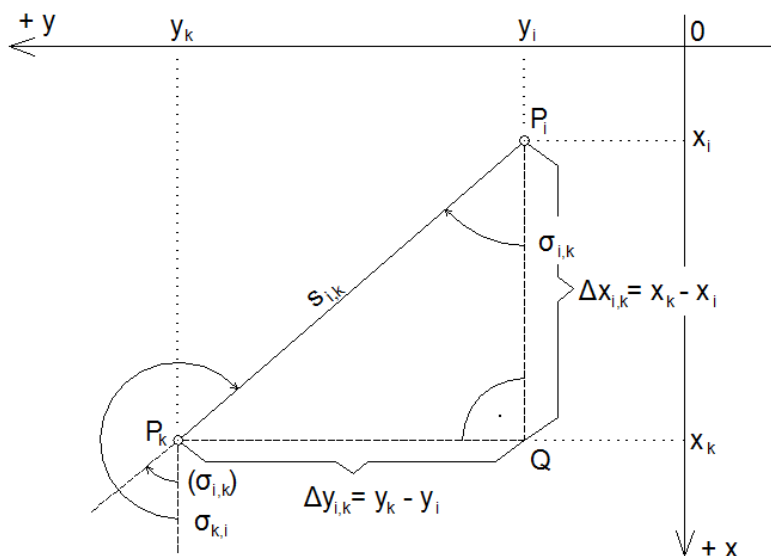
Osa +x směřuje buď k jihu a osa +y k západu, nebo osa +x směřuje k severu a osa +y k východu. V pomocných výpočtech může mít osa +x i jinou polohu. Osu +y pak musíme zvolit podle zásady o orientaci souřadnicových os. *U S-JTSK kladná větev osy +x směřuje vždy k jihu (obr 3.1).*

#### 3.1 Základní souřadnicové úlohy v S-JTSK

Důležitou součástí geodézie je geodetické počtářství, které se zabývá číselným vyhodnocováním naměřených hodnot.

Souřadnicová soustava se skládá z osy **x** a **y**, které jsou navzájem kolmé a protínají se v počátku 0, který každou z nich rozděluje na kladnou a zápornou větev. Kladná větev osy **x** je orientací souřadnicové soustavy a její poloha může být volena libovolně, pokud měřické práce nemají být vztaheny k určité platné soustavě. Kladná větev osy **y** je vždy otočená od kladné větve osy **x** o  $90^0$  ve směru pohybu hodinových ručiček. Polohu jednotlivých bodů určíme jako průsečíky rovnoběžek s osou **x** a **y**.

Polohu (směr) strany vyjadřujeme **směrníkem** **σ**. *Je to úhel, který svírá strana s kladnou větví osy **x** a měříme jej vždy od rovnoběžky s touto větví osy ve směru pohybu hodinových ručiček.* Polohu každé strany můžeme vyjádřit dvěma směrníky **σ**<sub>i, k</sub> a **σ**<sub>k, i</sub>, které se od sebe liší o  $180^0$  nebo  $200^0$ .



Obr. 3.1 Směrník, strany, souřadnicový rozdíl bodů

Pro jednotné řešení úloh je nejprve nutno uvést jednotnou používanou symboliku, kterou pochopíme z (obr. 3.1). Dva body  $\underline{P}_i$ ,  $\underline{P}_k$  jsou dány souřadnicemi  $(\underline{x}_i, \underline{y}_i)$  a  $(\underline{x}_k, \underline{y}_k)$ . Jejich spojnice označujeme jako stranu  $\underline{s}_{i,k}$ . Vedeme-li bodem  $\underline{P}_i$  rovnoběžku s kladnou větví osy  $\underline{x}$ , pak s ní strana  $\underline{s}_{i,k}$  svírá úhel, který označujeme jako směrník  $\underline{\sigma}_{i,k}$ . Ve druhém bodě  $\underline{P}_k$  obdržíme podobně druhý směrník  $\underline{\sigma}_{k,i}$ , který se liší, jak již bylo uvedeno, od prvního o  $180^\circ$ . Každá strana má tedy dva směrníky, pro něž platí rovnice:

$$\sigma_{i,k} = \sigma_{k,i} \pm 180^\circ \quad (3.1)$$

Pro výpočet směrníku nebo souřadnic používáme **souřadnicové rozdíly  $\underline{\Delta y}$  a  $\underline{\Delta x}$**  vytvořené pomocí rovnoběžek s osu  $\underline{x}$  a  $\underline{y}$  vedených body  $\underline{P}_i$  a  $\underline{P}_k$ . Pro stranu  $\underline{s}_{i,k}$  a směrník  $\underline{\sigma}_{i,k}$  bereme pro výpočet  $\underline{\Delta y}_{i,k}$  a  $\underline{\Delta x}_{i,k}$ , pro které zásadně platí, že:

$$\underline{\Delta x}_{i,k} = x_k - x_i \quad \underline{\Delta y}_{i,k} = y_k - y_i \quad (3.2)$$

Podobně platí:

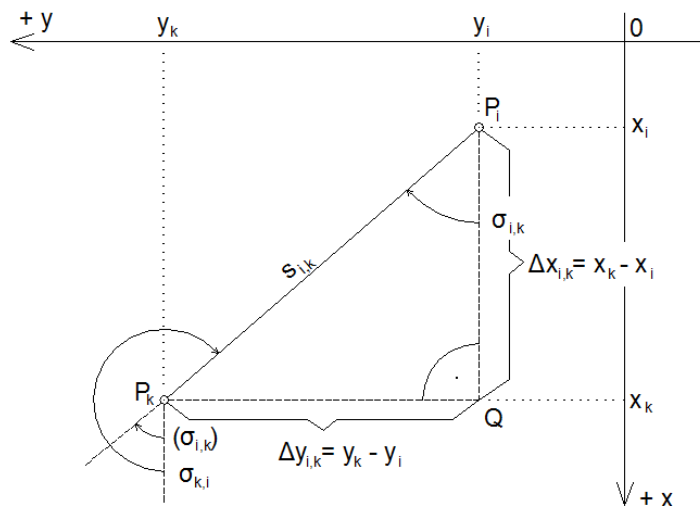
$$\underline{\Delta x}_{k,i} = x_i - x_k \quad \underline{\Delta y}_{k,i} = y_i - y_k \quad (3.3)$$

*Tento postup při výpočtu souřadnicových rozdílů musíme důsledně dodržovat, abychom obdrželi správná znaménka souřadnicových rozdílů a tím i znaménka goniometrických funkcí a velikost úhlů.*

Další řešení provádíme pomocí dvou základních úloh.

### 3.1.1 Základní (souřadnicová) úloha 1

Jedná se o převod pravoúhlých souřadnic na polární. Výpočet směrniku  $\underline{\sigma}_{i,k}$  a délky strany  $\underline{s}_{i,k}$  z daných pravoúhlých souřadnic bodů  $\underline{P}_i$  a  $\underline{P}_k$  (obr. 3.2).



Obr. 3.2 První souřadnicová úloha

Dáno:  $P_i(x_i, y_i)$

$P_k(x_k, y_k)$

Vypočítat:  $\sigma_{i,k}$ ,  $\sigma_{k,i}$ ,

$s_{i,k}$

Výpočet směrniku strany  $\underline{\sigma}_{i,k}$  provedeme ze vztahu:

$$\operatorname{tg} \sigma_{ik} = \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}} = \frac{y_k - y_i}{x_k - x_i} \quad (3.4)$$

$$\sigma_{ik} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}} \quad (3.5)$$

Druhý směrnik strany  $\sigma_{k,i} = \sigma_{i,k} \pm 180^\circ$ .

Poznámka : Doporučuje se kontrolovat číselné hodnoty směrniků vypočítaných podle uvedených vztahů tzv.  $45^\circ$  (resp.  $50^\circ$ ) zkouškou pomocí tangenty úhlu  $(\sigma_{i,k} + 45^\circ)$ :

$$\operatorname{tg} (\sigma_{ik} + 45^\circ) = \frac{\operatorname{tg} \sigma_{ik} + \operatorname{tg} 45^\circ}{1 - \operatorname{tg} \sigma_{ik} \cdot \operatorname{tg} 45^\circ} = \frac{1 + \operatorname{tg} \sigma_{ik}}{1 - \operatorname{tg} \sigma_{ik}} \quad \text{protože platí } \operatorname{tg} 45^\circ = 1.$$

Dosazením do již „upraveného“ vzorce za  $\operatorname{tg} \sigma_{ik} = \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}} = \frac{y_k - y_i}{x_k - x_i}$  dostaneme

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\sigma_{ik} + 45^\circ) &= \frac{1 + \frac{y_k - y_i}{x_k - x_i}}{1 - \frac{y_k - y_i}{x_k - x_i}} = \frac{(x_k - x_i) + (y_k - y_i)}{(x_k - x_i) - (y_k - y_i)} = \frac{(x_k - x_i) + (y_k - y_i)}{(x_k - x_i) - (y_k - y_i)} \\ &= \frac{\Delta x_{ik} + \Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik} - \Delta y_{ik}} \end{aligned}$$

Abychom současně zkontrolovali i správnost výpočtu souřadnicových rozdílů, posledně uvedený vzorec upravíme na konečný tvar :

$$\operatorname{tg}(\sigma_{ik} + 45^\circ) = \frac{(x_k - y_k) + (x_i - y_i)}{(x_k - y_k) - (x_i - y_i)} \quad (3.6)$$

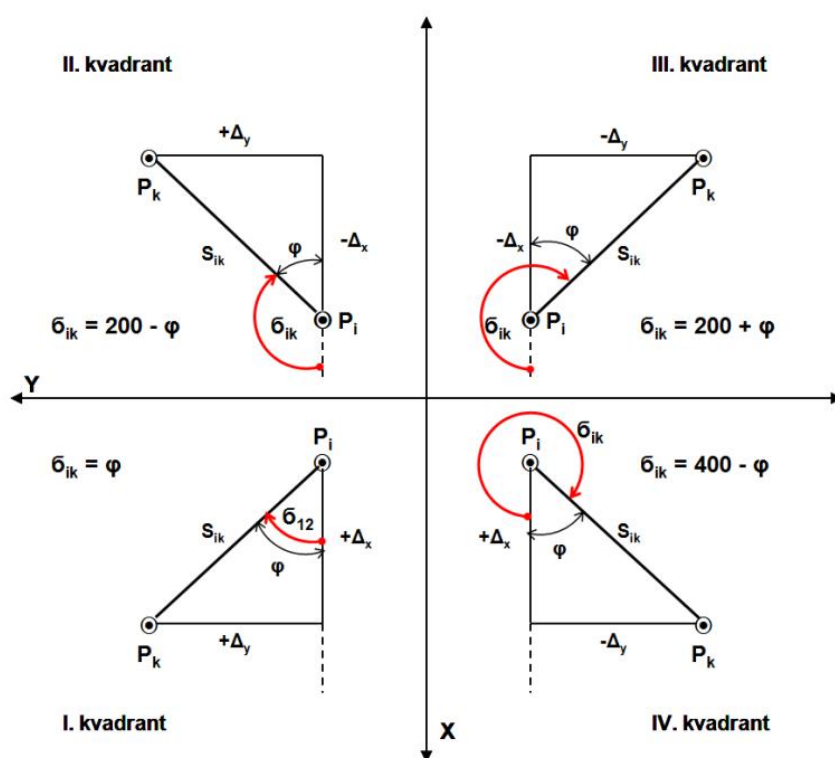
Po ověření správnosti výpočtu směrníku  $\underline{\sigma}_{i, k}$  ho použijeme k výpočtu strany  $\underline{s}_{i, k}$  dvojitým výpočtem:

$$s_{i,k} = \frac{\Delta y_{ik}}{\sin \sigma_{ik}} = \frac{\Delta x_{ik}}{\cos \sigma_{ik}} \quad (3.7)$$

Délku  $\underline{s}_{i, k}$  můžeme počítat i bez znalosti směrníku  $\underline{\sigma}_{i, k}$  (z Pythagorovy věty):

$$s_{i,k} = \sqrt{\Delta y_{ik}^2 + \Delta x_{ik}^2} \quad (3.8)$$

Vztah (3.5) platí obecně. Neleží-li však směrník  $\underline{\sigma}_{i, k}$  v prvním úhlovém kvadrantu, pak z uvedeného vztahu ve skutečnosti počítáme pomocné úhly  $\varphi$ /II,  $\varphi$ /III,  $\varphi$ /IV, ze kterých pak počítáme vlastní směrníky  $\underline{\sigma}_{i, k}$  ze vztahů (obr. 3.3):



Obr. 3. 3 Vztahy mezi tangentovými úhly a směrníky podle kvadrantů



v I. kvadrantu  $\sigma_{i,k} = \varphi/I$

v II. kvadrantu  $\sigma_{i,k} = 180^\circ - \varphi/II$

v III. kvadrantu  $\sigma_{i,k} = 180^\circ + \varphi/III$

v IV. kvadrantu  $\sigma_{i,k} = 360^\circ - \varphi/IV$

O způsobu rozlišení kvadrantu, ve kterém směrník leží, rozhoduje znaménko souřadnicového rozdílu  $\Delta y_{i,k}$  a  $\Delta x_{i,k}$  (odpovídající znaménkům funkcí  $\sin \sigma_{i,k}$  a  $\cos \sigma_{i,k}$ ).

Znaménka souřadnicových rozdílů v jednotlivých kvadrantech udává následující tabulka 3.1:

Tabulka 3.1 Znaménka souřadnicových rozdílů

	Kvadrant			
	I.	II.	III.	IV.
$\operatorname{tg} \sigma_{ik} = \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}} = \frac{\sin \sigma_{ik}}{\cos \sigma_{ik}}$	+	+	-	-
	+	-	-	+

### 3.1.2 Základní (souřadnicová) úloha 2

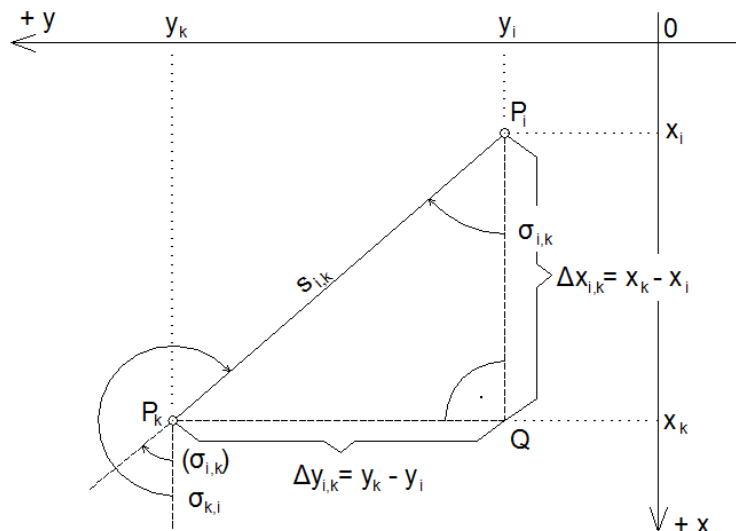
Jedná se o převod polárních souřadnic na pravoúhlé. Výpočet souřadnic bodů  $P_k$  ze známé souřadnice bodu  $P_i$ , délky strany  $s_{i,k}$  a směrniku  $\sigma_{i,k}$  (obr. 3.4).

Dáno:  $P_i(x_i, y_i)$

$s_{i,k}$

$\sigma_{i,k}$

Vypočítat:  $P_k(x_k, y_k)$



Obr. 3.4 Druhá souřadnicová úloha

Z (obr. 3.4) plyne, že pro souřadnice neznámého bodu  $P_k$  platí:

$$y_k = y_i + \Delta y_{i,k} \quad (3.9a)$$

$$x_k = x_i + \Delta x_{i,k} \quad (3.9b)$$

kde z pravoúhlého trojúhelníka vypočteme souřadnicové rozdíly:

$$y_{i,k} = s_{i,k} \cdot \sin \sigma_{i,k} \quad (3.10a)$$

$$x_{i,k} = s_{i,k} \cdot \cos \sigma_{i,k} \quad (3.10b)$$

pak platí:

$$y_k = y_i + s_{i,k} \cdot \sin \sigma_{i,k} \quad (3.11a)$$

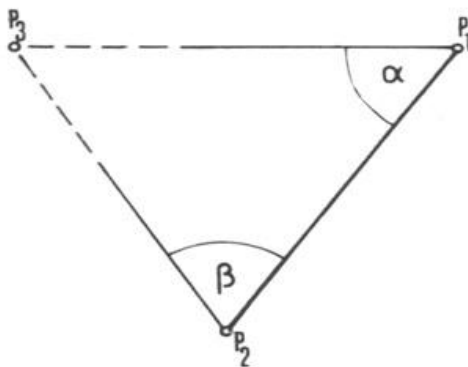
$$x_k = x_i + s_{i,k} \cdot \cos \sigma_{i,k} \quad (3.11b)$$

všechny rovnice mají obecnou platnost. Nutno však brát ohled na algebraická znaménka hodnot na pravé straně rovnice, tj. souřadnic  $y_i$ ,  $x_i$  a funkcí  $\sin \sigma_{i,k}$  a  $\cos \sigma_{i,k}$ .

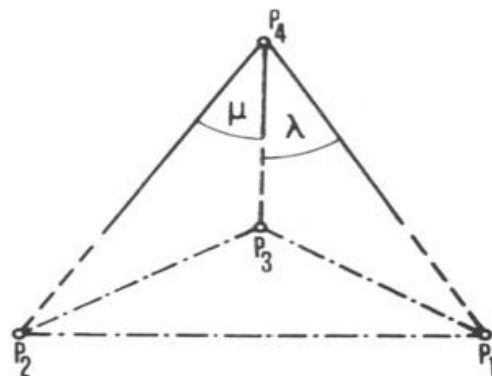
### 3.2 Určování polohy bodů protínáním

Trigonometrická síť jako základní kostra pro podrobné mapování často nestačí. Proto se souřadnice dalších bodů určují protínáním. Název úloh byl odvozen od grafického řešení protínáním paprsků určujících polohu bodu.

Jestliže ze dvou daných bodů určujeme bod třetí, jde o jednoduché **protínání vpřed** (obr. 3.5), zaměřujeme-li potřebné dva úhly na hledaném bodě, jde o jednoduché protínání zpět (úloha Pothenotova, Snelliova) – (obr. 3.6).



Obr. 3.5 Protínání vpřed z úhlů



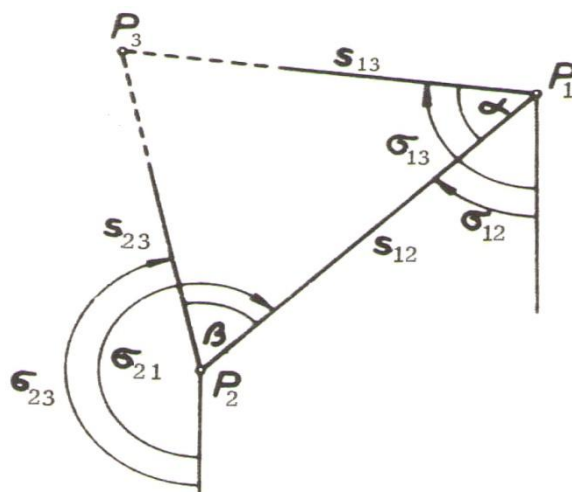
Obr. 3.6 Protínání zpět

Podle měřených určujících prvků označujeme protínání z úhlů, z délek nebo kombinované. Je-li úloha určena jednoznačně, jde o protínání jednoduché, při nadbytečných pozorováních jde o protínání složité. V dalším bude věnována pozornost pouze jednoduchému protínání obecným odvozením postupu řešení úlohy protínání vpřed z úhlů, která se v praxi často vyskytuje.

### 3.2.1 Protínání vpřed z úhlů

Užíváme ho pro určení polohy bodu  $P_3$ , známe-li souřadnice bodu  $P_1$  a  $P_2$ , na nichž můžeme měřit úhly  $\alpha$  a  $\beta$  – (obr. 3.7).

Dáno:	$P_1 (x_1, y_1)$
	$P_2 (x_2, y_2)$
Měřeno:	$\alpha, \beta$
Vypočítat:	$P_3 (x_3, y_3)$



Obr 3.7 Protínání vpřed – postup řešení

#### Řešení:

a) určíme nejprve směrník  $\sigma_{1,2}$  (s  $45^\circ$  kontrolou) a stranu  $s_{1,2}$  ze vzorců (3.5), (3.6) a (3.7) a úhel  $\gamma$ .

$$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta) \quad (3.12)$$

b) určíme směrníky stran  $\sigma_{1,3}$ ,  $\sigma_{2,3}$ . Z obr. (3.7) platí, že:

$$\sigma_{1,3} = \sigma_{1,2} + \alpha \quad (3.13)$$

$$\sigma_{2,3} = \sigma_{1,2} - \beta \quad (3.14)$$

a délky stran  $s_{1,3}$  a  $s_{2,3}$

$$s_{1,3} = \frac{s_{1,2}}{\sin\gamma} \cdot \sin\beta = \frac{s_{1,2}}{\sin(\alpha+\beta)} \cdot \sin\beta \quad (3.15)$$

$$s_{2,3} = \frac{s_{1,2}}{\sin\gamma} \cdot \sin\alpha = \frac{s_{1,2}}{\sin(\alpha+\beta)} \cdot \sin\alpha \quad (3.16)$$

c) vypočteme číselné hodnoty souřadnicových rozdílů mezi body  $P_1$  a  $P_3$

$$\Delta y_{1,3} = s_{1,3} \cdot \sin\sigma_{1,3} \quad (3.17)$$

$$\Delta x_{1,3} = s_{1,3} \cdot \cos\sigma_{1,3} \quad (3.18)$$

a body  $P_2$  a  $P_3$ :

$$\Delta y_{2,3} = s_{2,3} \cdot \sin\sigma_{2,3} \quad (3.19)$$

$$\Delta x_{2,3} = s_{2,3} \cdot \cos\sigma_{2,3} \quad (3.20)$$

d) vypočteme souřadnice bodu  $P_3$  z obou známých bodů a příslušných souřadnicových rozdílů. Zásadně provádíme výpočet neznámého bodu  $P_3$  dvakrát z důvodu kontroly správnosti výpočtu:

$$y_3 = y_1 + \Delta y_{1,3} \quad (3.21)$$

$$x_3 = x_1 + \Delta x_{1,3} \quad (3.22)$$

$$y_3 = y_2 + \Delta y_{2,3} \quad (3.23)$$

$$x_3 = x_2 + \Delta x_{2,3} \quad (3.24)$$

Výsledky se smí lišit jen v mezích chyb ze zaokrouhlování goniometrických funkcí.

Při řešení složitějších obrazců např. čtyřúhelníků převádíme tyto úlohy na několikanásobné řešení protínání vpřed, které již počítáme popsáním způsobem. Ze širšího hlediska jde tedy opět o základní úlohu, na kterou se rozpadají složitější obrazce než trojúhelník.

### 3.3 Určování polohy bodů polygonometricky

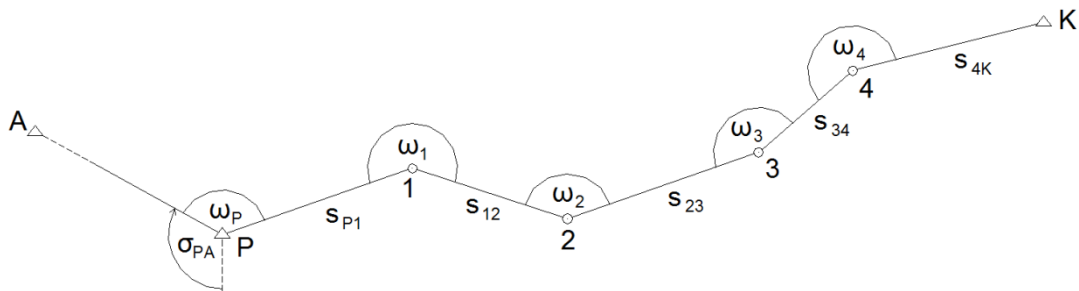
#### 3.3.1 Obecné zásady při měření a výpočtu

Tento způsob určování polohy bodů (souřadnic  $x$  a  $y$ ) je dalším a častým způsobem určování polohy bodů v geodézii. Při těžbě nerostů hlubinným způsobem v podzemních dílech je to prakticky jediné možné řešení.

Základem polygonálního měření je postupné určování poloh bodů na základě známé polohy bodu, měřené vzdálenosti a směrníku k bodu hledanému. Polygonometrické určování polohy bodů spočívá v zásadě na opakující se druhé souřadnicové úloze – (obr. 3.4).

### 3.3.1.1 Postup měření

**Měření navazuje na orientační přímkou AP** – (obr. 3.8). Naměřené **hlavní polygonové úhly** (jsou po levé straně polygonového pořadu ve směru postupu) jsou vyznačeny na obrázku 3.8.



Obr. 3.8 Polygonový pořad

### 3.3.1.2 Postup výpočtu

Nejprve spočítáme směrník strany  $\sigma_{AP}$  a pro kontrolu i délku strany  $s_{AP}$ . Směrníku  $\sigma_{PA}$  odpovídá hodnota  $\sigma_{PA} = \sigma_{AP} \pm 180^0$ , ze kterého vypočítáme směrník  $\sigma_{P1}$  z rovnice:

$$\sigma_{P1} = \sigma_{PA} + \omega_P = \sigma_{AP} + \omega_P \pm 180^0 \quad (3.25)$$

Z vypočteného směrníku zjistíme souřadnicové rozdíly a z nich souřadnice x a y.

$$\Delta y_{P1} = s_{P1} \cdot \sin \sigma_{P1} \quad (3.26)$$

$$\Delta x_{P1} = s_{P1} \cdot \cos \sigma_{P1} \quad (3.27)$$

$$y_1 = y_P + \Delta y_{P1} \quad (3.28)$$

$$x_1 = x_P + \Delta x_{P1} \quad (3.29)$$

Souřadnice dalších bodů vypočteme stejným způsobem. Vypočítané souřadnice bodů slouží jako podklad pro výpočet dalších. V polygonálních výpočtech však nepočítáme souřadnice každého bodu zvlášť. Nejdříve určíme všechny směrníky. Jako pro výpočet  $\sigma_{P1}$  platí pro libovolný bod  $i$ , že směrník strany následující  $\sigma_{i+1}$  se určí ze směrníku strany předcházející a hlavního polygonového úhlu  $\omega_i$  z rovnice:

$$\sigma_{i,i+1} = \sigma_{i,i-1} + \omega_i \pm 180^0 \quad (3.30)$$

K použití znaménka +, - u hodnoty  $180^0$ :

Obecně lze říci, že pro

$\sigma_{i-1,i} + \omega_i < 180^\circ$  se  $180^\circ$  přičítá, pro

$\sigma_{i-1,i} + \omega_i > 180^\circ$  se  $180^\circ$  odečítá.

Po výpočtu všech směrniců a jejich kontrole určíme postupně všechny souřadnicové rozdíly podle rovnic (3.31) a (3.32).

$$\Delta y_{i,i+1} = s_{i,i+1} \cdot \sin \sigma_{i,i+1} \quad (3.31)$$

$$\Delta x_{i,i+1} = s_{i,i+1} \cdot \cos \sigma_{i,i+1} \quad (3.32)$$

a nakonec souřadnice z rovnic:

$$y_{i,i+1} = y_i + \Delta y_{i,i+1} \quad (3.33)$$

$$x_{i,i+1} = x_i + \Delta x_{i,i+1} \quad (3.34)$$

### 3.3.1.3 Kontrola výpočtu

Postup výpočtu je jednoduchý, výpočet však obsahuje řadu čísel, jejichž počet zejména u dlouholetého pořadu je velký, takže může vést v průběhu výpočtu k chybám. Proto zařazujeme do postupu kontrolní výpočty:

- kontrola na směrnic poslední strany (nebo libovolné strany)

$$\sigma_{n-1,n} = \sigma_{AP} + [\omega]_P^{n-1} - k \cdot 180^\circ \quad (3.35)$$

- kontrola na souřadnice posledního bodu (nebo libovolného bodu)

$$x_n = x_P + s \cdot \cos \sigma_{P,1}^{n-1,n} \quad (3.36a)$$

$$y_n = y_P + s \cdot \sin \sigma_{P,1}^{n-1,n} \quad (3.36b)$$

- pro kontrolu jednotlivých souřadnicových rozdílů  $\Delta x$  a  $\Delta y$  platí, že  $s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$ ,
- existují ještě další možnosti **pro kontrolu výpočtu** souřadnicových rozdílů. Jednou z nich je provedení opakovaného výpočtu nejlépe jiným počtářem.

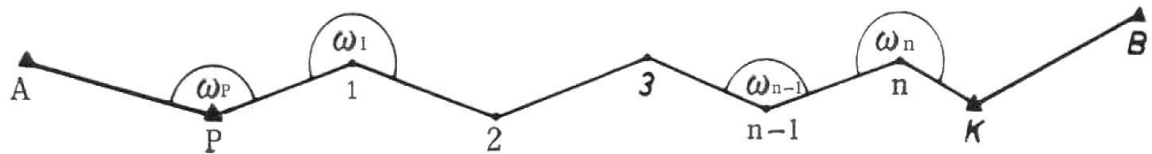
### 3.3.2 Druhy polygonových pořadů

Otevřený polygonový pořad je nejčastějším polygonovým pořadem v důlním měřictví. U takového pořadu není kontrola na správnost určení polohy koncového bodu ani směrnici poslední polygonové strany a proto se pořad musí měřit dvakrát a do výpočtu souřadnic se vezmou průměrné hodnoty délek a úhlů z obou měření, pokud se neliší více než je stanoveno dovolenými předpisy. Pro tento uvedený pořad je charakteristické jeho

připojení na pevnou přímku a ukončení na bodě o neznámých souřadnicích. Podle uvedených charakteristik ho nazýváme „orientovaný počáteční stranou“ nebo „otevřený“.

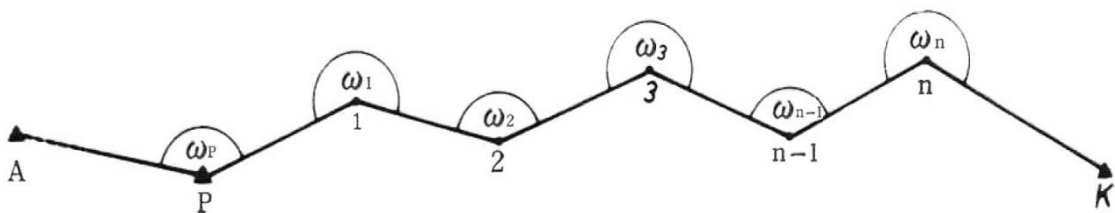
Končí-li měřený polygonový pořad na pevných bodech, na nichž máme možnost kontroly, podle orientace rozeznáváme tyto druhy polygonových pořadů:

- **polygonový pořad oboustranně orientovaný** (oboustranně vetknutý), který začíná na známé straně  $\underline{s}_{A,P}$  a končí na jiné známé straně  $\underline{s}_{K,B}$  – (obr. 3.9)



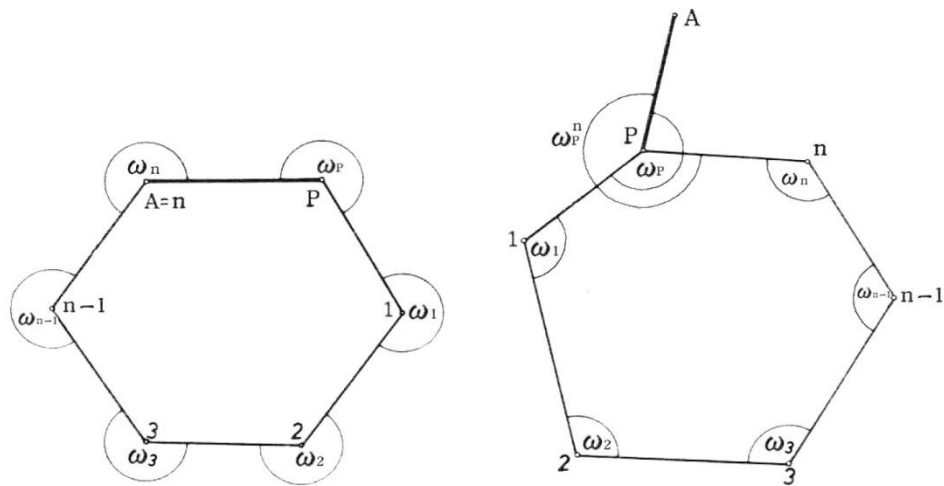
Obr. 3.9 Oboustranně orientovaný polygonový pořad

- **polygonový pořad jednostranně orientovaný** stranou  $\underline{s}_{A,P}$  a končící na známém bodě  $\underline{K}$  – (jednostranně vetknutý) - (obr. 3.10)



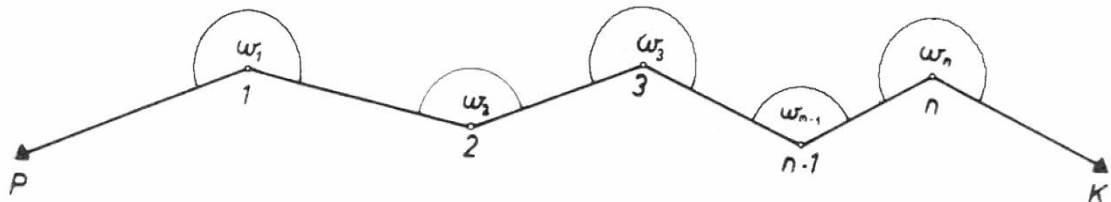
Obr. 3.10 Jednostranně orientovaný polygonový pořad

- **polygonový pořad uzavřený**, který začíná a končí na téže známé straně  $\underline{s}_{A,P}$ , jež může být buď jednou ze stran polygonu nebo z jednoho bodu polygonu vycházet – (obr. 3.11)



Obr. 3.11 Uzavřený polygonový pořad (neorientovaný, orientovaný)

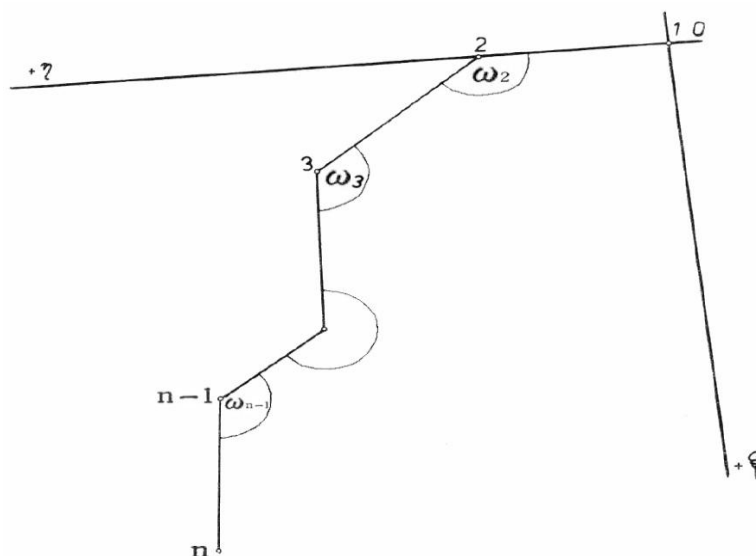
- **polygonový pořad orientovaný počátečním bodem  $P$  a koncovým bodem  $K$**  (vsunutý polygon) – (obr. 3.12). Tento polygon má značný význam v důlně měřické praxi.



Obr. 3.12 Vsunutý polygonový pořad

- **polygonový pořad otevřený** – nekončí na žádném pevném bodě
- **polygonový pořad neorientovaný** (volný pořad) – (obr. 3.13). Není připojen na žádný pevný bod. Propočítává se ve vlastní (pomocné) vhodně volené souřadnicové soustavě  $\xi$  a  $\eta$ , jejíž počátek zpravidla vkládáme do prvního polygonového bodu a jednu z os do první polygonové strany.





Obr. 3.13 Volný polygonový pořad

### 3.4 Výpočet a vyrovnání orientovaných polygonových pořadů

Měřené hodnoty, které používáme k výpočtu polygonových pořadů, jsou zatíženy nahodilými chybami, které způsobí, že vypočtené souřadnice koncového bodu (eventuálně směrnik koncové strany) nesouhlasí s danými hodnotami.

Vzniklé odchylky (rozdíly), pokud leží v dovolených mezích, je možno odstranit vyrovnáním.

a) **metodou nejmenších čtverců**

b) **přibližnými metodami**

a) Vyrovnání tímto způsobem je velmi pracné a používá se ho jen v opodstatněných případech při některých vědeckých a velmi přesných pracích.

b) Přibližné způsoby vyrovnání se používají u měření technického rázu. Vyrovnání není časově náročné. Vzniklé odchylky odstraňujeme po částech (zvlášť úhlové a zvlášť délkové odchylky).

#### 3.4.1 Výpočet a přibližné vyrovnání oboustranně orientovaného pořadu

- výpočet **prozatímního směrníku** koncové strany  $\sigma'_{K,B}$  pomocí naměřených úhlů  $\omega'$ :

$$\sigma'_{K,B} = \sigma_{A,P} + [\omega'] - k \cdot 180^0 \quad (3.37)$$

Číslo  $k$  nemusí být shodné s počtem vrcholů polygonu, protože úhel  $180^\circ$ , který většinou při výpočtu směrníku odčítáme, někdy také přičítáme (záleží na tvaru polygonu),

- v případě, že vypočtený směrník  $\sigma'_{K,B}$  nesouhlasí s daným  $\sigma_{K,B}$ , vypočteme úhlovou odchylku ze vzorce

$$O_\omega = \sigma_{K,B} - \sigma'_{K,B} \quad (3.38)$$

Je-li **odchylka**  $O_\omega$  menší než dovolená, rozdělíme ji rovnoměrně na všechny měřené úhly v polygonu,

- opravu pro jeden měřený polygonální úhel  $v_\omega$  vypočteme, když odchylku dělíme počtem všech měřených úhlů v polygonu:

$$v_\omega = O_\omega \div n \quad (3.39)$$

- algebraickým součtem měřeného úhlu  $\omega'$  a opravy  $v_\omega$  dostaneme definitivní úhel

$$\omega_i = \omega'_i + v_\omega \quad (3.40)$$

Tímto úkonem považujeme úhlové vyrovnání za provedené a hodnoty úhlů  $\omega_i$  takto získané za definitivní,

- definitivních hodnot úhlů  $\omega$  použijeme k výpočtu definitivních směrníků, ze kterých pak s naměřenými délkami stran vypočteme **prozatímní souřadnicové rozdíly**  $\Delta x'$  a  $\Delta y'$ . Z nich vypočteme prozatímní souřadnice koncového bodu polygonu:

$$x'_K = x_P + [\Delta x]_{P,1}^{n,K} \quad (3.41)$$

$$y'_K = y_P + [\Delta y]_{P,1}^{n,K} \quad (3.42)$$

- v případě, že vypočtené souřadnice bodu  $(x'_K, y'_K)$  nebudou souhlasit s danými souřadnicemi  $(x_K, y_K)$ , **vypočteme odchylky**

$$O_x = x_K - x'_K \quad (3.43)$$

$$O_y = y_K - y'_K \quad (3.44)$$

Jsou-li odchylky menší než přípouští předpis, rozdělíme odchylky na jednotlivé souřadnicové rozdíly. Zásad pro toto dělení je několik. Často se tak děje úměrně k délkám jejich stran,

- vypočteme opravy souřadnicových rozdílů na jeden metr délky pomocí koeficientu  $C_x$  a  $C_y$  z odchylek  $O_x$  a  $O_y$  a součtu délek stran [s]

$$C_x = \frac{O_x}{[s]} \quad (3.45)$$

$$C_y = \frac{O_y}{[s]} \quad (3.46)$$

- pro opravy souřadnicových rozdílů platí vztahy

$$v\Delta x_{i,i+1} = -C_x \cdot s_{i,i+1} \quad (3.47)$$

$$v\Delta y_{i,i+1} = -C_y \cdot s_{i,i+1} \quad (3.48)$$

Pomocí těchto oprav a prozatímních souřadnicových rozdílů vypočteme definitivní souřadnicové rozdílly

$$x_{i,i+1} = \Delta x'_{i,i+1} + v\Delta x_{i,i+1} \quad (3.49)$$

$$y_{i,i+1} = \Delta y'_{i,i+1} + v\Delta y_{i,i+1} \quad (3.50)$$

kteří použijeme pro výpočet definitivních (vyrovnaných) souřadnic x,y jednotlivých polygonálních bodů.

### 3.4.2 Polygonový pořad jednostranně orientovaný

Vyrovňuje se stejně jako polygon oboustranně vetknutý s tím rozdílem, že pro nemožnost zjištění úhlové odchylky  $O_\omega$  u poslední polygonální strany odpadá její odstranění.

### 3.4.3 Polygonový pořad uzavřený

Tento polygon je v podstatě variantou oboustranně vetknutého polygonu. Vyrovnaní bude zcela stejné jako v kap. 3.4.1. **Úhlovou odchylku**  $O_\omega$  je možno stanovit také z podmínky pro součet vnitřních či vnějších úhlů v mnohoúhelníku.

$$[\omega] = (n \pm 2) \cdot 180^\circ \quad (3.51)$$

kde: n = počet vrcholových úhlů v n-úhelníku

(n – 2) platí pro vnitřní úhly mnohoúhelníku

(n + 2) platí pro vnější úhly mnohoúhelníku,

pak

$$O_\omega = (n \pm 2) \cdot 180^\circ - [\omega'] \quad (3.52)$$

Podobně jako u stanovení  $O_w$  je možno vzhledem k některým specifickým vlastnostem uzavřeného polygonu zjistit  $O_x$  a  $O_y$  i jiným způsobem než je v kapitole 3.4.1 uvedeno. Protože algebraický součet souřadnicových rozdílů v uzavřeném polygonu má být roven  $0$ , určí se  $O_x$  a  $O_y$  ze vzorců:

$$O_x = - [\Delta x'] \quad (3.53)$$

$$O_y = - [\Delta y'] \quad (3.54)$$

### **Otázky:**

1. Co je to směrník strany? Jak se zjistí?
2. Základní úloha 1. Její význam.
3. Základní úloha 2. Její význam.
4. Jaké jsou znaménka funkcí sin a cos v jednotlivých kvadrantech?
5. Co to je  $45^0$  ( $50^g$ ) kontrola a k čemu slouží?
6. Protínání vpřed.
7. Druhy polygonových pořadů a jejich typické vlastnosti.
8. Co je to souřadnicové vyrovnání polygonového pořadu?
9. Kdy a jakým způsobem lze provést souřadnicové vyrovnání?

## 4 Bodová pole

U polohopisných i výškopisných měření je nutno v předmětném území rozvrhnout síť bodů, které nazýváme bodovým polem. Bodová pole obsahují v terénu vhodně rozložené, stabilizované, souřadnicemi a výškou dané body, od nichž se určuje vzájemná poloha dalších bodů.

Bodová pole se dělí na základní a podrobná, obojí pak na polohopisná a výšková.

### 4.1 Polohová bodová pole

Geodetické řešení různých úloh polohového charakteru vyžaduje existenci pevných bodů polohově navzájem jednoznačně určených v určité plošné souřadnicové soustavě. Množinu těchto bodů nazýváme polohovým bodovým polem. Polohu těchto bodů vyjadřujeme pravouhlými rovinnými souřadnicemi, přičemž poloha souřadnicové soustavy a její orientace na zemském povrchu závisí na použitém kartografickém zobrazení nebo na naší volbě.

Polohové bodové pole obsahuje:

- a) **základní polohové bodové pole (ZPBP)**, které tvoří
  - body referenční sítě nultého řádu
  - body Astronomicko-geodetické sítě (AGS)
  - body České státní trigonometrické sítě (ČSTS)
  - body geodynamické sítě
- b) **zhušťovací body**
- c) **podrobné polohové bodové pole (PPBP)**, které tvoří
  - ostatní pevné a dočasně stabilizované body

### 4.2 Výšková bodová pole

Výšková bodová pole tvoří výškopisné základy ČR. Rozdělujeme je na základní a podrobná výšková bodová pole.

- a) **Základní výškové bodové pole** tvoří
  - základní nivelační body
  - Česká státní nivelační síť (ČSNS) I. - III. řádu

Tato síť je souborem trvale stabilizovaných a po celém území státu vhodně rozložených výškových bodů, jejichž výšky se vztahují k jedinému výškovému horizontu a byly určeny s vysokou přesností v mezích stanovaných celostátními předpisy.

Nejvýznamnějším základním bodem je výchozí výškový bod Lišov, určený výškově již při evropském stupňovém měření v roce 1889.

b) **Podrobné výškové bodové pole (PVBP)** tvoří

- nivelační síť IV. Řádu
- plošné nivelační síť
- stabilizované body technických nivelací

Z nivelační sítě I. řádu (základní) byly postupně odvozeny výšky nivelačních bodů nižších řádů, podrobných nivelací, trigonometrických a dalších bodů.

### 4.3 Stabilizace a signalizace bodů polohového bodového pole

**Stabilizovat bod** znamená zajistit jeho pevnou polohu v terénu.

**Signalizovat bod** znamená učinit ho viditelným v terénu i na větší vzdálenost.

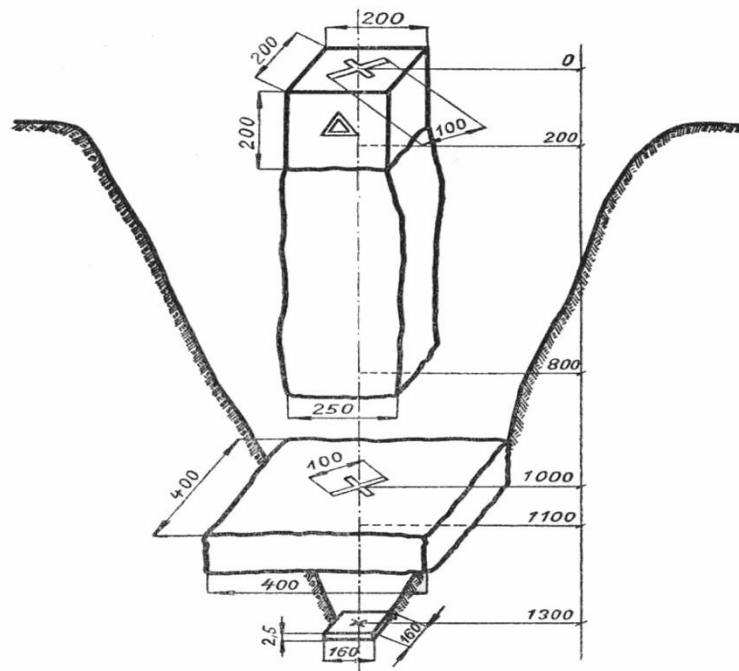
#### 4.3.1 Stabilizace bodů

Stabilizace bodů se řídí jeho účelem, důležitostí a povahou místa na němž má být bod zajištěn. Jinak se stabilizují důležité body, které mají tvořit podklad pozdějších nových měření než body, které po měření pozbývají významu.

**Trvale stabilizujeme body, které i v budoucnu budou sloužit za výchozí body pro jakékoliv měření.** Zvláště pečlivě se zajišťují body měřených základů a body trigonometrických sítí zejména vyšších řádů. Způsob trvalé stabilizace je nákladný a časově náročný.

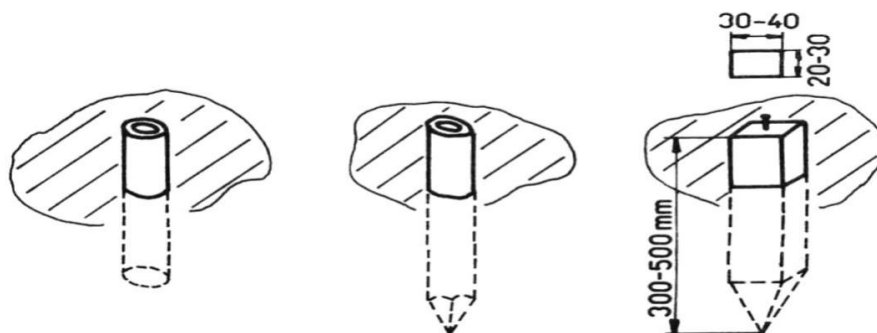
**Dočasně stabilizujeme body, které po skončení měření v dané oblasti pozbývají svého významu a důležitosti.** Stabilizace je rychlá a ekonomicky nenákladná.

Body trigonometrických sítí stabilizujeme vždy trvale kamennými hranoly určitých rozměrů. Jeden ze způsobů uložení, včetně předepsaných rozměrů a způsobů umístění pojišťovacích značek je na (obr. 4.1). Pro polygonové body použijeme méně nákladné stabilizace. Ve městech a průmyslových objektech nejčastěji jako body zapuštěné do dlažby a kryté proti poškození hydrantovým poklopem či krycí deskou či zásypem.



Obr. 4. 1 Stabilizace bodu základního polohového bodového pole

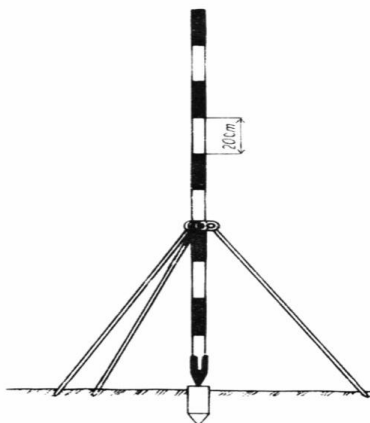
Ve volné přírodě stabilizujeme body kovovou trubkou s otvorem pro výtýčku nebo kolíkem. Do dřevěných kolíků zarážíme hřeb vyznačující vlastní bod (u kulatých kolíků do středu, u obdélníkových do průsečíků úhlopříček, u kovových kolíků do stejných míst uděláme důlek) – (obr. 4.2).



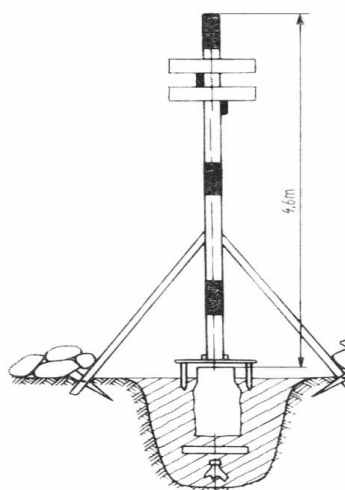
Obr. 4. 2 Dočasná stabilizace polygonových bodů

#### 4.3.2 Signalizace bodů

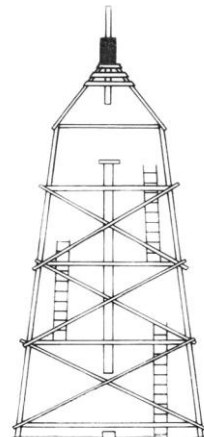
Signalizování měřičských bodů na povrchu je velmi různorodé a závisí zejména na vzdálenosti bodů. Přírozenými signály jsou kostelní věže nebo jiné význačné body výškových staveb. Umělé signály jsou výtýčky, tyčové signály a signální věže – (obr. 4.3, 4.4, 4.5).



Obr. 4. 1 Výtyčka s  
třínožkou



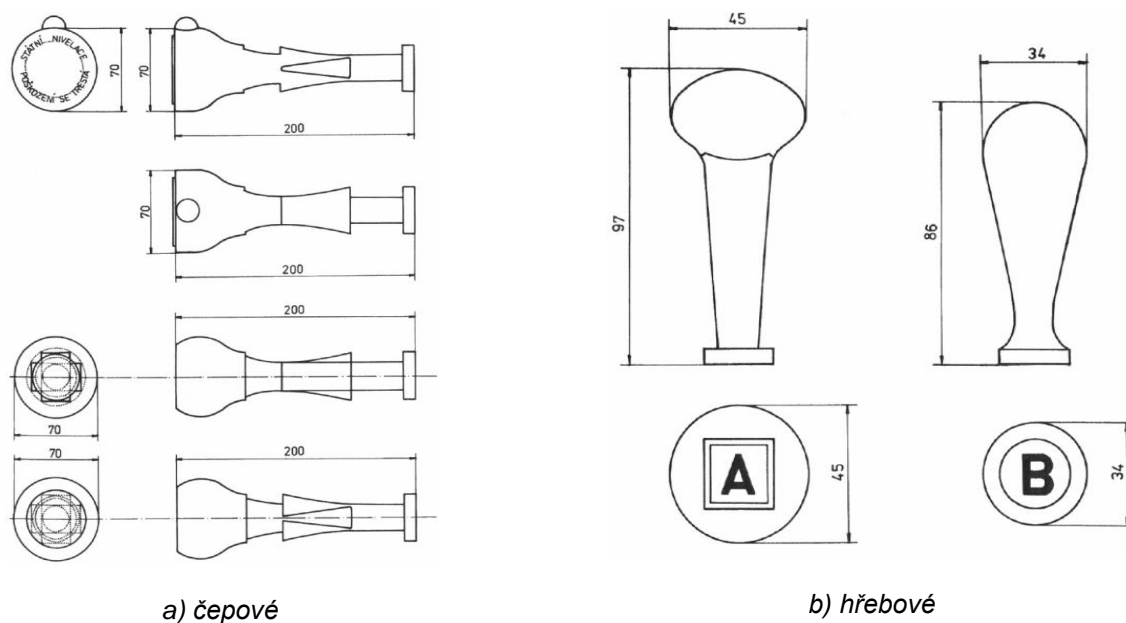
Obr. 4. 2 Tyčový signál



Obr. 4. 5 Věžový signál

#### 4.4 Stabilizace výškových bodů

Mezi nepoužívanější stabilizační znaky nivelační sítě patří litinové značky – obr. 4.6. Stabilizují se zabetonováním do vyvrtaného otvoru v pevném skalním podkladě, do základů nebo stěn stabilních budov a nosných zdí průmyslových objektů, dále do betonových základů a parapetních desek mostů a propustí. Mimo obydlené oblasti se betonují takové značky do opracovaného žulového hranolu, který se usadí do jámy na vybetonované lůžko, zalije betonem až po úroveň promrzání půdy a po úroveň terénu se zasype zeminou.



a) čepové

b) hřebové

Obr. 4. 6 Stabilizační značky výškových bodů



## 4.5 Ochrana bodů a jejich místopis

Ochrana bodů a bodových polí spočívá v jejich údržbě, která se člení na **jednorázovou**, **periodickou** a **příležitostní** jak u základního, tak i podrobného bodového pole.

**Jednorázová údržba** je vlastně revizí pro rozhodnutí o převzetí dosud vybudovaných sítí stabilizovaných bodů určených souřadnicemi polohovými a výškovými s přesností vyhovující předpisům.

**Periodická údržba sítí** má význam jen v místních tratích, kde se jejich bodů používá nejčastěji a také nejčastěji mizí. Pro větší města se prohlídka sítě rozvrhne podle čtvrtí na několik let a po skončení první prohlídky a doplnění celé sítě za určitou periodu se pokračuje v dalších prohlídkách ve stejném pořadí jako při první a ve stejně dlouhých periodách (intervalech).

**Příležitostní údržba bodů sítě** souvisí se zaměřováním změn a týká se jen některých částí sítě v blízkosti místa, kde se nahodile vyskytuje změna.

Ochrana bodů polohového bodového pole spočívá též v umístění podzemních značek při stabilizaci značky povrchové. V případě zničení povrchové značky ji lze pak poměrně snadno z podpovrchových značek obnovit a tím také uspořit značné finanční náklady na její přesné znovuzaměření.

Mimo uvedené způsoby ochrany bodů všech sítí, tedy výškových i polohových, před nerozumnými lidmi či vandaly, jsou chráněny před poškozením přísnými zákony. Na tuto skutečnost upozorňuje výstražná tabulka umístěná u každého bodu jakékoliv sítě.

Pro každý bod se vyhotoví místopisný náčrt přímo v terénu. Míry musí být vztaženy nejméně ke dvěma různým místopisným prvkům, aby umožňovaly dvojí vyhledání bodu (obr. 4.7).

GEODETICKÉ ÚDAJE  
zhušňovacího bodu

Kraj: Moravskoslezský  
Okres: Frýdek-Místek  
Obec: Metylovice

List č.: 1/1  
Stav k:

Vytvořeno pro web 16.07.2009

TL	3608
ZM-50	25-22
SMO-5	101873

Číslo a název bodu		258		Metylovice, kostel		
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška		
				Bpv	vztahuje se na	
258	ZHB	468914.28	1126504.19	412.99	střed makovice	
258.1	ZB1	468517.66	1126451.48	409.55	hranol	
258.2	ZB2	469008.82	1126902.92	386.82	hranol	
Orientace na body (v grádech):						
Bod číslo:	Jižník	Delka strany	Bod číslo:	Jižník	Delka strany	
258.1	291.5887	400.110	258.1-258.2		667.110	
258.2	14.8207	409.785	259	Orientace z 258.1 5.93002	507.882	
Bod určen: geodeticky						
Místopisný popis: Bodem je střed makovice věže kostela v Metylovicích.						
Bod určen:						
Bod	258	258.1	258.2			
Stab. údaje	0.00	věž kostela	0.00	žula 16x16x67 žula 20x20x10	0.00	žula 16x16x71 žula 20x20x9
Ochranný znak: (druh, rok)	OT-2007					
Kat.území Poz.čís.	Metylovice st.149/1	Metylovice 457/6	Metylovice 2059/4			
258.1	258.2		Poznámky:			
Bod	258	258.1	258.2			
Zřízení	2007 KÚ pro MS	KU pro MS kraj	KU pro MS kraj			
Určení YX	2007	2007	2007			
Určení výšky	2007	2007	2007			
[Pře]Stabilizace	2007	2007	2007			
Údržba	1900					
Obnova						
Poznámka: Body 258.1 a 258.2 určeny metodou GPS, 2007 KÚ pro MS kraj.						

Obr. 4. 7 Geodetické údaje o PBPP (místopisy bodů)

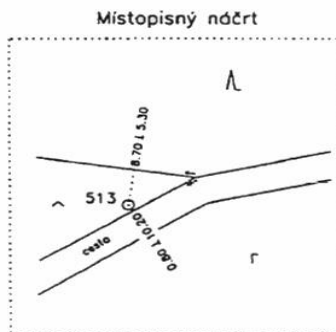
Oznámení o zřízení měřické značky vyhotoví zřizovatel pro každý nový bod (obr. 4.8). Správce značky zajistí doručení oznámení vlastníku pozemku nebo budovy, kde je značka umístěna.

Správce měřické značky:  Vlastník nemovitosti:   
 Katastrální úřad v Semilech Pan  
 Pekárenská 34 František Vondra  
 513 01 Semily 53364 Holany 174

Věc: Zřízení a ochrana měřické značky

Sdělujeme, že podle § 8 a 9 zák. č. 200/1994 Sb., o zeměměřičství a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, byla zřízena značka bodu bodového pole:

Číslo a název bodu (TL): 513  
 Obec: Holany  
 Katastrální území: Lhota u Semil  
 Parcelní číslo: 384/2  
 Druh pozemku: pastvina  
 Umístění: Severně od polní cesty při jejím odbočení od okraje lesa  
 Měřická značka-stabilizace: žula 16 x 16 x 72 cm  
 Signalizace: -  
 Ochranná zařízení: -  
 Datum, podpis, razítka správce měřické značky 10.4.1997 *Kouřil*



Poučení na druhé straně. Zde oddělte a vyplněný spodní díl laskavě vraťte.

Správce měřické značky:  V Holanech dne 20.4.1997  
 Katastrální úřad v Semilech  
 Pekárenská 34  
 513 01 Semily TL:

Věc: Projednání zřízení měřické značky (číslo, název) 513

Podepsaný vlastník nemovitosti František Vondra

Adresa: 533 64 Holany č.p. 174

potvrzuje, že s ním bylo řádně projednáno zřízení měřické značky na jeho nemovitosti

obec: Holany kat.území: Lhota u Semil parc.č.: 384/2

a že bere na vědomí povinnost ochrany měřické značky podle zák. č. 200/1994 Sb.

*Vondra*  
 Podpis (razítka) vlastníka nemovitosti

Obr. 4. 8 Oznámení o zřízení měřické značky

### Otázky:

1. Co jsou bodová pole a jaké druhy znáte?
2. Co to je stabilizace bodů a jaké druhy znáte?
3. Co to je signalizace bodů a jaké druhy znáte?
4. Ochrana bodů, jejich místopis a geodetické údaje.
5. Úkony při zřizování a ochraně měřické značky.

## 5 Mapy

**Mapy a plány** jsou nezbytným výchozím podkladem pro vyhotovování projektové dokumentace většiny staveb. Významně se uplatňují v mnoha odvětvích (národního) hospodářství. Mapy dělíme podle různých hledisek. Podle měřítka, což je velmi častý způsob dělení map, rozlišujeme:

- a) **mapy velkého měřítka** 1:500 až 1: 5000
- b) **mapy středního měřítka** 1: 10 000 až 1: 200 000
- c) **mapy malého měřítka** to je menší než středního měřítka

Pro projektování a dokumentaci dokončených staveb jsou důležité mapy základní, účelové a tematické.

**Základní mapy** jsou součástí mapového díla a mají zpravidla jen nejnужnější základní obsah.

**Tematické mapy** se vyhotovují na zvláštní požadavek objednavatele a bývají doplněny mimo základní obsah ještě o další skutečnosti a jejich vztahy, popř. o další podrobnosti.

**Účelové mapy** – zpravidla velkých měřítek – vznikají pro daný účel podrobným měřením, popř. odvozením z jiných map.

Státní mapová díla určená k veřejnému šíření a jejich využívání pro potřeby právnických i fyzických osob tvoří **sortiment základních státních mapových děl**, který zahrnuje mapy velkých měřítek, státní mapové dílo v měřítku 1: 5000, základní mapy středních měřítek, mapy územních celků, mapy správního rozdělení a klady listů map.

### 5.1 Mapy velkých měřítek

**Mapy velkých měřítek** plní zejména funkci katastrální mapy. Mapy v sáhových měřítkách (1:2880, 1:1440) a dekadických měřítkách (1:1000, 1:1250, 1:2000, 1:2500, výjimečně 1:5000) jsou vyhotoveny v různých zobrazeních a souřadnicových systémech a s různou přesností; mají však podobně kartografické vyjadřovací prostředky, obsah polohopisu a popisu. Ve svém souhrnu pokrývají celé území České republiky a jejich obsah je aktualizován v souladu se souborem popisných informací katastru nemovitostí České republiky.

#### 5.1.1 Katastrální mapa 1:2880 a 1:1440

Katastrální mapa 1:2800 a 1:1440 vznikla na podkladě mapy bývalého pozemkového katastru a byla měřickým operátorem již od poloviny 19. století.

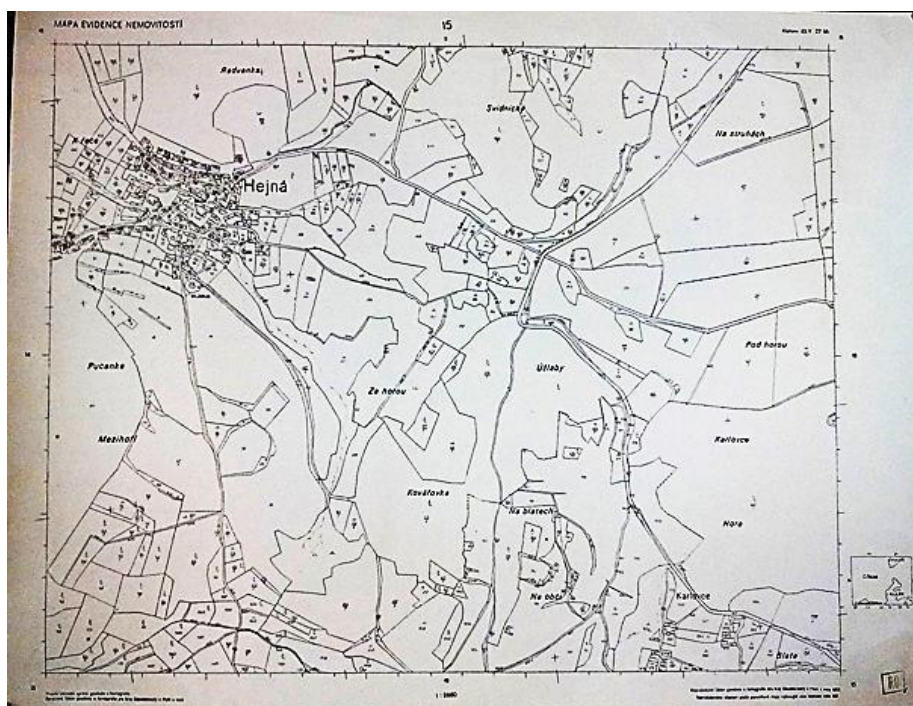
Jednobarevnou kopii mapy s aktuálním obsahem vyhotovují územně příslušné katastrální úřady. Ukázka katastrální mapy v měřítku 1:2880 je uvedena na obr. 5.1.

### 5.1.2 Základní mapa 1:2000

Základní mapa 1:2000 se vyhotovuje od roku 1981 a spolu s dalšími mapami dekadických měřítek postupně nahrazuje katastrální mapu sáhového měřítka. Jednobarevnou kopii mapy s aktuálním obsahem polohopisu vyhotovují územně příslušné katastrální úřady.

### 5.1.3 Státní mapové dílo v měřítku 1:5000

Státní mapové dílo tvoří Státní mapa 1:5000, Základní mapa ČR 1:5000 a Technickohospodářská mapa 1:5000. Je státním mapovým dílem největšího měřítka, které z celého území České republiky zobrazuje kromě polohopisu a popisu též výškopis. Dvoubarevné kopie mapy vyhotovují územně příslušné katastrální úřady.



Obr. 5. 1 Katastrální mapa 1:2880

## 5.2 Mapy středních měřítek

Základní mapy středních měřítek poskytují topografické informace v rozsahu seznamů mapových značek pro základní mapy v měřítkách 1: 10 000, 1: 25 000, 1:50 000, 1:100 000 a 1:200 000. Soubory map v těchto měřítkách jsou zpracovány v Křovákově zobrazení v souvislém kladu mapových listů, v souřadnicovém systému Jednotné

trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) a výškovém systému baltském – po vyrovnání (Bpv).

### **5.2.1 Základní mapa ČR 1: 10 000**

Základní mapa ČR 1:10 000 je zpracovávána na podkladě výsledků topografických prací, při nichž se přednostně využívá metod letecké fotogrammetrie. Mapa je postupně vydávána od roku 1971 a 1. vydání bylo dokončeno v roce 1988. Od roku 1981 je současně zajišťována postupná obnova vydaných mapových listů. Mapové listy vydávané od roku 1992 obsahují též body polohového a výškového bodového pole, rovinnou pravoúhlou souřadnicovou síť po 1 km a zeměpisnou síť. Na území Prahy a Brna je obsah rozšířen o názvy ulic a veřejných prostranství, výplně budov a bloků budov. Obnovená vydání mapy se realizují v časových intervalech odpovídajících frekvenci změn v zobrazovaném území. Celé území České republiky pokrývá celkem 4 573 mapových listů. Pětibarevný ofsetový tisk mapy z území příslušného územního celku lze zakoupit v územně příslušných prodejnách map katastrálních úřadů. Ukázka je uvedena na obr. 5.2.

### **5.2.2 Základní mapa České republiky 1: 25 000**

Území České republiky pokrývá celkem 787 mapových listů. Vydání mapy bylo dokončeno v roce 1995. Od roku 1984 je současně zajišťována postupná obnova vydaných mapových listů, která se realizuje v časové návaznosti na obnovu Základní mapy ČR 1: 10 000. Název listu je shodný se jménem největšího sídla (podle počtu obyvatel) znázorněného na mapovém listu. Mapa obsahuje polohopis, výškopis a popis. Předmětem polohopisu jsou sídla a jednotlivé objekty, komunikace, vodstvo, hranice správních a technických jednotek, porost a povrch půdy. Předmětem výškopisu je terénní reliéf zobrazený vrstevnicemi a šrafami. Popis mapy sestává z druhového označení objektů, kót vrstevnic, geografického názvosloví, rámových a mimorámových údajů. Předměty obsahu mapy jsou znázorněny pouze na území České republiky a Slovenské republiky. Obsah mapových listů vydaných od roku 1993 je doplněn rovinnou pravoúhlou souřadnicovou sítí po 1km a zeměpisnou sítí.

### **5.2.3 Základní mapa ČR 1:50 000**

Základní mapa ČR 1:50 000 je nejpoužívanějším mapovým podkladem pro tematická státní mapová díla. Území České republiky pokrývá celkem 217 mapových listů. Obnovená vydání mapy se realizují postupně z celého území České republiky v pětiletých cyklech. Obsah hraničních mapových listů vydávaných od roku 1995 je rozšířen o území Německa, Polska a Rakouska.

## 5.2.4 Základní mapa ČR 1: 100 000

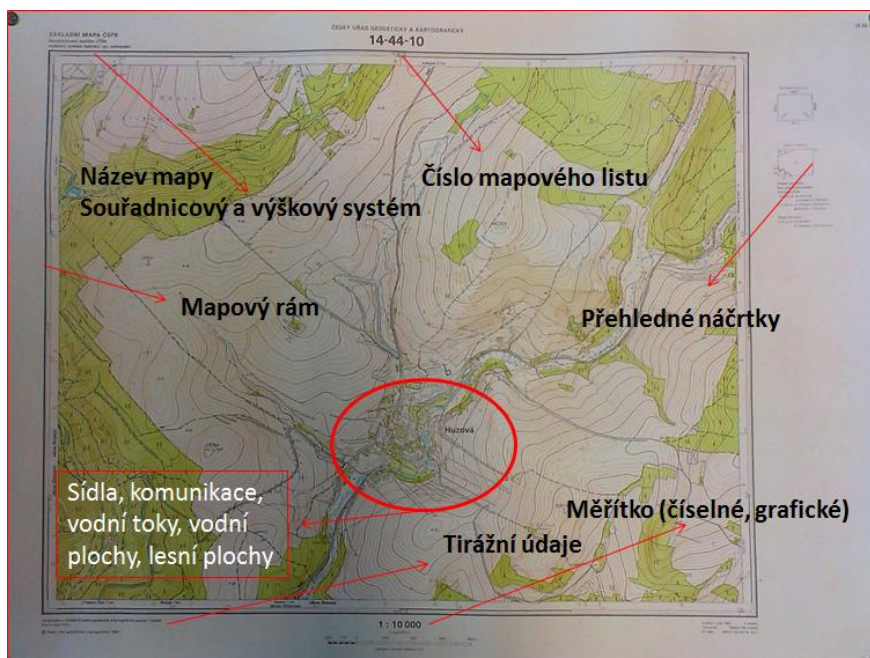
Základní mapa ČR 1:100 000 je zmenšeninou Základní mapy ČR 1:50 000. Území České republiky pokrývá celkem 64 mapových listů. Obnova mapy se realizuje v časové návaznosti na obnovu Základní mapy ČR 1:50 000 v pětiletém cyklu. Sedmibarevný ofsetový tisk mapy lze zakoupit v mapové prodejně u katastrálního úřadu příslušného regionu.

## 5.2.5 Základní mapa ČR 1:200 000

Základní mapa ČR 1:200 000 je obnovována zpravidla v pětiletém cyklu v závislosti na odbytu jednotlivých mapových listů z posledního vydání. Území České republiky pokrývá celkem 19 mapových listů. Šestibarevný ofsetový tisk mapy lze zakoupit v mapové prodejně u katastrálního úřadu příslušného regionu.

## 5.2.6 Mapy územních celků

Mapy územních celků jsou v současnosti vydávány jako Mapa okresů ČR 1:100 000, Mapa krajů ČR 1:200 000 a Mapa České republiky 1: 500 000



Obr. 5. 2 Základní mapa ČR 1:10 000

## 5.3 Mapy malých měřítek

### 5.3.1 Mapa ČR 1: 500 000

Osmibarevný ofsetový tisk; formát 105 x 68,5 cm. Obsahově navazuje na Mapu krajů ČR 1: 200 000.

### **5.3.2 Mapy správního rozdělení**

Mapy správního rozdělení jsou přehlednými mapami, které poskytují globální informace o správním rozdělení ČR na kraje a okresy. Jsou vydávány v měřítkách 1:2mil., 1:1mil. a 1:200 000. Mapa správního rozdělení ČR 1: 200 000 zobrazuje též hranice katastrálních území, jména obcí a jejich částí.

### **5.3.3 Klady listů map v měřítku 1:500 000**

Klady listů umožňují lokalizaci jednotlivých listů map středních měřítek a Státní mapy 1:5000 – odvozené s využitím zobrazeného topografického podkladu. Klad listů základních map středních měřítek v měřítku 1:2mil. Umožňuje globální lokalizaci listů základních map 1:50 000, 1:100 000 a 1:200 000 v rozsahu celé ČR, Klady listů map lze zakoupit v kterékoliv prodejně map katastrálních úřadů.

## **5.4 Tematická státní mapová díla**

Tematická státní mapová díla poskytují informace o skutečnostech, které jsou předmětem tematického obsahu jednotlivých mapových souborů. Jsou zpracovávány na podkladě základních státních mapových děl, která umožňují lokalizaci jednotlivých prvků tematického, zpravidla odvětvově orientovaného obsahu. Tematická státní mapová díla jsou zpravidla obnovována a vydávána koordinovaně s obnovou příslušného základního mapového díla. Soubor tematických státních mapových děl v měřítku 1:50 000, která jsou zpracována na jednotném mapovém podkladu Základní mapě ČR 1:50 000, tvoří:

### **5.4.1 Přehled výškové (nivelační) sítě 1: 50 000**

Jednobarevný dotisk tematického obsahu do Základní mapy ČR 1: 50 000. Zobrazuje státní nivelační síť I. – III. řádu a podrobné nivelační sítě, označení a průběhy jednotlivých nivelačních pořadů, zákres vybraných jednotlivých nivelačních bodů a jejich číselné označení.

### **5.4.2 Přehled trigonometrických a zhušťovacích bodů 1: 50 000**

Jednobarevný dotisk tematického obsahu do Základní mapy ČR 1:50 000. Obsahuje klad evidenčních jednotek, tj. triangulační listy v S-JTSK, jejich označení a jim příslušné trigonometrické body, orientační body (OB 1, OB 2) a body podrobného bodového polohového pole 1. třídy přesnosti. V mapě je též zobrazen klad listů Státní mapy 1:5 000 s dělením na listy Státní mapy 1: 5 000.



### **5.4.3 Silniční mapa ČR 1:50 000**

Čtyřbarevný dotisk do Základní mapy ČR 1:50 000. Zobrazuje dálnice, silnice s rozlišením tříd, čísla silnic, uzlové body lokalizačního systému silniční databanky (LS, SDB), mimoúrovňové křižovatky, mosty, podjezdy, železniční přejezdy, tunely, přívozy, oblouky, stoupání, soutěsky, kilometráž po 1 km aj.

### **5.4.4 Základní vodohospodářská mapa ČR 1: 50 000**

Čtyřbarevný dotisk tematického obsahu do Základní mapy ČR 1: 50 000. Zobrazuje síť vodních toků s objekty, umělé toky, hydrologické členění povodí toků, zátopová území, vodní nádrže a rybníky s údaji, objekty a zařízení pro vodárenské odběry povrchových a podzemních vod, pásma ochrany vodních zdrojů, hlavní vodovodní řady, povodí vodárenských toků, objekty staničních sítí Českého hydrometeorologického ústavu, evidované prameny, vybrané minerální prameny s ochrannými pásmy, hlavní kanalizační sběrače, čistírny odpadních vod, skládky závadných odpadů aj.

### **5.4.5 Mapa základních sídelních jednotek ČR 1: 50 000**

Jednobarevný dotisk Základní mapy ČR 1: 50 000. Umožňuje identifikaci i nejmenších jednotek osídlení, jejich vazbu na katastrální území a kategorii sídelní struktury.

### **5.4.6 Silniční mapa krajů ČR 1: 200 000**

Čtyřbarevný dotisk tematického obsahu do Mapy krajů ČR 1: 200 000. Zobrazuje dálnice, silnice 1. a 2. třídy, mimoúrovňové křižovatky, podjezdy, kilometráž po 5 km aj.

### **5.4.7 Česká státní nivelační síť I. – III. řádu 1:500 000**

Pětibarevný ofsetový tisk; formát 105x 68,5 cm. Zobrazuje přehled státní nivelační sítě I. – III. řádu na území České republiky, průběh a označení nivelačních pořadů, polohy a názvy základních nivelačních bodů, polohu a označení připojovacích a uzlových bodů, klad listů Základní mapy ČR 1: 50 000 a krajské hranice. V mapě je vyznačen rozsah detailních map, zobrazujících přehled státní nivelační sítě pro oblast Prahy a Kladna v měřítku 1:100 000.

## **5.5 Využití státních mapových děl**

Státní mapová díla jsou díly kartografickými a podle autorského zákona ve znění č. 247/1990 Sb. jsou předmětem autorského práva. Ochranu autorských práv ke státním mapovým dílům vykonává vydavatel, tj. Český úřad zeměměřický a katastrální. U

tematických státních mapových děl může být navíc uvedeno autorské právo k tematickému obsahu.

#### **Poznámka 1:**

**Katastrální mapy** se svými technickými parametry a obsahem jsou odrazem respektování základních principů občanského práva (oblast majetkoprávních vztahů) od doby založení tzv. **stabilního katastru** (1817) až dodnes. Dnes jako součást operátu katastru nemovitostí představuje *katastrální mapa grafický, případně digitální technicko–právní podklad pro výkon státní správy, ať již na úseku evidování právních vztahů k nemovitostem nebo v oblasti fiskálního práva ze stanovení daně z nemovitosti.*

**Funkce katastrálních map** lze označit třemi atributy, řazenými zde podle významu pro katastr nemovitostí.

1) **Funkce právní** spočívá ve vymezení rozsahu věcného práva ke konkrétní nemovitosti tím, že zákresem průběhu hranic pozemku se jasně definuje jako geometrické a polohové určení.

2) **Funkce evidenční**, jak již vlastním názvem naznačuje, slouží k podpoře systému evidence nemovitostí na území státu a to ve smyslu zcela jednoznačného stanovení údajů, ve kterém katastrální území daná nemovitost leží, v jakém polohovém vztahu je k okolním pozemkům, jaké má parcelní číslo (vazba na SPI) a druh pozemku (mapová značka) a konečně, jaký má přibližný tvar a velikost.

3) **Funkce technická** představuje atribut umožňující *další využití mapového díla pro jiné potřeby než pro vedení katastru nemovitostí.*

#### **Poznámka 2:**

**Státní mapa 1: 5000** - Počínaje od roku 1950 je vyhotovována na celém státním území. Nevzniká přímým měřením ale přepracováním z existujících dostupných mapových podkladů. Tato mapa souvisle pokrývá celé území ČR a je určena nejširší veřejností.

#### **Poznámka 3:**

Technickohospodářské mapování (THM). Pod pojmem „**technickohospodářská**“ **mapa** si můžeme představit mapu velkého měřítka (1:5000 a větší) pořizovanou pro technické a hospodářské účely. Na rozdíl od dosavadních katastrálních map obsahovaly polohopis a výškopis a byly tedy vhodné i pro projektové práce a další technické činnosti.

#### **Poznámka 4:**

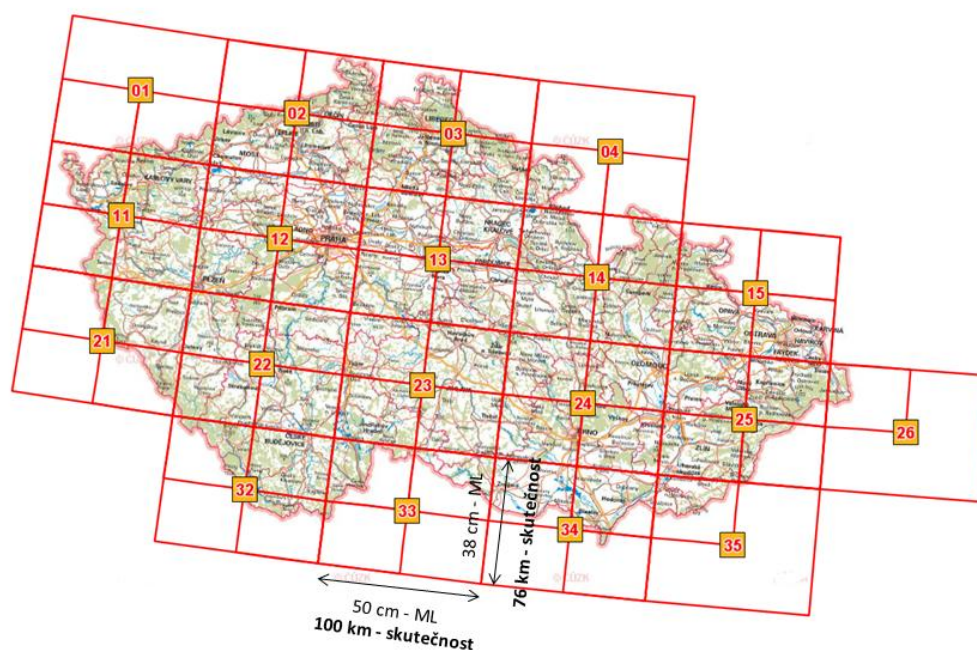
**Základní mapa velkého měřítka – ZMVM.** Etapa prací na THM skončila v roce

1980. Následovalo období nového přístupu k velkorozměrovému mapování, jehož výsledky se především využívaly pro potřeby evidence nemovitostí, ale i pro projekční práce ve výstavbě, lesnictví, vodním hospodářství atd.

Souběžně s velkoměřítkovým mapování probíhala tvorba tzv. **Základní mapy středního měřítka** (1968- dosud). Dílo je vyhotoveno v souřadnicovém systému S – JTSK, Křovákově konformním zobrazení Besselova elipsoidu a výškovém systému Balt po vyrovnání. Sjednotily se tím částečně geodetické a kartografické základy s mapami velkých měřítek užívaných pro katastrální účely tj. zejména se *Základní mapou velkého měřítka*. Toto sjednocení se však netýká systému kladu a značení mapových listů. (v ZMVM jsou listy obdélníkové, souběžně orientované s osami systému S – JTSK).

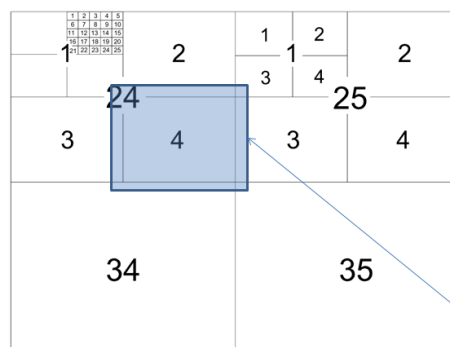
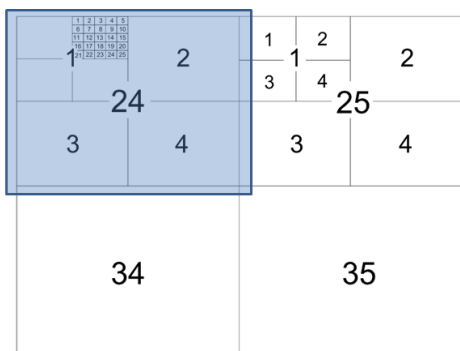
Základní mapa pokrývá celé území bývalé federace v měřítkové řadě 1 : 200 000 ( ZM200), ZM100, ZM50, ZM25, ZM10. Klad listů vychází ze základního měřítka 1: 200 000. Pole map ZM200 jsou v rovině S – JTSK vymezena *umělou konstrukcí pravidelně se sbíhajících čar*, které velmi zhruba sledují obraz poledníků- Listy ZM200 jsou pravidelné lichoběžníky, na „jižní“ straně celkového sloupce je délka základny 50cm, na „severní“ 47 cm. Výška základny listu základní mapy 38 cm je pro všechny měřítka konstantní.

**Mapa ZM200** je dle obr. 5.3 definována kladem lichoběžníkových listů uspořádaných v rámci bývalého Československa do osmi sloupců a pěti vrstev. Označení ZM200 se skládá z názvu významného zobrazení sídla a čísla vrstvy (rozmezí 0 až 4) a čísla sloupce (rozmezí 1 až 8), např.. 24.



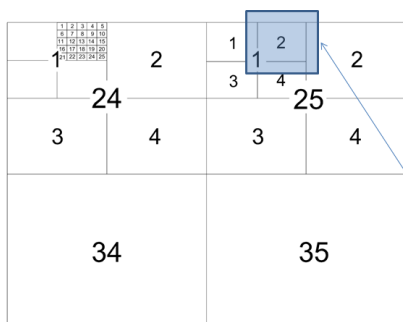
Obr. 5. 3 Klad listů ZM200

Listy ZM větších měřítek vznikají postupnou lineární interpolací, tj. čtvrcením listu vždy nejbližšího menšího měřítka a přidáním číselného označení kvadrantu (obr. 5.4 a obr. 5.5) a tab. 5.1.

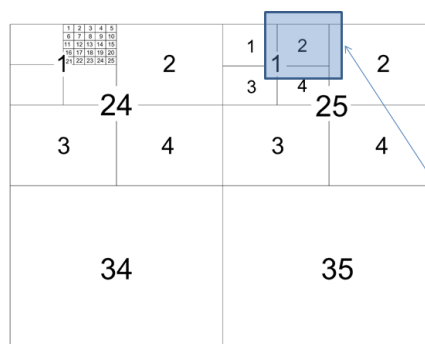


PŘÍKLAD OZNAČNÍ MAPOVÉHO LISTU V MĚŘÍTKU 1: 200 000    PŘÍKLAD OZNAČNÍ MAPOVÉHO LISTU V MĚŘÍTKU 1: 100 000 → 24-4

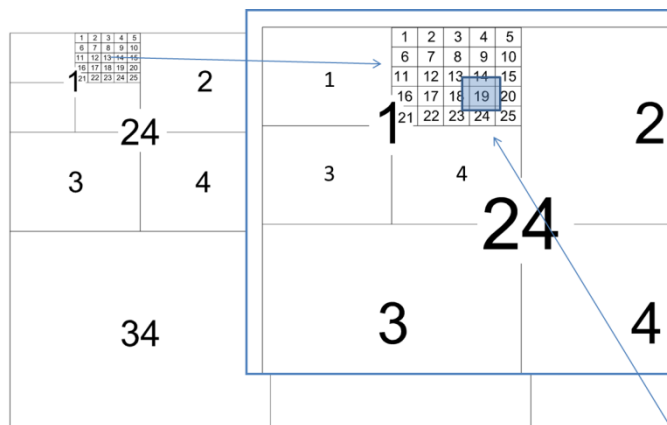
Obr. 5.4 Klad a značení listů ZM200, ZM100



PŘÍKLAD OZNAČNÍ MAPOVÉHO LISTU V MĚŘÍTKU 1: 50 000 → 25-12



PŘÍKLAD OZNAČNÍ MAPOVÉHO LISTU V MĚŘÍTKU 1: 50 000 → 25-12



PŘÍKLAD OZNAČNÍ MAPOVÉHO LISTU V MĚŘÍTKU 1: 10 000 → 24-12-19

Obr. 5.5 Klad a značení listů ZM50, ZM25, ZM10

Systém čtvrcení není zachován pouze u největšího měřítka 1: 10 000, které vzniká rozdělením a průběžným očíslováním listu ZM50. Z geometrické podstaty interpolace plyne, že mapové listy všech měřítek si zachovávají rovnoběžnost dolní a horní základny a výšku 38 cm. Jednotlivé listy téhož měřítka obecně nemají stejné rozměry, délky úhlopříček ani plochu. Souřadnice jejich rohů nejsou okrouhlé hodnoty, a to ani v rovinném systému S – JTSK.

Tabulka 5.1 Dělení ZM200 na menší měřítka a jejich označování

<b>Měřítka 1:</b>	<b>Výchozí mapa</b>	<b>Dělení</b>	<b>Počet listů</b>	<b>Příklad označení mapy</b>
200 000	-	-	1	12
100 000	ZM200	2 na 2	4	12-4
50 000	ZM100	2 na 2	4	12-42
25 000	ZM50	2 na 2	4	12-423
10 000	ZM50	5 na 5	25	12-42-23

**Poznámka:**

V rámci působnosti ČÚZK je 19 listů ZM200, 64 listů ZM100, 217 listů ZM50, 787 listů ZM25 a 4573 listů ZM10. V materiálech publikovaných ČÚZK jsou tato čísla upřesňována ohledně delimitace hraničních listů se Slovenskem.

**Otázky:**

1. Co je to polohopisná mapa?
2. Co je to topografická mapa?
3. Co je to státní mapové dílo?
4. Vyjmenujte mapy velkých měřítek tvořící státní mapové dílo.
5. Vyjmenujte mapy středních měřítek tvořící státní mapové dílo.
6. Co to jsou tematická státní mapová díla?
7. Využití státních mapových děl.
8. Listoklad map a jeho význam.

## 6 Základní pojmy z teorie měřických chyb a vyrovnávacího počtu

Budeme-li v měřické praxi provádět měření téže veličiny několikrát zjistíme, že nenaměříme pokaždé stejnou hodnotu a to i tehdy, budou-li opakovaná měření prováděna stejnými měřickými přístroji, postupy a za stejných podmínek. Bude to způsobeno nedokonalostí použitých měřických přístrojů a pomůcek, měřických metod i lidských smyslů. Měřené veličiny budou při měření zatíženy **měřickými chybami**. Tyto měřické chyby způsobí, že prakticky za žádných okolností nenaměříme **pravou** (skutečnou) hodnotu měřené veličiny. Snahou měřiče však bude, aby se pravé hodnotě měřené veličiny přiblížil co nejvíce, aby tedy získal alespoň **nejpravděpodobnější hodnotu měřené veličiny**. To je důvod, proč měřené veličiny např. délky nebo úhly, ze kterých určujeme polohy bodů, měříme několikrát. Čím více měření jedné veličiny budeme mít provedeno, tím pravděpodobnější bude vypočtená hodnota měřené veličiny.

Abychom při měření dosáhli určité požadované přesnosti měřených veličin, musíme používat vhodné měřické přístroje a volit vhodné měřické postupy. Z hlediska požadavku přesnosti a hospodárnosti rozlišujeme měření:

- 1) *měření velmi přesná,*
- 2) *měření přesná,*
- 3) *měření technická,*
- 4) *měření hrubá.*

- 1) **Měření velmi přesná** jsou měření používaná při důlně měřických pracích pro stanovení základních hodnot důlních map nebo pro vědecká pozorování. Do této kategorie přesnosti patří zejména měření podrobné trigonometrické sítě vybudované se zvláštní přesností, připojovací a usměrňovací měření teodolitovým pořadem případně dvěma olovnicemi ve dvou jamách, hloubkové měření a některá důležitá měření, u nichž technický projekt požaduje tuto přesnost. Sem patří také měření prováděná za účelem vědeckých pozorování

- 2) **Měření přesná** lze použít pro zaměření základních pořadů pro otvirkové a přípravné práce v rozsahu celého dobývacího prostoru, pokud pro jejich rozsáhlost se nevyžaduje vyšší přesnost. Do této skupiny přesnosti patří zaměřování hlavních teodolitových pořadů pro základní otvirkové a přípravné práce, hlavní nivelační pořady a prorážkové pořady, u nichž technický projekt požaduje tuto přesnost.
- 3) **Měření technická** se smí používat k zaměření důlních děl a prostor, na něž nebude již navázáno žádné další měření vyšší přesnosti. Do této skupiny patří zejména doměřování chodeb, svázných, prorážek, vytyčování úhlů a směrů za účelem ražení vedlejších překopů, chodeb a ostatních důlních děl.
- 4) **Měření hrubá popř.** zaměřovací způsoby grafické lze použít pro předběžné a rychlé zaměřování, popř. pro zaměřování důlních prostor, jejichž obraz v měřítku mapy se dá tímto měřením určit s dostatečnou přesností. Do této skupiny patří např. zaměřování porubních prostor, jejichž tvar se denně mění, stěnových porubů za účelem vyrovnání, zaměřování podrobných tvarů a rozsahu důlních chodeb a jiných důlních děl apod.. Sem patří také předběžné a rychlé důlní měření, které slouží jako podklad pro běžné řízení provozu.

## 6.1 Rozdělení měřických chyb

Jak již bylo uvedeno, měřené veličiny budou zatíženy měřickými chybami, které mohou být různého charakteru, a podle toho je můžeme rozdělit:

### a) Omyly

Omyly vznikají zpravidla nepozorností měřiče při měřickém postupu. Jako omyl můžeme označit např. záměnu číslice na pásmu při délkovém měření ( 6 za 9 nebo 3 za 8) nebo záměnu cíle při úhlovém měření. Abychom omyly odstranili, měřené veličiny měříme alespoň dvakrát nebo i vícekrát. Omyly z řady měření musíme vždy vyloučit.

### b) Hrubé chyby

Hrubou chybou zpravidla označujeme výsledek měření, který je zatížen chybou, která je větší než přípustná mez přesnosti použité metody. Může to být hodnota délky měřená ocelovým pásmem při silném větru nebo špatné viditelnosti. Takto změřená délka se bude lišit např. o několik cm od ostatních délek, které budou v rozmezí několika milimetrů.

### c) Chyby systematické nebo-li soustavné

Systematické chyby výsledek měření soustavně ovlivňují. Tyto chyby jsou způsobeny určitými okolnostmi, které mohou mít stálý, destrukční nebo jen přechodný charakter. Systematické chyby z výsledků měření dovedeme zpravidla odstranit a to buď početní opravou (známe-li rovnici, podle které syst. chyba působí) nebo měřickým postupem.

### d) Chyby náhodné (nahodilé)

Odstraníme-li z výsledků měření omyly, hrubé a systematické chyby, přesto se budou naměřené hodnoty měřené veličiny v malých mezích lišit. Bude to způsobeno vlivem **náhodných chyb**. Tyto chyby se vyskytují při každém měření a říkáme, že jsou **nevyhnutelné**. Jejich příčina spočívá v nedokonalosti lidských smyslů, měřických přístrojů a pomůcek nebo i měnících se podmínek při měření. O vlastnostech těchto náhodných chyb bude pojednáno dále.

### e) Pravé a nejpravděpodobnější chyby

Známe-li **pravou** hodnotu měřené veličiny  $X$  (jen málokdy), pak pravou chybou označujeme rozdíl pravé hodnoty a naměřené

$$\varepsilon_i = X - l_i \quad (6.1)$$

Pravou chybou je např. rozdíl součtu tří měřených úhlů v trojúhelníku od  $180^\circ$ .

Protože pravou hodnotu měřené veličiny většinou neznáme, nahrazujeme ji hodnotou nejpravděpodobnější, tj. aritmetickým průměrem z naměřených hodnot  $l_i$  a označujeme<sup>2</sup>

$$x = \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n)}{n} = \frac{[l]_1^n}{n} \quad (6.2)$$

Potom jako nejpravděpodobnější chybu  $v_i$  označujeme rozdíl nejpravděpodobnější hodnoty a naměřené hodnoty

$$v_i = x - l_i \quad (6.3)$$

---

<sup>2</sup> V symbolice vyrovnávacího počtu označujeme součet (suma) hranatou závorkou.



## 6.2 Charakteristiky přesnosti

Přesnost měření jakékoliv veličiny posuzujeme pomocí tří charakteristických chyb nebo-li ukazatelů přesnosti. Jsou to:

- průměrná chyba  $s$
- pravděpodobná chyba  $r$
- střední kvadratická chyba  $m$ .

**Průměrná (lineární) chyba  $\underline{s}$**  je aritmetický průměr absolutních hodnot všech chyb.

**Pravděpodobná chyba  $\underline{r}$**  leží uprostřed řady chyb, seřazených podle absolutních hodnot. Je to tedy mez, před kterou (podle velikosti) lze očekávat stejný počet menších chyb, jako větších chyb za ní.

V měřické praxi nejčastěji používáme **střední kvadratickou chybu  $\underline{m}$** , kterou vypočteme podle vzorců<sup>3</sup>

$$m = \pm \sqrt{\frac{\underline{\varepsilon\varepsilon}}{n}} \quad (6.4)$$

nebo

$$m = \pm \sqrt{\frac{\underline{vv}}{n-1}} \quad (6.5)$$

kde  $\underline{\varepsilon}$  a  $\underline{v}$  jsou pravé nebo nejpravděpodobnější chyby

$\underline{n}$  je počet pozorování ( počet chyb).

Znaménko  $\pm$  značí, že střední kvadratická chyba je stejně pravděpodobná kladná i záporná a hodnoty  $\pm m$  nelze algebraicky sčítat.

Výraz  $[\underline{\varepsilon\varepsilon}]$  a  $[\underline{vv}]$  potom bude:

$$[\underline{\varepsilon\varepsilon}] = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2 \quad (6.6)$$

a

$$[\underline{vv}] = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 \quad (6.7)$$

---

<sup>3</sup> V symbolice vyrovnávacího počtu píšeme kvadrát ve tvaru  $\underline{\varepsilon\varepsilon}$  nebo  $\underline{vv}$  a značí totéž jako  $\underline{\varepsilon}^2$  a  $\underline{v}^2$ .

### 6.3 Vlastnosti náhodných chyb

V předcházejícím bylo již uvedeno, že náhodné chyby při měření nemůžeme odstranit a že jsou tedy nevyhnutelné. Jako příklad náhodných chyb uvedeme chybu při zacílení na cíl při úhlovém měření nebo chybu při odečtení na nivelační lati. Přesto, že velikost a znaménko jednotlivých náhodných chyb se neřídí žádným zákonem, přece velké soubory těchto chyb se řídí určitými pravidly. Tato pravidla jsou obsažena v tzv. **Gaussovém zákonu chyb**, který můžeme formulovat takto:

1. *Náhodné chyby malé jsou častější než náhodné chyby větší*
2. *Náhodné chyby kladné a záporné stejné velikosti jsou stejně pravděpodobné a jejich součet se bude blížit nule.*
3. *Chyba nulová má největší pravděpodobnost.*
4. *V praxi se náhodné chyby pohybují pro určitou měřickou metodu do určité meze  $\pm\alpha$ , nad touto hranicí jsou sice možné, ale prakticky se nevyskytují.*

### 6.4 Základní vztahy vyrovnávacího počtu

Budeme-li znát vlastnosti náhodných chyb a určité metody výpočtu nejpravděpodobnějších hodnot měřených veličin, můžeme potom nejpravděpodobnější hodnotu měřené veličiny a přesnost v jejím měření vypočítat.

To je právě úkolem **vyrovnávacího počtu**.

Vyrovnávacím počtem tedy nezjistíme pravou (přesnou) hodnotu, ale snažíme se:

1. *Z nadbytečného počtu měření určit takovou hodnotu měřené veličiny, která by se pravé hodnotě nejvíce přibližovala – říkáme, že měření **vyrovnáváme**.*
2. *Určit přesnost měření a přesnost hodnoty získané vyrovnáváním naměřených hodnot.*

V měřické praxi se pro vyrovnání naměřených hodnot poměrně často používá **metody nejmenších čtverců**, jejíž základní podmínkou je, že

$$v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_n^2 = \min \quad (6.8)$$

psáno v symbolice vyrovnávacího počtu

$$[vv] = \min \quad (6.9)$$

Znamená to, že součet čtverců oprav (chyb), které počítáme jako rozdíl nejpravděpodobnější hodnoty a naměřených hodnot (3.3) bude minimální. Odtud název metoda nejmenších čtverců.

Podle této metody můžeme provádět tři druhy vyrovnání:

- 1) *Vyrovnání měření přímých.*
- 2) *Vyrovnání měření zprostředkujících.*
- 3) *Vyrovnání měření podmínkových.*

Zde uvedeme jen základní vztahy pro pozorování přímá. Ostatní vyrovnání jsou velmi složitá a zabývá se jimi předmět **vyrovnávací počet**.

## 6.5 Vyrovnávání přímých měření

Jako přímá měření označujeme taková, kdy měření jedné veličiny je prováděno přímo a je opakováno několikrát. Uvedeme zde jen základní vztahy pro výpočty. Například délka nebo úhel je měřen několikrát za sebou.

Nejpravděpodobnější hodnota je dána aritmetickým průměrem, tedy obdobně jako (6.2).

$$x = \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n)}{n} = \frac{[l]_1^n}{n} \quad (6.10)$$

Opravy (chyby)  $v$  počítáme podle (6.3)

$$v_i = x - l_i \quad (6.11)$$

Potom musí platit, že

$$v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n = 0 \quad (6.12)$$

Pro střední chybu jednoho měření platí vztah

$$m = \pm \sqrt{\frac{vv}{n-1}} \quad (6.13)$$

Pro střední chybu aritmetického průměru

$$m = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{vv}{n} \cdot (n-1)} \quad (6.14)$$

Výsledek vyrovnání je nejpravděpodobnější hodnota  **$x$**  a střední chyba  **$m_x$** , tedy:

$$x \pm m_x \quad (6.15)$$

Dalším druhem měření přímých jsou měřické dvojice, které se v měřické praxi vyskytují nejčastěji. Tak např. při dvojném měření polygonových pořadů, kde postupujeme s měřením po pevných bodech obdržíme dvojice měření délek stran a polygonálních úhlů. Máme tedy ve dvojici jen dvě přímá měření určité veličiny  $l_1$  a  $l_2$ , ale takovýchto dvojic je několik. Uvedeme jen základní vztahy vyrovnání měřických dvojic. **Rozdíl dvojice** označujeme  $\underline{d}$

$$d = l_1 - l_2 \quad (6.16)$$

Máme-li k dispozici řadu dvojic, pak počítáme střední rozdíl dvojice z rozdílů jednotlivých dvojic  $\underline{d}_1, \underline{d}_2 \dots \underline{d}_n$  jako:

$$D = \pm \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{n}} \quad (6.17)$$

Z toho středního rozdílu  $\underline{D}$  počítáme další kritéria přesnosti a to:

*Střední chybu jednoho pozorování libovolné dvojice*

$$m = \pm \frac{D}{\sqrt{2}} = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (6.18)$$

*a střední chybu aritmetického průměru libovolné dvojice*

$$m_x = \frac{D}{2} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[dd]}{n}} \quad (6.19)$$

V předcházejícím jsme se zmínili o *měřeních přímých stejné přesnosti*, tj. takových, kde všechna měření jsou prováděna za přibližně stejných podmínek (stejnými přístroji, metodami, stejným měřičem atd.) a říkáme, že měření mají **stejnou váhu**. Jednou z výhod vyrovnávacího počtu je i to, že můžeme provádět vyrovnávání měření, která mají různou váhu „ $p$ “. Váhy bychom např. zavedli pro úhly, které by byly měřeny teodolity různě přesnými nebo různě přesně nebo u délek, které byly měřeny ocelovým pásmem nebo dálkoměrem. Obecně můžeme říci, že váhu pozorování volíme nepřímo úměrně čtvercům středních chyb pozorování.

$$p_i = \frac{1}{m_i^2} \quad (6.20)$$

Aby váhy vycházely malá čísla a výpočty byly snadnější, volíme při výpočtu pak vhodnou konstantu  $\underline{C}$ . Pak váhy počítáme jako:

$$p_i = \frac{C}{m_i^2} \quad (6.21)$$

Vztahy uvedené u měření přímých budou při vyrovnání měření různých přesností poněkud složitější a nebudou zde uváděny. Říkáme, že vyrovnáváme **měření přímá různé váhy**.

## 6.6 Zákon o hromadění chyb

V měřické praxi velmi často počítáme veličinu podle matematického vztahu z přímo měřených hodnot, které jsou však určeny s určitou přesností, tj. s určitými středními chybami. Bude nás pak zajímat jakou přesnost bude mít vypočtená veličina. Tuto přesnost je možno určit ze **zákona o hromadění chyb**. Podle tohoto zákona můžeme určit střední chybu vypočítávané veličiny (funkce) na základě středních chyb určujících veličin a parciálních derivací podle jednotlivých proměnných, které se ve funkčním vztahu vyskytují. Vyjádření střední chyby funkce vyžaduje znalost derivací a diferenciálního počtu. Tato problematika přesahuje rozsah této učebnice.

Máme-li obecný funkční vztah:

$$y = f ( x_1 , x_2 \dots x_n ) \quad (6.22)$$

Pak v symbolice vyrovnávacího počtu střední chybu vypočítávané veličiny **y** (známe-li měřené veličiny  $x_1, x_2 \dots x_n$  a jejich střední chyby  $m_{x_1}, m_{x_2} \dots m_{x_n}$ ) můžeme napsat

$$m_y = \pm \sqrt{[qqmm]} \quad (6.23)$$

kde **qq** jsou čtverce parciálních derivací funkce **y**

**mm** jsou čtverce středních chyb jednotlivých proměnných.

**Otázky:**

1. Co jsou to měřické chyby a jaké jsou důvody jejich vzniku?
2. Rozdělení měřických chyb.
3. Vlastnosti nahodilých chyb.
4. Vyjmenujte charakteristiky přesnosti.
5. Základní pojmy a vztahy ve vyrovnávacím počtu.
6. Vyrovnání měření přímých.
7. Co to je váha měření a měřická dvojice?
8. Zákon hromadění chyb. Jeho znění a význam.
9. Význam vyrovnávacího počtu v geodézii.

## 7 Základní polohové a výškové systémy na území ČR

Následující kapitola přibližuje základní pojmy z oblasti polohových a výškových systémů. Věnuje se závazným referenčním systémům používaným na území České republiky.

### 7.1 Polohové souřadnicové systémy

Každý geodetický rovinný souřadnicový systém je charakterizován těmito faktory:

- 1) **elipsoidem**, na kterém je počítána trigonometrická síť;
- 2) základní trigonometrickou sítí /trig. síť I. řádu);
- 3) měřením v trigonometrické síti I. řádu (počtem a způsobem měření základů, úhlů nebo směrů, astronomickým a gravimetrickým měřením a způsobem zpracování naměřených hodnot;
- 4) základním bodem triangulace, jeho souřadnicemi a azimutem na jiný trigonometrický bod;
- 5) způsobem vyrovnání sítě;
- 6) zvoleným kartografickým zobrazením pro převod geodetických zeměpisných souřadnic na rovinné pravoúhlé souřadnice.

*Změní-li se jeden nebo více z uvedených faktorů, změní se nutně souřadnice všech bodů.* Změny mohou být malé (např. při novém vyrovnání sítě, přičemž všechny ostatní faktory se nemění) nebo značně velké (například při podstatně jiném zobrazení).

Z hlediska výsledných rovinných pravoúhlých souřadnic jsou z uvedených faktorů nejdůležitější: elipsoid, základní bod a zobrazení.

Jak je z uvedeného zřejmé, kartografické zobrazení je jen jedním z faktorů, které určitý souřadnicový systém charakterizují (stejně zobrazení může být použito například pro různé elipsoidy, tedy pro různé souřadnicové systémy).

#### 7.1.1 Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Po I. světové válce byla na našem území nepříliš přesná katastrální triangulace a vojenská triangulace, která byla sice mnohem přesnější, nebyla však na celém státním území a její body měly jen zeměpisné souřadnice (nebyla převedena do roviny). Souřadnicových systémů bylo několik. Bylo proto rozhodnuto vybudovat na celém státním

území „Československou jednotnou trigonometrickou sítí katastrální“. Práci řídila Triangulační kancelář ministerstva financí. Jejím přednostou byl Ing. Josef Křovák.

*Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální je charakterizován těmito faktory:*

- 1) Sít' je počítána na Besselově elipsoidu
- 2) Funkci základní trigonometrické sítě plní sít' I. řádu čs. jednotné trigonometrické sítě katastrální podle konfigurace z roku 1927
- 3) Rozměr, poloha a orientace sítě na Besselově elipsoidu jsou převzaty z rakouské vojenské triangulace
- 4) Základním bodem triangulace je nepřímý základní bod rakouské vojenské triangulace – Hermannskogel
- 5) Sít' byla vyrovnána bez spojení se sítěmi okolních států.
- 6) Sít' byla převedena do roviny podle vzorců Křovákova zobrazení

Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální se používá od roku 1927.

## 7.2 Výškové systémy

Každý výškový systém je charakterizován těmito faktory:

- a) ***Střední hladinou moře*** (nulovým výškovým bodem).
- b) ***Nivelační sítí*** ( konfigurací sítě a nivelačním měřením)
- c) ***Způsobem výpočtu oprav*** z vlivu tíhového pole Země na výsledky nivelace.
- d) ***Vyrovnáním nivelační sítě.***

*Změní-li se některý z uvedených faktorů, změní se výšky nivelačních bodů; změní se výškový systém, který je třeba vhodně označit, aby nedocházelo k záměnám a chybám.*

Změny ve výškách jsou malé při novém měření v téže nivelační síti nebo při novém vyrovnání sítě; větší mohou být při jiném výpočtu oprav z vlivu tíhového pole Země; značně velké změny mohou nastat ( řádově v decimetrech) při změně střední hladiny moře.



### **7.2.1 Jadranský výškový systém**

Jadranský výškový systém byl na našem státním území budován postupně. V roce 1918 jsme měli neúplnou nivelační síť I. řádu, zaměřenou v letech 1872-1896 Vojenským zeměpisným ústavem ve Vídni. Výšky byly vztaženy ke střední hladině Jaderského moře v Terstu, na Molo Sartorio. Základním výškovým bodem pro české kraje byl Lišov u Českých Budějovic o výšce 565,1483 m nad Jadranským mořem.

Po roce 1918 byla síť stále budována v českých zemích nivelačním oddělením ministerstva veřejných prací, na Slovensku Vojenským zeměpisným ústavem v Praze. Později bylo započato se soustavným budováním „Československé jednotné nivelační sítě“ (ČSJNS).

### **7.2.2 Baltský výškový systém**

V roce 1946 v tehdejším Sovětském svazu spojili několik výškových systémů v jeden, jehož základním bodem je nula vodočtu v Kronštadtu. Systém byl nazván „baltský“.

Naše nivelační síť byla v roce 1949 spojena s touto sovětskou sítí a sítěmi sousedních tehdejších lidově demokratických států v jeden celek.

Všechna naměřená převýšení byla opravena o „normální“ tíhové korekce a následně jako celek vyrovnána. Tak vznikl „výškový systém baltský - po vyrovnání (Bpv).

Baltský výškový systém se tedy liší od jaderského výškového systému v tom, že má jinou střední hladinu moře, jiné tíhové opravy a jiné vyrovnání sítě; nezměněna zůstala konfigurace sítě a nivelační měření.

Tato skriptá vznikla za finanční podpory projektu Z.02.2.69/0.0/0.0/16\_015/0002338:  
"Technika pro budoucnost".

## 8 Použitá literatura

- [1] Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. *VÚGTK* [online]. 2019 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/index.php>
- [2] RYŠAVÝ, Josef. *Praktická geometrie: Nižší geodézie*. I. vydání. Praha: Česká matice technická, 1941.
- [3] BARTSCH, Hans-Jochen a Zdeněk TICHÝ. *Matematické vzorce*. 2. rev. vyd. Praha: SNTL, 1987.
- [4] PLÁNKA, Ladislav. *KARTOGRAFIE I: Část 1* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://www.hgf.vsb.cz/544/cs/studium/skripta/>
- [5] MIKULENKA, Václav. *Základní souřadnicové výpočty: Učební texty* [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://www.hgf.vsb.cz/544/cs/studium/skripta/>
- [6] *Vyhláška č. 31/1995 Sb. Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením*. In: . Praha: ČÚZK, 1995. Dostupné také z: <https://cuzk.cz/Predpisy/Pravni-predpisy-v-oboru-zememerictvi-a-katastru/31-1995.aspx>

doc. Ing. Pavel Černota, Ph.D.  
doc. Ing. Hana Staňková, Ph.D.  
Ing. Rostislav Dandoš, Ph.D.  
Ing. Petr Jadvišček, Ph.D.  
Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
Ing. Jakub Kostecký, Ph.D.

Katedra geodézie a důlního měřictví

Geodézie 1

Ostrava, 2019, 1. vydání

62 stran

Vydala: Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava

on-line

Neprodejné

ISBN 978-80-248-4261-5