

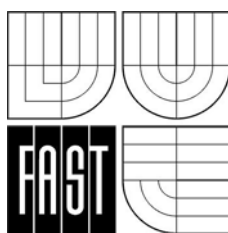
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

JOSEF VITÁSEK - ZDENĚK NEVOSÁD

GEODÉZIE

MODUL 01

PRŮVODCE PŘEDMĚTEM GEODÉZIE



STUDIJNÍ OPORY
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA

© doc. Ing. Josef Vitásek, CSc., prof. Ing. Zdeněk Nevosád, DrSc., 2004

OBSAH

1 Úvod.....	5
1.1 Cíle.....	5
1.2 Požadované znalosti.....	5
1.3 Doba potřebná ke studiu.....	5
1.4 Klíčová slova.....	5
2 Základní údaje a pojmy v geodézii	6
2.1 Tvar Země, referenční plochy.....	6
2.2 Vliv zakřivení Země.....	6
2.3 Geodetické základy a souřadnicové systémy.....	6
2.4 Základní měrové jednotky.....	7
2.5 Zpracování měření a jeho kvalita.....	7
3. Základní měřické práce	9
3.1. Měření směrů a úhlů.....	9
3.2. Měření délek.....	9
3.2.1 Přímé měření délek a opravy délek z nadmořské výšky a kartografického skreslení.....	9
3.2.2 Nepřímé měření délek.....	10
3.3. Určování převýšení a výšek bodů.....	10
3.3.1 Geometrická nivelace.....	11
3.3.2 Hydrostatická nivelace.....	11
3.3.3 Trigonometrické určování převýšení a výšek.....	11
4. Určování polohy bodů	13
4.1 Souřadnicové výpočty.....	13
4.1.1 Výpočet směrníku a délky strany.....	14
4.1.2 Výpočet souřadnic bodů rajonem.....	14
4.1.3 Určení souřadnic bodu metodou protínání vpřed.....	15
4.1.3.1 Protínání vpřed z měřených úhlů.....	15
4.1.3.2 Protínání z měřených délek.....	16
4.1.4 Určení souřadnic bodů polygonovými pořady.....	17
4.1.4.1 Polygonový pořad oboustranně připojený a oboustranně orientovaný.....	18
4.1.5 Uzavřený polygonový pořad orientovaný, uzavřený polygonový pořad v místní souřadnicové soustavě.....	19
4.1.6 Výpočet souřadnic bodů na měřické přímce a na kolmici k měřické přímce.....	20
4.1.7 Transformace souřadnic.....	22
4.2 Družicové polohové systémy.....	22
4.3 Inerciální měřické systémy (IMS).....	25
5. Metody mapování	27
5.1 Podrobná měření.....	27
5.1.1 Podrobné měření metodou polární.....	27
5.1.2 Práce na stanovisku.....	28

5.1.3	Měřický náčrt	28
5.1.4	Fotogrammetrické mapování.....	28
6.	Mapová díla v ČR	30
6.1	Druhy map, jejich obsah a využitelnost	30
7.	Speciální měřické práce.....	31
8.	Vytyčovací práce	32
9.	Kontrolní měření.....	34
9.1	Měření posunů a deformací stavebních objektů.....	34
10.	Závěr	35
11.	Studijní prameny	36
11.1	Seznam použité literatury	36
11.2	Seznam doplňkové studijní literatury.....	36

1 Úvod

Předložený text je průvodcem tištěných skript [1] až [4], jejichž obsah je třeba nastudovat ke zkoušce. Navíc je doplněn podrobnějšími informacemi o družicových polohových systémech a inerciálních měřických systémech.

1.1 Cíle

Cílem předmětu geodézie je seznámit studenty kombinovaného stupně studia s geodetickými pracemi používanými ve stavebnictví. Rozsah předmětu, který má 56 hodin, umožňuje přednést a procvičit jen základní metody dostačující k řešení jednoduchých úkonů na stavbách. Dále pak získat poznatky využitelné při zadání a přebírání geodetických prací.



1.2 Požadované znalosti

Přehled o geodetických základech v ČR. Základní měřické práce. Geodetické aplikace ve stavebních pracích. Vytyčování staveb, využití základních geodetických přístrojů. Zpracování geodetických měření. Určování posunů a deformací. Základy katastru nemovitostí. Současné mapy v ČR.



1.3 Doba potřebná ke studiu

30 hod. studium teorie

30 hod. zpracování praktických úloh



1.4 Klíčová slova

Úhly, délky, výšky, družicová měření, souřadnicové výpočty, mapování, fotogrammetrie, geometrický plán, vytyčování, určování posunů a deformací, katastr nemovitostí



2 Základní údaje a pojmy v geodézii



Základní údaje a pojmy v geodézii jsou uvedeny v [3].

2.1 Tvar Země, referenční plochy

Geofyzikálním tělesem nahrazujícím Zemi je geoid. Geometrickými náhradními tělesy jsou elipsoid a koule.

O tvaru Země, náhradních tělesech je pojednáno v [3] na stranách 2, 3. Velikosti poloos elipsoidů používaných v ČR je uvedeno v [3] tabulce 2.1. str. 3. Na obr. 2.1. str. 3 v [3] je znázorněna vertikální rovina definována normálou a směrem tížnice v bodě P. Z obrázku jsou zřejmé rozdílné průběhy hlavních náhradních těles vzhledem k povrchu Země.

Kontrolní otázky



Ke které ploše se vztahuje tížnice a normála?

Co je tížnicová odchylka?

Jaké se používají elipsoidy v ČR?

Jaké referenční plochy se používají v ČR?

Jestliže Vám odpovědi na tyto kontrolní otázky činily problémy, raději si uvedenou problematiku znovu nastudujte.

2.2 Vliv zakřivení Země

O uvedené problematice je pojednáno v [3] na str. 3-5, znázorněné v [3] na obr. 2.2, str. 3. Příklady týkající se dané problematiky jsou uvedeny v [3] tab. 2.2., 2.3., str. 4.

2.3 Geodetické základy a souřadnicové systémy

Uvedená problematika je uvedena v [3] na str. 5, 6. Schéma kuželového zobrazení v [3] na obr. 2.3. a 2.4. str. 5.

O souřadnicových systémech a znázornění směrů os je uvedeno i v [2] na str. 10, 11.

Kontrolní otázky



Jaký je princip Křovákova zobrazení?

Jaké jsou polohové základy a polohové sítě v ČR?

V případě, že nejste schopni dostatečně odpovědět na dané otázky, je nutné si zopakovat doporučenou literaturu.

2.4 Základní měrové jednotky

O měrových jednotkách a převodu vedlejších jednotek na radiány je pojednáno v [3] na stranách 6-8.

Kontrolní otázky

Jaké se používají měrové jednotky podle SI?



Jaké jsou odhady středních kvadratických chyb odvozené pro aritmetický průměr prostý a obecný?

V případě neznalosti jednotek SI a chyb měřických procesů je nutné se znovu seznámit s danou literaturou.

Příklad 2.1.

S jakou přesností je třeba změřit úhel, aby na vzdálenost $s = 100\text{ m}$ byla příčná odchylka p menší než 1 cm ($p \leq 1\text{ cm}$)?



Postup výpočtu:

$$\frac{\alpha''}{\rho''} = \frac{P}{S} \Rightarrow \alpha'' = \frac{P}{S} \cdot \rho'' \cong \frac{0,01\text{ m}}{100\text{ m}} \cdot 206265 \cong 21''$$

Příklad 2.2

Středový úhel oblouku osy koleje je $\alpha = 20^\circ$, poloměr $R = 300\text{ m}$. Jaká bude délka oblouku?



Postup výpočtu:

$$\bar{S} = \frac{\alpha \cdot R}{\rho^\circ} = \frac{20^\circ}{57,29578} \cdot 300\text{ m} = 0,349 \cdot 300 \cong 105\text{ m}$$

viz [3] str. 6-8.

2.5 Zpracování měření a jeho kvalita

O způsobu zpracování a kvalitě naměřených veličin je pojednáno v [3] na str. 12-14.

Příklad 2.3

Úhel ω se určí jako rozdíl dvou směrů ψ_1, ψ_2 tj. $\omega = \psi_1 - \psi_2$. Jestliže jsou oba směry měřeny se stejnou přesností, například $m_\psi = 10^{cc}$ je střední chyba



$$\text{úhlu } m_\omega^2 = m_\psi^2 + m_\psi^2 \Rightarrow m_\omega = m\sqrt{2} = 10\sqrt{2} \cong 14^{cc}$$

Příklad 2.4

Převýšení h máme určit z měřené vzdálenosti $s = 100 \text{ m}$ a zenitového úhlu $z = 87^{\text{s}} 43^{\text{c}}$ se střední chybou $m_h \leq 2 \text{ mm}$. Naším úkolem je stanovit s jakou přesností je nutné měřit (s , z), aby byla dodržena požadovaná přesnost

$$h = s \cdot \cot g z$$

$$m_h^2 = m_s^2 \cot^2 g z + \left(s \frac{1}{\sin^2 z} \right)^2 \left(\frac{m_z}{\rho} \right)^2$$

$$m_s^2 \cot^2 g z \equiv \frac{m_h^2}{2} = 2 \text{ mm}^2, \quad \left(s \frac{1}{\sin^2 z} \right)^2 \cdot \left(\frac{m_z}{\rho} \right)^2 = 2 \text{ mm}^2$$

Dosažením za s zjistíme, že k dodržení požadované přesnosti je nutné vzdálenost s určit s chybou $m_s = 7 \text{ mm}$ a úhel z s chybou $m_z = 9,0^{\text{cc}}$.

3. Základní měřické práce

3.1. Měření směrů a úhlů

Uvedená problematika je uvedena v [1] na stranách 2-11. V úvodu kapitoly je pojednáno o směru v prostoru a jeho složkách (směr vodorovný, směr svislý). Dále pak o teodolitech a jeho částech, osových podmínkách, čtecích pomůckách, elektronických teodolitech, přístrojových chybách, centraci a horizontaci přístrojů, měření vodorovných směrů v jedné poloze dalekohledu, ve skupině (ve skupinách), měření zenitových (svislých) úhlů.



Příklad 3.1

V [1] na straně 9 na obr. 1.16 je uveden příklad zápisu měření osnovy vodorovných směrů a postup výpočtu .



Příklad 3.2

V [1] na straně 11 na obr. 1.19 je uveden příklad zápisu a výpočtu společného měření vodorovných směrů a svislých úhlů.



Kontrolní otázky

Jaké musí teodolit splňovat osově podmínky, aby byl funkční?

Jakým způsobem kontrolujeme splnění osových podmínek teodolitu?

Nesplnění podmínky $L \perp V$ se dá či nedá odstranit měřickým postupem?

Jaký je pracovní postup při měření vodorovných směrů ve skupinách?

Jaký je pracovní postup při měření zenitových (svislých) úhlů?



V případě, že nejste schopni dostatečně kvalifikovaně odpovědět na dané otázky je nutné znovu prostudovat uvedenou literaturu.

3.2. Měření délek

V geodetické praxi se rozlišuje měření šikmých délek nebo jejich vodorovných průmětů. Rozeznáváme přímé a nepřímé měření délek mezi dvěma body. Délková měření jsou třeba převádět do kartografického zobrazení vždy, když jde o mapovací práce, např. pro potřeby katastru. Pro stavební práce se zpravidla délky nepřevádějí, protože by mohlo docházet k nesprávnému ovlivnění velikosti ploch a zejména vypočtených kubatur.



3.2.1 Přímé měření délek a opravy délek z nadmořské výšky a kartografického skreslení

O dané problematice a chybách při měření délek pásmem je pojednáno v [2] na stránkách 27, 28. Na obrázku v [2] 4.2. na straně 28 je uveden diagram délko-

vého skreslení v S-JTSK. Metoda měření je uvedena v [1] na straně 12, odstavec 2.1.

Příklad 3.3



O jakou hodnotu Δs musíme opravit naměřenou vodorovnou délku $s = 319$ m ve výšce 1000 m, aby byla převedena do nulové nadmořské výšky? Opravu vypočteme z rovnice (4.1.) uvedené v [2] na straně 27 kde

$$\Delta s_1 = -s \frac{H}{R}$$

V rovnici je délka s , R poloměr náhradní koule Země, H nadmořská výška. Dosazením hodnot do rovnice zjistíme, že v nulové výšce je nutné délku zkrátit o 50 mm. Délku, kterou jsme převedli do nulové výšky je nutné převést do kartografické roviny. Kartografické skreslení určíme z diagramu viz [2] obr. 4.2. na straně 28, do kterého si zobrazíme střed území, v kterém jsme délku měřili. Opravy Δs_k jsou uvedeny na kraji diagramu v milimetrech na 100 m délky.

3.2.2 Nepřímé měření délek

Nepřímo lze určit délky elektronickými dálkoměry, optickými dálkoměry, trigonometricky. O měření délek je pojednáno na str. 28 až 36 v [2].

Kontrolní otázky



Jaký je princip měření délek světelnými dálkoměry?

Jak se vypočte délka z trojúhelníku a polygonového pořadu?

Kdy je třeba zavádět opravy k měřeným délkám?

Jakých hodnot na 1 km mohou dosahovat opravy v Křovákově zobrazení?

V případě, že neodpovíte na dané otázky na požadované úrovni je nutné si danou problematiku znovu prostudovat ze zadané literatury.

3.3. Určování převýšení a výšek bodů

Převýšení a výšky bodů lze určovat různými způsoby. Při volbě způsobu budeme vycházet především z požadované přesnosti. Nejčastěji se v geodézii používá **geometrická nivelace, hydrostatická nivelace, trigonometrické metody a družicová měření.**

Základ výškových měření tvoří výškové bodové pole. Body výškových bodových polí jsou v přírodě stabilizovány. Výšky bodů musí být v ČR určeny v systému „Bpv“.

Výškové systémy, výšková bodová pole a stabilizace výškových bodů jsou popisovány v [2] na stránkách 47, 48.

3.3.1 Geometrická nivelace

V [2] na stranách 48 až 53 je pojednáno o způsobu měření, zápisu a určování výšek, používaných přístrojích, technických parametrech některých nivelačních přístrojů, osových podmínkách a chybách, které mohou nastat při měření.

O pořadové nivelaci, především po praktické stránce, postupech rektifikace přístrojů, přesnostech je pojednáno v [1] na stranách 17 až 23.

3.3.2 Hydrostatická nivelace

Hydrostatickou nivelací není možné nahradit velmi přesnou nivelací. Ve srovnání s geometrickou nivelací je hydrostatická nivelace těžkopádnější a také stabilizace speciálních značek je velmi nákladná. Používá se především ve stísněných prostorech, kde je velice obtížné realizovat nivelační záměru, a přes vodní toky. S výhodou se hydrostatické nivelace používá jako stacionární (trvale umístěné) na některých významných stavbách (např. jaderných elektrárnách, přehradách), kde se požaduje kontinuální měření, čtení se děje elektronicky a výsledky se automaticky registrují v paměti přístrojů.

O hydrostatické nivelaci je pojednáno v [2] na stranách 58, 59, odstavec 6.4.

3.3.3 Trigonometrické určování převýšení a výšek

Trigonometrické určení převýšení je běžnou metodou v různých geodetických pracích. Prakticky se vyskytují tři základní varianty této úlohy: **určení výšky nepřístupného bodu (signálu), určení výšky objektu a určení převýšení dvou bodů**. Převýšení se počítá ze známé vzdálenosti bodů a z měřeného zenitového úhlu na jednom z obou bodů. Přesnost vypočteného převýšení, určeného na větší vzdálenost než několik set metrů, je závislá především na chybě zenitového úhlu a na znalosti vertikální složky refrakce.

O trigonometrickém určování výšky bodu, určování výšky objektu je pojednáno v [2] strany 57, 58, odstavec 6.3. V témže odstavci je věnována pozornost vlivu zakřivení Země a vlivu vertikální složky refrakce na určované převýšení. Pro názornost jsou některé hodnoty uvedeny v [2] tab. 6.3.

Příklad 2.4.

V [1] na stranách 15 a 16 jsou uvedeny pracovní postupy při trigonometrickém určování výšek předmětů a výšky bodu, na straně 16 je uveden početní příklad na určení výšky bodu.



Kontrolní otázky



Jaké jsou výškové základy v ČR?

Jaký je princip geometrické nivelace?

Jak se odvodí trigonometricky určené převýšení?

Jaká je přesnost geometrické nivelace a trigonometricky určeného převýšení?

Jestliže odpovědi těchto kontrolních otázek Vám dělají problémy, znovu si prostudujte zadanou literaturu.

4. Určování polohy bodů

4.1 Souřadnicové výpočty

Geodetické a kartografické práce musí být vedeny ve stanovených referenčních souřadnicových systémech. V geodézii se používají pravoúhlé souřadnicové systémy rovinné a prostorové. Ve stavebních pracích a při sledování posunů a deformacích objektů je účelné používat vhodné místní souřadnicové systémy.



Rovinné souřadnicové systémy jsou voleny v zobrazovacích rovinách, v nichž jsou také vedena celostátní mapová díla.

Závaznými souřadnicovými systémy v ČR jsou v současné době rovinný souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK), dožívající rovinný souřadnicový systém 1942/83 (S-1942/83) používaný českou armádou, rovinný souřadnicový systém 1942/83 (S-42/83), trojrozměrný světový souřadnicový systém 1984, označovaný zkratkou WGS84 a evropský terestrický referenční systém ETRS89.

Pro mapové podklady k projektování staveb, geometrické plány, mapy velkého měřítká (katastrální mapy) je již od období první republiky používán S-JTSK, který byl vybudován jako národní referenční systém pro bývalou Československou republiku. S-JTSK je charakterizován třemi základními faktory: Besselovým elipsoidem, Křovákovým konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze a vybudovanou Jednotnou trigonometrickou sítí katastrální (JTSK).

V rozvinuté rovině kuželového zobrazení je zaveden pravotočivý souřadnicový systém $\underline{x}, \underline{y}$ s počátkem ve vrcholu kužele. Osa \underline{x} byla zvolena v poledníkové rovině procházející vrcholem kužele a má kladný směr přibližně v jižním směru. Kladný směr osy \underline{y} směřuje západním směrem. Souřadnicový systém JTSK je záměrně umístěn tak, aby celá Československá republika ležela v jednom kvadrantu.

Česká státní trigonometrická síť (ČSTS) je součástí JTSK, která vznikla jako plošná trojúhelníková síť I. až V. řádu. Sousední trigonometrické body mají průměrnou vzdálenost 1,5 km až 2,5 km v závislosti na hustotě osídlení, členitosti terénu a zalesnění. Body jsou stabilizovány obvykle buď žulovými kameňmi s vytesaným křížkem a dvěma podzemními značkami, nebo jsou to věže kostelů, zámků apod., zejména u bodů IV. a V. řádu. Kamenné stabilizace ve volném terénu jsou zpravidla opatřeny ochrannými červenobílými tyčemi.

Pokud chceme některý z bodů zařadit do měřického procesu musí být signalizovaný. Signalizace může být trvalá (věž kostela apod.) a nebo dočasná. Běžnými pomůckami jsou terč a vytyčka. Někdy je třeba k dosažení volné záměry signalizovat body tyčovými signály nebo měřickými věžemi.

Pro technickou praxi je hustota trigonometrických bodů nedostatečná. Proto se musí ČSTS zhušťovat družicovými a terestrickými metodami. V roce 2004 bylo v ČR dokončeno na většině území měření kolem 28000 zhušťovacích bodů, převážně družicovými metodami. Jejich hustota je jeden až dva body na 1 km². Přesto je někdy třeba dodatečně zhustit danou síť bodů některými terest-

rickými metodami, kdy polohové body jsou určeny měřenými směry (úhly), délkami a zenitovými úhly, popřípadě i geometrickou nivelací.

Souřadnice neslouží jen ke zhuštění bodového pole, ale také k projekční činnosti, výpočtu vytyčovacíh prvků a k vlastním vytyčovacíh pracím stavebních objektů.

Při řešení souřadnicových úloh rozlišujeme:

- **Dané body**, tj. body, jejichž poloha v rovině je určena pravoúhlými rovinnými souřadnicemi X , Y a výškou H (tzv. nadmořskou výškou) ve výškovém systému Balt po vyrovnání „Bpv“. Jsou to body, od kterých úhlovým, délkovým a výškovým měřením určujeme souřadnice a výšky dalších bodů.

- **Určované body**, jejichž souřadnice X , Y , H . Vypočteme z měřených směrů, délek, převýšení a souřadnic a výšek daných bodů.

Od roku 2004 jsou na intranetu dostupné databáze bodových polí.

Z výpočetních úloh se budeme věnovat:

- Výpočtu směrníku a délky strany
- Výpočtu souřadnic bodu rajonem
- Určení souřadnic bodu metodou protínání vpřed (z měřených úhlů, měřených délek)
- Určení souřadnic bodu metodou volného stanoviska
- Určení souřadnic bodů polygonovými pořady
- Výpočet souřadnic bodů na měřické přímce a výpočet souřadnic bodů na kolmici k měřické přímce
- Transformaci souřadnic

4.1.1 Výpočet směrníku a délky strany

Základní úlohou při souřadnicovém určování polohy bodu je výpočet směrníku a délky strany mezi dvěma danými body.

O dané problematice je pojednáno v [3] na stranách 15 až 17.

Příklad 4.1



Vypočtete jižník a délku strany. Vzorový příklad je uveden v [1] na straně 28.

4.1.2 Výpočet souřadnic bodů rajonem

Jedná se o jednu z nejčastějšíh úloh pro určení souřadnic bodů, a to pro její jednoduchost.



Poznámka: I když výpočet provedeme bezchybně, nemáme záruku, že nově určené souřadnice jsou správné. Chyby mohou být v souřadnicích daných bodů a v měřených veličinách. Z těchto důvodů je nutné

kontrolovat určení bodu měřením jedné nebo více nadbytečných veličin na další dané body.

Řešení úlohy je uvedeno v [3] na straně 17 a na str. 18.

Příklad 4.2.

Vypočítejte souřadnice a výšku nově určovaného bodu P rajonem.

Jsou dány souřadnice bodů A, B



	Y	X	H
A	540 269,91	1 169 938,32	222,16
B	540 365,99	1 169 931,73	231,71.

Měřeno: $\omega_{BAP} = 183,2644^g$, $s_{AP} = 96,31 m$, $z_{AP} = 81,1612^g$, $z_{AB} = 93,7160^g$

Postup výpočtu:

1) Nejprve vypočteme $\sigma_{AB} = 104,3597^g$

2) Vypočteme $\sigma_{AP} = \sigma_{AB} + \omega_{BAP} = 104,3597^g + 183,2466^g = 287,6063^g$

3) Vypočteme souřadnicové rozdíly ΔY_{AP} , ΔX_{AP}

$$\Delta Y_{AP} = s_{AP} \cdot \sin \sigma_{AP} = -94,49 m$$

$$\Delta X_{AP} = s_{AP} \cdot \cos \sigma_{AP} = -18,63 m$$

4) Vypočteme souřadnice nově určovaného bodu P

$$Y_P = Y_A + \Delta Y_{AP} = 540175,42 m$$

$$X_P = X_A + \Delta X_{AP} = 1169919,68 m$$

5) Výpočet výšky: kontrolní určení výšky bodu B

$$H_B^m = H_A + \Delta h_{AB} = H_A + s_{AB} \cdot \cot g z_{AB} = +9,537 + 222,16 = 231,70 m$$

$$zjištěna odchylka \sigma_H = H_B - H_B^m = +0,01 m$$

Výpočet výšky bodu P :

$$H_P = H_A + \Delta h_{AP} = H_A + s_{AP} \cdot \cot g z_{AP} = 222,16 + 29,362 = 251,52 m$$

4.1.3 Určení souřadnic bodu metodou protínání vpřed

4.1.3.1 Protínání vpřed z měřených úhlů

Řešení úlohy je uvedeno v [3] na straně 18. Je třeba si uvědomit, že vypočtené souřadnice nemusí být správné. Shoda dvakrát vypočtených souřadnic kontroluje jen správnost výpočtu. Omyly v měřených úhlech nebo souřadnicích daných bodů, kontrolovány nejsou. Ke kontrole správnosti vypočtených souřadnic bodu P je třeba zaměřit vhodné kontrolní veličiny. Např. je vhodné zaměřit



další úhel na třetím daném bodě a vypočítat ještě jednou souřadnice z druhé kombinace protínání vpřed.

Příklad 4.3



Vypočtete souřadnice nově určovaného bodu protínáním vpřed z měřených úhlů. Postup řešení a vzorový příklad je uveden v [1] na stranách 34 až 36.

4.1.3.2 Protínání z měřených délek

U protínání z délek jsou určujícími veličinami délky měřené zpravidla na bodě, jehož souřadnice počítáme. Zda při měření nedošlo k omylu se kontroluje měřením délky na další bod o známých souřadnicích a vypočítají se znovu souřadnice z další kombinace.

Řešení protínání z měřených délek je uvedeno v [3] na straně 19.

Příklad 4.4



Vypočtete souřadnice a výšku bodu 12 protínání vpřed z měřených délek. Jsou dány souřadnice a výšky bodů 14 ; 16.

	Y	X	v_c	H
14	745 234,06	1 041 938,97	1,58	938,60
16	744 200,87	1 042 449,37	1,52	515,21

a délky $s_{12,14}$; $s_{12,16}$. Naměřené délky byly opraveny o fyzikální a matematické redukce

$$s_{12,14} = 1722,16 \text{ m} ; s_{12,16} = 888,08 \text{ m} ;$$

výška přístroje na stanovišti 12 $v_s = 1,70$

$$a \text{ zenitové úhly } z_{12,14}, z_{12,16} \quad , \quad z_{12,14} = 81,1216^g \quad , \quad z_{12,16} = 92,6678^g$$

Postup výpočtu:

1) Vypočteme $\sigma_{14,16}$, $\sigma_{16,14}$

$$\sigma_{14,16} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta Y_{14,16}}{\Delta X_{14,16}} = \operatorname{arctg} \frac{-1033,19}{510,41} = 329,2109^g$$

$$\sigma_{16,14} = 129,2109^g$$

2) Vypočteme délku $s_{14,16}$

$$s_{14,16} = \sqrt{\Delta Y_{14,16}^2 + \Delta X_{14,16}^2} = 1152,39 \text{ m}$$

3) Pomocí Heronových vzorců vypočteme úhly ω_{14} , ω_{16} viz [3] strana 19

$$\omega_{14} = 31,0924^g ; \omega_{16} = 127,2331^g$$

4) Vypočteme jižníky $\sigma_{14,12}$ a $\sigma_{16,12}$

$$\sigma_{14,12} = \sigma_{14,16} + \omega_{14} = 360,3034^g$$

$$\sigma_{16,12} = \sigma_{16,14} - \omega_{16} = 1,9778^g$$

5) Vypočteme souřadnicové rozdíly $\Delta Y_{14,12}$; $\Delta X_{14,12}$, $\Delta Y_{16,12}$, $\Delta X_{16,12}$

$$\Delta Y_{16,12} = s_{16,12} \cdot \sin \sigma_{16,12} ; \Delta X_{16,12} = s_{16,12} \cdot \cos \sigma_{16,12}$$

$$\Delta Y_{14,12} = s_{14,12} \cdot \sin \sigma_{14,12} ; \Delta X_{14,12} = s_{14,12} \cdot \cos \sigma_{14,12}$$

$$\Delta Y_{16,12} = +27,59 \quad \Delta X_{16,12} = +887,65$$

$$\Delta Y_{14,12} = -1005,61 \quad \Delta X_{14,12} = +1398,06$$

$$\Delta H_{14,12} = -(s_{12,14} \cdot \cot g z_{12,14}) = -526,21 m$$

$$\Delta H_{16,12} = -(s_{12,16} \cdot \cot g z_{12,16}) = -102,74 m$$

6) Vypočteme dvakrát souřadnice Y_{12} , X_{12} , H_{12} ze stanovisek 14 a 16

$$Y_{12}^1 = Y_{14} + \Delta Y_{14,12} = 744\,228,46 m$$

$$X_{12}^1 = X_{14} + \Delta X_{14,12} = 1\,043\,337,03 m$$

$$Y_{12}^2 = Y_{16} + \Delta Y_{16,12} = 744\,228,46 m$$

$$X_{12}^2 = X_{16} + \Delta X_{16,12} = 1\,043\,337,03 m$$

$$H_{12} = H_{14} + \Delta H_{14,12} + v_c^{14} - v_s^{12} = 938,60 - 526,21 + 1,58 - 1,70 = 412,27 m$$

$$H_{12} = H_{16} + \Delta H_{16,12} + v_c^{16} - v_s^{12} = 515,21 - 102,74 + 1,52 - 1,70 = 412,29 m$$

Poznámka: Rovinné souřadnice vypočtené z obou daných bodů musí být shodné. Mohou se jen o málo lišit z důvodů zaokrouhlování. Výška H_{12} se získá aritmetickým průměrem z obou vypočtených výšek.



$$Y_{12} = 744\,228,46 m ; X_{12} = 1\,043\,337,03 m$$

$$H_{12} = 412,28 m$$

4.1.4 Určení souřadnic bodů polygonovými pořady

Polygonové pořady je možno dělit na:

- Polygonový pořad oboustranně připojený a oboustranně orientovaný - základní polygonový pořad
- Polygonový pořad oboustranně připojený a jednostranně orientovaný



- Polygonový pořad vetknutý - (oboustranně připojený bez orientací na koncových bodech)
- Polygonový pořad jednostranně připojený a jednostranně orientovaný (často nazývaný volný polygonový pořad)
- Polygonový pořad uzavřený a orientovaný
- Polygonový pořad uzavřený v místní souřadnicové soustavě

4.1.4.1 Polygonový pořad oboustranně připojený a oboustranně orientovaný

Uvedený typ pořadu je základním (hlavním) k určení souřadnic dalších bodů ke zhuštění PBPP. Na počátečním a koncovém bodě pořadu se ve většině případů měří na více bodů o daných souřadnicích. Jižník (směrník) počátečního a koncového bodu se určí aritmetickým průměrem.

U tohoto typu pořadu jsou měřeny tři nadbytečné veličiny uvnitř pořadu (jedna délka a dva vrcholové úhly) a další veličiny při více než po jedné orientaci na počátečním a koncovém bodě. V případě jedné orientace na počátečním a koncovém bodě jsou u tohoto typu pořadu tři nadbytečné veličiny. U tohoto typu pořadu dochází k úhlovému a souřadnicovému vyrovnání.

Odvození matematických formulí je uvedeno v [3] na stranách 20 až 22.

Příklad 4.5



Vypočtete rovinné souřadnice oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu.

Jsou dány souřadnice počátečního bodu 520, koncového bodu 641, souřadnice orientačního bodu 4421 na začátku pořadu a souřadnice orientačního bodu 644 na konci pořadu.

	Y	X
620	597 910,72	1 162 571,58
641	598 096,94	1 162 307,19
4 421	598 750,54	1 160 759,08
644	598 147,80	1 162 209,66

Měřené veličiny:

Délky S_{ij}

$$S_{620-639} = 84,39 \text{ m}; \quad S_{639-640} = 114,34 \text{ m}; \quad S_{640-641} = 126,75 \text{ m}$$

Úhly $\omega_{i-1,j}$

$$\omega_{4421-620} = 376,6740^{\text{g}}; \quad \omega_{620-640} = 213,7959^{\text{g}}$$

$$\omega_{639-641} = 204,2431; \quad \omega_{640-644} = 202,2964^{\text{g}}$$

VÝPOČET SOUŘADNIC BODŮ POLYGONOVÝCH POŘADŮ

Číslo pořadí	x (řádek) + cos α		Úhly a úhlové vyrovnání			Směrníky		Strany s	sin α		Souřadnice a souřadnicové vyrovnání	
	Číslo bodu		β	α	α'				1 + sin α	cos α	y	x
(1)	(2)		(3)			(4)		(5)	(6)		(7)	(8)
4421												
620	376	67	+ 32	172	37	71				597	910,72	1 162 571,58
									+1			
639	213	79	+ 30	149	05	43	84,39			60,55		-58,78
										579	977,28	1 162 572,80
									+1			
640	204	24	+ 30	162	85	32	114,34			63,00		-95,42
										598	034,29	1 162 417,38
									+2			+1
641	202	29	+ 30	167	09	93	126,75			62,63		-110,20
										598	096,94	1 162 307,19
644	m.s.	6,4		169	39	87	157 =			Δ _{PK} + 186,22		Δ _{PK} = -264,39
				169	38	65	325,48			[Δ _Y] + 186,18		[Δ _X] - 264,40
						+ 1	22			0 _y + 0,04		0 _x + 0,01
										0 _p = + 0,04		
										Δ _P = 0,19		

V našem příkladu je použita empirická mezní odchylka

$$\Delta\omega = \pm 100\sqrt{n+3} ; (n = \text{počet vrcholů}) \text{ a } \Delta p = 0,010\sqrt{[s]}$$

Při řešení polygonových pořadů oboustranně připojených a jednostranně orientovaných odpadá úhlové vyrovnání. Přímou se vypočtou jižníky σ_{ij} , ostatní postup je shodný s polygonovým pořadem oboustranně připojeným a oboustranně orientovaným.

Polygonový pořad jednostranně připojený a jednostranně orientovaný (volný). Jedná se o polygonový pořad, kdy není možné úhlové ani souřadnicové vyrovnání. Pořad, se užívá ve zvláštních případech především pro mapovací účely (podle předpisů je omezena délka pořadu i počet stran).

Polygonový pořad vetknutý nepatří do náplně předmětu Geodézie pro stavební obory. Přesto je o něm ve zkrácené formě pojednáno v [1] na straně 30.

4.1.5 Uzavřený polygonový pořad orientovaný, uzavřený polygonový pořad v místní souřadnicové soustavě

Polygonový pořad uzavřený orientovaný je v podstatě shodný s polygonovým pořadem oboustranně připojeným a oboustranně orientovaným. Rozdíl je v tom, že polygonový pořad začíná a končí na stejném bodě. Ve většině případů je i orientováno na tentýž bod (tytéž body). K úhlovému vyrovnání se použije matematické formule pro součet úhlů v n -úhelníku, vnitřní úhly $(n-2) \cdot 200^g$; vnější úhly $(n+2) \cdot 200^g$.





Poznámka: Uvedený typ pořadu má malou spolehlivost, i kdyby teoreticky dosáhly odchylky O_ω , O_Y , O_X nulových hodnot. Vypočtené souřadnice přesto nemusí být správné. Dokazuje to jen, že číselný výpočet je správný. Pořad může být orientovaný na jiný bod a nebo vychází z jiného bodu.

Uzavřený polygonový pořad v místní souřadnicové soustavě

O uvedené problematice je pojednáno v [1] na stranách 30 až 34.

Příklad 4.6



Vypočtete souřadnice bodů polygonového pořadu v místním souřadnicovém systému. Vzorový příklad je uveden v [1] na stránkách 30 až 34.

4.1.6 Výpočet souřadnic bodů na měřické přímce a na kolmici k měřické přímce



Existuje řada úloh, kdy měřická přímka je dána dvěma body a našim úkolem je určit souřadnice dalších bodů ležících na měřické přímce a nebo na kolmicích k měřické přímce. Řešení těchto úloh je uvedeno v [3] na stranách 23 a 24.

Příklad 4.7



Vypočtete souřadnice bodů na měřické přímce a na kolmici. Jsou dány souřadnice bodů A, B.

	Y	X
A	638 174,46	1 143 649,90
B	638 274,23	1 143 714,83

Na měřické přímce byly vytyčeny a stabilizovány body 1, 2 o vzdálenostech $s_{A1} = 15,42 m$, $s_{12} = 31,17 m$; $s_{2B} = 55,09 m$ (délku s_{2B} je nutné měřit) a délky kolmic $k_{1C} = +11,73 m$, $k_{2D} = -15,91 m$

Postup výpočtu:

1) *Vypočteme délku s_{AB} ze souřadnic a s_m (součet naměřených délek)*

$$s_{AB} = 101,74 ; s_m = 101,68 m$$

2) *Porovnáme mezi sebou délku s_{AB} a s_m a vypočteme*

$$O_s = s_{AB} - s_m = 101,74 - 101,68 = 0,06 m$$

$$\text{kde } s_m = s_{A1} + s_{12} + s_{2B}$$

O_s porovnáme s Δs (mezní polohová odchylka).

Hodnota Δs může být volena různě veliká v závislosti na přesnosti požadovaných výsledků. Pro náš příklad byla zvolena

$$\Delta s = 0,005 \cdot \sqrt{[s_{ij}]} + 0,04; \quad \Delta s = 0,005 \cdot \sqrt{101,74} + 0,04 = 0,09 \text{ m}$$

Jelikož je $O_s < \Delta s < 0,09 \text{ m}$ můžeme pokračovat ve výpočtu.

3) Vypočteme k_Y, k_X

$$k_Y = \frac{\Delta Y_{AB}}{s_m}; \quad k_X = \frac{\Delta X_{AB}}{s_m}$$

$$k_Y = \frac{99,77}{101,68} = 0,981216; \quad k_X = \frac{19,93}{101,68} = 0,196001$$

4) Výpočet souřadnic na měřické přímce

$$Y_1 = Y_A + s_{A1} \cdot k_Y = 638174,46 + 15,47 \cdot k_Y = 638189,59$$

$$X_1 = X_A + s_{A1} \cdot k_X = 1143649,90 + 15,42 \cdot k_X = 1143697,92$$

$$Y_2 = Y_1 + s_{12} \cdot k_Y = 638189,59 + 31,17 \cdot k_Y = 638220,18$$

$$X_2 = X_1 + s_{12} \cdot k_X = 1143697,92 + 31,17 \cdot k_X = 1143704,03$$

$$Y_B = Y_2 + s_{2B} \cdot k_Y = 638220,18 + 55,09 \cdot k_Y = 638274,23$$

$$X_B = X_2 + s_{2B} \cdot k_X = 1143704,03 + 55,09 \cdot k_X = 1143714,82$$

5) Výpočet souřadnic na kolmici k měřické přímce

$$Y_C = Y_A + s_{A1} k_Y + k_{1C} k_X = 638174,46 + 15,42 k_Y + 11,73 k_X = 638191,89$$

$$X_C = X_A + s_{A1} \cdot k_X - k_{1C} k_Y = 1143694,90 + 15,42 k_X - 11,73 k_Y = 1143686,41$$

$$Y_D = Y_C + s_{12} k_Y - (k_{1C} + k_{2D}) k_X = 638191,89 + 31,17 k_Y - (11,73 + 15,91) k_X = 638217,06$$

$$X_D = X_C + s_{12} k_X + (k_{1C} + k_{2D}) k_Y = 1143686,41 + 31,17 k_X + (11,73 + 15,91) k_Y = 1143719,64$$

$$Y_B = Y_D + s_{2B} k_Y + k_{2D} k_X = 638217,06 + 55,09 k_Y + 15,91 k_X = 638274,23$$

$$X_B = X_D + s_{2B} k_X - k_{2D} k_Y = 1143719,64 + 55,09 k_X - 15,91 k_Y = 1143714,83$$

Kontrolní otázky

Jaké se používají souřadnicové systémy v ČR?

Jaké jsou hlavní metody určování polohy bodů?

Jaký je postup měření a výpočtu při určování bodů rajónem?

Jaký je postup měření a výpočtu při určování bodů polygonovým pořadem?

Jaký je postup měření a výpočtu polohy určovaných bodů protínáním vpřed a z délek?

Jaký je princip určování bodů protínáním zpět?

Jaký je základní druh transformace rovinných souřadnic?



Jestliže odpovědi na dané otázky Vám dělaly problémy, je nutné si prostudovat znovu zadanou literaturu



Poznámka: Pro kontrolu je nutné počítat i souřadnice koncového bodu B.

4.1.7 Transformace souřadnic



V technické praxi se často stává, že máme dány pravoúhlé souřadnice v určitém souřadnicovém systému a potřebujeme je převést do jiného souřadnicového systému.

O uvedené problematice je pojednáno v [3] na stranách 24 a 25.

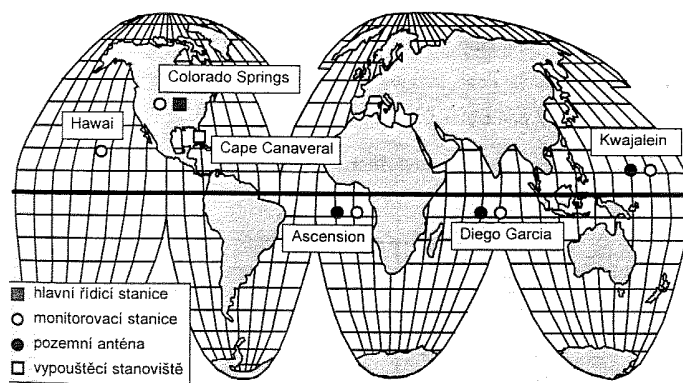
4.2 Družicové polohové systémy

Vyvíjely se v druhé polovině minulého století k navigaci a současně k zaměřování prostorových souřadnic bodů. Od osmdesátých let slouží také k zaměřování relativních souřadnic geodetických bodů. V současné době využívá především amerického navigačního systému GPS-NAVSTAR (Global Positioning System – Navigation System Timing and Ranging) a v posledních letech také někdy ruského systému GLONASS (Глобальная навигационная система]. Z iniciativy evropských států se připravuje projekt dalšího světového navigačního družicového systému GALILEO, který má být uveden do provozu v letech 2006 až 2008.

Družicová měření se stala součástí běžných geodetických prací v Česku už několik roků. Polohu bodů je možno určit kdekoliv na povrchu Země nebo na pohybujících se objektech s podmínkou, že je dostatečně kvalitní příjem rádiových signálů alespoň ze čtyř družic.

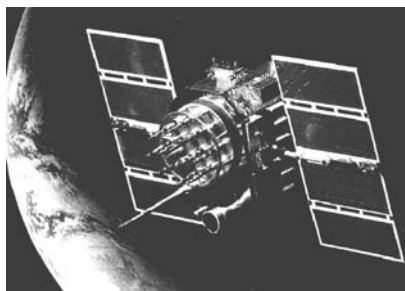
Celý komplex GPS se dělí na tři základní segmenty: řídicí, kosmický a uživatelský. Řídicí segment sestává z hlavní řídicí stanice (Colorado Springs), z monitorovacích stanic a ze stanovišť pozemních antén, umístěných na 11 stanicích po celém světě (obr. 4.1)

Kosmický segment se skládá z aktivních 24 družic (obr. 4.2) a několika družic náhradních, pohybujících se na šesti přibližně kruhových drahách ve výšce asi 20 200 km nad Zemí. Dráhy družic svírají s rovinou rovníku přibližně 55°. Dooba oběhu je přibližně 12 hodin. Družice vysílají signály na dvou nosných frekvencích o vlnových délkách 190 mm a 244 mm.



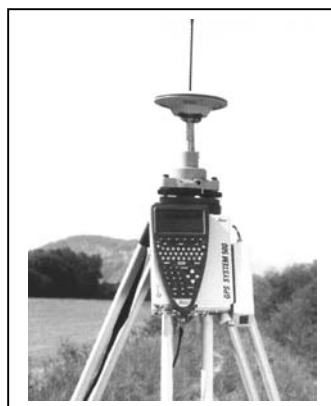
Obr. 4.1 Rozmístění řídicího segmentu

Uživatelský segment tvoří družicové přijímače různých typů, např. obr. 4.3. Pomocí korelační techniky a měření fázových rozdílů se určí vzdálenosti přijímače teoreticky už od čtyř, ale prakticky od více družic. Dráhy družic jsou přesně známy, takže prostorovým protínáním z délek je možno vypočítat polohu zaměřovaného bodu s přesností až kolem několika metrů. Polohová přesnost se zvýší až o několik řádů simultánním (současným) měřením na dvou bodech, takže vektor mezi oběma body o délce až několika kilometrů dosahuje přesnosti až několika milimetrů. S touto vysokou polohovou přesností je možno připojovat zaměřované body k daným bodům geodetických sítí.



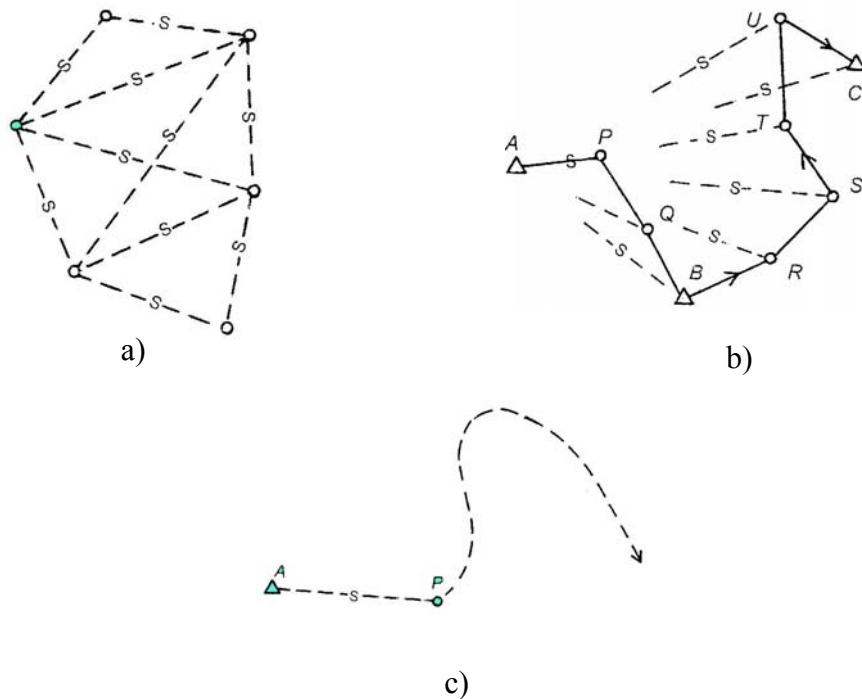
Obr. 4.2 Ukázka družice GPS

Z družicových přijímačů je možno získat buď pravouhlé souřadnice X, Y, Z nebo souřadnice B, L, eH na elipsoidu WGS 84. Pravouhlý systém má střed v těžišti Země, osu X tvoří průsečnice rovníku s nultým poledníkem, osa Y leží v rovině rovníku a osa Z je totožná s osou rotace Země.



Obr. 4.3 Ukázka družicového přijímače

Družicový přijímač sestává z antény s blokem elektroniky, měřicí části s procesorem, ze zobrazovací jednotky a média pro ukládání dat. Podrobnější údaje o činnosti družicových přijímačů a jejich vlastností a celého systému GPS jsou např. v [4].



Obr. 4.4 Schéma základních měřických metod

Měřické metody se dělí na statické a kinematické. Pro určování polohy geodetických bodů je nutné měřit současně se dvěma anebo více družicovými přijímači. Schéma základních metod je na obr. 4.4. K získání vysoké kvality určení souřadnic se používá standardní statické metody (obr. 4.4a), při níž se měří předepsanou dobu na zvolených bodech. Na obr. 4.4b je znázorněna rychlá statická metoda, označovaná Stop and Go, při čemž jeden přijímač zůstává stále na jednom daném bodě a druhý měří krátkou dobu, obvykle několik minut na určovaných bodech $P, Q, R, \dots U$. Princip kinematické metody je nakreslen na obr. 4.4c. Jeden přijímač zůstává opět na jednom bodě a druhý nepřetržitě proměřuje stanovenou trasu. Ve zvolených krátkých časových intervalech, trvajících např. jen několik sekund se měří na zvolených bodech trasy.

Využití družicových systémů je značně rozsáhlé. Byly vyvinuty především pro vojenské potřeby, zejména k navigaci letadel, lodí, raket, pozemních vozidel, vojenských jednotek apod. V mnohem větší míře však dnes slouží k navigaci všech druhů dopravních prostředků. Dnes tvoří GPS jednu ze základních přístrojových technik také pro geodetické aplikace, především k budování polohových bodových polí, v mapování, ve fotogrammetrii, v geografických informačních systémech a také v inženýrské geodézii, kde se využívá např. k vytyčování projektovaných bodů, k zaměřování posunů a deformací a k řízení stavebních strojů.

Kontrolní otázky

Jaký je princip činnosti družicového systému GPS?

Jaké jsou základní metody zaměřování polohy bodů pomocí GPS?

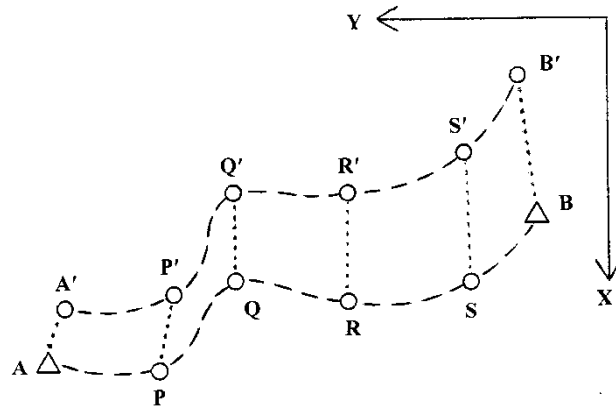
Jaké je hlavní uplatnění GPS v geodetických pracích?

4.3 Inerciální měřické systémy (IMS)

Vyvíjely se postupně v druhé polovině minulého století pro vojenské aplikace. V sedmdesátých letech se začaly uvolňovat i pro civilní sektor. Pro geodetické práce však bylo třeba zvýšit jejich přesnost a snížit jejich hmotnost. Teprve pak se začaly využívat k zaměřování polohových bodů v geodézii. Jejich uplatnění se projevuje zejména v důlním měřictví a při zaměřování bodů v oblastech, kde nejsou dobré podmínky pro příjem signálů vysílaných družicemi GPS. Jejich určitou nevýhodou je relativně vysoká cena.

Princip IMS spočívá v inerciálním určení polohy bodů. Podrobnosti o činnosti systému jsou např. v článku Ing. Alojze Kopáčika: Inerciálne merania v geodézii (Geodetický a kartografický obzor č. 11/97, str. 229-239). Při měření se vychází ze známé polohy počátečního bodu A , na kterém začíná měření (obr..... Po vložení výchozích prostorových souřadnic počátečního bodu a orientace do paměťového média přístroje se zapne měření a s přístrojem se postupně přechází na určované body. Měření končí na bodě B , jehož poloha je opět dána svými souřadnicemi. Přístroj registruje diferenciální změny zrychlení a orientace ve třech navzájem kolmých osách a integruje je. Integrací zrychlení se získá rychlost pohybu přístroje. Z diferenciálních hodnot rychlosti a odpovídajících změn orientace se získávají diferenciální vektory pohybu přístroje a jejich integrací vektor spojnice určovaného bodu vzhledem k výchozímu (počátečnímu) bodu. Polohová přesnost určení geodetických bodů se pohybuje kolem jednoho až dvou centimetrů na délku vektoru jednoho kilometru.

K měření zrychlení a změn směru se používají akcelerometry a gyroskopy, které musí nepřetržitě poskytovat údaje ve třech k sobě kolmých osách (X, Y, Z) anebo v zeměpisných souřadnicích a elipsoidické výšce (B, L, e, H). Gyroskopy registrující změny orientace jsou různého typu. Dělí se na mechanické a optické. Také snímače zrychlení mají různou konstrukci, např. s přímým měřením výchylky hmotného tělesa, s tenzometrickými snímači, kapacitní snímače, piezoelektrické snímače, vibrační, rezonanční, vibrační, rezonanční snímače apod. [4].



Obr. 4.5 Schéma měření a výpočtu s IMS

Výsledky měření jsou zatíženy některými velkými systematickými chybami, které je třeba při zpracování měřických výsledků snížit pod mez požadované polohové přesnosti určovaných bodů. K nejzávažnějším patří systematická chyba v poloze přístroje a v jeho orientaci na výchozím bodě. Vliv těchto chyb zjednodušeně vystihuje obr. 4.1. Místo správných souřadnic X_i, Y_i, Z_i bodů A, P, Q, R, S, B jsou v přístroji registrovány souřadnice X_i', Y_i', Z_i' bodů A', P', Q', R', S', B' . Spojnice daných bodů \overline{AB} je vůči zaměřené spojnici $\overline{A'B'}$ polohově posunuta a potočena. Proto je nutné naměřenou řadu bodů (polygon) transformovat podobnostní transformací na body A, B . Tím se systematické chyby výsledných souřadnic sníží až na několik centimetrů. Pro spolehlivé určení bodů je však nutné měření opakovat, nejlépe obráceným postupem. Po transformaci obojích měřených souřadnic, jsou výsledné souřadnice bodů dány jejich aritmetickým průměrem. Souřadnicové rozdíly po transformacích poskytují spolehlivou kontrolu určení souřadnic bodů a také přibližné údaje o dosažené přesnosti.

5. Metody mapování

5.1 Podrobná měření

Podrobné body se dají určit číselnými metodami. V 19. století a v první polovině 20. století se používalo grafické metody.



Základní číselnou metodou je metoda polární. Pomocnými metodami jsou metoda pravouhlých souřadnic (než byly zavedeny do praxe elektronické dálkoměry byla metodou hlavní), metoda konstrukčně oměrných, protínání z úhlů a délek, Fotogrammetrické mapování.

Grafickou metodou je metoda měřického stolu.

5.1.1 Podrobné měření metodou polární

Poloha každého určovaného bodu je dána směrem, délkou, měřeným převýšením nebo zenitovým úhlem.

Při metodě polární se převážně k měření používá světelných (elektrooptických) dálkoměrů. Směry ψ_i se měří jen v první poloze dalekohledu od bodů o daných souřadnicích (X, Y, H) . Při měření dálkoměry se přímo vypočítává převýšení. S teodolity se měří zenitové úhly z a z měřené délky a úhlu vypočteme převýšení.

Základem pro podrobné měření je síť bodů podrobného bodového polohového pole (PBPP), které ovšem nemůže být tak husté, aby z jejich bodů bylo možno zaměřit všechny podrobné body předmětů měření. Proto se doplňují pomocnými měřickými body tak, aby bylo zajištěno racionální zaměření všech podrobných bodů.

Body podrobného bodového pole a pomocné měřické body slouží jako stanoviška při měření podrobných bodů a jsou tudíž nositeli měřického výkonu. U metody pravouhlých souřadnic se měření vztahují k polygonovým stranám a měřickým přímkám.

Soubor bodů podrobného bodového pole s pomocnými měřickými body se nazývá měřická síť.

Pomocné měřické body se určují několika způsoby:

- staničením na měřických přímkách, které spojují body podrobného bodového pole
- staničením na vedlejších měřických přímkách
- pomocnými polygonovými pořady - spojujícími body podrobného bodového pole pomocnými měřickými body nebo spojují pomocné body podrobného bodového pole
- rajony k hlavním nebo vedlejším měřickým přímkám nebo k pomocným polygonovým pořadům



Poznámka: Pokud budujeme pomocné měřické body, určujeme dálkoměry přímo převýšení. Pokud měříme teodolity ve většině případů určujeme výšky pomocných bodů nivelací.

5.1.2 Práce na stanovisku

Práce na stanovisku sestává z těchto úkonů:

- dostředění (centrace) a urovnání (horizontace) přístroje
- u teodolitu a totálních stanic nastavit nulové čtení nebo jižník na některý z kontrolovaných daných bodů
- vytyčení a stabilizace pomocných měřických bodů
- kontrolní měření na dva sousední body - úhlové, délkové, výškové
- zaměření pomocných měřických bodů
- zaměření podrobných bodů předmětů měření
- po ukončení měření na stanovisku provést kontrolu nulového čtení.



Poznámka: Přesnost měřených zprostředkujících veličin vychází z požadavku na přesnost vyhotovovaného díla.

5.1.3 Měřický náčrt

Měřický náčrt obsahuje spolu s příslušným zápisníkem podrobného měření (zápisník pokud používáme teodolit, v případě dálkoměrů jsou měřená data ukládána do registračního zařízení) podklad pro výpočet souřadnic a výšek podrobných bodů, konstrukci polohové a výškové složky mapy.

Měřické náčrtky jsou dvojího druhu: blokové a rámové. Blokové náčrtky se orientují přibližně k severu a zakládají se tak, aby zobrazovaly ucelenou skupinu pozemků, blok domů a podobně. Rámové náčrtky se zakládají postupným čtvrcením mapového listu.

Měřické náčrtky se číslují v rámci katastrálního území v číselné řadě 1 až 9999. Měřítka náčrtu nemusí být shodné s měřítkem požadované mapy. Může být větší či menší v závislosti na množství měřeného detailu.

O metodě polární - měření polárních souřadnic bodů - TACHYMETRII, kdy se určuje nejenom poloha, ale i převýšení (výška bodů) je velmi podrobně pojednáno v [1] na stranách 37 až 46. O pomocných metodách je pojednáno v [2] na stranách 45 a 46.

5.1.4 Fotogrammetrické mapování

Fotogrammetrie je měřická a mapovací metoda, která z fotogrammetrických snímků předmětu rekonstruuje jeho tvar, velikost a prostorovou polohu. Z hlediska mapování je předmětem zemský povrch, ale mohou jím být fasády budov, modely a podobně.

O uvedené problematice je pojednáno v [2] na stranách 67 až 70.

Kontrolní otázky



Jaký je princip polární metody mapování?

Jaké náležitosti má mít měřický náčrt?

Jaký je princip ortogonální metody mapování?

K čemu se využívají univerzální měřické systémy v geodézii?

Jaký je princip jejich činnosti?

V případě, že nejste schopni uspokojivě odpovědět na dané otázky, prostudujte si znovu danou literaturu.

6. Mapová díla v ČR

6.1 Druhy map, jejich obsah a využitelnost



Mapový fond na území České republiky je rozsáhlý. Pro potřeby stavebnictví se užívají mapy velkých měřítek, nejčastěji 1 : 200, 1 : 250, 1 : 500, 1 : 1 000, 1 : 2 000, 1 : 2 500, 1 : 2 880, 1 : 5 000 a mapy středních měřítek (1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000).

Podle výsledné formy vyhotovení rozeznáváme mapy grafické (na mapovém listu) a mapy digitální představující počítačový soubor dat (především souřadnice bodů) uložený na paměťovém médiu.

O uvedené problematice je pojednáno v [3] na stranách 26 až 30. Jedná se zde o geodetických podkladech k projektování, přehledu katastrálních map, jejich obsahu a spolehlivosti, SMO 1 : 5 000, základní mapě ČR 1 : 10 000, ZABAGEDU a účelových mapách.

Z hlediska historického vývoje je pojednáno o mapách v [1] na stranách 47 až 53.



Kontrolní otázky

Jaká jsou základní mapová díla na území ČR?

Jaký je účel a obsah katastrálních map?

Jaké základní informace je možno získat na katastrálních úřadech?

Jestliže nejste schopni dostatečně odpovědět na kontrolní otázky, prostudujte si znovu danou literaturu.

7. Speciální měřické práce

Profily, plošná nivelace, určení plošných obsahů a objemů.

Při projektování a výstavbě liniových staveb se mohou výškové poměry terénu určovat pomocí svislých profilů. Podle směru vedení profilu k ose liniové stavby rozlišujeme podélné a příčné profily.



O uvedené problematice je pojednáno v [2] na stranách 55 a 56. O stejné problematice z praktického hlediska je pojednáno v [1] na stranách 58 až 62.

Další problematikou je plošná nivelace. Na určení výškových poměrů plošně rozsáhlejšího území, kdy povrch není velmi členitý a nebo je-li výšková složka pro danou práci nedostačující je nutné jeho doplnění o výškové kóty. Jakou metodu k měření použijeme bude záležet na požadované přesnosti. O uvedené problematice je pojednáno v [2] na stranách 56 a 57. Z hlediska praktického je uvedena v [1] na stranách 23 až 25.

Při projektování staveb a při jejich realizacích je třeba znát výměru pozemků určených k zastavení, k zařízení staveniště, případně i výměry pozemků pro výpočet kubatury zeminy, která bude během stavby přemístěna.

Uvedená problematika je uvedena v [3] na stranách 51 až 57. Řeší určování výměr (ploch) z dílčích ploch z map a plánu, pomocí planimetrů, čtvercové sítě a ze souřadnic lomových bodů. Objemy (kubatury) hmot se určují profilováním ze čtvercové sítě a z vrstevnicového plánu.

V [1] na stranách 55 až 66 je uvedeno měření a výpočet výměr a kubatur po praktické stránce.

Příklad 7.1.

V [1] na straně 66 je uveden vzorový příklad výpočtu výměry rozkladem na jednoduché obrazce a výpočtu pomocí souřadnic lomových bodů L'Huilierovými vzorci.



Kontrolní otázky



Jaký je princip měření profilů a plošné nivelace?

Jak se měří a počítají plošné obsahy a objemy?

V případě neuspokojivých odpovědí na požadované otázky, si znovu prostudujte literaturu.

8. Vytyčovací práce

Vytyčovací práce při výstavbě.



Vytyčování představuje souhrn úkonů, kterými se v terénu nebo na dosavadních objektech vyznačují vytyčovacími značkami geometrické prvky umožňující výstavbu nebo přestavbu objektů na určeném místě v předepsaném rozměru a tvaru.

Rozdíl mezi bodem, jehož polohu zaměřujeme a vytyčujeme je v tom, že zaměřovaný bod v terénu existuje a my určujeme jeho polohu a výšku s cílem zobrazit jej v mapě, kdežto při vytyčování bodu určujeme jeho polohu na základě geometrických prvků vyznačených ve vytyčovacím výkresu. Vytyčené body stabilizujeme buď trvale a nebo dočasně. Přitom vytyčovacími prvky jsou délky, úhly a výšky bodů, resp. převýšení.

Tvar vytyčovaných objektů může být různý. V podstatě se dělí na liniové objekty, plošné objekty a objekty s prostorovou skladbou.

Objekty vytyčujeme ve dvou etapách. V první etapě se vytyčí prostorová poloha objektu, která sice neovlivní kvalitu objektů samých, ale ovlivní vzájemnou polohu mezi jednotlivými objekty a jejich návaznost. Druhou etapou je podrobné vytyčení jednotlivých částí objektu. Toto vytyčení plnou měrou ovlivní kvalitu stavebních prací.

Základními prvky všech vytyčovacích úloh jsou bod, přímka, úhel a délka.

Poloha bodu může být v podstatě vytyčena:

- polárními souřadnicemi
- pravouhlými souřadnicemi
- protínáním vpřed (z úhlů nebo délek)
- průsečikovým způsobem.

O uvedené problematice je pojednáno v [3] na stranách 31 až 50. V první části je pojednáno o vytyčení bodu pravouhlými souřadnicemi, polárními souřadnicemi, protínáním a průsečikovým způsobem. Dále pak o vytyčení přímky od oka, dvojitým pentagonem, teodolitem, prodloužením přímky od oka, teodolitem, polygonovým pořadem, vytyčením mezilehlých bodů přímky, vytyčením úhlů a délek.

V poslední době se úspěšně ve stavebnictví využívají k vytyčování a kontrole geodetických prací laserové přístroje, kde neviditelná záměrná přímka je nahrazena paprskem laserového záření.

O uvedené problematice je pojednáno v [2] strana 96.

Velká část kapitoly je věnována vytyčování hlavních a podrobných bodů kružnicových oblouků různými metodami. Hlavní body kružnicového oblouku jsou řešeny v souřadnicích.

Vytyčení podrobných bodů je řešeno: metodou polárních souřadnic, metodou po obvodě, metodou pravoúhlých souřadnic, metodou protínání vpřed - bipolární způsob.

Závěr kapitoly je věnován polohovému a výškovému vytyčení budovy ve stavební čáře a náležitostem, které má mít vytyčovací výkres stavby.

Další poznatky jsou uvedeny v [2] na stranách 79 až 100.

Kontrolní otázky



Jaký je měřický postup při vytyčování bodů polární metodou?

Jaký je měřický postup při vytyčování bodů metodou pravoúhlých souřadnic (ortogonální metodou)?

Co obsahují vytyčovací výkresy?

Dělají-li Vám dané kontrolní otázky problémy, nastudujte si znovu danou literaturu.

9. Kontrolní měření

9.1 Měření posunů a deformací stavebních objektů



Výstavba a provoz staticky náročných stavebních objektů, realizovaných progresivními technologiemi s využitím nových stavebních materiálů, si často vyžaduje kontrolovat v průběhu výstavby nebo během provozu jejich stabilitu, a tak realizovat komplex měření posunů a deformací.

O dané problematice je pojednáno v [2] na stranách 101 až 103.



Kontrolní otázky

Jaké jsou hlavní zásady při projektování a budování místní sítě k měření posunů a deformací sledovaných objektů?

Jaké jsou metody měření posunů a deformací, včetně výpočetních prací?

V případě neuspokojivých odpovědí na dané kontrolní otázky, si znovu prostudujte danou literaturu.

10. Závěr

K úspěšnému ukončení předmětu musí student zvládnout:



- základní poznatky o tvaru Země, náhradních tělesech, aby pochopil jednotlivá zobrazení a převody naměřených veličin do zobrazovací roviny
- přístroje a pomůcky sloužící k určování vodorovných a svislých směrů, délek a výšek
- základní metody měření používané při nižších požadavcích na přesnost výsledných veličin, družicové metody, inerciální měřické systémy a výpočetní úlohy k určení prostorové polohy bodů v rozsahu potřebném pro stavební obory.

Dále pak se student musí seznámit s číselnými i fotogrammetrickými metodami používanými pro účely mapování, s mapovým fondem na území České republiky se zaměřením na potřeby stavebnictví. Musí zvládnout úlohy sloužící k zaměření a výpočtu plošných obsahů a objemů. Jednoduché vytyčovací úlohy k vytyčení prostorové polohy bodů. Metody kontrolních měření u staticky náročných stavebních objektů, a to jak při výstavbě tak i během provozu.

Informace

Jelikož k předložené problematice uvedené v modulu jsou napsaná skripta, která jsou uvedena v seznamu použité literatury v bodě 11.1. je modul návodem odkud je možno čerpat potřebné znalosti.



Pokud bude mít student zájem rozšířit si své poznatky je k tomu účelu určena doplňková literatura v bodě 11.2.

Korespondenční úkoly

Zadání a pokyny k řešení úkolů Vám budou zasílány na Vaše elektronické adresy, které bude nutné před zahájením semestru zaslat v elektronické formě pověřenému pracovníkovi našeho ústavu. Jeho elektronickou adresu se dozvíte na studijním oddělení.



11. Studijní prameny

11.1 Seznam použité literatury



- [1] Dordová, H., Dvořák, A., Machotka, R., Svoboda, K., Vondrák, J., Žufanová, V., Nevošád, Z.: *Cvičení z geodézie pro stavební obory*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2001
- [2] Staněk, V., Hostinová, G.: *Geodézia v stavebníctve*, Jaga group v.o.s., 1999
- [3] Vitásek, J., Pažourek, J., Nevošád, Z.: *Vybrané geodetické práce ve stavebnictví*, VUT v Brně, VUTIUM 1998
- [4] Nevošád, Z., Vitásek, J., Bureš, J.: *Geodézie IV - (Souřadnicové výpočty)*, CERM s.r.o. Brno, 2002

11.2 Seznam doplňkové studijní literatury



- [1] Vitásek, J., Nevošád, Z.: *Geodézie I. Měření směrů a úhlů*, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno 1999
- [2] Nevošád, Z., Soukup, F., Vitásek, J.: *Geodézie II*, VUTIUM Brno 1999
- [3] Nevošád, Z., Vitásek, J.: *Geodézie III*, VUTIUM Brno 2000