

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

KATEDRA FYZIKY

Bakalářská práce

Knihovna JU - PF



3115172530

Autor: Radek Formánek

Vedoucí práce: Mgr. Petr Bartoš

2006

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PEDAGOGICKÁ FAKULTA
KATEDRA FYZIKY

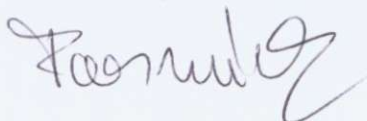
- 48 -

28.4.2006 Radek

Určování polohy a nadmořské výšky pomocí moderních technologií

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité zdroje uvedl v Seznamu použité literatury na konci této práce. Zároveň povoluji Katedře fyziky PF JU v Č. Budějovicích libovolné využití této práce.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'F. Šimůnek', is written in a cursive style.

Obsah:

Úvod.....	5
1 Historie.....	7-10
1.1 První inženýrské školy v ČR.....	7
1.2 Historie vysokého odborného vzdělání.....	8-10
2 Základní metody měření výšky.....	11-34
2.1 Nivelační metody.....	11-16
2.1.1 Geometrická nivelační křídla.....	11-12
2.1.2 Geometrická nivelační ze sídla.....	12-13
2.1.3 Plošná geometrická nivelační.....	14-16
2.1.4 Chyby měření.....	16-18
2.2 Geometrická výška.....	19-21
2.2.1 Základní principy.....	19-21
2.2.2 Měření nadmořské výšky.....	21-22
2.2.3 Technologie měření nadmořské výšky.....	22-23
2.3 Trigonometrická měření výšky.....	24-32
2.3.1 Měření výšek nájezdu a přednížou.....	24-26
2.3.2 Měření výšek vzdušnou vzdáleností.....	27-32
2.3.3 Měření paprsku v atmosféře.....	27-30
2.3.4 Princip metody měření výškového poloměru.....	31-32
2.4 Nivelační přístroje.....	33-34
3 Metoda GPS.....	35-57
3.1 Princip družicové navigace.....	37-38
Poděkování	49-51
3.2 Věcný výklad.....	46-47
3.3 Chyby systému GPS.....	48-50

Děkuji Mgr. Petru Bartošovi za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování bakalářské práce.

Obsah:

Úvod.....	6
1. Historie.....	7-10
1.1 První trigonometrický bod na území ČR.....	7
1.2 Historie výškového bodového pole.....	8-10
2. Základní metody měření výšky.....	11-34
2.1 Niveláčnické metody	11-19
2.1.1 Geometrická nivelace kupředu.....	11-12
2.1.2 Geometrická nivelace ze středu.....	12-13
2.1.3 Přesnost geometrických nivelací.....	14-16
2.1.4 Chyby měření.....	16-19
2.2 Barometrické měření výšek	20-22
2.2.1 Základní princip metody	20-21
2.2.2 Měření nadmořské výšky.....	22
2.2.3 Technologie barometrických měření.....	22-23
2.3 Trigonometrické měření výše.....	24-32
2.3.1 Měření výšek objektů a předmětů	24-26
2.3.2 Měření výškových rozdílů	27-31
2.3.2.1 Šíření paprsku v atmosféře.....	27-30
2.3.2.2 Princip metody měření výškových rozdílů.....	31-32
2.4 Niveláčnické přístroje	33-34
3. Metoda GPS.....	35-57
3.1 Princip družicové navigace	37-38
3.2 Metody družicové navigace.....	39-43
3.3 Vysílaný signál družice.....	44-45
3.4 Zpracování signálu.....	46-47
3.5 Chyby systému GPS.....	48-50

3.6 Využití systému GPS.....	51-53
3.7 Rozvoj družicové navigace.....	54-57

Závěr.....	58
-------------------	-----------

Seznam použité literatury.....	59-60
---------------------------------------	--------------

Anotace.....	61
---------------------	-----------

Úvod

Od prvopočátku historie měření výšky se toto odvětví velmi rozvinulo a nyní obsahuje velké množství měřících postupů, nejen pro určení výšky a polohy, ale i například určení výšky objektů. V začátcích tohoto období bylo určeno jen několik základních nivelačních bodů pro určení nadmořské výšky a dnes jen na území České republiky existuje přes 70 000 bodů.

Tato práce se zaměřuje na základní principy určení polohy a měření nadmořské výšky. Zabývá se základními měřícími metodami měření výšky jako jsou například metody nivelační, barometrická, trigonometrická a určení polohy pomocí metody GPS. V dnešní době pomocí družicové navigace můžeme určit polohu stavby, osoby, věci s přesností na půl metru a méně. Tyto GPS systémy a měřiče nadmořské výšky jsou dnes zabudovány v běžně používaných přístrojích, využívaných při cestování i v běžném životě, jako jsou automobily, mobilní telefony, hodinky a podobně. V mnohých případech člověk vybavený těmito přístroji se vyhýbá nebezpečí ztráty orientace při cestování i běžných činnostech jako je obyčejná procházka lesem.

Protože i já sám velice často cestuji do zemí Evropské unie, využívám těchto přístrojů pro bezpečné cestování. Z tohoto důvodu mne zaujalo toto téma, o které jsem se chtěl dovědět o něco více na jakém principu funguje. Do této práce jsem zahrnul také měření nadmořské výšky, jelikož toto téma je velice blízké tématu určení polohy.

Většinu informací jsem čerpal z odborné literatury, článků a internetových odkazů zabývajících se těmito tématy.

1. Historie

1.1 V roce 1759 byl určen první trigonometrický bod na území ČR

Na severním okraji Brna, v Soběšicích, na zalesněném kopci Strom, je žulový památník, který připomíná první trigonometrický bod na území naší republiky. V polovině 18. století probíhala v různých částech světa stupňová měření, která měla přesněji určit tvar a rozměry Země. Také císařovna Marie Terezie pod vlivem francouzských stupňových měření pověřila tehdejšího ředitele vídeňské hvězdárny P. Josefa Liesganiga (1719 – 1799) určením délky jednoho stupně na poledníku vídeňském. Liesganig pro tuto práci, započatou v roce 1759, vybral otevřený terén mezi Brnem, Vídní, Štýrským Hradcem a Varaždínem, v němž vytyčil řetězec 22 trojúhelníků podél vídeňského poledníku. Za vrcholové body volil většinou kostely, kaple nebo objekty na vyvýšených místech a nevyžadující zvláštní signalizaci. Počátečním bodem Liesganigova stupňového měření na Moravě byla věž kaple Sv. Kříže v katastru obce Soběšice severně od Brna, v lokalitě Ostrá horka, na vrcholu kopce Strom (404 m).

Kaple Sv. Kříže, postavená v letech 1716 – 1718, byla však v roce 1786 zbořena. Teprve v padesátých letech minulého století při prověřování přesnosti Liesganigova měření byly na základě zkoumání a měření nalezeny základy kaple, do jejího středu byl zasazen stabilizační kámen a nad něj žulový hranol se dvěma pamětními deskami. Na jedné z nich je nápis: Střed kaple. První trigonometrický bod na území ČSR, zaměřený Dr. J. Liesganigem r. 1759. Nové označení bodu provedla Geodetická služba ČSR 200 let po jeho vzniku. Na druhé desce je napsáno: Střed kaple Sv. Kříže z r. 1718, zbořené r. 1786. Při odkrývání jejích základů r. 1958 spolupracovali za odborného vedení ing. Al. Šimka a Dr. Lad. Bartoše z Brna soběšičtí občané.

1.2 Historie výškového bodového pole

Již v 19. století, kdy naše země byla součástí Rakouska-Uherska se začalo vytvářet výškové bodové pole. Z této doby pochází svazky měření Vojenského zeměpisného ústavu ve Vídni, orientace na hladinu Jaderského moře a základní nivelační bod Lišov (viz obr 1.1).

Pro budování výškového bodového pole, jsou významná dvě období: 1918-1944 a po roce 1945.

Na počátku prvního období v roce 1920, po vzniku ČSR bylo zřízeno oddělení nivelační služby, nebo-li Československá jednotná nivelační síť. V roce 1944 tato síť obsahovala 40 000 bodů a v roce 1957 téměř 70 000 bodů.



obr.1.1 Základní nivelační bod Lišov

[1]

Dnes je výškové pole děleno na: a) základní výškové bodové pole

b) podrobné výškové bodové pole

a) Základní výškové bodové pole

a1) Základní nivelační body:

Ty jsou vhodně rozmístěny po celém území České Republiky. Bodů je celkem 1 I. Výchozím bodem pro ČR je bod I. Lišov, který se nachází 12 km od Českých Budějovic.

a2) Body české nivelační sítě I. až III.řádu(ČSNS):

ČSNS I. řád: je tvořena nivelačními pořady sloučených do nivelačních polygonů, které tvoří uzavřené obrazce a ohraničují tzv. nivelační oblasti I. řádu s obvodem kolem 300 km. Oblasti se označují od východu k západu a po vrstvách od severu k jihu písmeny A, B, C, ... Jednotlivé nivelační pořady se potom označují dvojicí písmen a názvy styčných oblastí, např. MN Tábor-Pelhřimov.

ČSNS II. řád: do polygonů I. řádu se vkládají nivelační pořady II. řádu. Tyto pořady opět tvoří uzavřené oblasti s obvodem kolem 100 km. Tyto oblasti jsou označeny dvěma písmeny, velkým písmenem oblasti I. řádu a malými písmeny a, b, c, II. řádu. Jednotlivé nivelační pořady se pak určují písmenem I. řádu, dvěma písmeny II. řádu a názvy styčných oblastí, např. Nab Pelhřimov - Jindřichův Hradec.

ČSNS III. řád: tvoří nivelační pořady III. řádu, které dále zhušťují síť I. a II. řádu. Tyto nivelační pořady se dále označují číslicemi 1, 2, 3, ... např. Na 4 Mlýny – Soběslav.

b) Podrobné výškové bodové pole

b1) Nivelační síť IV. řádu

Nivelační síť IV. řádu tvoří pořady IV.řádu. Označují se písmenem oblasti I. řádu písmenem oblasti II. řádu, dále 0 s pořadovým číslem a názvem míst.např. Na 02 Veselý nad Lužnicí Sezimovo Ústí.

b2) Plošné nivelační síť

Tyto síť se budují zejména pro potřeby obcí a označují se pořadovým číslem a názvem místa např. 12Lišov

b3) Stabilizované body technických nivelací

Tyto body se určují především ve významných geologických lokalitách. Pomocí těchto bodů se sleduje vertikální pohyb zemské kůry. Tato síť bodů vytváří tzv. výškové indikační pole.

[1]

2. Základní metody měření výšky

2.1 Niveláčnické metody

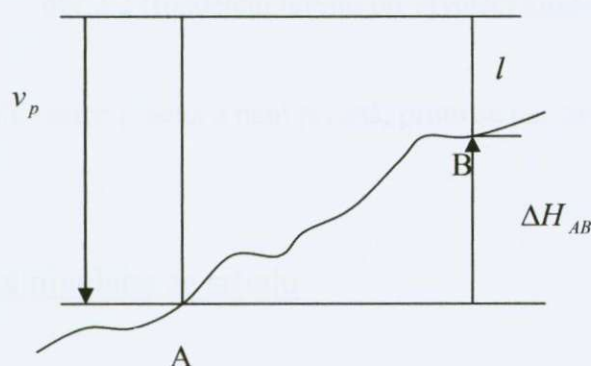
Tyto metody jsou historicky nejstarší, ale stále nejpřesnější. Výškový rozdíl dvou bodů můžeme určit dvěma metodami geometrické nivelace:

- kupředu
- ze středu

2.1.1 Geometrická nivelace kupředu

Niveláčnický přístroj umístíme v bodě A, niveláčnická lať v bodě B (viz obr.2.1). Změříme výšku přístroje v_p a na lati odečítáme velikost l_b . Pro tento úkon platí vztah:

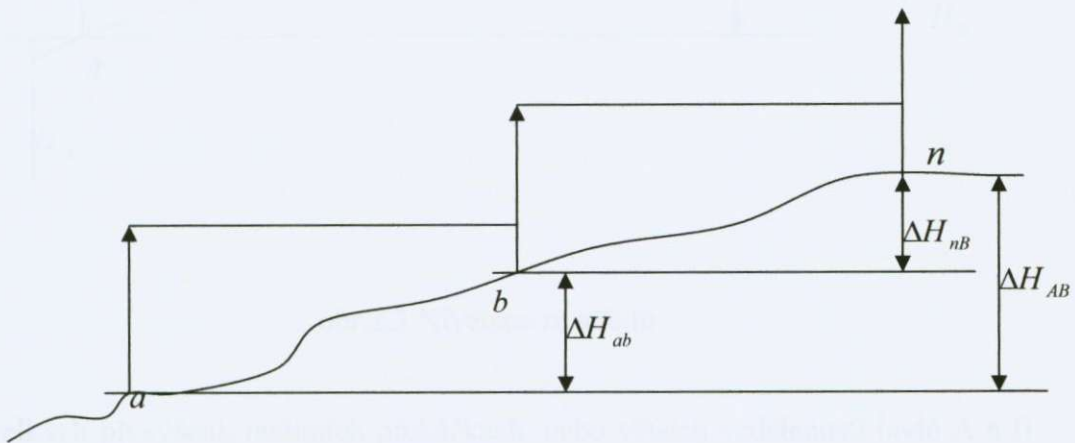
$$\Delta H_{AB} = v_p - l_b \quad (1)$$



obr.2.1 Nivelace kupředu

Při velkém převýšení, terénních překážkách, nebo velkých vzdálenostech, musíme tuto vzdálenost rozdělit do několika bodů a, b, c na kratší úseky (obr.2.2). Počet měření pak provádíme vícekrát podle počtu určených bodů. Pro tento úkon pak platí vztah:

$$\Delta H_{ab} = \Delta H_{Aa} + \Delta H_{ab} + \dots + \Delta H_{nB} = (v_p^A - l_a) + (v_p^a - l_b) + \dots + (v_p^n - l_B) \quad (2)$$



obr.2.2 Rozdělení terénu při nivelaci kupředu

Tato metoda je ale velice pracná a není přesná, proto se tak často nepoužívá.

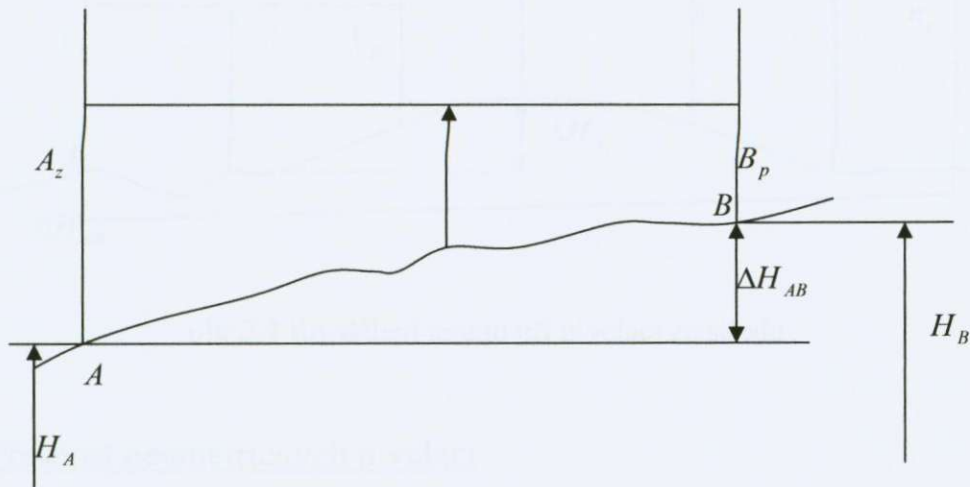
[1,2]

2.1.2 Geometrická nivelace ze středu

Tato metoda je jednou z nejpoužívanějších, nejjednodušších a přitom nejpřesnějších.

Podstatou této metody je umístění nivelačního přístroje do středu spojnice dvou bodů A a B. V bodech A a B se umístí nivelační latě, na kterých odečítáme hodnoty A_z a B_p . Nivelační přístroj s latěmi pak tvoří tzv. nivelační sestavu (obr.2.3). Pro tuto sestavu pak platí vztah:

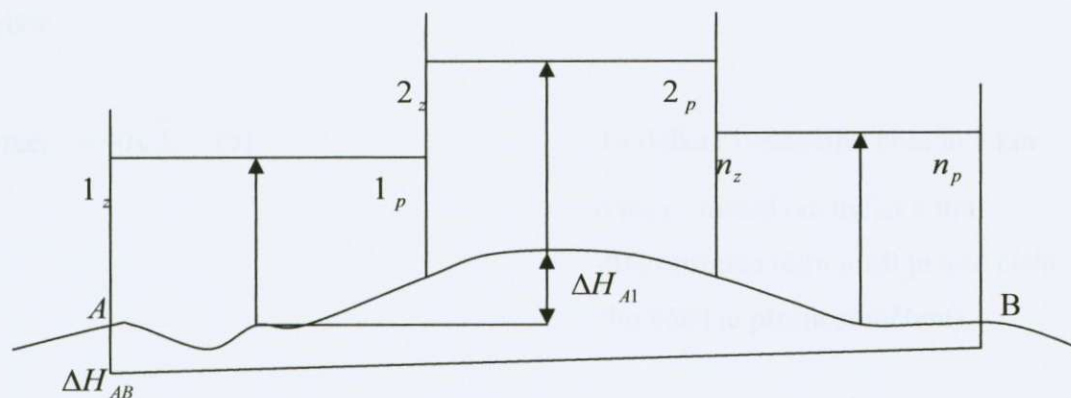
$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = A_z - B_p \quad (3)$$



obr.2.3 Nivelace ze středu

Při velkých převýšení, terénních překážkách, nebo větších vzdáleností bodů A a B musíme rozdělit tento tzv. nivelační oddíl na několik nivelačních sestav za pomoci několika dalších bodů 1,2,3..... Pak počet měření opakujeme podle počtu zvolených bodů (obr 2.4). Pro tuto sestavu pak platí vztah:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = \Delta H_{A1} + \Delta H_{12} + \dots + \Delta H_{n1,n} + \Delta H_{nB} = (1_z - 1_p) + (2_z - 2_p) + \dots + (1 - n_z - 1 - n_p) + (n_z - n_p) \quad (4)$$



obr.2.4 Rozdělení terénu při nivelaci ze středu

2.1.3 Přesnost geometrických nivelací

Požadovaný stupeň přesnosti pro měření nadmořské výšky, získáme užitím vhodných měřicích přístrojů a pomůcek.

Podle požadavku na přesnost měřených hodnot výšky, dělíme geometrické nivelace na :

- technickou nivelaci
- přesnou nivelaci
- velmi přesnou nivelaci
- zvlášť přesnou nivelaci

Technická nivelace

Tento druh nivelace je jedním z nejběžnějších pro měření nadmořské výšky. Používá se především při určování nadmořské výšky v podrobném bodovém poli. Přesnost a postup měření určuje tzv. Směrnice pro technickou nivelaci. Tato směrnice požaduje: zvětšení použitého dalekohledu nejméně 16-ti násobné, citlivost libely 60'', použití nivelační latě s pevnou patkou a lehkých nivelačních podložek. Tuto technickou nivelaci rozlišujeme se základní přesností a se zvýšenou přesností.

Základní přesnost - délka záměru se u této přesnosti volí cca 120 m. Nivelační oddíly se určují na cca 2 až 5 m. Základním požadavkem dosažené přesnosti je mezní odchylka:

$$\Delta_{\max} = 40\sqrt{L} \quad (5)$$

L- délka nivelačního pořadu v km

Δ_{\max} - mezní odchylka v mm

40-konstanta (čím nižší je toto číslo tím větší je přesnost měření)

Zvýšená přesnost - délka záměru se u této přesnosti volí max. 80m. Používají se kvalitnější měřicí latě vybavené krabicovou libelou. Nivelační oddíly vždy měříme dvakrát, tam a zpět. Základním požadavkem dosažené přesnosti je mezní odchylka:

$$\Delta_{\max} = 20\sqrt{L} \quad (6)$$

L - délka nivelačního pořadu v km

Δ_{\max} - mezní odchylka v mm

Přesná nivelace

Používá se při měření nadmořské výšky v bodovém poli III. a IV. řádu, ale i při měření s vyšší přesností. Přesnost a postup měření určuje tzv. Nivelační instrukce pro práce v ČSJNS (Československé jednotné nivelační síti). Tato směrnice požaduje: zvětšení dalekohledu alespoň 24 násobné, citlivost nivelační libely 20'', nivelační podložky těžké litinové nebo nivelační hřeby. Každý pořad musí být měřen dvakrát, tam a zpět, při použití páru dvou latí musí být sudý počet sestav. Tuto technickou nivelaci rozlišujeme na měření nivelačních pořadů III. a IV. řádu.

Měření nivelačních pořadů III.řádu - délka záměru se u této přesnosti volí max. 40 m a výška záměry nad terénem by neměla klesnout pod 80 cm. Používají se přístroje s automatickým odečítáním, nebo automatickým urovnáváním zaměřené přímky. Základním požadavkem dosažené přesnosti je mezní odchylka:

$$\Delta \max = 3\sqrt{R} \quad (6)$$

R- délka nivelačního oddílu v km

$\Delta \max$ - mezní odchylka v mm

Měření nivelačních pořadů IV.řádu - délka záměru se u této přesnosti volí max. 50 m a výška záměry nad terénem by neměla klesnout pod 50 cm. Používají se přístroje vybavené optickým mikrometrem a latě s krabicovou libelou. Základním požadavkem dosažené přesnosti je mezní odchylka:

$$\Delta \max = 5\sqrt{R} \quad (7)$$

L- délka nivelačního oddílu v km

$\Delta \max$ - mezní odchylka v mm

Velmi přesná nivelace a zvláště přesná nivelace

Tyto přesnosti geometrické nivelace se používají především v základním výškovém bodovém poli I. a II. řádu a při speciálních pracích s nároky na vysokou dosaženou přesnost, jako jsou např. vertikální pohyby zemské půdy, vertikální posuny atd. Při těchto měření se používají ty nejpřesnější přístroje. Postup toho měření je velmi podobný měření přesné nivelace.

[1,2,4]

2.1.4 Chyby měření

Chyby při nivelačních měřeních se vyskytují prakticky vždy i při zvýšené pozornosti. Tyto chyby pak dělíme na :

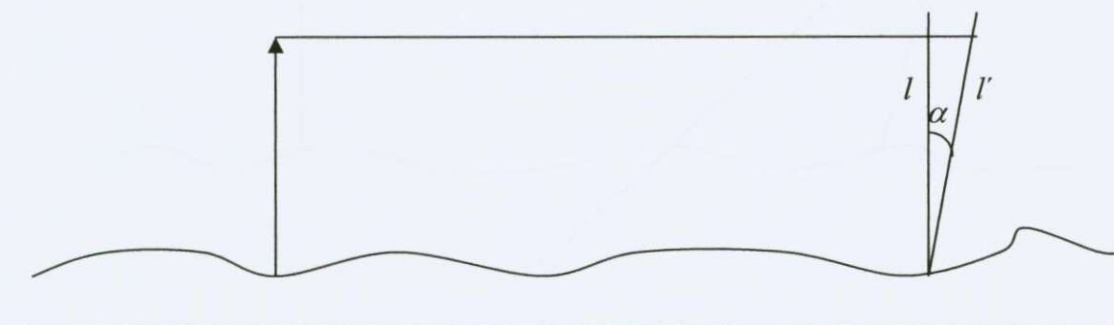
- Chyby systematické**
- chyba z nesvislé polohy latě
 - chyba ze zakřivení horizontu

- Chyby nahodilé** - chyba při změně výšky přístroje nebo latě
- chyba ze čtení stupnic na latích

Chyby systematické

Chyba z nesvislé polohy latě - V okamžik když odečítáme hodnoty z nivelační musí být tato lať postavena kolmo. Vybočením z kolmého směru je nepoznatelné a závisí tak zcela na obsluhy latě. Při kontrolování kolmé polohy latě pouhým okem, může její odklon od svislice nabývat rozdílu o 0,5° až 2,5° (obr.2.5). Chybu můžeme vyjádřit pomocí vztahu:

$$c = l' - l = l' - l' \cos \alpha = l'(1 - \cos \alpha) \quad (8)$$



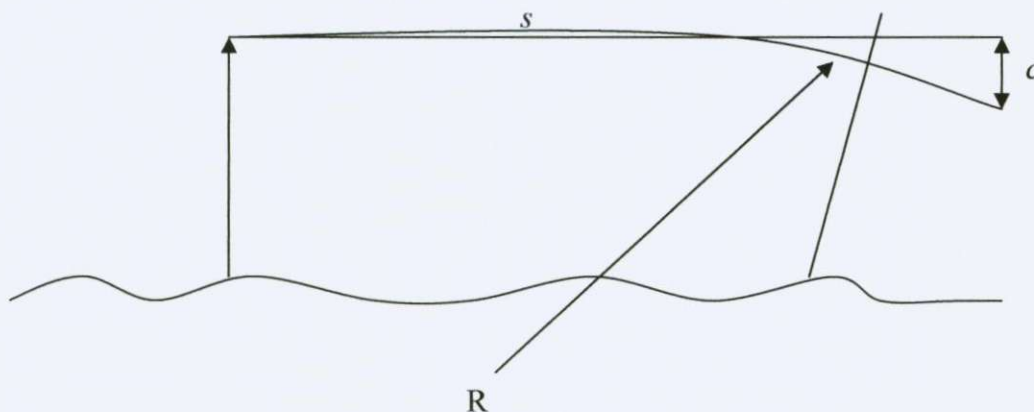
obr.2.25 Chyba z nesvislé polohy latě

Aby jsme se takovéto chyby vyhnuli, použijeme při měření krabicovou libelu a kontrolujeme svislost latě pomocí olovnice.

Chyba ze zakřivení horizontu – tato chyba se vyskytuje při urovnávání nivelační libely. Po srovnání libely by měla záměrná přímka být totožná se skutečným horizontem přístroje. Někdy se stane že tato přímka není totožná s horizontem přístroje, ale se zdánlivým horizontem (obr 2.6). Chybu můžeme vyjádřit pomocí vztahu:

$$c = \frac{s^2}{2R} \quad (9) \quad s - \text{délka záměry}$$

R - poloměr Země (6380km)



obr. 2.6 Chyba ze zakřivení horizontu

Chyby nahodilé

Chyba při změně výšky přístroje nebo latě - tato chyba je způsobena především zapadáním noh stativu a nivelační podložky do terénu. Někdy je struktura terénu taková, že může zašláplé stojny stativu vytlačovat zpět a tak měnit výšku přístroje. Tuto

chybu můžeme kompenzovat zkracováním doby měření nivelační sestavy, podložky a nohy stativu dobře zašlapujeme tak aby nepružily.

Chyba ze čtení stupnic na latích – tato chyba závisí na zvětšení dalekohledu, velikosti laťového dílku, velikosti záměry, parametrech optického mikrometru, větru atd.. Tuto chybu můžeme eliminovat především zvolením vhodné délky záměry (30 až 40 m) vhodnou technologií měření a vhodnou volbou měřících podmínek.

[1]

2.2 Barometrické měření výšek

2.2.1 Základní princip metody

Měření výškových rozdílů, nebo-li barometrické měření výšek je založeno na principu měření barometrického tlaku vzduch vyvolaného tíhou zemské atmosféry. Budeme mít dva body a budeme chtít určit jejich výškový rozdíl. Ten se určí jako rozdíl barometrických tlaků v daných bodech. Rozdílu barometrických tlaků o jeden stupeň tj. o 1 mm Hg = 1 torr, odpovídá změně výšky cca o 11 m. Za normálních podmínek má normální barometrický tlak hodnotu okolo 760 torrů.

Dnes se jako jednotky pro měření tlaků používají především pascaly [Pa]. Vzájemné vztahy jednotek:

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg sloupce} = 133,3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 750 \text{ torrů} = 10^5 \text{ Pa}$$

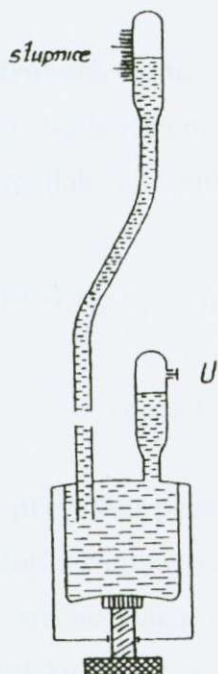
Vztah pro odvození mezi výškovým rozdílem a rozdílem barometrických tlaků vyplývá z Boyle-Mariottova zákona, který vypovídá o vztahu mezi tlakem a objemem plynů.

Zákon Boyle-Mariottův:

$$pV = p_0V_0 \quad (10)$$

- součin objemu a tlaku plynu je při konstantní teplotě konstantní
- objem daného množství plynu je při konstantní teplotě nepřímo úměrný tlaku

Jestliže budeme mít vzduchový sloupec o průřezu 1 cm^2 na libovolném místě nadmořské hladiny A. Pak nadmořské výšce H bude odpovídat velikost tlaku vzduchu p . Při změně výšky H o dH ($H+dH$), bude velikost tlaku vzduchu p klesat o dp ($p-dp$). Tedy platí, že změna tlaku o dp je rovna záporné tíze vzduchového sloupce o výšce dH (obr. 2.7).



obr. 2.7

Po úpravách Boyle-Mariottova zákona získáme tzv. základní barometrický vzorec:

$$\Delta H_{AB} = K \cdot \log \frac{b_a}{b_b} (1 + \alpha t) \quad (11)$$

K - barometrický součinitel, α - koeficient roztažnosti vzduchu, b_A, b_B - měřené barometrické tlaky, t - teplota.

2.2.2 Měření nadmořské výšky

Nejvíce se používají dva postupy: Měření Hrubých nadmořských výšek

Vypočet převýšení pomocí barometrického
výškového stupně

Měření Hrubých nadmořských výšek – měření hrubých nadmořských výšek se určuje pomocí Jordan-Hammerových tabulek. Za předpokladu, že v době měření bude u hladiny moře tlak 762 torrů, což je normální tlak, platí vztah:

$$\Delta H_{AB} = 18464(\log b_A - \log b_B)(1 + 0,004t) \quad \text{kde } t = \frac{t_A + t_B}{2} - \text{průměrná teplota} \quad (12)$$

18464-barometrický součinitel ve střední Evropě

Vypočet převýšení pomocí barometrického výškového stupně – hodnoty těchto měření se určují z barometrických tabulek. Barometrický výškový stupeň je převýšení odpovídající změně tlaku o 1 mm Hg nebo-li o 1 torr, při průměrné teplotě a průměrném tlaku. Pro výpočet převýšení platí vztah podle Babineta:

$$\Delta H_{AB} = 8019 \frac{b_A - b_B}{b} (1 + 0,00367t) \quad \text{kde } b = \frac{b_A + b_B}{2} \quad (13)$$

[1,3]

2.2.3 Technologie barometrických měření

Výhodou těchto postupů je jejich relativní jednoduchost a rychlost na úkor nižší přesnosti. Nejvyužívanější metodou je měření se dvěma aneroidy a pozorovateli.

Měření se dvěma aneroidy a pozorovateli

Při tomto měření používáme dva destruktivní měřáky tlaku tzv. aneroidy. Přístroje musíme chránit před otřesy a slunečním svitem. První aneroid se nazývá staniční,

protože po celou dobu měření zůstává na výchozím bodu známé nadmořské výšky. Na tomto bodě se po určitých časových intervalech zapisují do tabulky hodnoty tlaku a teploty. Hodnoty druhého aneroidu nejdříve porovnáme s hodnotami staničního a poté se s ním přesouváme na jednotlivé měřené body, jejichž výšku chceme určit. U tohoto aneroidu také zapisujeme tlak a teplotu. Na konec oba aneroidy opět porovnáme. Z hodnot z tabulek (viz. tab.č 2.2.3a a 2.2.3b) nebo výpočtem z barometrického vzorce určíme výšky.

Staniční aneroid

Bod	Tlak[torr]	Teplota[°C]	Čas[hod.]	Nadmořská výška[m]
A	729,2	11,5	11:00	427,3
A	730,1	12,5	11:30	427,3
A	730,9	13	12:00	427,3
A	731,3	13	12:30	427,3

Tabulka č. 2.2.3a staniční aneroid

Druhý aneroid

Bod	Tlak[torr]	Teplota[°C]	Čas[hod.]	Nadmořská výška[m]	Výškový rozdíl[m]
A	729,2	13	11:00	427,3	0
1	712,4	14	11:30	623,5	196,2
2	702,6	14	12:00	740,0	312,7
A	731,3	14,5	12:30	427,3	0

Tabulka č. 2.2.3b druhý aneroid

[1]

2.3 Trigonometrické měření výšek

Jednotná trigonometrická síť katastrální (JTSK)

Geodetickým polohovým základem na území České republiky je také síť trigonometrických bodů rovnoměrně rozložených na území České republiky, jejichž spojnice tvoří trojúhelníky (síť trojúhelníků, jejichž vrcholy jsou trigonometrické body). Byla vybudována v období 1920 - 1957 a je zákonným způsobem udržována.

Při tomto měření za pomoci řešení obecného nebo pravoúhlého trojúhelníka určujeme výškový rozdíl dvou bodů.

Měření dělíme na dva způsoby:

- 1) měření výšek objektů a předmětů
- 2) měření výškových rozdílů

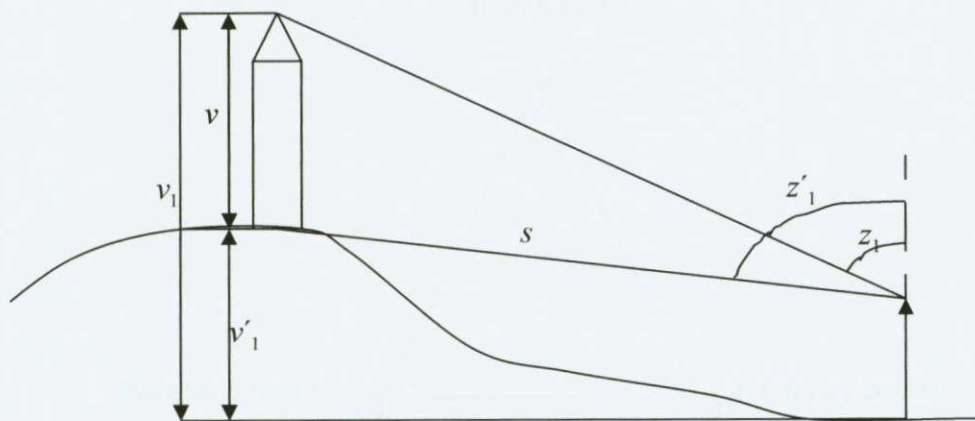
2.3.1 Měření výšek objektů a předmětů

Toto metodou měříme vysoké objekty např. kostelní věže, vysoké budovy, vysílače a další, které nemůžeme změřit pomocí metru nebo pásmem.

Při měření musí být dodrženy určité zásady:

Vrchol a pata objektu musí, alespoň přibližně, ležet na jedné přímce a tyto dva body musí být přístupné měření.

Poté z určité vzdálenosti můžeme měřit vodorovnou vzdálenost a zenitové (úhel měřený od svislice) úhly (viz obr. 2.8).



obr. 2.8 Měření výšky objektů

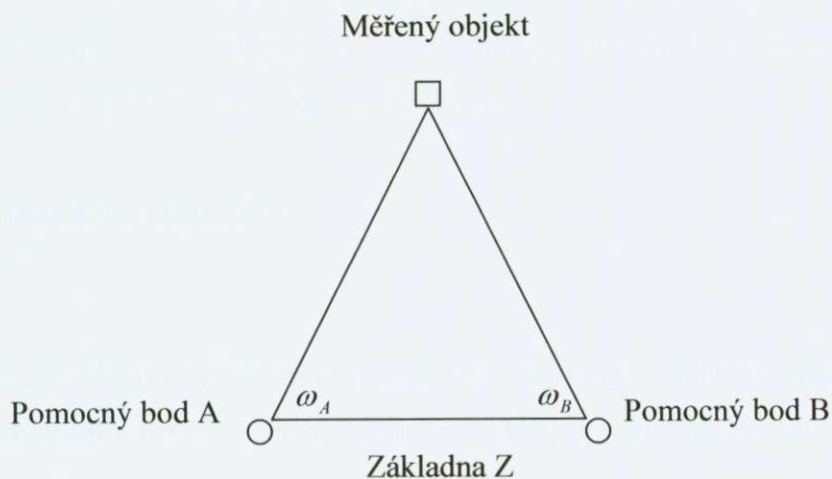
Celková výška je pak rovna:

$$v = v_1 + v'_1 = s \cdot \cot gz_1 - s \cdot \cot gz'_1 = s \cdot (\cot gz_1 - \cot gz'_1) \quad (14)$$

s-vzdálenost

z, z' -úhly

Může se stát, že za určitých okolností nebudeme vidět na patu objektu. Musíme tedy zvolit dva pomocné body A,B. Tyto body zvolíme tak aby jejich spojením s měřeným objektem tvořily tvar trojúhelníka (viz. obr. 2.9). Aby jsme mohly určit výšku, změříme úhly $\omega_{A,B}$ velikost základny a zenitové úhly z_A, z'_A pomocného bodu A.



Obr. 2.9 Měření s pomocnými body

Pak:

$$A = z \frac{\sin \omega_B}{\sin(\omega_A + \omega_B)} \quad B = z \frac{\sin \omega_A}{\sin(\omega_A + \omega_B)} \quad (15)$$

$$v = v_A - v'_A = A(\cot gz_A - \cot gz'_A) \quad v = v_B - v'_B = B(\cot gz_B - \cot gz'_B) \quad (16)$$

Z těchto dvou vypočtených výšek uděláme aritmetický průměr a jeho výsledek považujeme za konečnou hodnotu měřené výšky.

[4]

2.3.2 Měření výškových rozdílů

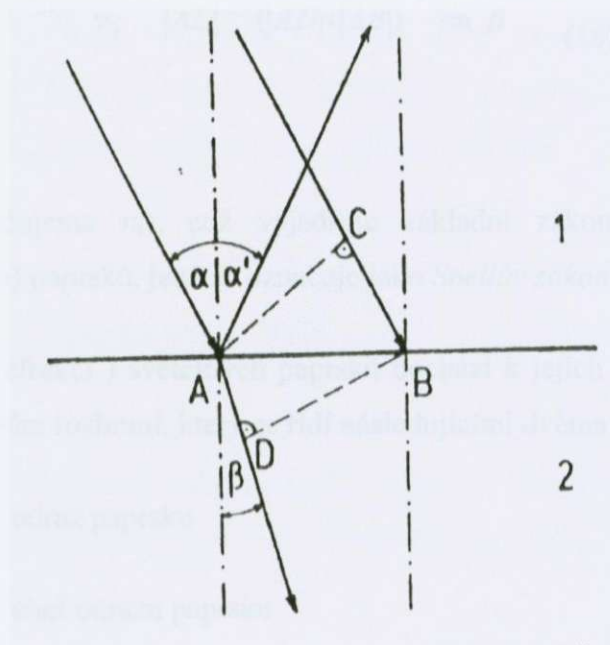
Pro měření výškových rozdílů kvůli vlivu lomu (refrakce) musíme znát některá odvětví fyziky týkající se šíření paprsku v atmosféře, proto abychom zvýšili přesnost měření, protože tato refrakce na měření má velký vliv.

2.3.2.1 Šíření paprsku v atmosféře

Index lomu

Uvažujeme dvě elektricky nevodivá prostředí, vzájemně oddělená nepohyblivým rovinným rozhraním. Prvé z nich, označené 1, je charakterizováno relativní permitivitou ϵ_1 a relativní magnetickou permeabilitou μ_1 , zatímco druhé se vyznačuje relativní permitivitou ϵ_2 a relativní magnetickou permeabilitou μ_2 . Definujeme veličinu n_{21} relativní index lomu prostředí 2 vzhledem k prostředí 1 jako podíl rychlostí šíření světelných paprsků v_1 (v prostředí 1) ku rychlosti v_2 (v prostředí 2).

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\epsilon_2 \mu_2}}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}} \quad (17)$$



obr. 2.10 Lom paprsku

Na obr. 2.10 máme znázorněn světelný paprsek, který v bodě A dopadá z prostředí 1 na zmíněné rozhraní pod úhlem α , částečně je odražen zpět do prostředí 1 po úhlem α' a částečně se lomí do prostředí 2 pod úhlem β . Kromě právě zmíněného paprsku si povšimněme paprsku s ním rovnoběžného, jenž v bodě B dopadá na dané rozhraní a jako bod C označme průsečík tohoto druhého paprsku s rovinou k němu kolmou a procházející bodem A . Podobně označme D průsečík lomeného paprsku s rovinou k němu kolmou a obsahující bod B . Prvá ze zmíněných rovin vyznačených na obr.2.10 přerušovanými čarami představuje vlnoplochu příslušející elektromagnetickému vlnění vytvářejícímu svazek rovnoběžných paprsků dopadajících na uvažované rozhraní v okamžiku, kdy první z vyznačených dvou paprsků dosáhne bodu A . Druhá odpovídá vlnoploše příslušející lomeným paprskům v okamžiku, kdy druhý paprsek se právě částečně odrazí a lomí v bodě B . Z vlastností vlnoploch je okamžitě zřejmé, že čas potřebný na to, aby světelný paprsek urazil v prostředí 1 dráhový úsek CB , musí být roven času t , za který lomený paprsek proběhne v prostředí 2 dráhu délky AD . To však znamená $|AD|=v_2t$ a $|CB|=v_1t$. Dosadíme-li odtud do vzorce pro index lomu dvou prostředí, dostáváme:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{|CB|}{|AD|} = \frac{(|CB|/|AB|)}{(|AD|/|AB|)} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (18)$$

(n_{21} někdy označujeme n_r), což vyjadřuje základní zákon lomu světelných (elektromagnetických) paprsků, jenž se označuje jako *Snellův zákon*.

Spolu s lomem (refrakcí) světelných paprsků dochází k jejich částečnému odrazu (reflexi) na uvažovaném rozhraní, který se řídí následujícími dvěma zákony:

1. odraz paprsku
2. úhel odrazu paprsku

Odraz paprsku - odražený paprsek zůstává v rovině dopadu určené dopadajícím paprskem a kolmicí k uvažovanému rozhraní v bodě dopadu daného paprsku. Stejný zákon platí i pro paprsek lomený do druhého prostředí.

Úhel odrazu - úhel odrazu se rovná úhlu dopadu, $\alpha = -\alpha'$ (měříme vždy od paprsku ke kolmici na dané rovinné rozhraní).

V případě $v_1 > v_2$ se paprsek lomí z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího musí platit $\alpha > \beta$ lom ke kolmici. V opačném případě $v_1 < v_2$ se jedná o lom od kolmice $\alpha < \beta$ a paprsek se šíří z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího. Ve druhém z právě uvedených dvou případů existuje mezní úhel dopadu α_M , při němž lomený paprsek směřuje rovnoběžně s rovinným rozhraním a za situace, kdy úhel dopadu $\beta > \alpha_M$, dochází k totálnímu odrazu, při němž žádný lom do opticky řidšího prostředí nevzniká. Hodnota závisí na relativním indexu lomu daných dvou prostředí.

Jestliže jako první prostředí uvažujeme vakuum, potom platí, že $\epsilon_{r1} = \mu_{r1} = 1$ a $v_1 = c$, tzn.

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (19)$$

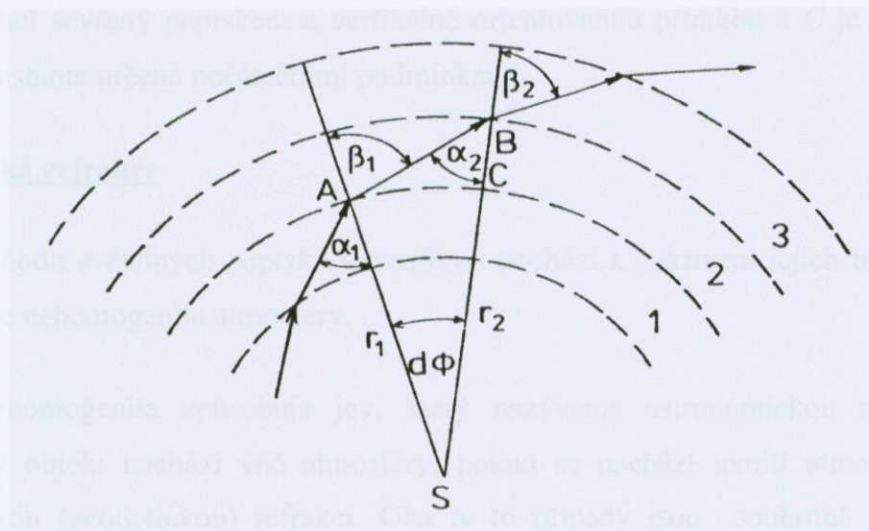
kde v značí rychlost šíření světelných (obecně elektromagnetických) paprsků v daném prostředí o relativní permitivitě ϵ_r a relativní magnetické permeabilitě μ_r . Veličina n se pak nazývá absolutní index lomu tohoto prostředí.

Trajektorie světelných paprsků v atmosféře

Světelné paprsky se nešíří atmosférou přímočaře, ale po zakřivených drahách v důsledku toho, že se index lomu vzduchu mění s výškou. U plynů je totiž index lomu n závislý na hustotě ρ . Hustoty vzduchu s rostoucí výškou ubývá, tudíž i index lomu vzduchu s výškou klesá.

Abychom mohli popsat trajektorii světelných paprsků, vycházíme ze zjednodušené představy: Atmosféru si představíme složenou z tenkých sférických vrstev (obr.2.11).

Tři z těchto vrstev jako prostředí 1,2,3 jejichž rozhraní znázorňují čárkované části kružnic o středu v bodě S (středu Země). Předpokládáme, že každá z těchto vrstev je charakterizována určitou hustotou, a tudíž i indexem lomu, které se na rozhraní skokem mění. Zakreslený paprsek se tedy nejeví jako plynulá křivka, ale představuje lomenou čáru se zlomy na jednotlivých rozhraních.



obr. 2.11 Trajektorie paprsku

Paprsek ve vrstvě 1 dopadá na rozhraní s vrstvou 2 pod úhlem dopadu α_1 , láme se do této vrstvy pod úhlem β_1 , dopadá na rozhraní s vrstvou 3 pod úhlem α_2 , láme se do ní pod úhlem β_2 , atd... .

Jsou - li indexy lomu ve vrstvách 1,2,3 po řadě n_1, n_2, n_3 , platí tedy:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (20)$$

Jsou- li $|AS|=r_1$ a $|BS|=r_2$ vzdálenosti bodů A a B od středu Země, pak z trojúhelníka ABS vyplývá:

$$\frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (21)$$

Obecně tedy platí pro trajektorii daného paprsku:

$$n \cdot r \cdot \sin \alpha = C \quad (22)$$

kde n značí index lomu vzduchu v určitém bodě, r vzdálenost tohoto bodu od středu Země, α úhel sevřený paprskem a vertikálně orientovanou přímkou a C je pro daný paprsek konstanta určená počátečními podmínkami.

Atmosférická refrakce

Při průchodu světelných paprsků atmosférou dochází k zakřivení jejich trajektorie. Důvodem je nehomogenita atmosféry.

Tato nehomogenita způsobuje jev, který nazýváme astronomickou refrakcí - pozorovaný objekt nachází vně atmosféry, pokud se nachází uvnitř atmosféry jde o terestrickou (geodetickou) refrakci. Oba ty to případy jsou souhrnně nazývány atmosférickou refrakcí.

Tato atmosférická refrakce je tedy plynulá, spojitá, zakřivení světelného paprsku při průchodu nehomogenní atmosférou. Refrakce je závislá na vlnové délce světla. Protože hustota prostředí obvykle klesá s nadmořskou výškou, je refrakční křivka při dostatečné výšce záměry nad terénem nejčastěji konkávní (vydutá) k povrchu Země.

[5,6,7]

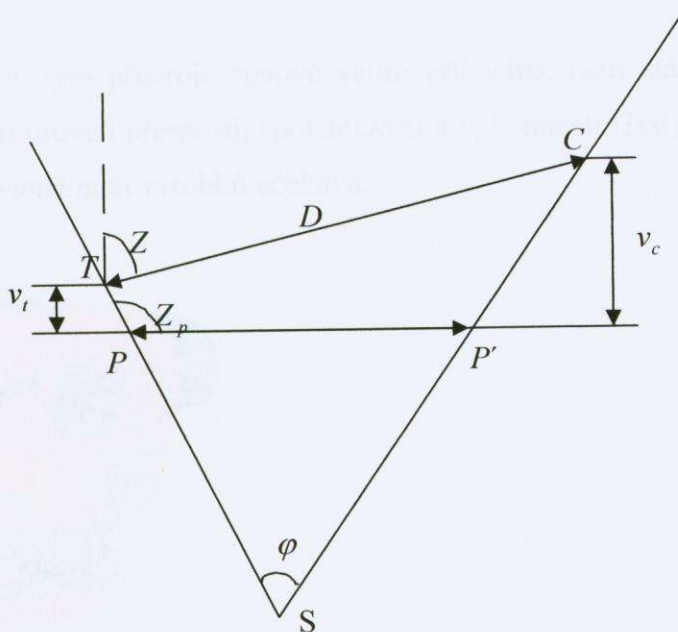
2.3.2.2 Princip metody měření výškových rozdílů

Pro měření výškových rozdílů dvou bodů T a C měříme několik veličin z nichž pak určíme měřený rozdíl s požadovanou přesností.

Měříme tedy:

Zenitový úhel Z , šikmou vzdálenost D - tyto dva údaje představují úhlovou odchylku záměry na cíl C k vrcholu T (obr 2.12). Dále měříme zenitový úhel Z_p v bodě P jehož pozice se přenese na přímkou procházející cílem C ve vodorovném směru, tedy bod P' . Bod P je od bodu T v určité vzdálenosti v_t a bod P' od bodu C ve vzdálenosti v_c .

2 Tyto dvě vzdálenosti představují výškový rozdíl dvou bodů T a C .



obr. 2.12 Měření výškových rozdílů

Lasery - Přístroj, který využívá přímý proud světla, který má vysokou intenzitu a směřuje v určitém směru. Pokud je světlo zaměřeno na určitou vzdálenost, měří se jeho šířka a tímto způsobem se určuje výškový rozdíl. Důležitou částí přístroje je i zdroj světla, který může být buď baterie nebo akumulátor. Pokud však zdroj světla není dostatečně silný, měří se výškový rozdíl za pomoci jiné metody.

2.4 Nivelační měřicí přístroje

Nivelační přístroje - jsou vhodné pro stavebníky, strojaře i geodety. Kvalitní dalekohled se zvětšením 20x až 32x poskytuje vynikající a vysoce kontrastní obraz. Přístroj je vybaven vestavěným kontrolérem zajišťujícím vysokou spolehlivost měření.

I přesto, že jsou tyto přístroje cenově velmi přijatelné, patří stále mezi přístroje zajišťující vysokou úroveň přesnosti, spolehlivosti a výkonnosti. Tedy vlastnosti, které zákazník od profesionálních výrobků očekává.



Lasery - Přístroj je vybaven přesným magneticky tlumeným kompenzátorem, který zaručuje stálou přesnost a spolehlivost měření. Pokud potřebujeme změnit parametry měření, můžeme vše zařídit z místa měření, neboť součástí přístrojů je i dálkové ovládání. Dobíjecí baterie a indikace nabití navíc ušetří náklady na časté dokupování baterií. Pokud však náhodou nenabijeme přístroj, můžete dobíjecí baterie vyměnit za klasické články o velikost D a měřit dále.



Přístroje využívající GPS – přístroje jsou spojeny se softwarem, který umožňuje zrychlit měření více než o 33%, v některých případech se dá hovořit o zkrácení času na 1/2. Tímto přístroje se zařadily na vrchol mezi přístroji. Měřicí přístroj s GPS umožňuje přesné geodetické či topografické měření s cm přesností a samozřejmě klasickou navigaci s 3m přesností na podkladových mapách. To vše je nabízeno ve standardní konfiguraci, tedy bez nutnosti dalších přídatných zařízení.



Cenová relace přístrojů: Nivelační 6000 až 40 000 Kč

Laserové 9000 až 30 000 Kč

GPS 90 000 až 1 200 000 Kč

3. Metoda GPS

V současné době existuje několik globálních polohových systémů. Hlavním z těchto systémů je americký systém NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System).

Dalšími polohovými systémy jsou např.: GLONASS - Rusko

DORIS - Francie

PRARE - Německo

GALILEO - Evropa

Systém GPS je tvořen třemi segmenty: a) kosmickým

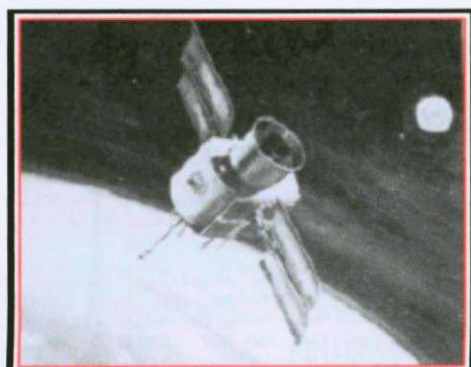
b) řídicím

c) uživatelským

Kosmický segment - tento segment se skládá z 24 družic, z čehož 3 družice jsou záložní. Tyto družice jsou na šesti oběžných drahách se sklonem k rovníku 55° . Oběžná doba družice je cca 12 hodin. Životnost družic je 7,5 roku, baterie se dobíjejí pomocí solárních článků. Tyto družice obíhají ve výšce 20 200 km. Tyto družice mají atomovými hodinami – oscilátorem, radiovým vysílačem a dalšími přístroji. Vysílají radiový signál o přesné frekvenci, do kterého je zakódován údaj hodin a další informace.

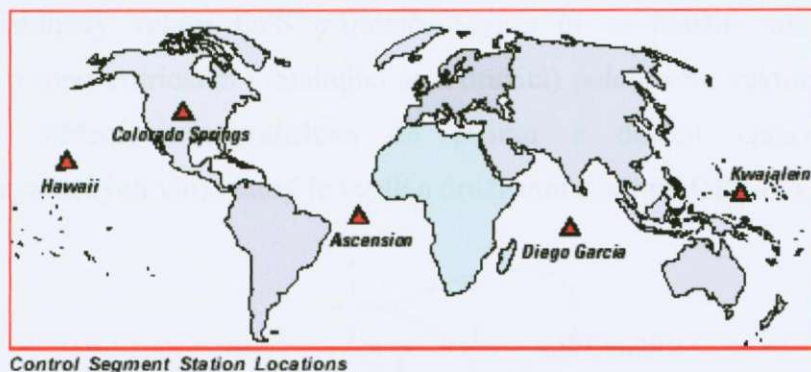


System obíhání družic



Družice

Řídící segment - řídicí část tvoří sledovací stanice rozmístěné po celé Zemi (obr. 3.1). Tento segment sleduje pohyb družic. Řídí pohyby družic, určuje jejich dráhy, synchronizuje družicové oscilátory, předává informace o systému družicím, které pak vysílají uživatelům.



Obr. 3.1 Rozmístění sledovacích stanic

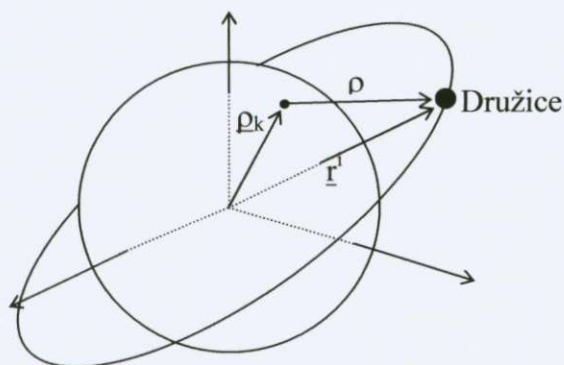
Uživatelský segment - tento segment je tvořen přijímači signálů GPS, pomocné antény a registrační zařízení.

[9,13]



3.1 Princip družicové navigace

Princip určení polohy pomocí družic je dobře patrný na obrázku 3.2. Geocentrický polohový vektor družice (r^i) je známý. Je třeba určit geocentrický (vztahující se k Zemi) polohový vektor GPS přijímače (ρ_k) a to za použití měření obsahující informace o topocentrickém (vztahující se k družici) polohovém vektoru družice GPS (ρ). Tato měření jsou založena na příjmu a dalším zpracování signálu (elektromagnetických vln), který je vysílán družicemi systému GPS-NAVSTAR.



Obr. 3.2 Princip určení polohy

Přesnost určení polohy bude záviset na těchto bodech:

1. přesnosti polohy družice
2. přesnosti vlastního měření
3. geometrii situace

A dále je třeba si uvědomit, že vliv nepřesnosti ve znalosti dráhy družice (největší zdroj chyb) je možné do značné míry omezit pokud budeme určovat tzv. relativní polohy. To znamená, že budeme přijímat signál z jedné družice dvěma přijímači současně. Pak bude relativní poloha obou přijímačů určena mnohem přesněji než jejich absolutní poloha.

Na tomto principu pracují všechna GPS. Nicméně lze GPS rozdělit na dva hlavní typy. Jednak jsou to GPS navigační a jednak geodetická popřípadě GPS sloužící ke sběru dat pro Geografické Informační Systémy. Jednotlivé typy se liší přesností a počtem družic nutných k zaměření polohy s danou přesností. Navigační GPS měří

polohu s přesností 3-20 metrů a jsou velmi citlivá na zarostlý terén. Minimální počet družic, ze kterých se přijímá signál jsou tři. GPS pro geodetické potřeby jsou mnohem přesnější. Dosahuje se s nimi přesnosti v určení polohy bodu jeden až dva centimetry. Minimální počet viditelných družic však jsou 4-5 družic (v závislosti na geometrické konfiguraci systému). A GPS přístroje pro sběr dat do Geografického Informačního Systému dosahují přesnosti 0,5-3 metry. Opět jsou třeba minimálně čtyři družice pro kvalitní výpočet polohy bodu.

[8,9]

3.2 Metody družicové navigace

Polohu určujeme vyhodnocením signálů družic. Pro tyto zpracování máme několik metod:

- a) Dopplerovská
- b) Interferometrická
- c) Úhломěrná

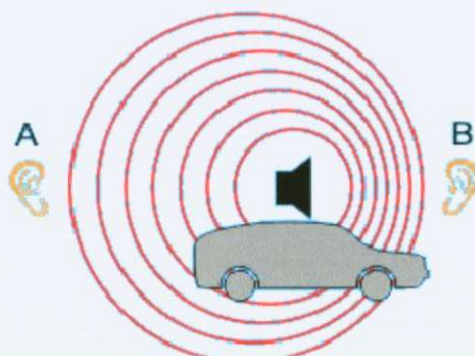
ad a) Dopplerovská metoda

Družice které se pohybují po oběžné dráze vysílají signál o stálém kmitočtu f . Tento signál přenáší časové body v okamžicích $t_a, t_{a+1}, t_{a+2}, \dots, t_{a+n}$, které jsou vzdálené o časový interval $T = t_{a+1} - t_a$.

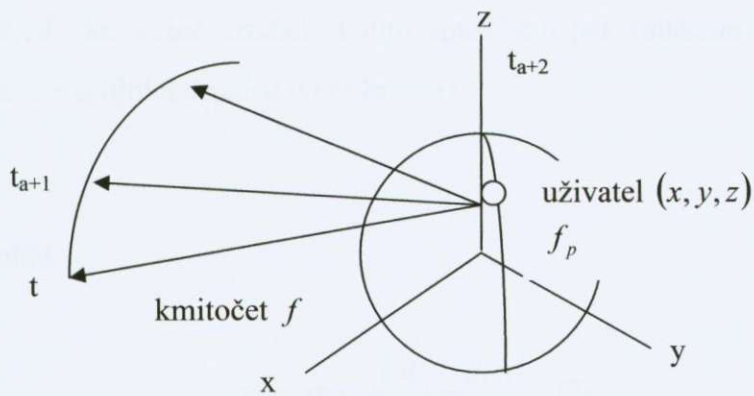
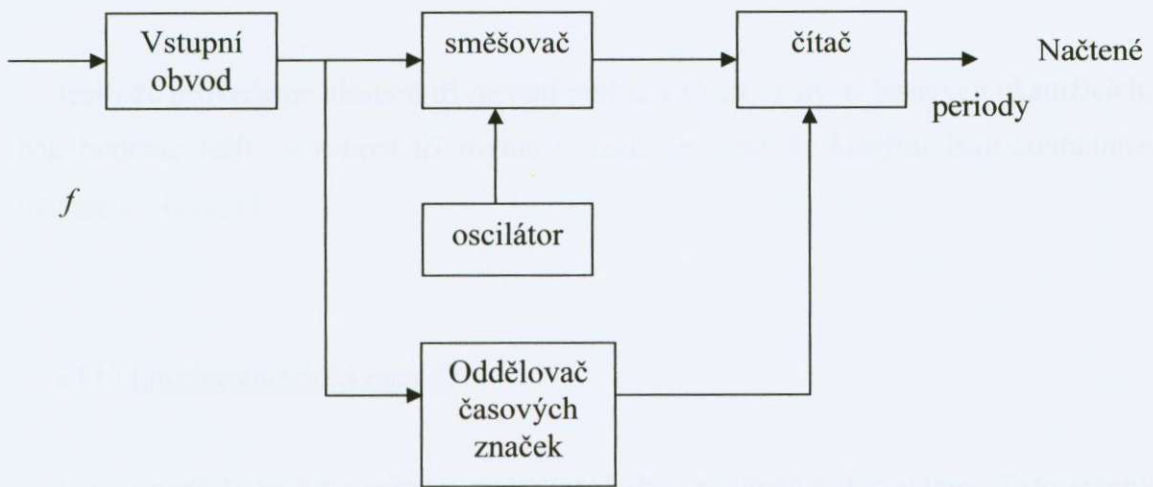
Signál který přijímá uživatel má však jinou frekvenci než je stálý vysílaný kmitočet družice. Je to vlivem Dopplerovského jevu. Tímto jevem se kmitočet f_p liší od kmitočtu f .

Dopplerův jev: se projevuje tím, že frekvence vlnění zjištěná pozorovatelem je jiná, než frekvence vlnění zdroje, jestliže se vzdálenost zdroje od pozorovatele mění v čase. To v praxi nastává buď tak, že se zdroj a pozorovatel vzájemně pohybují, nebo jsou zdroj a pozorovatel vedle sebe, ale sleduje se vlnění odražené od překážky, která se pohybuje.

V praktickém životě lze dopplerův jev pozorovat poměrně snadno. Stačí si stoupnout vedle dálnice a poslouchat zvuk projíždějících vozidel. Přibližující-se vozidlo zní výrazně vyšším tónem, než totéž vozidlo, když se vzdaluje. Na obrázku se od pozorovatele A vozidlo vzdaluje, proto jsou vlny delší a tedy frekvence nižší. Naopak, k pozorovateli B se vozidlo blíží, proto jsou vlny kratší a frekvence vyšší.



Tento signál f_p je spolu se signálem oscilátoru s kmitočtem f_0 přiveden do směšovače. signál ze směšovače má pak hodnotu $f_0 - f_p$. Periody tohoto signálu čítá čítač, který se spouští a zastavuje po sobě jdoucimi časovými body (viz obr 3.3)



- uživatel
- ➔ kmitočet f

obr. 3.3

Uvažujeme-li, že vzdálenost mezi družicí a uživatelem se nebude měnit, vztah pro určení počtu načítaných period bude:

$$N_i = T(f_o - f_p) \quad (23)$$

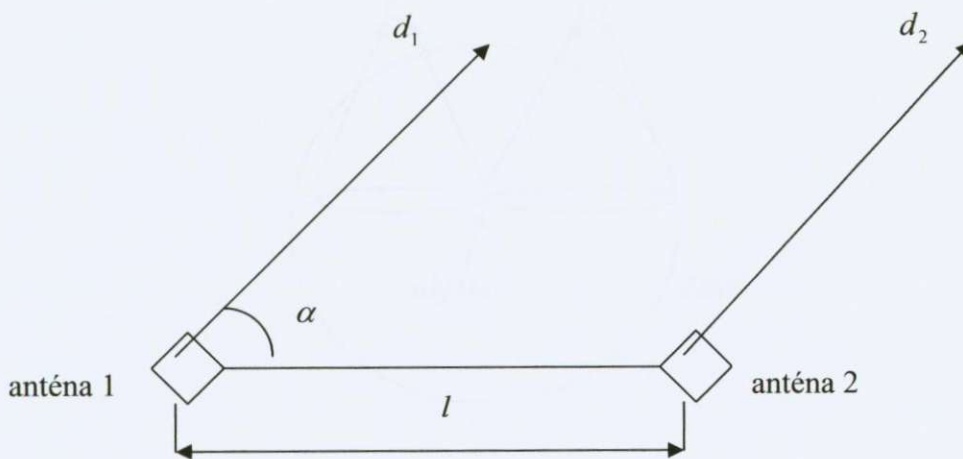
Jestli-že provedeme alespoň tři měření period v třech různých časových okamžicích, pak budeme řešit soustavu tří rovnic i třech neznámých, kterými jsou souřadnice uživatele (x, y, z) .

ad b) Interferometrická metoda

U této metody jsou na jednom místě (základně) přijímač a dvě antény. Tyto antény jsou od sebe v určité vzdálenosti l . Postupně měříme první a druhou anténou vzdálenost d_1, d_2 ke stejné družici. Tímto způsobem pak můžeme určit úhel, který svírá základna s e spojnicí družice (viz obr. 3.4).

Pak tedy platí:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{d_2 - d_1}{l}\right) \quad (24)$$

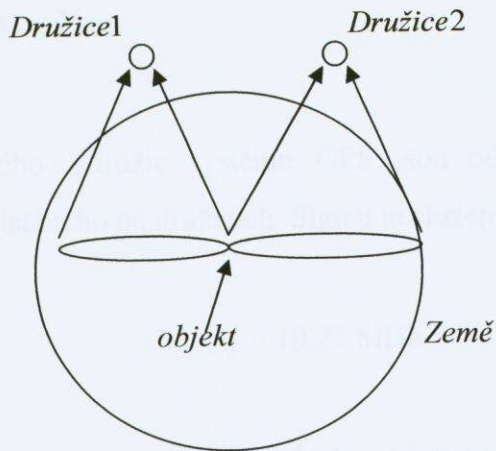


obr. 3.4 Interferometrická metoda

ad c) Úhломěrná metoda

Chceme li určit polohu pomocí úhломěrné metody, budeme u dvou družic sledovat jejich elevační úhel (elevační úhel při šikmém vrhu je úhel mezi vektorem počáteční rychlosti a vodorovnou rovinou).

Geometrickým místem bodů těchto úhlů jsou dva kužely jejichž průsečík je místo kde se nachází objekt jehož polohu chceme určit. (viz obr.3.5)



obr. 3.5 úhломěrná metoda

[8]

3.3 Vysílaný signál družice

Složky signálu vysílaného z družic systému GPS jsou odvozeny od základní frekvence f_0 oscilátoru umístěného na družicích. Signál je složen z těchto částí:

Základní frekvence f_0	$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
Nosná vlna L_1	$f_1 = 154 \cdot f_0 = 1575,42 \text{ MHz}$ ($\lambda_1 = 19,0 \text{ cm}$)
Nosná vlna L_2	$f_2 = 120 \cdot f_0 = 1227,60 \text{ MHz}$ ($\lambda_2 = 24,4 \text{ cm}$)
P-kód(Precision) $P(t)$	$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
C/A kód(Coarse/Acquisition) $C(t)$	$f_0 / 10 = 1,023 \text{ MHz}$
Navigační zpráva $D(t)$	$f_0 / 204600 = 50 \cdot 10^{-6} \text{ MHz}$

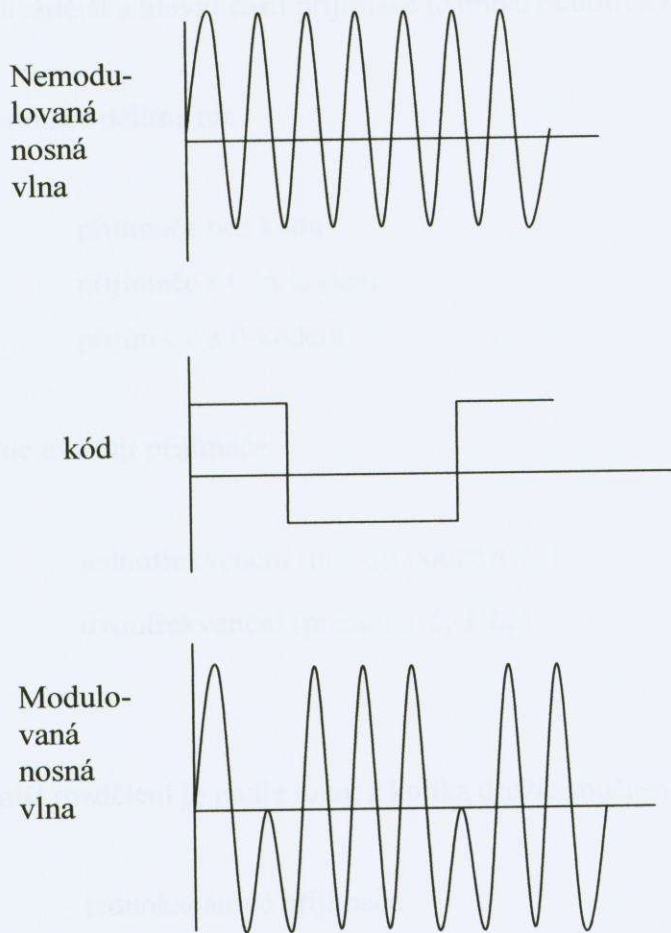
Obě sinusové vlny L_1 a L_2 s frekvencemi f_1 a f_2 jsou modulovány kódy a navigační zprávou a přenášejí tak čtení družicových hodin, dráhové parametry družice, atd. Pro modulaci signálu se používá dvoufázová modulace. Oba kódy $P(t)$ a $C(t)$ a navigační zpráva $D(t)$ jsou posloupností stavů $+1$ a -1 a výsledný signál je popsán rovnicemi:

$$L_1(t) = a_p P(t) D(t) \cos 2\pi(f_1 t) + c_p C(t) D(t) \sin 2\pi(f_1 t) \quad (25)$$

$$L_2(t) = b_p P(t) D(t) \cos 2\pi(f_2 t) \quad (26)$$

3.4 Zpracování signálu

Kde a_p, b_p, c_p jsou amplitudy signálů. Takový signál je pak zachycován přijímači a dále zpracováván.



Obr. 3.3 Zpracování signálu

[10,12]

3.4 Zpracování signálu

Přijímače GPS jsou vybaveny pro příjem signálu a jeho zpracování: anténa, předzesilovač, radiofrekvenční sekce, procesor, paměťové zařízení a zdroj energie. Nejdůležitější a hlavní částí přijímače je právě radiofrekvenční sekce (RF).

Přijímače dělíme na:

1. přijímače bez kódu
2. přijímače s C/A kódem
3. přijímače s P-kódem

Dále existují přijímače:

1. jednofrekvenční (pracují pouze s L_1)
2. dvoufrekvenční (pracují s L_1 i L_2)

Další rozdělení je podle toho, z kolika družic současně je možné signál přijímat:

1. jednokanálové přijímače
2. vícekanálové přijímače

Vícekanálové přijímače používají pro každou družici jeden kanál. Jedno-kanálové přijímače musí velmi rychle přepínat příjem signálu z různých družic.

Poté co je signál přijat pomocí antény, přijímač rozliší ze které družice byl signál přijat. Používá se C/A kódu, který je pro každou družici specifický. Základem RF je oscilátor, který generuje referenční frekvenci přímo v přijímači a pak filtry, které odstraňují nežádoucí frekvence a nakonec mixery. Měření pseudovzdáleností (vzdálenost mezi družicí a přijímačem) je ve zjednodušené podobě takovéto: referenční vlna je generována oscilátorem v přijímači a pak modulována replikou známého PRN kódu. Tento modulovaný referenční signál je pak porovnáván s přijatým družicovým signálem a je proveden výpočet korelace mezi těmito signály. Výsledkem výpočtu

korelace je rozdíl časů $t_k - t'$, kde t_k je čtení hodin v přijímači a t' je čtení hodin na družici. V podstatě je tento rozdíl času, který signál potřeboval pro překonání vzdálenosti mezi družicí a přijímačem. Dále je z přijatého signálu odstraněn PRN kód a navigační zpráva je dekódována vysokofrekvenčními filtry. Výsledkem zpracování signálu je tedy:

pseudovzdálenost $\rho_k = c(t_k - t')$ (27)

navigační zpráva

demodulovaný, dopplerovsky posunutý družicový signál [10]

3.5 Chyby systému GPS

Nic není dokonalé a tak i systém GPS má své mouchy a to jak z pozice své technologie a principu, tak z pozice atmosférických podmínek, kterými prochází signál od družic.

Míra přesnosti v určení polohy

Jako v jiných navigačních systémech i zde je dosahována určitá míra přesnosti ve stanovení polohy a rychlosti vlivem působení jistých chyb systému GPS. Ty jsou složeny z chyby měření vzdálenosti (pseudorange error) násobené hodnotou tzv. geometrické odchylky od přesnosti (GDOP-Geometric Dilution of Precision). O velikosti obou chyb nebo výsledné velikosti jsme příjemcem trvale na displeji informováni. Chyba měření vzdálenosti má statistický (pravděpodobnostní) charakter a tedy i udávané hodnoty přesnosti stanovení polohy jsou vlastně statistické odhady s danou pravděpodobností. Obvykle se udávají hodnoty pro 50% (CEP) nebo 67% (DRMS) interval, který zaručuje, že udávané hodnoty přesnosti je dosaženo v uvedeném procentu stanovených poloh. Proto je třeba brát s rezervou údaje v katalogu (např. 15 m), které u stanovení chyby polohy neudávají pro jakou hodnotu pravděpodobnosti vlastně platí. Na velikosti chyby měření se podílí ionosférické zpoždění (asi do 20m ve dne a 6m v noci) a troposférické zpoždění signálu (do 30m), chyba družicových hodin (menší než 3m) a především již dříve zmíněná úmyslná chyba SA (kolem 30m). Hodnoty přesnosti zde uvedené platí pro navigační přístroje.

Druhá část pro chyby označovaná jako GDOP vyjadřuje vliv geometrického rozložení družic nad obzorem v okamžiku měření. Dosažitelná minimální hodnota GDOP je rovna jedné.

GDOP je složena z následujících:

- PDOP - Poziční
- HDOP - Horizontální
- VDOP - Vertikální
- TDOP - Čas
- RDOP - Relativní (60-ti sekundový takt)

Ionosférická refrakce

Signál z družice prochází na cestě k uživateli ionosférou, ve které dochází k ionosférické refrakci. Signál dostávající se k uživateli jde po delší cestě než skutečně má. Refrakce se dá potlačit několika způsoby:

- zavedením modelu ionosférické refrakce přímo do přístroje
- měřením dvou kmitočtovou metodou - družice vysílá 2 signály na 2 frekvencích (řešením soustavy rovnic získáme požadované výsledky)
- diferenčním měřením

Ionosférická refrakce(lom) představuje největší přirozenou chybu systému GPS.

Mnohocestné šíření

Signál jdoucí od družice k anténě přijímače se šíří přímou cestou za předpokladu že nenastal odraz od okolních předmětů (multipath). V tomto případě jde signál po cestě delší. Omezit mnohocestné šíření signálu lze:

- vhodnou anténou (choke ring - odrazná či stínící deska)
- v moderních přístrojích je kvalitní anténa doplněna zvláštním uspořádáním korelátoru přístroje

Multipath představuje nejzávažnější přirozenou chybu GPS.

S-A

Selective Availability - výběrová dostupnost. Spočívá v záměrném zhoršování přesnosti měření manipulováním se signálem družic. Budete-li určovat po delší dobu jeden bod, bude se jeho poloha měnit s přesností 64 m.

[8,11,12]

3.6 Využití systému GPS

Stručný přehled oborů kde všude lze systém GPS využít.

Armáda

- navigace vojenského letectva
- koordinace přesunů živé síly a techniky v terénu
- navádění vojenského námořnictva
- řízené střely naváděné na cíl s přesností 20 cm

Další obory

1. geodézie
 - a) určování polohy bodů s vysokou přesností (až 5 mm)
 - b) vytyčování
 - c) zaměřování
 - d) určování parametrů rotace Země
 - e) sledování deformací inženýrských staveb
 - f) sledování pohybů zemských desek
 - g) poloha pólů
 - h) korekce času
2. GIS, mapování - sběr dat
3. letectví - navigace letadel
4. námořní navigace - navigace lodí
5. sledování vozidel

- a) navigace např. po městech
 - b) sledování odcizených vozidel
 - c) monitoring pohybu vozidel např. městská doprava, vlaky
6. cestování - turistika, expedice
 7. měření rychlosti
 8. počítání ujetých nebo ušlých vzdáleností
 9. velice přesné určení času

Použití ve vojenském prostředí: GPS velmi ovlivňuje vedení moderního boje a má zásadní význam ve vojenské technice.

Využití GPS systému se předpokládá u všech moderních armád. Systém bude instalován v letadlech, tancích, lodích a bude také součástí výstroje pěšího vojáka. Přijímače budou vybaveny šifrovacími klíči pro potlačení S-A.

Výhody využití systému GPS v armádě

- 1) odolnost proti rušení
- 2) neomezený počet uživatelů
- 3) stejný systém souřadnic pro všechny základny a stanoviště
- 4) jednotné určení času

Dnes je systém GPS použit i u některých druhů munice jako např. rakety SLAM mají vestavěný systém GPS. Použitím tohoto systému umožňuje přesné navedení tedy přesnou lokalizaci rakety na palebný cíl.

V letectví je GPS už nedílnou součástí většiny letadel. Využívá se zejména pro navádění letadel pro přistání na neobsazená letiště. Zjednodušuje za pomoci přesných údajů komunikaci mezi leteckou věží, námořní a leteckou službou při manévrech jako je doplňování paliva letadel za letu tzv. tankování ve vzduchu.

Dále se využívá pro pokládání minových polí jejich následné odminování a pro bezpečný průchod tímto polem.

Použití v námořní dopravě

V dnešní době se v námořní dopravě používá družicový systém Transit, tento systém však pomalu upadá a nahrazuje jej systém GPS. Hlavními požadavky pro použití GPS v námořní dopravě jsou v zásadě mechanická a klimatická odolnost přístrojů. Systém lodím umožňuje kromě přesné navigace také mnoho pomocných výpočtů a indikací.

Některé firmy začaly konstruovat kapesní přijímače pro menší lodě. Tyto přijímače jsou lehčí než voda a jsou samozřejmě vodotěsné.

Použití v geodézii

Na jednom stanovišti je umístěn jeden přijímač a druhý přijímač se přemístí na měřené body. Určené polohy se ukládají do obou přijímačů, poté se oba přístroje přenesou do jednoho bodu a propojí se s počítačem. Zpracováním uložených poloh se určí přesné souřadnice měřených bodů.

GPS přijímače se také začínají využívat v geodézii k vybudování geodetických sítí. V USA jsou rozmístěny přijímače po celém území. Tyto přijímače nepřetržitě hodnoty přijímačů jsou přeneseny do hlavního stanoviště kde se ukládají.

Použití pro měření času

GPS družice jsou vybaveny přesnými synchronizovanými hodinami (oscilátory), které jsou řízeny ze základny na Zemi. Tyto hodiny jsou porovnávány se světovým časem. Můžeme tak určit přesný čas a odchylkou $100ns$.

Použití v pozemní dopravě

Systém se používá pro mapování silnic, mostů, ale i dopravních značek. V železniční dopravě se používá pro sledování pohybu vlaků. Také v Českých Budějovicích se používá systém GPS pro sledování jednotlivých linek MHD.

Přijímače GPS jsou pak často vybaveny mapami daných lokalit.

[11]

3.7 Rozvoj družicové navigace

Další rozvoj vede k větší přesnosti určení polohy pro účely civilního letectví.

Pro zlepšení hlavních parametrů GPS, se dělají různé výzkumy. Ty se zabývají aplikacemi různých systémů pro přesnější přiblížení, nebo systémů pro lepší pokrytí signálu na celé Zemi.

Právě z důvodu zlepšení parametrů družicové navigace bylo vyvinuto několik dalších systémů pro různé účely pracujících na podobném principu jako GPS. Jsou to například systémy WADGPS, WAAS a Galileo.

WADGPS

Pro tento systém je na Zemi vytvořena síť stanic. Tyto stanice přijímají signály z navigačních družic a tyto údaje se porovnávají se skutečnou polohou. Porovnáním těchto hodnot získáme chyby způsobené troposférickou a ionosférickou refrakcí (zakřivením) a nepřesným určením polohy družic.

Tyto parametry dále putují do hlavní stanice kde se dále zpracovávají a vypočítávají se chyby pro dané území. Do přijímače uživatele se pak posílají tyto vypočtené chyby a použijí se pro přesnější určení dané polohy.

WASS

Tento systém je součástí GPS, který podporuje lepší přesnost a dostupnost signálu.

WASS zajišťuje průběžné informace o stavu družic-poruchy, nefunkčnost, špatná viditelnost družic. Aby GPS dobře fungovalo je nutná dobrá viditelnost alespoň šesti družic. Dále obdobně jako WADGPS šíří uživatelům korekce pro přesnější určení polohy. Také vysílají doplňkové signály sloužící k měření vzdálenosti k družicím.

Evropský systém Galileo

28. prosince 2005 v 6 hodin 19 minut středoevropského času odstartovala z kosmodromu Bajkonur ruská raketa Sojuz, která na oběžnou dráhu vynesla první zkušební družici evropského navigačního systému Galileo, která se jmenuje GIOVE-A (obr.3.6).



obr.3.6 Družive Giove

Cílem současné družice (počátkem roku 2006 ji bude následovat i sesterský satelit GIOVE-B) není zajistit operační provoz systému Galileo, ale provést přímo ve vesmíru nezbytné technologické testy předtím, než se začne s vypouštěním tří desítek operačních družic:

- Ověřit nové technologie vyvinuté v Evropě právě pro systém Galileo.
- Prokázat schopnost určovat přesně oběžnou dráhu (s odchylkou 50 cm) a přesně synchronizovat čas, což bude klíčové pro funkčnost celého systému Galileo.
- Zajistit komunikační frekvence pro operační systém (v případě jejich nevyužití by hrozilo, že "propadnou" - Mezinárodní telekomunikační unie přiděluje frekvence jen na určitou dobu a v případě jejich nevyužití jedná o přidělení znovu).
- Charakterizovat radiační prostředí na středních oběžných drahách (výška 23222 km nad zemským povrchem), kde se budou operační satelity pohybovat.

Podobný systém přitom už provozují USA (GPS - Global Positioning System) či Rusko (Glonass). Vývoj evropského navigačního systému Galileo je strategickou záležitostí. Třeba GPS kontroluje americká armáda, což poněkud brání průniku této technologie do každodenního života. Právě to, že Galileo bude civilní systém

s normálním komerčním provozem a zárukami dostupnosti, představuje jeho největší přednost.

Dalšími výhodami systému Galileo bude jeho přesnost: umožní pracovat s odchylkou jednoho metru. Současné systémy to sice umožňují také, ale pouze pro své provozovatele tedy pro vojenské složky. Pro narmádní aplikace je signál záměrně zkreslován, aby takováto přesnost nebyla dosažitelná. Družice systému Galileo se kromě toho budou pohybovat na oběžných drahách s vysokým sklonem k rovníku, takže budou zalétat i nad severnější oblastí zeměkoule, kde je kvalitní pokrytí dosavadními systémy nedostatečné.

Galileo je prvním společným projektem Evropské unie reprezentované Evropskou komisí a Evropskou kosmickou agenturou (ESA). Evropská komise je odpovědná za řešení politických otázek souvisejících se stavbou systému a za požadavky vyplývající z jednání na vysoké úrovni. Komise také zadala vypracování studií o celkové architektuře, ekonomické prospěšnosti a uživatelských systémech. ESA odpovídá za vývoj a zprovoznění družicové části systému a navazujícího pozemního zařízení. Nová technologická řešení zahrnují např. vývoj velice přesných hodin pro palubní aparaturu družice, generátor signálu, zesilovače, antény a převaděče.

Česká republika se na budování systému podílí jako člen Evropské Unie. Kromě toho k prvnímu říjnu 2005 založilo Ministerstvo dopravy ČR ve spolupráci s Českou kosmickou kanceláří právě na půdě druhé jmenované instituce národní kontaktní bod systému Galileo - místo, kde může odborná i laická veřejnost získat další informace.

Parametry Systému Galileo

- První dvojice zkušebních družic se jmenuje GIOVE, což představuje zkratku anglického Galileo In-Orbit Validation Element (Ověřovací součást systému Galileo) a zároveň je to italsky Jupiter - jehož pozorováním se Galileo Galilei (po němž je systém pojmenovaný) proslavil.
- Družice GIOVE-A a GIOVE-B nejsou identická. Plní podobné úkoly, a to i ve vzájemné spojitosti, ale jinak jsou dvěma poměrně odlišnými tělesy.

- O získání kontraktu na vybudování a provozování systému Galileo se dnes uchází konsorcium složené ze všech hlavních evropských firem na poli letectví a kosmonautiky. Konečná smlouva by měla být podepsána v polovině roku 2006.

- Kompletní systém Galileo by měl být zprovozněn po roce 2010, přičemž se bude skládat ze třiceti družic (27 operačních plus tři záložní přímo na oběžné dráze - přitom tyto záložní budou aktivní, takže ještě zvýší přesnost systému) na třech oběžných drahách. Vynášet je mají evropské rakety Ariane-5 a ruské nosiče Sojuz.

- Kromě zemí EU se na programu Galileo podílejí také Čína, Izrael a Ukrajina. Jednání s dalšími partnery (za všechny jmenujme např. Argentina, Austrálie, Brazílie, Chile, Indie, Jižní Korea, Kanada, Maroko či Mexiko) zatím probíhají.

- Cena systému do okamžiku zahájení jeho provozu, bude činit podle současných plánů 3,4 mld. euro.

Závěr

Jako i v jiných oborech, tak i v geodézii vznikla za účasti technického pokroku řada nových metod a měřících postupů.

Nivelační metody jsou historicky nejstarší, ale stále nejpřesnější ze všech metod měření výšky.

Tyto metody jsou nejpoužívanější, nejjednodušší a přitom nejpřesnější. Ale existují určité chyby, kterých je se třeba při měření vyvarovat. Chyby při nivelačních měřeních se ale vyskytují prakticky vždy i při zvýšené pozornosti. Jsou to například chyby systematické a chyby nahodilé.

U barometrických měření výškových rozdílů, nebo-li barometrického měření výšek, které je založeno na principu měření barometrického tlaku vzduch vyvolaného tíhou zemské atmosféry. Tato metoda je dnes na ústupu, ale ukazuje nám vliv zemské atmosféry na veličiny měřených délek.

Trigonometrická měření výšek je založeno na řešení pravoúhlého nebo obecného trojúhelníka. Za těchto podmínek byla vybudována jednotná trigonometrická síť katastrální pokrývající území České republiky. Určování výšky s využitím této metody vyplývá z požadavků a potřeb určování přesných výškových rozdílů bodů podrobného a základního bodového pole.

Pro přesné určení relativní polohy dvou bodů byla nutná vzájemná viditelnost mezi těmito body. S rozvojem kosmonautiky a radiové astronomie byla vyvinuta metoda GPS. Metoda je revoluční metodou pro určování polohy využívanou na celém světě.

Jsou různé druhy metod měření výšek, které byly popsány v mé práci a které zasluhují svou míru pozornosti, některé jsou používány více, některé méně, avšak se využívají se účelně podle potřeb použití. Metody měření nadmořských výšek a určování polohy jsou pro nás stále něčím co musíme rozvíjet a využívat k lepším výsledkům při jejich denním používáním v praxi.

Seznam použité literatury

- [1] Radim Blažek, Zdeněk Skořepa: Výškopis.Praha 1997
- [2] Ratiborský J.: Geodézie ,Praha 1995
- [3] Hůrka J.,Blažek R.,Holeček A.,Ingeduld M.,:Technologický postup na trigonometrické určovanie výškových rozdělív,Bratislava 1985
- [4] Pokora M., a kol.:Geodézie 1,Praha 1985
- [5] Krpata F.,Aplikovaná optika,Praha 1997
- [6] Bednář J.: Pozoruhodné jevy v atmosféře, Academia, Praha 1989
- [7] Fuka, J., Havelka, B.: Optika, SPN, Praha 1954
- [8] Mervart L.: Základy GPS,Praha 1993
- [9] Mervart J.,Globální polohový systém,Praha 1994
- [10] Hrdina Z.,Pánek P.,Vejražka F.,Rádiové určování polohy,Praha 1995
- [11] Švábenský O.,Fixel J.,Wiegel J.,:Základy GPS a jeho praktické aplikace
- [12] Hefty J.,Husár L.:Globální polohový systém,Bratislava 1994
- [13] Vejražka F. a kol,Navigační zařízení GPS,Praha 1987
- [14] <http://www.zememeric.cz/>

- [15] <http://www.dknv.cz/cz/meridla-detektory-metry-dalkomery-vodovahy-hledace-kovu-vlhkomery-rotacni-lasery.html>
- [16] <http://www.navigacegps.cz/>
- [17] http://www.esa.int/esaNA/SEM21VMVGJE_index_0.html
- [18] <http://www.mobilmania.cz/Profi/AR.asp?ARI=111127>

Anotace

Tato bakalářská práce se zaměřuje na popis základních měřících metod měření nadmořské výšky a popsání základního principu určení polohy pomocí GPS systému.

Synopsi

This bachelor's work is aimed on description of basic measuring methods which measure elevation above sea level and description of basic principle of determination of location by GPS system.