

# 1 ÚVOD

## 1.1 Stručný vývoj geodezie

Geodezie je vědní obor, zabývající se určením tvaru a rozměru Země, jejích jednotlivých částí i celého povrchu a znázorňováním zaměřených skutečností.

Název geodezie vznikl spojením dvou řeckých slov geo - Země a daiomai - dělím. Vhodnější spojení geo – Země a metrein – měřit se v praxi pro tento vědní obor nepoužívá, neboť je vyhrazeno pro jiná odvětví matematiky (geometrie).

Geodezie se poměrně záhy vyčlenila z matematiky vyspělých kulturních národů, které se zabývaly stavitelstvím, astronomií a vyšší formou zemědělství, v samostatné odvětví.

První písemná památka o zeměměřictví pochází ze starověkého Egypta, kde vznikl ve 2. tisíciletí př. n. l. „papyrus Rhind“, ve kterém opisovač Ahmes popisuje výpočty ploch, objemů, učí jak zaměřovat pozemky a je tak dosud první dochovanou učebnicí zeměměřictví. V Egyptě v povodí Nilu, kde každoroční záplavy vyvolávaly potřebu znovuvytyčení pozemků zemědělců v zaplavovaném pásmu. Důležité to bylo též pro panovníka, který z obhospodařovaných ploch vybíral daně. Zeměměřičtí úředníci se proto ve starověkém Egyptě těšili veliké úctě a vážnosti.

Nelze však tvrdit, že by zeměměřictví vzniklo pouze v Egyptě. Zeměměřické práce provázely velká stavební díla ve všech rozvinutých lidských kulturách. Prastaré říše v povodí mohutných veletoků v Číně, Indii, Mezopotámii a v jiných částech světa (např. v Americe), budovaly svá sídliště, přístavy, průplavy, opevnění, chrámy, paláce či pyramidy za přispění zeměměřičů.

Za samostatnou zmínku stojí zeměměřické znalosti Sumerů a Akkádů. Dovedli kromě základních čtyř početních úkonů též umocňovat a odmocňovat; dokázali vypočítat plochu trojúhelníka, pravoúhelníka, lichoběžníka, objem krychle, kvádra, hranolových těles, jehlanu, kužele atd. Znali i Pythagorovu větu a Ludolfovo číslo.

Rovněž staří Řekové vynikali v zeměměřictví a ještě dnes známe mnoho jmen spjatých s tímto oborem. Mezi ně patří Thales, Pythagoras, Platón, Aristoteles, Archimedes, Erasthenes, Euklidos, Heron, Appolonius a další. Nejznámější doklad o vyspělé zeměměřické činnosti pochází od Erasthotena ze 3. st. př. n. l., který v Egyptě z měření v Alexandrii a Asuánu úspěšně změřil délku poledníkového oblouku a z něj odvodil zemský obvod. Výsledek má vynikající přesnost a liší se od skutečnosti o pouhých 0,8 %.

Také Římané se zabývali měřictvím při vyměřování sídlišť, silnic, vojenských táborů, stavbě akvaduktů. Věděli jak určit výšky kopců, šířku vodních toků atd. Mnoho poznatků a zkušeností přejali od Etrusků a narozdíl od Řeků byli zpravidla vedeni jen potřebami praxe. V Římě se též začali používat dva zeměměřické přístroje: gróma pro vytyčování kolmic a chorobates pro nivelaci. Obratnost, s jakou římstí zeměměřiči dovedli chorobatu používat, dosvědčují dodnes zachované vodní stavby, akvadukty, které zásobovaly města vodou. Příkladem je částečně dochovaný akvadukt do města Nimes v jižní Francii, vybudovaný koncem 1. st. př. n. l. s třípatrovým mostem „Pont du Gard“.

Ve středověku, kdy došlo k zániku starých civilizací a v celé Evropě se rozvíjela vzdělanost převážně v církevních kruzích, došlo ke stagnaci zeměměřictví. V té době byli v měřictví nejvyspělejší Arabové, kteří přes Pyrenejský poloostrov pronikali do Evropy. Řada termínů v zeměměřictví a astronomii pochází z arabštiny např. alhidáda (z arabského al-idáda = počítadlo), nebo azimut (as-samt = směr, kurs). Arabové provedli nové, velmi přesné

stupňové měření a určili tak zemský obvod. V matematice zavedli desítkovou, poziční soustavu.

Až období renesance s rozvojem základních věd přineslo kvalitativně nový přístup k vývoji zeměměřičství v Evropě. Nové znalosti v matematice, deskriptivní geometrii a fyzice umožnily geodezii postavit na teoretický základ. Zasloužili se o to učenci jako G. D. Cassini, P. Bouguer, P. Laplace, J. Lagrange, G. Monge, J. B. J. Delambre, C. F. Gauss (viz příl. 1.1).

Také Češi se podíleli na rozvoji geodezie: tak např. Šimon Podolský spisem „Knižka o měřích zemských“. J. A. Komenský latinským spisem „Geometrie Kosmografie“ a českým „O vycházení a zapadání předních hvězd oblohy osmé“. První díl „Geometrie Kosmografie“ má název „Geometria theoretika“ a druhý „Geometria practica“ je nadepsán Geodesia. Po obecné nauce o užívaných měřích a kvadrantu popisuje užití tohoto přístroje při měření délek, výšek a hloubek. V závěrečné kapitole se dovídáme o měření výšek bez pomoci kvadrantu prostřednictvím délky stínu a zrcadla. Spis vznikl někdy kolem roku 1631, kdy Komenský učil na latinské škole v Lešně. Podobných dokladů zájmu Komenského o geodezii je více. Velmi zdařilá je např. Komenského mapa Moravy.

V devatenáctém století, kdy byly Čechy a Morava součástí Rakousko-Uherské monarchie, bylo na její větší části vybudováno mapové dílo, které co do rozsahu a přesnosti nemělo ve světě obdoby. Čeští zeměměřiči na něm měli podstatnou účast. Za všechny jmenujme alespoň geodeta Horského, který provedl triangulaci Vídně a okolí a geodeta Marka, který působil v Maďarsku.

Ani v současnosti se význam geodezie nezmenšil. Žádné stavební dílo se neobejde bez účasti geodeta, který s využitím nejmodernějších přístrojů jako jsou totální stanice a stanice GPS provádí jejich vytyčení a zaměření. Také regionální i celosvětová mapová díla patří neodmyslitelně do výbavy moderního člověka.

## 1.2 Základní rozdělení geodezie

Podle pracovní náplně a druhu činností obvykle dělíme geodezii na:

- geodezii rovinnou
- geodezii vyšší
- kartografii
- fotogrammetrii a DPZ

Geodezie rovinná - zabývá se praktickým zaměřováním a zobrazováním menších územních celků, vytyčovacím pracemi a půdň evidencí. Geodetické úkoly jsou řešeny v rovině, takže všechny výpočty provádíme podle pravidel rovinné geometrie.

Geodezie vyšší - řeší úlohy převážně vědeckého charakteru. Zabývá se zpřesněním určení tvaru a rozměru Země, budováním geodeticko - astronomických sítí. Souvisí s astronomií a geofyzikou.

Kartografie - zabývá se teoretickou a praktickou tvorbou map všech druhů, včetně jejich reprodukce.

Fotogrammetrie a DPZ - patří mezi moderní odvětví geodezie, které využívá fotografických snímků pořizovaných ze země nebo z atmosféry k vyhotovování map, průzkumné činnosti aj. DPZ - dálkový průzkum Země je sběr průzkumných dat o území, realizovaný z kosmického nebo letadlového nosiče a zpracování jeho výsledků za účelem získání informací o stavu, poloze a druhu objektů a jevů na zemském povrchu.

Pozn. Dnes je možné se setkat s tím, že kartografie je z geodezie vyčleněna a je zařazena do věd geografických.

### 1.3 Soustavy měř

Už od starověku měla jednotlivá města, později státy řadu soustav měř a vah. Dlouhá staletí vládla nejednotnost. Velké potíže vznikaly při obchodním a jiném styku. Některé míry měly dokonce stejné pojmenování, ale místně jinou velikost. Původní míry vycházely jednak z rozměrů lidského těla, říkáme jim míry přirozené, jednak z vykonané práce, lidské nebo tažných zvířat v zemědělství, těm říkáme míry odvozené. Pro příklad budou uvedeny některé staré soustavy:

#### staré české míry

1 loket pražský	= 0,591 m	= 3 pídě
1 píd'	= 0,198 m	= 10 prstů
1 dlaň	= 0,078 m	= 4 prsty
1 pěst	= 0,105 m	
1 zemský provazec	= 42 lokte	

#### délkové a plošné míry Rakousko-Uherské

1° (sáh) = 6' (stop) = 72'' (palců) = 864''' (čárek) = 1,896 484 m
1 rakouská míle = 4 000 sáhů = 7 585,936 m
1 jitro = 2 korce = 3 měrice = 1 600 čtver. sáhů = 5 754,64 m <sup>2</sup>

#### anglické délkové a plošné míry

1 yard = 0,914 383 m (délka sekundového kyvadla v Greenwiche)
1 foot = 0,304 794 m (stopa)
1 inch = 0,025 399 m (palec)
1 yard = 3 feet = 36 inches
1 statue mile = 1 609,315 m (pozemní míle)
1 nautical mile = 1 852,01 m (námořní míle - délka oblouku, odpovídající 1 minutě na nultém poledníku)
1 acre = 0,405 ha (akr - jitro)
1 square mile = 2,589 89 km <sup>2</sup> (plošná míle)

Teprve rozhodnutí francouzské Akademie věd dalo vzniknout nové jednotce - metru - a metrické soustavě. Metr byl původně definován jako desetimiliontá část zemského poledníkového kvadrantu, jehož rozměr byl zjištěn stupňovým měřením v 18. stol. Metrická soustava byla zavedena před více jak 100 lety, ale obecné přijetí bylo dobrovolné, a tak některé státy na metrickou konvenci dosud nepřistoupily. Evropské státy metrickou konvenci přijaly. Na území našeho státu byla přijata roku 1922.

Během let se původní definice metru několikrát změnila za účelem jejího zpřesnění. Poslední platná definice metru je tato: metr je délka dráhy, kterou uletí světlo ve vzduchoprázdnu za 1/299 792 458 sekundy. (ČSN 01 1300 Zákonné měřicí jednotky 1992)

#### metrická soustava - délková

Délkovou jednotkou je 1 metr, ostatní jednotky jsou odvozeny jako desetinné násobky nebo desetinné zlomky metru.

1 m = 1 m	1 dm = 1 · 10 <sup>-1</sup> m
1 hm = 1 · 10 <sup>2</sup> m	1 cm = 1 · 10 <sup>-2</sup> m
1 km = 1 · 10 <sup>3</sup> m	1 mm = 1 · 10 <sup>-3</sup> m
	1 μm = 1 · 10 <sup>-6</sup> m (mikrometr)

### metrická soustava - plošná

$$1 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ a (ar)} = 100 \text{ m}^2 \text{ (dnes již není povolen)}$$

$$1 \text{ ha (hektar)} = 100 \text{ a} = 10\,000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ km}^2 = 100 \text{ ha} = 10\,000 \text{ a} = 1\,000\,000 \text{ m}^2$$

Ménší jednotky než  $1 \text{ m}^2$  nepoužíváme, uvádíme je pouze jako čísla za desetinnou čárkou.

### Míry úhlové

Kromě délkových a plošných jednotek, užívaných výhradně v metrické soustavě, platí dosud 3 typy úhlových měř:

míra oblouková - úhel se zde značí obecně  $\alpha$  a vyjadřuje se délkou oblouku kružnice o jednotkovém poloměru ( $r = 1$ ). Plnému úhlu odpovídá hodnota  $2\pi$ . Znamená to, že kterýkoliv úhel můžeme vyjádřit jako funkci.

$$\text{Obecně platí } \alpha = \frac{s}{r} \quad \begin{array}{l} s \dots\dots \text{délka oblouku} \\ r \dots\dots \text{poloměr} \end{array}$$

### míra stupňová - šedesátinná (sexagesimální)

$$\text{plný úhel} \dots\dots 360^\circ \quad \text{stupeň}$$

$$1^\circ = 60' = 3\,600'' \quad \text{minuty, vteřiny}$$

### míra stupňová - setinná (centesimální)

$$\text{plný úhel} \dots\dots 400^g$$

$$1^g \quad \text{gon (dříve grad)}$$

$$0,01^g (1^c) \quad \text{setinná minuta (dříve centigrad)}$$

$$0,001^g (1^{mg}) \quad \text{miligon}$$

$$0,0001^g (1^{cc}) \quad \text{setinná vteřina (dříve decimiligrad)}$$

### Převody úhlových měř

a) vztah mezi mírou obloukovou a stupňovou

$$\frac{\text{arc } \alpha}{\alpha^\circ} = \frac{2\pi}{360^\circ} \quad \text{arc } \alpha = \frac{2\pi}{360^\circ} \cdot \alpha^\circ \quad \alpha^\circ = \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \text{arc } \alpha$$

$$\text{radián } \rho^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} = 57,295\,779\,51^\circ$$

$$\rho' = 3\,437,746\,77'$$

$$\rho'' = 206\,264,806''$$

b) vztah mezi mírou obloukovou a setinnou

$$\text{arc } \alpha = \frac{\pi}{200^g} \alpha^g \quad \alpha^g = \frac{200^g}{\pi} \text{arc } \alpha$$

$$\text{radián } \rho^g = \frac{200^g}{\pi} = 63,661\,977\,24^g$$

$$\rho^c = 6\,366,197\,724^c$$

$$\rho^{mg} = 63\,661,977\,24^{mg}$$

$$\rho^{cc} = 636\,619,772\,4^{cc}$$

c) vztah mezi mírou šedesátinnou a setinnou

$$360^\circ = 400^g$$

$$1^\circ = \frac{400^g}{360^\circ} = \frac{10}{9} = 1,111\,111^g$$

$$1^g = \frac{360^\circ}{400^g} = \frac{9}{10} = 0,9^\circ = 54'$$

## 2 MĚŘENÍ DÉLEK

Pod pojmem měření délek v geodezii rozumíme určení vodorovné vzdálenosti mezi dvěma krajními body přímky. Každá pomůcka nebo přístroj, se kterými měření provádí, musí být komparovány (porovnány) s určitým základním měřítkem.

### 2.1 Přímé měření délek

Mezi nejjednodušší možnost, jak určit vzdálenost mezi dvěma body, patří krokování. Nevýhodou je malá relativní přesnost udávaná 1 : 50 až 1 : 100 a také použitelnost pouze v rovinném terénu. Pro hrubý odhad vzdálenosti je tato metoda dostačující a často použitelná. Její přesnost se dá poněkud zlepšit tím, že lidský krok nenásobíme průměrnou hodnotou 0,75 m (nebo dvojkroku 1,50 m), ale změříme si délku deseti vlastních kroků. Desetina této vzdálenosti je skutečná délka vlastního kroku.

Nejčastější pomůckou pro přímé měření délek je pásma. Pásma rozlišujeme:

- podle jejich délky
- 20 m
  - 30 m - nejběžněji používané
  - 50 m

podle nosiče, na kterém jsou upnuty

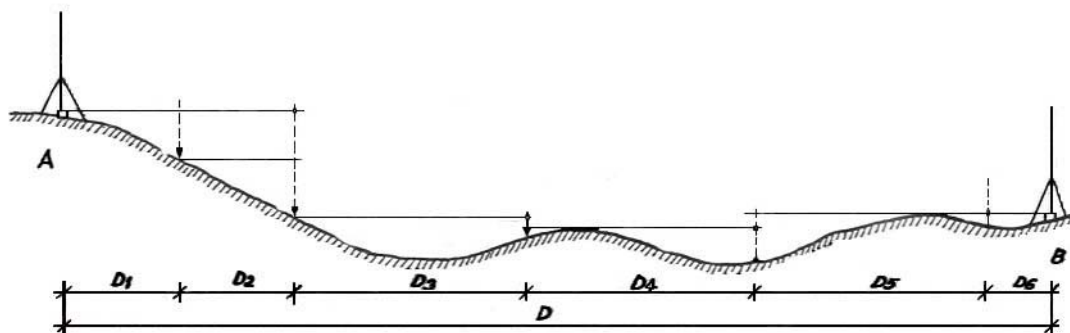
- na kruhu - starší systém, kruh je od pásma volně oddělitelný
- na vidlici - nevhodnější varianta, vidlice má anatomicky uzpůsobenou rukojeť pro snazší napínání
- v pouzdře - nepřiliš vhodné, případné nečistoty při svinutí se dostanou dovnitř bez možnosti vyčištění. Hůře se napíná.

podle materiálu

- textilní - pro geodetické účely nevhodné - dochází k protažení
- ocelová - nejběžnější vhodný materiál, dříve byla stupnice leptaná nyní je nanášena ve vrstvě laku
- invarová - slitina 36 % niklu, 64 % oceli - neobyčejně stálý materiál z hlediska teplotní roztažnosti, použití při velmi přesných měřeních
- eslonová - umělohmotný materiál se skleněnými vlákny - též velmi stálý, nevodivý, nekorodující

Kromě pásma potřebujeme pro měření délek též olovnice, výtyčky se stojánky a měřické jehly.

#### 2.1.1 Postup při měření délek pásmem



Obr. 2.1

1. Na koncové body měřené přímky postavíme výtyčky ve stojánkách, jejich svislost zajistíme pomocí olovnice zhlédnutím ze dvou na sebe kolmých stran. Je-li přímka příliš dlouhá, můžeme ji rozdělit na jednotlivé úseky, které proměříme samostatně.

2. Ve svažitém terénu postupujeme vždy se svahu.
3. Na počátečním bodě jeden pomocník pečlivě přiloží nulu pásma a pomocníka na druhém konci pásma zařadí podle výtyčky umístěné na konci měřené délky do směru. Podle svažitosti terénu rozvine druhý pomocník buď celé pásmo, nebo jen jeho část tak, aby mohl po urovnání pásma do vodorovné roviny klad pásma bez obtíží provázet olovnicí. Klad pásma volíme jako celistvé násobky pěti metrů. Urovnání pásma do vodorovné roviny zajistí měřič, který pásmo sleduje z boku – např. s použitím olovnice (oko je citlivé na pravý úhel).
4. Pomocníci na počátku a konci pásma jej napínají silou 100 N. Aby k provázení konce kladu pásma olovnicí došlo právě v okamžiku, kdy pomocník držící počátek pásma jej měl skutečně na nule, dotáže se hlasitě pomocník na konci pásma „NULA?“. Po kontrole pomocník na počátku odpoví „DOBŘÁ!“. V tom okamžiku pomocník na konci olovnicí prováže celý klad pásma a do terénu šikmo zabodne měřickou jehlu (v rovině kolmé k měřené délce).
5. Měřič vyznačí klad pásma do „Zápisníku délek měřených pásmem“ (viz příloha 2.1).
6. Pomocník s počátkem pásma se přesune k měřické jehle a druhý pomocník směrem ke konci měřené přímky a celý postup se opakuje. Pomocník u počátku pásma vždy měřickou jehlu sebere.
7. Na konci měřené délky nám zůstane vzdálenost menší než je klad pásma, tzv. doměrek, který po provázení olovnicí přímo na koncovém bodě odečte měřič v metrech s přesností na centimetry.
8. Měřič запиše hodnotu doměrku do Zápisníku délek měřených pásmem. Pomocník u počátku pásma nahlásí počet sebraných jehel. Počet musí souhlasit s počtem kladů pásma zapsaných v Zápisníku.
9. Provedeme druhé změření délky. V rovinném terénu zpět k počátku, ve svažitém opět po svahu, ale s odsazenou nulou.
10. Přímo v terénu porovnáme rozdíl mezi dvojným měřením délky. Pokud překročí maximální přípustný rozdíl, např.  $\Delta_D = 0,006 \cdot \sqrt{D}$ , měření musíme opakovat a odlehlé měření vyloučit.
11. Po ukončení měření zbavíme pásmo nečistot a vytřeme jej do sucha.

### 2.1.2 Chyby při měření délek pásmem

Obecně dělíme chyby při měření na hrubé a nevyhnutelné, nevyhnutelné dále na systematické a nahodilé .

Při měření délek pásmem mohou vzniknout všechny uvedené chyby. Při dodržení všech zásad měření uvedených v oddílu 2.1.1 můžeme hrubé chyby z měření odstranit a chyby nevyhnutelné minimalizovat tak, aby nepříznivě neovlivnily požadovanou přesnost měření.

Hrubé chyby při měření délek pásmem vznikají nepečlivostí při měření a zapisování. Bývá to často zapomenutý klad pásma, špatně odečtený či zapsaný doměrek.

Systematické chyby jsou podstatně nebezpečnější než chyby nahodilé. Je jich celá řada, a každá ze systematických chyb má stále stejné znaménko. Jejich vliv tak roste přímo úměrně.

1. Chyba z nesprávné délky měřidla - je způsobena tím, že skutečná délka měřidla neodpovídá délce měřidla uvedené výrobcem. Má stále stejné znaménko a v plné velikosti se projevuje s každým kladem pásma. Zjistíme ji porovnáním pásma s ocejchovaným měřidlem.
2. Chyba z nevodorovné polohy měřidla - jak je patrné z obr. 2.3 je vždy kladná.





$$\text{Potom } D = \frac{f}{y} \cdot l + f + \Delta$$

$$f + \Delta = c \quad c \text{ je součtová konstanta}$$

$$\frac{f}{y} = k \quad k = 100$$

$$D = k \cdot l + c$$

U moderních dalekohledů byla vložena do optické soustavy ještě jedna čočka zv. analaktická, kterou je vrchol dálkoměrného úhlu převeden do středu přístroje potom platí

$$D = k \cdot l$$

Tento jednoduchý vztah platí však pouze při vodorovné záměře a svislé lati.

V případě, že se jedná o šikmou záměru, z obr. 2.5. vyplývá, že odečtený laťový úsek  $l$  není kolmý k záměře. Kolmost splňuje až úsek  $l'$ , který získáme výpočtem

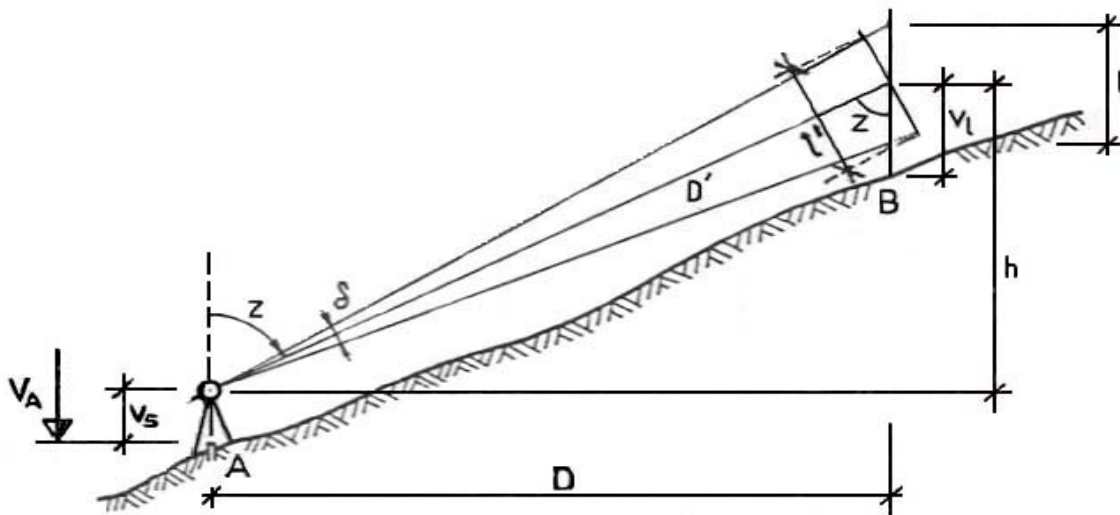
$$l' = l \cdot \sin z$$

kde  $z$  je měřený zenitový úhel

Vodorovná vzdálenost  $D = D' \cdot \sin z$

kde  $D' = k \cdot l'$

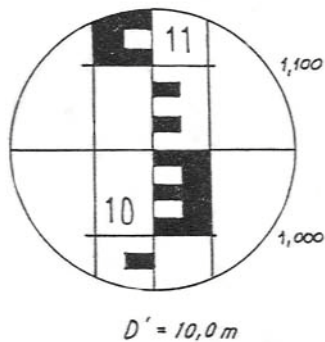
$$\text{Potom } D = k \cdot l \cdot \sin^2 z$$



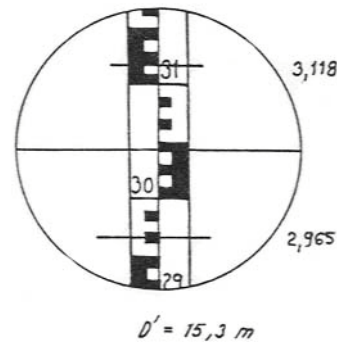
Obr. 2.5

#### Postup při měření nitkovým dálkoměrem

1. Na jeden koncový bod měřené délky postavíme stativ s teodolitem, který zcentrujeme a zhorizontujeme. Na druhý konec postavíme nivelační (tachymetrickou) lať a udržujeme ji ve svislé poloze pomocí krabicové libely.
2. Zacílíme dalekohledem na lať tak, aby svislá ryska záměrného (nitkového) kříže byla uprostřed latě (viz obr. 2.6), spodní dálkoměrnou rysku nastavíme na lati na hodnotu celého metru (jednoho, dvou, tří). Mezi těmito třemi variantami zvolíme takovou, při které se záměra nejvíce blíží vodorovné (kvůli přesnosti měření).



Obr. 2.6 a



Obr. 2.6 b

3. Přečteme hodnotu horní dálkoměrné rysky v centimetrech s přesností na milimetry (ty pečlivě odhadujeme). Z hlavy odečteme od této hodnoty hodnotu spodní dálkoměrné rysky a rozdíl nahlásíme zapisovateli. Toto je přímo hodnota laťového úseku **I**. (obr. 2.6 a)  
 Pozn. V nepřehledném terénu (např. v lese), kde není možno nastavit spodní dálkoměrnou rysku na hodnotu celého metru, vyhledáme na lati místo, kde jsou vidět obě dálkoměrné rysky a čteme zapisovateli hodnotu horní i dolní rysky (opět v centimetrech s přesností na milimetry) (obr. 2.6. b). Zapisovatel udělá z těchto dvou obecných hodnot rozdíl - laťový úsek **I**. V krajním případě lze odečíst hodnotu horní či spodní dálkoměrné rysky a jako druhou hodnotu střední rysky. Tím získáme 1/2 laťového úseku. Přesnost takto získané délky bude však poloviční.
4. V mikroskopu u teodolitu přečteme hodnotu zenitového úhlu **z**, kterou také zapíšeme.
5. Vodorovnou vzdálenost mezi středem teodolitu a latí získáme ze vzorce  $D = k \cdot I \cdot \sin^2 z$  ( $k = 100$ ).

#### Přesnost nitkových dálkoměrů

Přesnost délky určené z laťového úseku **I** závisí na řadě faktorů. Již vlastní určení laťového úseku **I** závisí na dobrém odhadu oka při nastavení dolní dálkoměrné rysky, tak při čtení rysky horní, kde musíme brát v úvahu, že na centimetrové laťové stupnici odhadujeme milimetry, a každý špatný odhad se v konečné délce násobí stem. Čím je lať vzdálenější od teodolitu, tím je odhad obtížnější. Proto se doporučuje neměřit délky delší než 120 m. Na čtení laťového úseku má negativní vliv i diferenční refrakce stejně jako vibrace vzduchu při vyšších teplotách.

Další faktor, který negativně ovlivňuje přesnost určené délky, je vliv nesvislé latě, který vzrůstá přímo úměrně s hodnotou odečtenou a se strmostí záměry. Tento vliv minimalizujeme volbou méně strmých záměr (lze ovlivnit zvláště u kratších délek správně nastavenou hodnotou „spodní dálkoměrné rysky“), a pečlivým držením latě s použitím krabicové libely.

I zkušený měřič se na délce 100 m může nitkovým dálkoměrem snadno dopustit chyby až 30 cm. Relativní chyba se udává 1 : 300. Přesnost tohoto typu dálkoměru je tedy poměrně nízká a vhodné použití je pouze pro určování vzdáleností podrobných bodů metodou nitkové tachymetrie v polní trati (v extravilánu).

#### 2.2.2 Elektronické měření délek

Z fyzikálních způsobů určování vzdáleností je pro geodetické účely nejvhodnější elektronické měření délek, které je v současnosti hojně užíváno. Původní myšlenkou využití rychlosti světla k určování vzdáleností se zabývali vědci již od konce 19. století. Objev německého fyzika Hertze, že krátké radiové vlny mají podobné vlastnosti jako vlny světelné, podnítil zájem o výzkum rádiových vln. Rozvoj elektroniky ve druhé polovině 20. století umožnil vznik plně funkčních dálkoměrů, u nichž se měřidlem stala vlnová délka elektromagnetického vlnění. V oblasti velmi krátkých vln hovoříme o dálkoměrech radiových a v oblasti viditelného a infračerveného světla o dálkoměrech světelných.

Za vynálezce prvního světelného dálkoměru je považován švédský vědec E. Bergstrand (v r.1947). Jeho přístroj byl označen jako Geodimeter (Geodetic Distance Meter). První radiový dálkoměr sestrojil v roce 1954 v JAR T. Wadley a nazval jej Tellurometer.

Princip elektronického měření délek spočívá ve vlastnosti elektromagnetického vlnění šířit se prostorem určitou rychlostí téměř přímočaře. Určíme-li dobu  $t$ , kterou potřebovalo vlnění k proběhnutí dané vzdálenosti  $s$ , platí  $s = v \cdot t$ . Poněvadž  $v \cong 3 \cdot 10^5$  km/s, nelze měřit  $t$  na opačném konci  $s$ , vrací se proto na tomto bodě vlnění zpět a určujeme  $2s = v \cdot t'$ , kde  $t'$  nazýváme tranzitním časem. Na určení tranzitního času je založen impulzový (pulzní) dálkoměr, který může být jak radiový tak světelný. Vyslaný i odražený impuls je naveden na indikátor tranzitního času. Rozlišujeme impulzové dálkoměry s pasivním nebo aktivním odrazným systémem. Druhý uvedený rozšiřuje dosah dálkoměru. K měření tranzitního času se používá elektronické měření času prostřednictvím časové základny obrazovky osciloskopu.

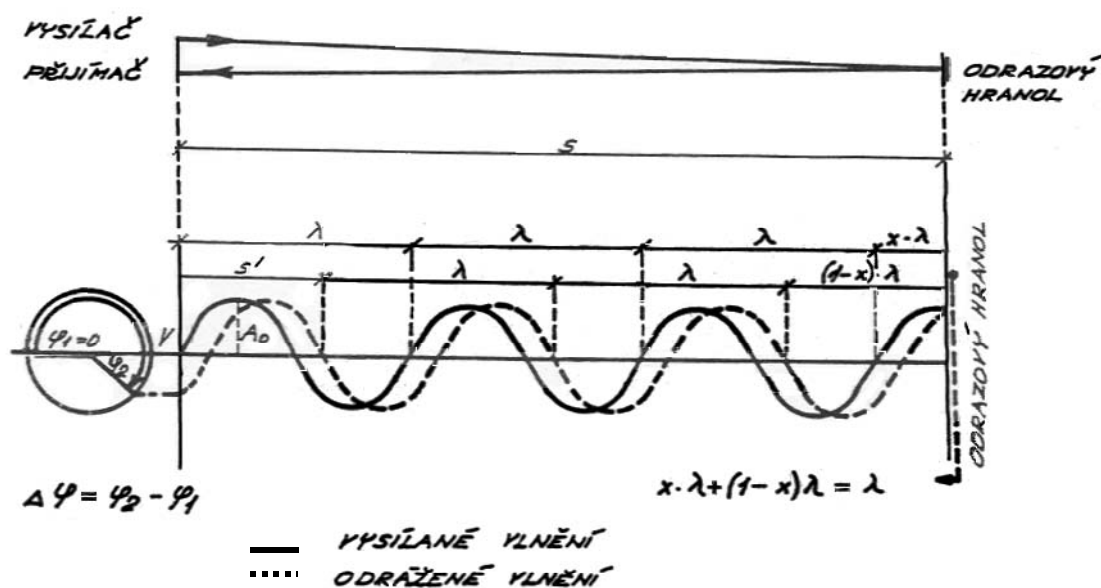
V posledních letech byly vyvinuty pulzní světelné geodetické dálkoměry, které na kratší vzdálenosti měří i bez odrazného hranolu. Dosah těchto dálkoměrů několikanásobně zvýšíme použitím odrazného hranolu.

Radiový impulzový dálkoměr se začal využívat už v době 2. světové války, systém RADAR (Radio Detection and Ranging), ke zjišťování povahy a polohy pozemních, námořních a vzdušných cílů na podkladě zpětného odrazu ultrakrátkých radiových vln zaměřených na zjišťovaný cíl.

Elektronicky můžeme měřit délky také pomocí kmitočových dálkoměrů. Zde vysílač vysílá přes anténu vhodně frekvenčně modulovanou nosnou vlnu (pilovitě, trojúhelníkovitě), kterou po odrazu zachytí přijímací stanice spolu s vysílaným signálem. Ve směšovací obvodě přijímače vzniknou záznamy, jejichž frekvence je funkcí vzdálenosti. Kmitočtové dálkoměry se využívají pro měření kratších vzdáleností hlavně u leteckých výškoměrů.

Z elektronického měření délek se pro geodetické účely nejčastěji používá dálkoměrů fázových. Podle toho jakých vln používají, rozlišujeme je na světelné a radiové. Konstrukteři vytvořili dva typy těchto dálkoměrů. S konstantní modulační frekvencí a s plynulou změnou modulační frekvence. Vývoj upřednostnil typ fázového dálkoměru s konstantní modulační frekvencí, proto dále bude věnována pozornost tomuto typu.

Fázový dálkoměr s konstantní modulační frekvencí využívá spojitého elektromagnetického vlnění a měřená vzdálenost se určuje z fázového rozdílu vyslaných a přijatých vln. Princip



určení vzdáleností je patrný z obr. 2.7

Obr. 2.7

Vyjděme ze základní rovnice pro jednoduchý kmitavý pohyb, která vyjadřuje průběh vlnění určitým bodem a vyplývá z Maxwellových rovnic:

$$A = A_0 \cdot \sin(\omega t + \Delta\varphi)$$

kde  $A$  = výchylka v čase  $t$

$A_0$  = amplituda výchylky

$\omega = 2\pi f$  = úhlová frekvence  $t$  = čas měření

$\Delta\varphi$  = fázový posun  $f$  = frekvence

Pro výchylku vysílaného vlnění v počátku  $V$  bude:

$$A = A_0 \cdot \sin(\omega t + 0)$$

Pro výchylku přijímaného vlnění platí:

$$A' = A_0 \cdot \sin \omega(t + t') \quad \text{kde } t' = \text{tranzitní čas}$$

když použijeme vztah  $t' = \frac{2s}{v}$

kde  $s$  = určovaná vzdálenost

$v$  = fázová rychlost

bude:

$$A' = A_0 \cdot \sin \omega \left( t + \frac{2s}{v} \right)$$

$$A' = A_0 \cdot \sin \left( \omega t + \omega \frac{2s}{v} \right)$$

$$A' = A_0 \cdot \sin \left( \omega t + 2\pi f \frac{2s}{v} \right)$$

dosadíme  $f = \frac{v}{\lambda}$

kde  $\lambda$  = délka vlny

$$A' = A_0 \cdot \sin \left( \omega t + \frac{2\pi \cdot 2s}{\lambda} \right)$$

Fázový posun přijímaného vlnění vůči vysílanému se rovná

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot 2s}{\lambda}$$

Fázový posun má periodický charakter s periodou  $2\pi$  a lze jej rozdělit

$$\Delta\varphi = n \cdot 2\pi + \Delta\varphi' \quad \text{pro } n = 0, 1, 2, 3 \dots\dots$$

Fázový posun ve velikosti  $n \cdot 2\pi$  odpovídá cestě signálu od vysílače k odraznému hranolu a zpět na vzdálenost  $n \cdot \lambda$ .

Fázový posun  $\Delta\varphi'$  odpovídá zbytku dráhy signálu  $s'$ , který je menší než  $\lambda$ . Bude tedy

$$s' = \frac{\Delta\varphi'}{2\pi} \lambda, \quad \text{kde } \frac{\Delta\varphi'}{2\pi} = k$$

$$s' = k \cdot \lambda \quad 0 < \Delta\varphi' < 2\pi \quad \text{a tedy také} \quad 0 < \frac{\Delta\varphi'}{2\pi} < 1$$

Měřená vzdálenost je tedy

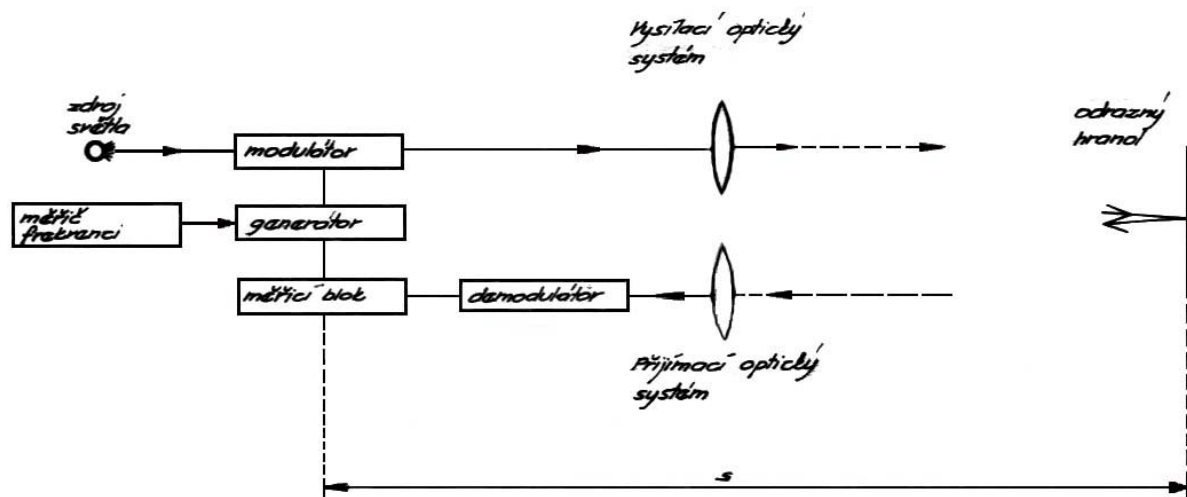
$$2s = n \cdot \lambda + s'$$

$$2s = n \cdot \lambda + k \cdot \lambda$$

$$\text{a z toho } s = n \cdot \frac{\lambda}{2} + k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Z této rovnice vyplývá, že pro určení vzdálenosti  $s$  je nutno určit  $n$  úseků  $\frac{\lambda}{2}$  obsažených ve dráze  $2s$  a zbytkovou vzdálenost  $s'$  měřením fázového posunu  $\Delta\varphi'$  vysílané a přijímané vlny. K určení počtu celých půlvln nebo jiných zlomků  $\lambda$  je nutno provést měření několikrát s využitím různých frekvencí. U moderních dálkoměrů tento proces probíhá automaticky a výsledkem je přímo naměřená vzdálenost, která se objeví na displeji z tekutých krystalů.

## BLOKOVÉ SCHÉMA SVĚTELNÉHO DÁLKOMĚRU



Obr. 2.8

Ze světelného zdroje postupuje světlo do modulátoru, kde je amplitudově modulováno vysokofrekvenční vlnou vytvořenou vysokofrekvenčním modulátorem. Amplitudově modulované světlo je vysláno optickým vysílacím systémem podél měřené vzdálenosti a je odraženo odrazným systémem zpět do přijímacího optického systému dálkoměru. Jím je světlo soustředěno do demodulátoru, v němž je přeměněno na elektrický proud. Elektrický signál postupuje dále do měřicího bloku, kde se porovná se srovnávacím signálem přiváděným z vysokofrekvenčního generátoru. Výsledkem porovnání signálů je určení fázového rozdílu, odpovídajícího zbytkové vzdálenosti  $s'$ . K určení celé vzdálenosti je třeba znát ještě počet celých vln.

### Součásti světelného dálkoměru

#### Zdroje elektrické energie

- v současné době jsou, namísto olověných nebo alkalických akumulátorů, používány akumulátory plynotěsné, které je možno umístit přímo do přístrojů. Součástí napájecího bloku je polovodičový měnič stejnosměrného proudu z akumulátoru na proud střídavý.

- Světelné zdroje - žárovky - projekční, wolframové, naplněné inertním plynem – používané ve starších typech dálkoměrů
- výbojky - rtuťové nebo xenonové
- laser - tento novodobý světelný zdroj umožnil zvýšit dosah světelných dálkoměrů až na 60 km. Používá se He-Ne laser (helium-neonový laser), zářící kontinuálně v pásmu červeného světla. Světlo je monochromatické, koherentní, lineárně polarizované, velmi soustředěné a má vysoký jas. Pozor, při aplikaci laseru je třeba zachovávat opatrnost, nedívat se do vysílací optiky, nepozorovat odrazný systém pomocným dalekohledem bez použití ochranného barevného filtru a řídit se příslušnými bezpečnostními předpisy.
- luminiscenční diody - na bázích Ga-As (galium-arsen) jsou výborným světelným zdrojem pro malé dálkoměry. Poskytují neviditelné záření v infračerveném pásmu. Jejich výhodou je, že poskytují přímo amplitudově modulované světlo (bez použití světelných modulátorů).
- Světelné modulátory - amplitudově modulují světlo na světlo s téměř sinusovým průběhem. Používá se modulátor na bázi krystalů dihydrofosforečnanu amonného či draselného. Využívá se fyzikálních jevů: polarizace, umělého dvojlomu a interference.
- Vysokofrekvenční generátory - zdrojem modulačních kmitů v elektronických dálkoměrech jsou krystaly řízené vysokofrekvenčními generátory, mající velkou stabilitu kmitů.
- Vysílací a přijímací systémy - mají svou konstrukcí zajistit předání co největšího množství světelné energie vysílané či přijaté. Jsou užívány systémy čočkové nebo čočkozrcadlové. Vysílací a přijímací systémy mohou být uspořádány buď paralelně nebo nyní častěji souose.
- Odravné systémy - nyní se používají skleněné koutové hranoly vzniklé řezem krychle. Odravnými stěnami jsou části bývalých stěn krychle. Tyto koutové hranoly nám zajistí odraz světelného paprsku do dálkoměru i v případě, že odrazný systém není nastavený přesně kolmo k vysílanému paprsku. Pro dlouhé vzdálenosti lze koutové hranoly sdružovat do sestav (po 3, 7 nebo 21 hranolech). Pro krátké vzdálenosti lze použít malé hranolové odrazné systémy vylisované z umělé hmoty (podobné odrazkám vozidel). Hranoly jsou upevněny buď na teleskopické tyči nebo na stativu.
- Demodulátory - používají se buď fotonásobiče nebo fotodiody. Fotonásobič je zařízení, které mění světelný tok na elektrický proud a ten mnohokrát zesilují.
- Fotodiody - nejčastěji na bázi Ge nebo Si (germánie nebo křemíku) jsou podobné polovodičové diodě, po dopadu světla na průsvitnou vrstvu polovodiče vzniká fotoproud, který je třeba zesílit v zesilovačích.

Pozn. Hodnoty vzdáleností získané při měření je třeba opravit o fyzikální redukci. Na každou naměřenou délku totiž působí parametry ovzduší, zatěžující rychlost elektromagnetických vln systematickými chybami. Proto při přesném určování vzdáleností je třeba měřit atmosférickou teplotu a tlak, a zjištěné hodnoty před

vlastním měřením vložit do dálkoměru, který naměřenou vzdálenost automaticky opraví o příslušnou fyzikální redukci.

Matematická redukce je oprava z nadmořské výšky, ve které byla vzdálenost měřena na nulovou hladinovou plochu a oprava ze zobrazení. Zpravidla se provádí až při dalším zpracování naměřených vzdáleností, stejně jako oprava z komparace. Tu zjistíme z korekčního grafu, který získáme kontrolním měřením dálkoměrem na komparační základně.

Vzdálenosti získané měřením jsou zpravidla šikmé, je proto třeba redukovat je na vodorovné.

Podle dosahu dělíme světelné dálkoměry na

- malé do 5 km
- střední do 15 km
- velké nad 15 km

Přesnost světelných dálkoměrů je ve srovnání se všemi dříve používanými přístroji vysoká. Zpravidla se udává střední chybou vzdálenosti  $5-10 \text{ mm} + s \cdot 10^{-6}$ , což představuje na vzdálenost  $s = 50 \text{ km}$  5-6 cm. Výjimečným přístrojem je výrobek firmy Kern ME 3000, u kterého se udává přesnost  $0,2 \text{ mm} + 2s \cdot 10^{-6}$  ( $s$  dosahem do 3 km).

### 3 MĚŘENÍ ÚHLŮ

Úhel je pro geodezii jednou ze základních veličin a měření úhlů představuje základ pro jakékoliv měřické práce.

V geodezii se zásadně měří dva typy úhlů: vodorovné (horizontální) a svislé (vertikální).

**Vodorovný úhel  $\omega$**  - se měří v úrovni horizontu přístroje (teodolitu, totální stanice). Horizont představuje vodorovná rovina  $\pi$ , kolmá k tížnici a procházející točnou osou dalekohledu teodolitu. Vodorovný úhel je pak úhel, sevřený svislými rovinami  $\rho_1$  a  $\rho_2$ , které jsou proloženy záměrnými paprsky.

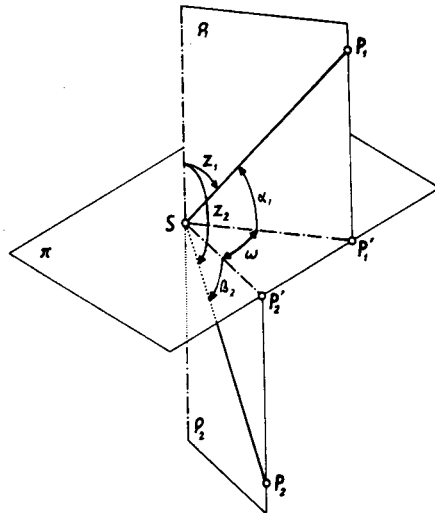
**Svislým úhlem** - může být úhel výškový  $\alpha$ , úhel hloubkový  $\beta$  a nebo úhel zenitový  $z$ . (viz obr. 3.1)

**výškový úhel  $\alpha$**  - měříme od vodorovné roviny  $\pi$  ve svislé rovině  $\rho_1$  k záměrnému paprsku ležícímu nad vodorovnou rovinou  $\pi$ .

**hloubkový úhel  $\beta$**  - měříme od vodorovné roviny  $\pi$  ve svislé rovině  $\rho_2$  k záměrnému paprsku ležícímu pod vodorovnou rovinou  $\pi$ .

**zenitový úhel  $z$**  - měříme od tížnice směřující k zenitu (nadhlavníku) ve svislé rovině k záměrnému paprsku. (Starší výraz zní: zenitová vzdálenost)

U starších typů teodolitů je možno se setkat se stupnicí pro měření výškových a hloubkových úhlů. V současné době se konstruují přístroje pro měření zenitových úhlů. Na nejmodernějších elektronických přístrojích je možno zvolit systém odečítání svislých úhlů.



Obr. 3.1

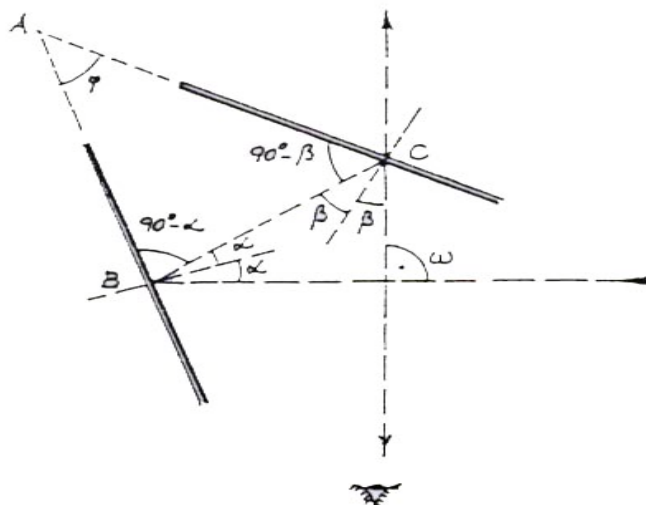
### 3.1 Úhloměrné pomůcky

ÚHLOVÉ ZRCÁTKO - tuto jednoduchou pomůcku lze použít pro vytyčení pravého úhlu  $90^\circ$ . Skládá se ze dvou rovinných zrcátek, svírajících mezi sebou úhel  $45^\circ$ . Jsou upevněna ve vhodné kovové objímce, k níž je připevněno držátko s háčkem k zavěšení olovnice. Průchod světelných paprsků úhlovým zrcátkem je patrný z obr. 3.2.

V trojúhelníku ABC platí:

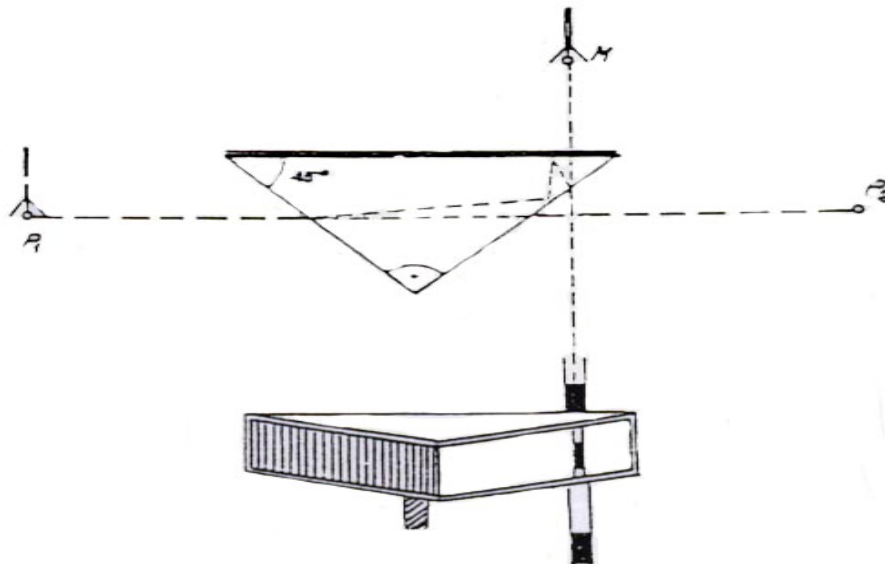
$$\begin{aligned} \varphi + 90^\circ - \alpha + 90^\circ - \beta &= 180^\circ \\ \varphi &= \alpha + \beta \\ \omega &= 2\alpha + 2\beta = 2 \cdot (\alpha + \beta) \\ \omega &= 2\varphi \end{aligned}$$

Úhel  $\omega$ , o nějž se odchýlí paprsek v zrcátku, nezávisí tedy na úhlu dopadu  $\alpha$ . Bude-li  $\varphi = 45^\circ$ , potom  $\omega = 90^\circ$ .



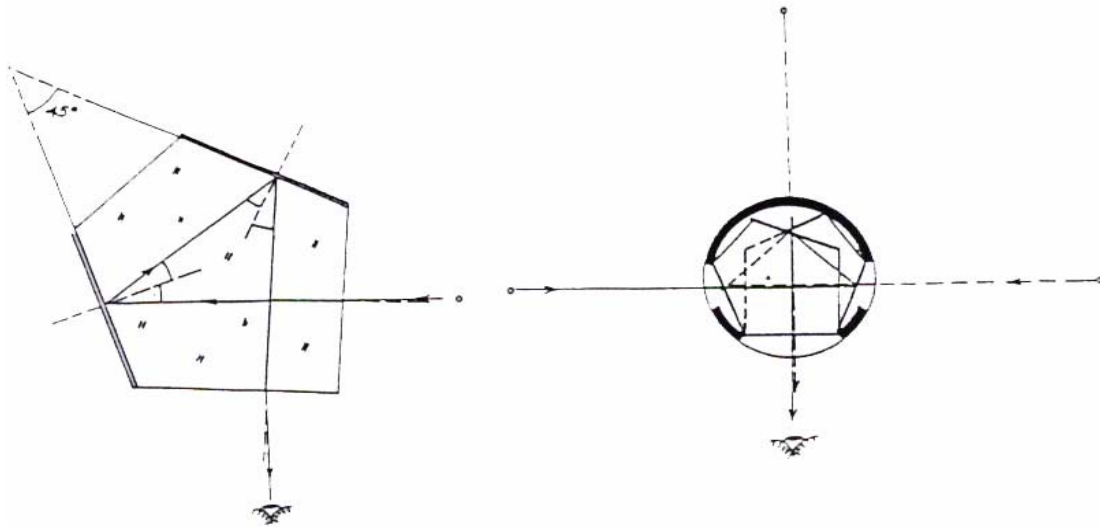
Obr. 3.2

ÚHLOVÝ HRANŮLEK - další jednoduchá pomůcka pro vytyčování pravého úhlu  $90^\circ$ . Na obr.3.3 je řez trojbokým hranůlkem, ve kterém při pozorování vidíme dva obrazy výtyčky, jeden pevný a druhý pohyblivý. K vytyčení paty kolmice (pravého úhlu) musíme použít nepohyblivého obrazu, který nemění svou polohu, je méně jasný a promítá se stále stejným směrem. Při měření má být přepona hranolku přibližně rovnoběžná se směrem, ke kterému vytyčujeme pravý úhel.



Obr. 3.3

PENTAGON - je nejdokonalejší jednoduchou pomůckou pro vytyčování stálých úhlů, protože má velké zorné pole a dává jasný obraz. Nejčastěji se používá dvojitý pentagon, sestávající ze dvou nad sebou položených pentagonálních hranolů, se kterým lze zároveň vytyčit úhel  $180^\circ$  a pravý úhel  $90^\circ$  (viz obr. 3.4). K promítání vytyčeného bodu (paty kolmice, event. mezilehlého bodu přímky) na terén se používá olovnice. Maximální délka kolmic určených těmito pomůckami by neměla přesáhnout 40 m. Všechny uvedené pomůcky lze použít pouze v rovinném nebo mírně svažitém přehledném terénu. Standardní přesnost určení úhlu závisí na přesnosti a sestavení hranolů. Za dobrých podmínek se udává  $\pm 2$  cm v poloze vytyčeného bodu.



Obr. 3.4

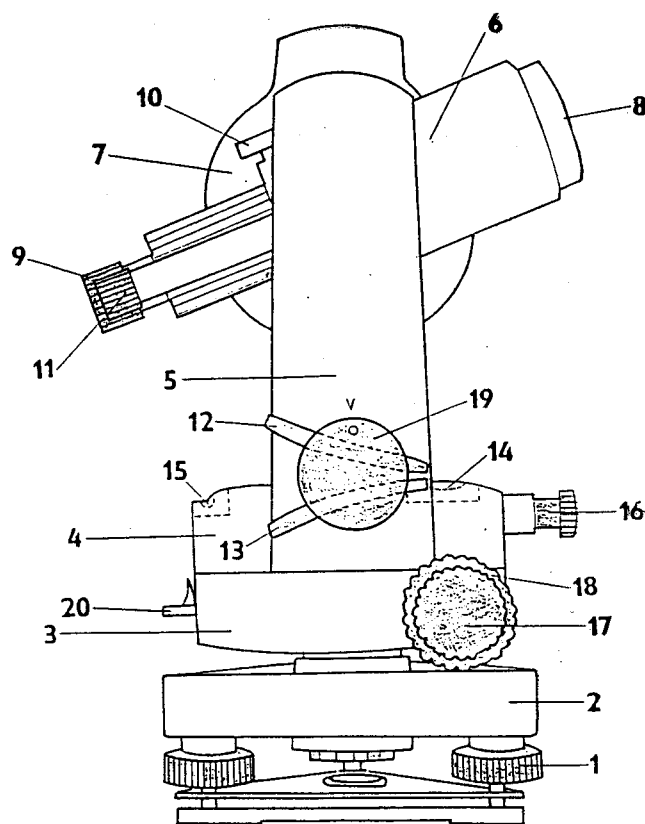
### 3.2 Úhломěrné přístroje

TEODOLITY jsou geodetické přístroje, které slouží k měření a vytyčování vodorovných a svislých úhlů. První teodolit sestrojil v r. 1720 mechanik John Sisson. Mechanické teodolity se stále zdokonalovaly a vyráběly se ve většině průmyslově vyspělých zemích. V první polovině 20. století v Čechách prosluly především teodolity firmy Josef a Jan Frič Praha (později Meopta). V zahraničí mezi nejznámější výrobce patří firmy Carl Zeiss Jena (Německo), Wild, Kern, Leica (Švýcarsko), MOM (Maďarsko), Sokkia, Topcon, Nikon (Japonsko).

Od devadesátých let dvacátého století začíná ve světové produkci převažovat výroba univerzálních elektronických teodolitů (UET), mnohdy ve spojení s elektrooptickými dálkoměry, tzv. TOTÁLNÍ STANICE.

Princip teodolitu bude objasněn na teodolitu mechanické konstrukce.

## SCHÉMA REPETIČNÍHO TEODOLITU Theo 020A



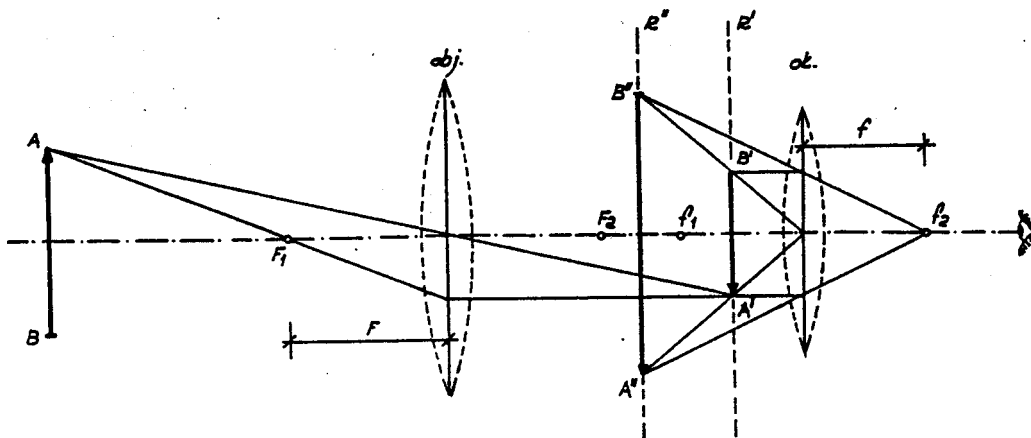
Obr. 3.5

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| 1 stavěcí šroub           | 11 odečítací mikroskop                        |
| 2 trojnožka               | 12 hrubá ustanovka svislého kruhu             |
| 3 vodorovný kruh (limbus) | 13 hrubá ustanovka vodorovného kruhu          |
| 4 alhidáda                | 14 alhidádová libela trubcová                 |
| 5 dalekohledová vidlice   | 15 alhidádová libela krabicová                |
| 6 dalekohled              | 16 optický centrovač (dostředovač)            |
| 7 svislý kruh             | 17 jemná ustanovka vodorovného kruhu          |
| 8 objektiv                | 18 jemná ustanovka svislého kruhu             |
| 9 okulár                  | 19 vypínač obrazu svislého kruhu              |
| 10 hledáček dalekohledu   | 20 repetiční svora (sepne limbus s alhidádou) |

Součástí teodolitu je **trojnožka** se třemi stavěcími šrouby, které slouží k jeho horizontaci. Otvor se šroubením ve spodní části trojnožky umožňuje pevné spojení teodolitu se stativem, na který se teodolit připevňuje pomocí středního šroubu v hlavě stativu. Nad trojnožkou je **vodorovný kruh (limbus)**, vyrobený buď z kovu (starší typy), nebo ze skla, na němž je přesně vyznačena úhlověrná stupnice pro měření vodorovných úhlů. Starší typy mají dělení šedesátinné (plný kruh 360°), novější typy už výhradně setinné (plný kruh 400<sup>s</sup>). Číslování je pravotočivé.

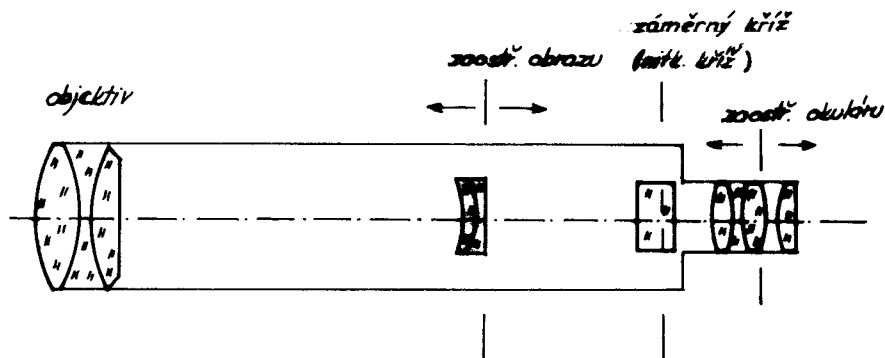
Otočná část teodolitu umístěná souose nad limbem se nazývá **alhidáda**. Na ní je na **dalekohledové vidlici** umístěn **dalekohled**, což je záměrné zařízení teodolitu. U starších typů

teodolitů se používá Keplerův astronomický dalekohled. Skládá se v principu ze dvou spojných čoček a dává zvětšený, převrácený a neskutečný obraz (viz obr. 3.6).



Obr. 3.6

V současné době se však konstruují dalekohledy s vestavěnou rozptylnou čočkou (analaktickou) s vnitřním zaostřováním. Tyto dalekohledy dávají obraz zvětšený, vzprámený a neskutečný. Součástí dalekohledů jsou **objektivy**, které se konstruují ze dvou nebo tří čoček (pro potlačení čočkových vad – sférické, chromatické, astigmatismu a koma) a jejich vnější stěna je opatřena antireflexní vrstvou pro zlepšení světelnosti dalekohledu. Dále jsou součástí dalekohledů **okuláry**, což jsou složité soustavy, řady typů, nejznámější jsou Ramsdenův, Kellnerův a Hensoldtův. Aby bylo možno použít dalekohledu k měřickým účelům, vkládá se do roviny skutečného obrazu  $A'$ ,  $B'$  záměrný (nitkový) kříž. Ve starých dalekohledech to byla pavoučí vlákna (odtud nitkový). V současnosti je leptán nebo ryt na skleněnou destičku.



Obr. 3.7

Výkonnost dalekohledu posuzujeme podle zvětšení, velikosti zorného pole, světelnosti dalekohledu a zřetelnosti obrazu.

Zvětšením rozumíme poměr úhlů, pod kterým se jeví zdánlivý obraz předmětu v dalekohledu a úhlu pod kterým by byl vidět předmět prostým okem (u dalekohledu teodolitu se zvětšení pohybuje okolo 30ti násobku).

Velikost zorného pole je poměrně malá  $1^\circ - 3^\circ$  a klesá s rostoucím zvětšením dalekohledu, proto při cílení používáme hledáček dalekohledu.

Světelnost dalekohledu je poměr světla, které dopadne do oka z obrazu, k množství světla které by dopadlo do oka přímo.

Zřetelnost obrazu závisí na odstranění čočkových vad (viz výše).

Na jedné z vidlic dalekohledu je umístěn svislý kruh, který je pevně spojen s vodorovnou točnou osou dalekohledu. Svislý kruh je opět kovový či skleněný a je na něm vyznačena úhlová stupnice. Na alhidádě jsou dále umístěny libely, (zpravidla dvě) sloužící k horizontaci přístroje.

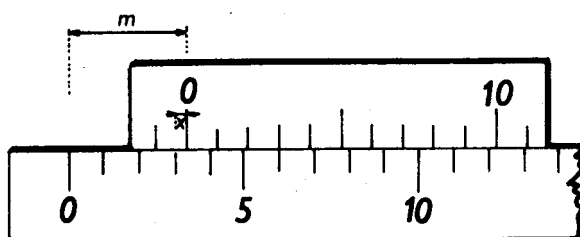
**Krabicová libela** je tvořena nádobkou kruhového tvaru, která je naplněna kapalinou, která má nízký bod tuhnutí, malou přilnavost ke sklu a která se rychle vypařuje (etér, sirouhlík nebo líh). Nádoba je v horní části buď vybroušena do kulové plochy, nebo uzavřena sféricky vybroušeným sklíčkem. Libela je urovnána, když vzduchová bublina splyne se středem libely, resp. se soustřednými kroužky vyrytými na její vrchní části. Slouží pro hrubší urovnání teodolitu.

**Trubicová libela** je trubička z křemičito-draselného skla, která je uvnitř vybroušena tak, aby podélný řez byl kružnicový oblouk. (Opět je naplněna kapalinou, viz krabicová libela.) Vnější vypuklá strana trubky je opatřena čárkovou stupnicí. Slouží pro přesnou horizontaci teodolitu. Je urovnána tehdy, když bublina je uprostřed čárkové stupnice.

Hodnotu libely posuzujeme podle pohyblivosti bubliny a podle její citlivosti. Pohyblivostí se rozumí snadnost a rychlost s jakou bublina reaguje na malé změny sklonu. Závisí na vybroušení a vyhlazení trubice, na jejích rozměrech i délce bubliny a viskozitě náplně. Citlivost libely je úhel, o který musíme vychýlit osu libely, aby se bublina posunula o jeden dílek. Posuzujeme ji podle délky dráhy, o kterou se střed bubliny vychýlí, odkloníme-li libelu z urovnané polohy o určitý úhel. Citlivost je závislá na křivosti libely. Čím je poloměr výbrusové kružnice větší, tím je libela citlivější.

Zkouška správné funkce trubicové libely u teodolitu se provádí tak, že podélnou osu libely umístíme rovnoběžně s libovolnými dvěma stavěcími šrouby a libelu urovnáme. Otočíme alhidádu o  $180^\circ$ . Když je libela funkční, neměla by se bublina z jejího středu vychýlit. Pokud k vychylce dojde, polovinu vychylky odstraníme rektifikačními šrouby pomocí rektifikační jehly. Druhou polovinu stavěcím šroubem, který je na protilehlé straně od vychýlené bubliny. Zkoušku je třeba opakovat. Pozn. rektifikační šrouby jsou umístěny i u krabicové libely. Také tu lze rektifikovat. Její nesprávnou funkci zjistíme tehdy, když po pečlivém urovnání trubicové libely z obou na sebe kolmých směrů není její bublina uprostřed.

Úhlové údaje z vodorovného i svislého kruhu získáváme pomocí odečítacích pomůcek. V moderních teodolitech je obraz částí vodorovného i svislého kruhu a příslušných odečítacích pomůcek převeden důmyslnou optickou soustavou do odečítacího mikroskopu umístěného vedle okuláru. Nejjednodušší odečítací pomůckou je čtecí značka neboli index. U teodolitu se nepoužívá pro její malou přesnost. Nejlépe lze její princip objasnit jako ručičku na číselníku hodin. Další pomůckou je vernier (nonius). Tato pomůcka byla často používána k odměřování zbytků (úhlových i délkových), lze ji nalézt na starých typech teodolitů. Zpravidla se používal vernier stejnosměrný, při němž číslování pomocného měřítka postupuje stejným směrem jako číslování měřítka hlavního (viz. obr. 3.8).



Obr. 3.8

Dílek stejnosměrné vernierové stupnice se vypočte ze vztahu, že  $(n-1)$  dílků měřítka hlavního, každý o velikosti  $a$ , se rozdělí na  $n$  dílků vernierových o velikosti  $a'$ :

$$(n-1).a = n.a'$$

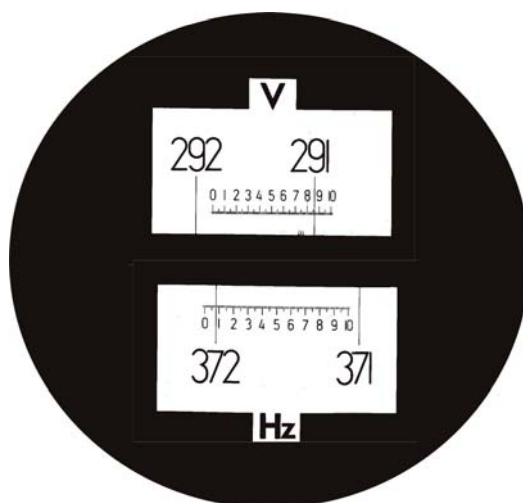
Rozdíl obou dílků  $a - a'$  nazýváme vernierovou diferencí  $\delta$ .

$$\delta = a - a' = \frac{a}{n}$$

Pomocí vernieru dokážeme odečíst přesně desetinu dílku hlavního měřítka (při  $n = 10$ ).

Z obr. 3.8 je patrné jak odečíst čtení na hlavním měřítku. Nejprve určíme počet celých dílků hlavního měřítka před ryskou s nulou vernieru (tři). Dále vyhledáme kolikátá ryska na vernierově stupnici se stotožňuje s ryskou hlavního měřítka (splývá třetí dílek). Výsledek je tedy  $m = 3,3$ .

Mřížka je u technických teodolitů (Zeiss Theo 020A) nejčastěji používanou odečítací pomůckou. Je to skleněná destička, vsazená do roviny obrazu, na které je vyryta pomocná stupnice. Ta se promítá na obraz úhломěrného kruhu a přímo umožňuje načtení nejmenšího dílku. Její délka je stejná jako vzdálenost nejmenšího dílku úhломěrného kruhu. Je rozdělena na 100 dílků (každý desátý je očíslován). Odečtení probíhá následovně: nejprve zjistíme, kterou očíslovanou rysku úhломěrného kruhu mřížka přetíná, u horizontálního kruhu (Hz) na obr. 3.9 je to 372 a tím získáme hodnotu celých gonů (gradů). Hodnotu zlomku gonů odečteme přímo na mřížce, kde ryska úhломěrného kruhu poslouží jako index 0,08<sup>g</sup>. Celé čtení je tedy 372,08<sup>g</sup>. Stejným způsobem odečteme i hodnotu na vertikálním kruhu (V). Na obr. 3.9 je to 291,86<sup>g</sup>. (Obrázek odpovídá 2. poloze dalekohledu.)



Obr. 3.9

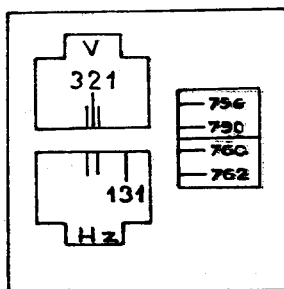
Optický mikrometr je odečítací pomůcka sloužící k odečítání velmi malých lineárních hodnot a používá se především v konstrukci přesných a velmi přesných teodolitů. Je umístěn do mikroskopu pro odečítání úhlových hodnot a jeho hlavní součástí je planparalelní destička, vestavěná (stejně jako mřížka) do roviny obrazu. Otáčíme-li touto destičkou, pomocí koincidenčního šroubu optického mikrometru, pohybují se (zdánlivě) obrazy stupnic a tento pohyb je měřitelný na stupnici bubínku koincidenčního šroubu.

V praxi jsou použity dvě konstrukce mikrometrů, indexový a koincidenční.

Indexový mikrometr používaný u přesných teodolitů (Zeiss Theo 015B) využívá pro odečítání vždy jedno místo vodorovného nebo svislého kruhu. V mikroskopu se nám objeví tři stupnice

(obr. 3.10). Stupnice V (pro zenitové úhly), stupnice Hz (pro vodorovné úhly) a vpravo stupnice pro jemné čtení (obraz na 500 dílků rozděleného bubínku koincidenčního šroubu). Otáčením koincidenčním šroubem, který je umístěn na opačné dalekohledové vidlici než je svislý kruh, se snažíme umístit mezi pevnou dvojrysku uprostřed stupnice V (resp. Hz) zdánlivě se pohybující obraz celého dílku stupnice V (resp. Hz). Po pečlivé koincidenci odečteme hodnotu zlomku gonů na vodorovném indexu uprostřed stupnice jemného čtení. Stupnice jemného čtení slouží jak pro odečítání vodorovných tak svislých úhlů, vždy záleží na tom, kterou stupnici koincidujeme. Tato pomůcka umožní odečítání až na  $0,001^g$  neboli 1 miligon a je tak desetkrát přesnější než mřížka.

### Teodolit 015

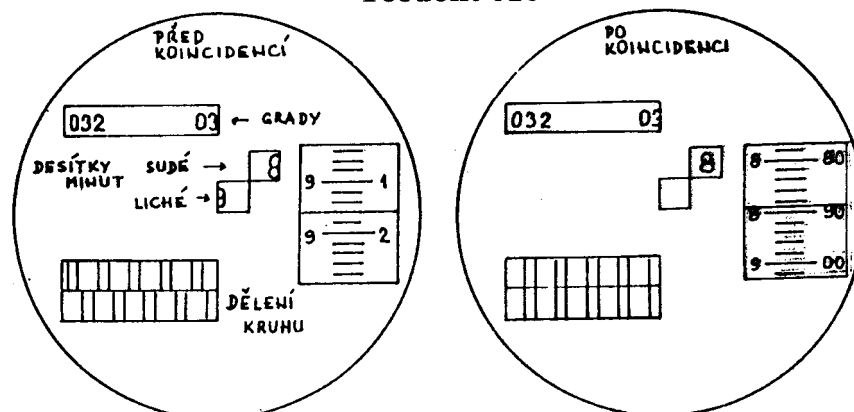


Čtení : 321, 759<sup>g</sup>

Obr. 3.10

Koincidenční mikrometr se používá u velmi přesných teodolitů (Zeiss Theo 010A) a využívá pro odečítání vždy dva protilehlé úseky vodorovného nebo svislého kruhu. V mikroskopu se nám objeví údaje o buď vodorovném nebo svislém kruhu. Je zde celkem pět okének. Vlevo nahoře je okénko, ve kterém se pohybují čísla gradových hodnot. Vlevo dole je obraz dvojrysek ze zmíněných protilehlých částí vodorovného nebo svislého kruhu. Pomocí otáčení koincidenčního šroubu se snažíme umístit dvojrysky přesně proti sobě. Uprostřed mikroskopu je dvojice malých okének, ve kterých se objevují hodnoty desetiny gradu (v horním sudé, v dolním liché). Vpravo je páté okénko se stupnicí jemného čtení, která je opět rozdělená vodorovným indexem uprostřed. Po pečlivé koincidenci čteme nejprve hodnotu celých gradů v horním okénku (viz obr. 3.11). V jednom z prostředních okének přečtu desetiny gradu. Setiny, tisíciny a desetitisíciny gradu odečtu z indexu v pravém okénku jemného čtení.

### Teodolit 010



Čtení : 32, 8  
 $\frac{889}{32, 8889^g}$

Obr. 3.11

Na každém teodolitu se nalézají dva páry **ustanovek**. Jsou to zařízení, kterými lze spojit pohyblivou část přístroje s pevnou a zamezit tak její hrubý pohyb a zároveň umožnit pohyb jemný. Proto rozlišujeme ustanovky hrubé a jemné. Podle toho jaký pohyb omezují je dělíme na ustanovky svislého a vodorovného kruhu. Jemné ustanovky jsou fukční při zatažených hrubých ustanovkách. Ustanovky vyžadují citlivé zacházení. Při pokusech o otáčení přístroje při zatažených hrubých ustanovkách často dochází k jejich poškození a nutnosti nákladné opravy.

Moderní teodolity mají zabudovaný **optický centrovač (dostředovač)** což je v podstatě malý dalekohled s optickou osou zalomenou do pravého úhlu. Optický centrovač nám umožní dostředit teodolit nad stanoviskem přesněji, než při použití olovnice. Funkční je pouze při správně horizontovaném přístroji.

Poslední důležitou součástí teodolitu je buď **repetiční svora** (u technických teodolitů), nebo **pastorek** (u přesných a velmi přesných teodolitů). Tyto pomůcky slouží k nastavení libovolné úhlové hodnoty do zvoleného směru.

Teodolity dělíme podle přesnosti na:

- velmi přesné – možnost odečítání  $2^{\text{cc}}$  a vyšší (Theo 010A)
- přesné – možnost odečítání  $2^{\text{cc}} - 10^{\text{cc}}$  (Theo 015B)
- technické – možnost odečítání  $10^{\text{cc}} - 1^{\text{c}}$  (Theo 020A)

Dále dělíme teodolity podle konstrukce na:

- repetiční
- s limbem na postrk

**Repetiční teodolity** mají buď dva páry ustanovek (alhidádové a limbové), potom lze otáčet jen alhidádou pomocí alhidádových ustanovek, nebo limbem společně s alhidádou pomocí limbových ustanovek, anebo jeden pár ustanovek a **svoru**, která spojuje nebo uvolňuje limbus s alhidádou. Je-li svora **uvolněná**, čtení na vodorovném kruhu se při otáčení **mění**. Je-li svora **sepnutá**, dojde k pevnému spojení limbu s alhidádou, čtení na vodorovném kruhu se při otáčení **nemění**. Repetiční teodolity se používají pro měření úhlů metodou repetiční (násobením) i metodou ve skupinách. Tato konstrukce se uplatňuje u technických teodolitů např. Zeiss Theo 020A.

**Teodolity s limbem na postrk** mají jeden pár alhidádových ustanovek. Limbem je možno otáčet pomocí **pastorku** zcela nezávisle na alhidádě. Pastorek je obvykle chráněn proti nežádoucímu pootočení krytkou nebo pojistkou. Nastavení požadované úhlové hodnoty do příslušného směru provedeme tak, že nejprve pečlivě zacílíme dalekohledem do směru, utáhneme hrubou ustanovku vodorovného kruhu. Mikrometrickým šroubem nejprve nastavíme požadované jemné čtení a potom pastorkem nastavíme požadovanou hrubou úhlovou hodnotu. Tato konstrukce teodolitu se používá pro měření metodou ve skupinách pro přesné a velmi přesné teodolity např. Zeiss Theo 015B, Zeiss Theo 010A.

Na obr. 3.12 je znázorněn schematický průchod paprsků teodolitem Zeiss Theo 010. Zde je patrné, jak prochází světlo přístrojem od osvětlovacího zrcátka hranolovým systémem přes horizontální a vertikální kruh do mikroskopu.



Obr. 3.12

Pozn.: Jako úhloměrný přístroj lze pro jednoduché a málo přesné práce v rovinném nebo mírně svažitém terénu použít i novější typy nivelačních přístrojů, u kterých je vodorovný kruh zpravidla zabudován jako nadstandardní výbava.

### 3.3 Příprava přístroje před měřením

Pracovní postupy měření úhlů předpokládají před zahájením měření, že teodolit je na stanovisku postaven na stativ, zcentrován a zhorizontován. Tento postup platí jak pro teodolity mechanické tak elektronické, elektronické dálkoměry i totální stanice.

Před zahájením práce zkontrolujeme stativ zda má všechny šrouby a zda jsou utažené. Při měření používáme takřka výhradně stativy s výsuvnými nohami, ty vysuneme tak, aby byly několik centimetrů od dorazu (podle výšky měřiče) a stativ, zatím bez teodolitu postavíme nad stanovisko, kterým může být nastřelovací hřeb v živici, železná trubka, žulový mezník s křížkem apod. Nachází-li se stabilizovaný bod ve svahu, umístíme jednu nohu stativu proti svahu a zbývající dvě po svahu dolů. Naší snahou je postavit stativ tak, aby jeho hlava byla přibližně vodorovná a přibližně nad stanoviskem.

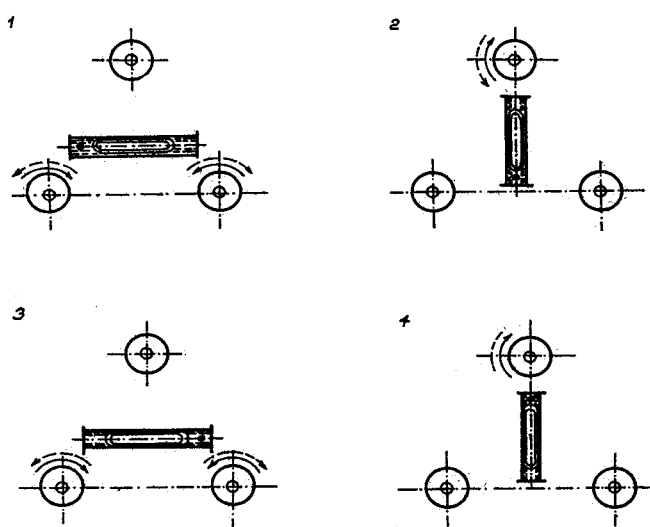
Jednu nohu stativu zašlápneme do terénu a na stativ připevníme pomocí středního šroubu v hlavě stativu teodolit. Stavěcí šrouby teodolitu by měly být vyšroubovány všechny stejně do střední polohy. Otáčením okuláru optického centrovače zaostříme jeho záměrný kříž (příp. soustředné kroužky) a jeho vysouváním zaostříme obraz terénu pod stativem. Pokud záměrná přímka optického centrovače směřuje do těsné blízkosti stabilizovaného bodu, zašlápneme i zbývající dvě nohy stativu. V opačném případě uchopíme tyto nohy do rukou a posouváme jimi tak, aby záměrná přímka směřovala do těsné blízkosti bodu. Po zašlápnutí noh se zacílení poněkud poruší. To odstraníme tím, že při stálém sledování bodu v optickém centrovači otáčíme stavěcími šrouby teodolitu až je střed centrovače nad bodem. Záměrná přímka centrovače ale není svislá, protože přístroj není horizontován.

Do svislice záměrnou přímku centrovače uvedeme zhruba urovnáním krabicové libely teodolitu a to vysouváním či zasouváním (nikoli posunem) noh stativu (nesmíme použít

stavěcích šroubů trojnožky!). Vysouváme či zasouváme vždy tu nohu stativu, která je nejvíce ve směru výchylky krabicové libely. Vysouvání či zasouvání noh provádíme oběma rukama velmi citlivě při neustálém sledování krabicové libely.

Přesnou horizontaci teodolitu provedeme pomocí trubcové alhidádové libely a stavěcích šroubů trojnožky následovně (viz. obr. 3.13): nejdříve otočíme alhidádou tak, aby spojnice dvou libovolných stavěcích šroubů byla rovnoběžná s podélnou osou trubcové libely. Protisměrným otáčením těchto šroubů libelu urovnáme (1), přičemž platí pravidlo „palce levé ruky“, které říká, že směr pohybu palce levé ruky ukazuje pohyb bubliny v libele. Nyní otočíme alhidádou do polohy kolmé k výchozí spojnici a urovnání trubcové libely provedeme pouze otáčením třetího šroubu (2).

Dále otočíme alhidádou tak, aby trubcová libela byla v poloze obrácené proti (1) o  $200^{\circ}$ . Nyní provedeme urovnání opět dvěma stavěcími šrouby, přičemž výchylka má být malá (3). Poslední poloha bude opět o  $200^{\circ}$  opačně proti poloze (2) a urovnáme libelu třetím stavěcím šroubem (4).



Obr. 3.13

Po této přesné horizontaci opět zkontrolujeme centraci optickým centrovačem. Pravděpodobně se v důsledku přesné horizontace trochu změní. Přesné dostředění provedeme tak, že povolíme střední šroub stativu a opatrně po hlavě stativu posuneme teodolit při neustálém sledování obrazce v centrovači do středu. Toto lze provést, neboť hlava stativu má vůli a je větší než trojnožka teodolitu.

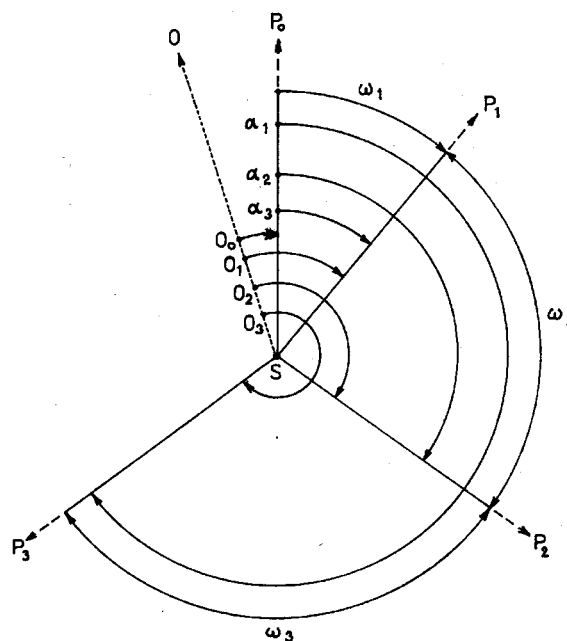
Nyní opět musíme zkontrolovat horizontaci a případně ji opravit (viz přesná horizontace teodolitu).

Při pečlivém dostředění optickým centrovačem můžeme dosáhnout přesnosti 0,7 mm. Je třeba ovšem zkontrolovat, zda je optický centrovač funkční. Kontrolu provedeme po přesné horizontaci přístroje tak, že otáčíme alhidádou a stále sledujeme pohyb záměrného kříže (soustředných kroužků) centrovače. Pokud je střed centrovače neustále na stabilizovaném bodě, je centrovač v pořádku. Pokud střed centrovače opisuje kružnici okolo stabilizovaného bodu, je třeba jej dát do opravy. V tomto případě použijeme olovnici, která je v příslušenství teodolitu. Přesnost dostředění pomocí olovnice je ale menší,  $2 \div 3$  mm (za nepříznivých povětrnostních podmínek i horší).

### 3.4 Metody měření vodorovných úhlů

Pro snazší pochopení dalšího výkladu definujeme základní pojmy při měření a výpočtech vodorovných úhlů (viz obr. 3.14).

- vrcholový úhel  $\omega$  je vodorovný úhel, který svírají dva paprsky, směřující ze stanoviska na cílové body
- směrové úhly  $\alpha$  jsou vodorovné směry měřené od základního směru  $P_0$  k paprskům na měřené body
- základní nebo nulový směr  $P_0$  je takový směr, na který je orientována celá osnova vodorovných směrů, měřených na stanovisku S. Je na něj nastavována úhlová hodnota blízká se  $0^{\text{s}}$  (cca  $0,02^{\text{s}}$  –  $0,04^{\text{s}}$ )
- osnova vodorovných směrů je soubor všech vodorovných směrů na jednom stanovisku, který je obvykle měřen současně



Obr. 3.14

- I. poloha dalekohledu je takové nastavení dalekohledu, kdy svislý kruh je nalevo od okuláru dalekohledu
- II. poloha dalekohledu je takové postavení dalekohledu, kdy svislý kruh je napravo od okuláru dalekohledu
- řada je osnova směrů měřená v I. nebo II. poloze dalekohledu
- skupina je sestava řad směrů v I. a II. poloze dalekohledu
- průměr prostý je aritmetický průměr ze čtení zlomků gradů z I. a II. polohy dalekohledu z měření na jeden směr
- redukce (redukováný průměr) je hodnota směru v prostém průměru, od které je odečtena hodnota prostého průměru prvního směru  $P_0$
- vystředění zápisníku je výpočet požadovaných vodorovných směrů (od zvoleného počátku) z naměřených hodnot
- adjustace zápisníku je zvýraznění některých hodnot v zápisníku tenkou černou fixou nebo tuší

Nejjednodušší způsob měření vodorovného úhlu spočívá v tom, že zaměřujeme jednotlivá ramena úhlu v první poloze dalekohledu a v mikroskopu pomocí příslušné odečítací pomůcky odečteme úhlové hodnoty vodorovných směrů. Tyto dvě hodnoty od sebe odečteme a rozdíl je vodorovný úhel. Tento způsob ovšem neeliminuje ani konstrukční chyby teodolitu ani měřické chyby. Proto se používá technologický postup měření vodorovných směrů ve skupinách nebo měření vodorovných směrů repeticí (násobením). Pro velmi přesné práce bylo vyvinuto měření vodorovných směrů v laboratorních jednotkách.

### 3.4.1 Postup při měření vodorovných směrů ve skupinách

Tato metoda je v praxi nejčastěji používaná.

- a) zcentrujeme a zhorizontujeme teodolit nad stanoviskem, zaostříme záměrný kříž a mikroskop pro odečítání úhlových hodnot.
- b) zvolíme základní směr (počátek). Vybereme směr jednoznačný, ostře viditelný, zpravidla na severu, na který nastavíme čtení blízké nule. U repetičních teodolitů se svorou, (Zeiss Theo 020A), pohybujeme alhidádou a stále sledujeme pohybující se odečítací pomůcku (mřížku) v mikroskopu. Když se čtení blíží  $0^{\circ}$  zatáhneme hrubou ustanovku vodorovného kruhu, jemnou ustanovkou vodorovného kruhu nastavíme požadované čtení sepneme repetiční svoru a přesně nacílíme na zvolený základní (nulový) směr. Při zatažené hrubé ustanovce vodorovného a svislého kruhu rozepneme svoru. U teodolitů s limbem na postrk (Zeiss Theo 015B) použijeme k nastavení čtení blízkého nule pastorek. Nejprve přesně zacílíme na zvolený základní (nulový) směr. Pomocí koincidenčního šroubu optického mikrometru nastavíme v mikroskopu jemné čtení cca  $0,02^{\circ}$ . Pomocí pastorku, který odaretujeme současným stlačováním a otáčením, docílím čtení cca  $0,02^{\circ}$ . Pastorek opět zaaretujeme. Povolíme hrubou ustanovku vodorovného kruhu, protočime přístroj a opět zacílíme na základní směr. Pečlivě zkoincidujeme pomocí koincidenčního šroubu optického mikrometru a čtení na vodorovném kruhu zapíšeme.
- c) Pokračujeme v měření na další zvolené směry. Svory nebo pastorku se nedotýkáme. Směry si předepíšeme do „Zápisníku vodorovných směrů“ (viz příloha 3.1) do sloupce (3). Postupujeme ve smyslu pohybu hodinových ručiček a v případě, že směrů (včetně základního) je více jak dva, zapíšeme základní směr (počátek) ještě jednou na konec osnovy.
- d) proložíme dalekohled do II. polohy, zacílíme opět na základní směr a pokračujeme v měření proti smyslu pohybu hodinových ručiček. Do zápisníku zapisujeme úhlové hodnoty odspoda nahoru. Zapisovatel by si měl všimnout, zda se úhlové hodnoty na tentýž směr z I. a II. polohy dalekohledu liší o zhruba  $200^{\circ}$  (rozdíl by u technických teodolitů neměl přesahovat  $0,03^{\circ}$ , u teodolitů přesných  $0,01^{\circ}$ ). Tímto jsme ukončili měření v I. skupině.
- e) zapisovatel ihned po ukončení měření přímo v terénu provede vystředění zápisníku (sloupec (6)). Do výpočtu sloupce (6) zahrneme pouze zlomky gradů. U každého směru nejprve spočteme aritmetický průměr mezi první a druhou polohou. Tím získáme hodnoty  $o_0 - o_n$  (viz. obr. 3.14). Tím, že provedeme redukci, od všech hodnot  $o_0 - o_n$  odečteme hodnotu  $o_0$  získáme přímo hodnoty směrů  $\alpha_n$ . Výsledné vodorovné směry zapisujeme do sloupce (9).

Měřením v jedné skupině jsou naměřené směry zbavené většiny přístrojových vad, jsou zjištěny hrubé chyby při měření i částečně eliminován vliv chyb nevyhnutelných. Pokud je

třeba dále zpřesnit naměřené směry zvolíme měření ve více skupinách. Přesnost naměřených směrů roste ale pouze s odmocninou z počtu skupin. Při druhé a každé další skupině se postupuje naprosto stejně jako u skupiny první, pouze se od sebe liší nastavením počáteční hodnoty na základní směr, aby se odstranila další přístrojová vada z nestejněměrně děleného vodorovného kruhu a bubínku koincidenčního šroubu optického mikrometru. Měření ve více skupinách dále předpokládá použití přesného nebo velmi přesného teodolitu. Následná tabulka určuje úhlové hodnoty na základním směru pro přesné a velmi přesné teodolity pro různý počet skupin.

		přesný teodolit (Theo 015B)	velmi přesný teodolit (Theo 010A)
2 skupiny	1. skupina	0,020 <sup>g</sup>	0,0100 <sup>g</sup>
	2. skupina	100,520 <sup>g</sup>	100,5600 <sup>g</sup>
3 skupiny	1. skupina	0,020 <sup>g</sup>	0,0100 <sup>g</sup>
	2. skupina	66,350 <sup>g</sup>	66,3430 <sup>g</sup>
	3. skupina	133,680 <sup>g</sup>	133,6760 <sup>g</sup>
4 skupiny	1. skupina	0,020 <sup>g</sup>	0,0100 <sup>g</sup>
	2. skupina	50,270 <sup>g</sup>	50,2350 <sup>g</sup>
	3. skupina	100,520 <sup>g</sup>	100,5600 <sup>g</sup>
	4. skupina	150,770 <sup>g</sup>	150,7850 <sup>g</sup>

Při vystředění „Zápisníku vodorovných směrů“ postupujeme ve sloupci (8) naprosto stejně jako u sloupce (6). Při měření ve dvou skupinách, pro které je tento zápisník uzpůsoben se výsledné směry zapisují do sloupce (9). Hodnoty celých gonů v tomto sloupci získáme z I. polohy 1. skupiny (sloupec (5)). Zlomky gonů vypočteme jako aritmetický průměr z redukci (6) a (8) sloupce.

### 3.5 Metody měření svislých úhlů

Všechny novější teodolity mají plný svislý (vertikální) kruh uzpůsobený pro měření zenitových úhlů. Je třeba si uvědomit, že na rozdíl od měření vodorovných úhlů, při kterém limbus zůstává nehybný a otáčí se alhidáda s odečítacími pomůckami, se při měření svislých úhlů při sklápění dalekohledu otáčí svislý kruh současně s vodorovnou točnou osou dalekohledu. S ní je totiž pevně spojen, zatímco odečítací pomůcky, spojené s indexovou libelou nebo kompenzátozem, zůstávají pevné.

Způsob odečítání svislých úhlů je zdánlivě stejný jako u úhlů vodorovných. Čtení probíhá ve stejném mikroskopu, stejným typem odečítacích pomůcek. Pro správné určení svislého úhlu je však třeba přesvědčit se, zda je kompenzátor funkční (u novějších teodolitů), nebo zda je urovnána indexová libela, případně ji dorovnat před každým odečítáním na svislém kruhu.

Kompenzátor nám automaticky urovnává příslušnou odečítací pomůcku svislého kruhu do vodorovné polohy. Jednoduše lze jeho funkčnost ověřit lehkým poklepem (jedním prstem) na svislý kruh teodolitu. Funkční je tehdy, když se při tom odečítací pomůcka svislého kruhu v mikroskopu teodolitu lehce chvěje. Vzhledem k tomu, že u současných teodolitů jsou svislými úhly úhly zenitové, bude dále popisováno jejich měření.

Nejjednodušeji lze měřit zenitový úhel tak, že v první poloze dalekohledu zacílíme na určený bod. Použijeme střední vodorovnou rysku záměrného kříže (zpravidla jednoduchou vodorovnou rysku), a jelikož není podmínkou přesné směrové nacílení, provedeme cílení mimo střed záměrného kříže. Přesné cílení provádíme pomocí jemné vertikální ustanovky. V okamžiku zacílení urovnáme indexovou libelu a čteme hodnotu zenitového úhlu.

(U teodolitů s kompenzátorem urovnání indexové libely odpadá). Takto získaný zenitový úhel je ovšem zatížen všemi přístrojovými i měřickými chybami. Proto je třeba zjistit alespoň hodnotu tzv. indexové chyby. Je to přístrojová chyba vzniklá nedokonalou funkcí indexové libely nebo kompenzátoru. Zjistíme jí tak, že se zvolí výškově přesně identický bod a změří se zenitový úhel v obou polohách dalekohledu. V případě, že přístroj nemá indexovou chybu platí vztah  $z_I + z_{II} = 400^s$ . Indexová chyba se vypočte ze vzorce

$$i = \frac{400^s - (z_I + z_{II})}{2}$$

O indexovou chybu potom musíme opravit zenitový úhel naměřený pouze v I. poloze dalekohledu (pozor může nabývat kladných nebo záporných hodnot). Při zjišťování indexové chyby se doporučuje použít měření na dva výškově dobře identické body (výsledná indexová chyba bude aritmetickým průměrem z obou měření, znaménko musí být stejné a hodnoty podobné). Tak se lze vyhnout zavedení chybně určené indexové chyby do výpočtů. U technických teodolitů by velikost indexové chyby neměla překročit  $0,05^s$ . V případě, že chceme určovat zenitové úhly s vyšší přesností a vyloučit z měření měřické a přístrojové chyby použijeme měření zenitových úhlů ve 2 skupinách. Nejčastěji měříme zenitové úhly v jedné skupině. Měření započneme opět v první poloze dalekohledu a postupujeme stejným způsobem jak bylo popsáno výše. Po přečtení první hodnoty zenitového úhlu v první poloze ihned proložíme dalekohled do druhé polohy, zacílíme a při současném urovnání indexové libely čteme hodnotu zenitového úhlu. Na rozdíl od měření vodorovných úhlů tedy neměříme všechny zenitové úhly z jednoho stanoviska v první poloze dalekohledu a potom všechny v poloze druhé. Zde je třeba u každého bodu co nejrychleji měřit, aby prodleva mezi měřeními v první a druhé poloze dalekohledu byla co nejmenší. Výsledný zenitový úhel  $z = z_I + i$ . Hodnotu indexové chyby ( $i$ ) získáme z výše uvedeného vzorce. V případě, že chceme dále zpřesňovat hodnotu zenitového úhlu, opakujeme měření v jedné skupině. Opět platí, že přesnost naměřených zenitových úhlů roste z odmocninou z počtu skupin. Je třeba též posoudit, jestli kvalita použitého teodolitu odpovídá požadované přesnosti. Na přístrojích technického typu (Zeiss Theo 020A) nelze dosahovat výsledků, které mají vteřinovou přesnost.

### 3.6 Princip měření magnetických azimutů

Při měření vodorovných úhlů magnetickými přístroji využíváme známého jevu, že vlivem magnetického pole Země se staví magnetka vždy do směru magnetického meridiánu. To dříve umožňovalo orientaci měřických prací v lesnatém a nepřehledném terénu. Nyní se magnetické přístroje již téměř nepoužívají, především pro jejich nízkou přesnost v důsledku nahodile se vyskytujících magnetických poruch, ale i vlivem místních podmínek např. ocelových předmětů či blízkosti elektromagnetického pole.

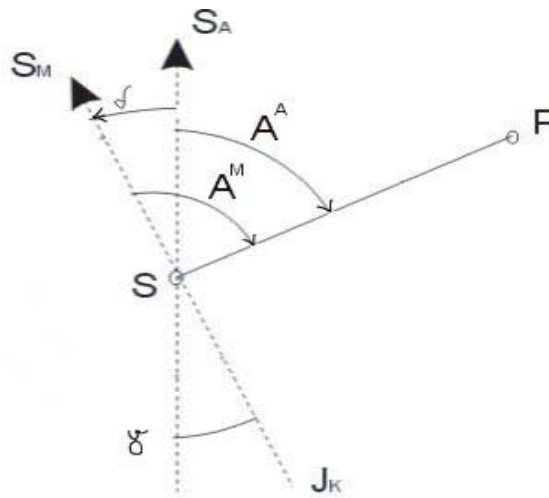
**Magnetický azimut  $A^M$**  je směrový úhel, měřený v bodě S od severní větve magnetického meridiánu  $S_M$  ve směru pohybu hodinových ručiček ke straně SP, jejíž azimut určujeme.

**Astronomický azimut  $A^A$**  je směrový úhel, měřený v bodě S od severní větve astronomického meridiánu  $S_A$  ve směru pohybu hodinových ručiček ke straně SP, jejíž azimut určujeme.

**Magnetický meridián  $S_M$**  pozorovacího místa je průsečnice svislé roviny proložené osou ustálené deklinační magnetky se zemským povrchem.

**Astronomický meridián  $S_A$**  pozorovacího místa je průsečnice svislé roviny směřující k astronomickému severu se zemským povrchem.

**Magnetická deklinace  $\delta$**  je úhel, který svírá v místě pozorování směr magnetického meridiánu s astronomickým meridiánem. Deklinace může být západní (záporná) nebo východní (kladná). V současnosti dosahuje hodnot asi  $+1^\circ$ . Mění se s místem a časem.



Obr. 3.15

**Meridiánová konvergence  $\gamma$**  je úhel, který svírá rovnoběžka s osou X nebo katastrální meridián s astronomickým meridiánem. Velikost meridiánové konvergence závisí na zeměpisné délce, zeměpisné šířce a druhu zobrazení. V západní části ČR v systému S- JTSK dosahuje až  $10^\circ$ .

Při **přímém měření** magnetické azimuty čteme na děleném kruhu buzoly podle hrotu magnetky. Tato měření jsou značně nepřesná, nejvýš  $0,1^\circ$ .

Při **nepřímém měření** se magnetické azimuty odečítají nebo odvozují z odečtených hodnot na limbu. Obvykle se používá teodolit s buzolou nebo magnetickým usměrňovačem. Podle typu přístroje nastavíme nulu limbu do směru magnetického meridiánu a po zacílení dalekohledu na bod přečteme azimut na limbu. Orientaci lze opakovat a jako výsledek vzít aritmetický průměr čtení.

### 3.7 Přesnost měřených úhlů

Při posuzování přesnosti měřených úhlů můžeme stejně jako při měření délek rozdělit měřické chyby na hrubé a nevyhnutelné. Nevyhnutelné podle jejich charakteru na systematické a nahodilé. Mezi **hrubé chyby** při měření úhlů patří omyl při čtení, zacílení na jiný bod, hrubé stržení vodorovného kruhu (při utažené hrubé ustanovce), zakopnutí (nebo opření se o stativ), měření při neutaženém svěrném šroubu trojnožky atd. Hrubá chyba je při měření snadno odhalitelná a vyloučit ji musíme opakovaným měřením.

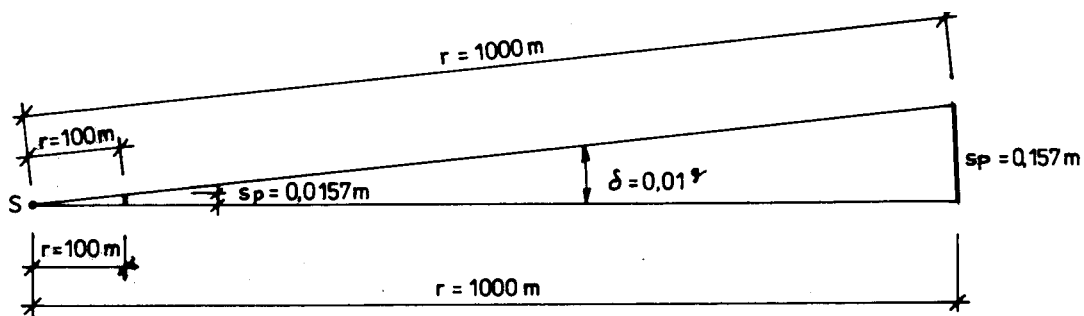
**Chyby nevyhnutelné** vznikají při měřickém procesu a v důsledku přístrojových chyb. Většinu přístrojových chyb vyloučíme výše popsányými technologiemi měření úhlů. Chyby z centrace a horizontace přístroje eliminujeme na minimum pečlivou prací a kontrolou správné funkce optického centrovače a alhidádových libel (viz výše). Mezi nevyhnutelnými

chybami má největší zastoupení chyba z nesprávného odečítání úhlových hodnot (má nahodilý charakter a snížíme ji pečlivou prací a zaostřením odečítacích pomůcek v mikroskopu) a chyba z cílení. Abychom zmenšili chybu v cílení, je třeba dodržovat následující **zásady při cílení**:

- vždy cílíme co nejbliž k vlastnímu bodu, tj. na výtyčku co nejniž (na hrot), u přímo viditelných bodů na jejich osu (střed makovice věže kostela, patu hromosvodu, vrch osy komína apod.)
- u blízkých bodů (na několik metrů) je třeba použít k jejich signalizaci tenčí signál než je výtyčka (přidržená tužka, hrot hřebíčku či špendlíku apod.)
- pro cílení použít dvojrysky záměrného kříže, která využívá citlivost oka pro symetrii čar
- při cílení jemně zacházet s obojím typem ustanovek; zvláště hrubé ustanovky se nedotahují silou, ale jen tak, aby působily třením

Správné cílení také nepříznivě ovlivňují vibrace vzduchu v letních měsících zvláště v poledních hodinách, nedbale postavená signalizace (nesvislá výtyčka) na cílovém bodě a nezaostřený záměrný kříž či obraz cíle (paralaxa).

Při měření a vytyčování je třeba dobře zvážit, jakou přesnost by měřený či vytyčený úhel měl mít a podle toho volit typ teodolitu a metodu pro měření úhlu. Zpravidla jde o to, jaký maximálně přípustný směrový posun jsme ochotni tolerovat mezi stanoviskem (středem úhlu) a koncovými body jeho ramen. Při chybě úhlu  $\delta = 0,01^{\text{s}}$  a délce jeho ramen 100 m činí směrový posun  $s_p = 0,0157$  m.



$$s_p = r \cdot \text{arc} \delta = \frac{\pi}{200^{\text{s}}} \cdot \delta^{\text{s}}$$

Obr. 3.16

Při stejně velké chybě úhlu  $\delta = 0,01^{\text{s}}$  a délce jeho ramen 1000 m je směrový posun  $s_p = 0,157$  m. Tedy desetinásobný. Z toho vyplývá, že při měření úhlů na blízké cíle není třeba tak přesných teodolitů a metod měření jako při měření na cíle vzdálené.

Výpočet střední chyby úhlu lze provést podle vzorce  $m_{\omega} = \sqrt{\frac{1}{s} \cdot (m_o^2 + m_C^2) + m_{\omega_e}^2}$

- kde
- $s$  – počet skupin
  - $m_o$  – střední chyba v odečtení úhlové hodnoty
  - $m_C$  – střední chyba v cílení
  - $m_{\omega_e}$  - vliv střední chyby v centraci přístroje a cílů

Povšimněte si, že střední chyba v odečtení úhlové hodnoty je jen jednou ze tří chyb ovlivňujících konečnou střední chybu úhlu. Také proto tedy nelze hodnotit přesnost

naměřených úhlů pouze prostřednictvím použitého teodolitu. Z praktických výsledků lze vypočítat, že s vteřinovým teodolitem (tj. s teodolitem s možností odečítání na 0,0001<sup>g</sup>), při délce ramen 500 – 1500 m, lze ve dvou skupinách měřit se střední chybou  $m_w \cong 0,015^g$ .

U minutového teodolitu (Zeiss Theo 020A) při délce ramen 150 – 200 m, měření v jedné skupině a signalizaci cílů výtyčkami lze očekávat střední chybu  $m_w \cong 0,004^g$ .

## 4 MĚŘENÍ VÝŠEK

Měření výšek spočívá v určování výškových rozdílů (převýšení) mezi body s danou výškou a body určovanými. Převýšení můžeme přibližně definovat jako nejkratší (svislou) vzdálenost mezi dvěma hladinovými plochami proloženými výchozím a koncovým bodem.

V geodezii se pro určování výšek používá čtyř metod. Jsou to metody:

- barometrická (historická – přibližná)
- trigonometrická
- nivelační
- metoda GPS (globální polohový systém)

### 4.1 Barometrické měření výškových rozdílů

Princip metody spočívá v poznatku, že barometrický tlak vzduchu vyvolaný tíhou zemské atmosféry klesá s přibývajícím výškou od hladiny moře (změnou výšky o přibližně 11 m klesne barometrický tlak o 1 mm rtuťového sloupce, tedy o 1 torr, jak byla dříve označována jednotka atmosférického tlaku). Nyní je základní jednotkou pro měření tlaku pascal (Pa). Platí: 1 torr = 133,3 Pa. Přístroje k měření tlaku vzduchu se nazývají barometry. Dělíme je na:

- a) rtuťové (historicky starší – pro práce v terénu nevhodné)
- b) kovové – aneroidy (takřka výhradně používané v geodezii)

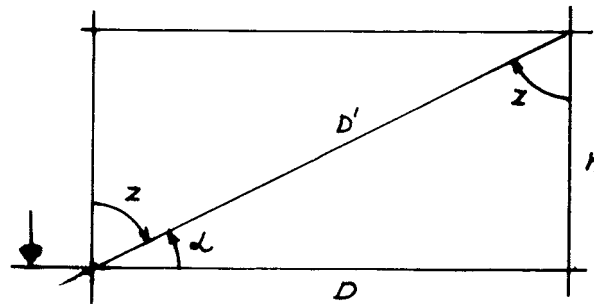
Hlavní součástí aneroidu je téměř vzduchoprázdná válcová krabička ze silného plechu, neprodyšně uzavřená zvlněnou membránou. Při změně tlaku vzduchu se tato membrána prohýbá dovnitř nebo vně krabičky. Pohyb se mechanicky převádí na ručičku se stupnicí v jednotkách tlaku. Nejvíce používaný bývá Pauliniho aneroid (konstrukce švédského inženýra Pauliniho), často s výškoměrnou stupnicí (tzv. altimetr).

Měření výškových rozdílů můžeme provádět pomocí jednoho, nebo dvou aneroidů současně. Při použití dvou přístrojů zlepšíme přesnost určených výškových rozdílů. Nejprve na výchozím bodě seřídíme oba aneroidy a jeden necháme na tomto bodě jako staniční. Druhý tzv. polní přenášíme postupně na další body, jejichž výšky je třeba určit. U obou aneroidů vždy ve stejném okamžiku odečítáme hodnotu tlaku vzduchu a teplotu vzduchu, která naměřené údaje ovlivňuje. Pro synchronizaci času odečítání lze použít krátkovlnných vysílaček nebo mobilních telefonů. Měření končí opět porovnáním obou aneroidů na výchozím bodě.

Výpočtem barometrické rovnice nebo prostřednictvím speciálních tabulek se určí převýšení mezi určovanými body. Přesnost takto určených výšek je i tak nízká, asi 1 m, což postačuje pouze pro informativní zjištění výškových rozdílů v hornatých terénech.

#### 4.2 Trigonometrické měření výšek

Spočívá v řešení pravoúhlého trojúhelníka, ve kterém měříme úhel a délku. Hledanou hodnotou je velikost svislé odvěsny – převýšení (viz obr. 4.1).



Obr. 4.1

Převýšení tedy získáme jako zprostředkovanou veličinu z následujících vzorců :

$$h = D \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

v případě, že měříme vodorovnou vzdálenost D a výškový úhel  $\alpha$

$$h = D \cdot \operatorname{cotg} z$$

v případě, že měříme vodorovnou vzdálenost D a zenitový úhel z

$$h = D' \cdot \sin \alpha$$

v případě, že měříme šikmou vzdálenost D' a výškový úhel  $\alpha$

$$h = D' \cdot \cos z$$

v případě, že měříme šikmou vzdálenost D' a zenitový úhel z

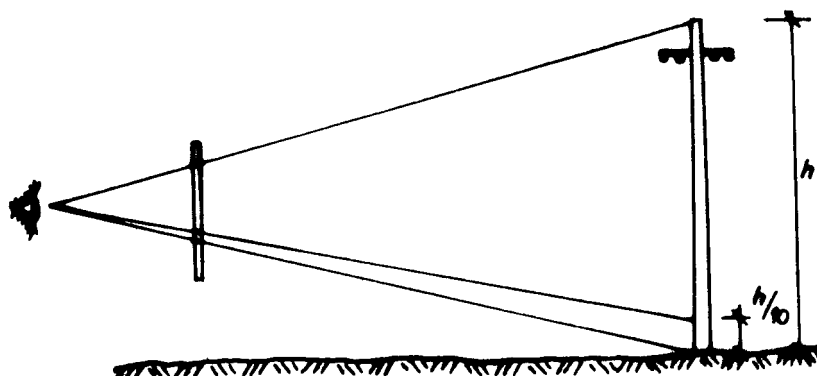
Přesnost takto určeného převýšení je tedy závislá na přesnosti změřených vzdáleností a svislých úhlů. Vzdálenosti měříme buď pásmem optickým nebo elektronickým dálkoměrem (viz kapitola 2). Svislé úhly měříme pomocí teodolitu (viz kapitola 3). S výhodou lze pro současné změření obou veličin použít moderního geodetického přístroje, totální stanice, ve které je zabudován elektronický dálkoměr i elektronický teodolit. Zároveň tento přístroj dokáže vyřešit i výše zmíněné rovnice.

Na obr. 4.1 je vodorovná rovina realizována horizontem přístroje.

##### 4.2.1 Určení výšky předmětu

V praxi se vyskytuje potřeba změřit výšku budovy, věže, stožáru, komína, nebo jen určité části stavby, která je zcela nepřístupná. Někdy je třeba určit průjezdný profil v určeném objektu, výšky vodičů vysokého napětí nad terénem, nebo výšku stromu či porostu. Zde všude lze využít trigonometrické určování výšek. Jen je třeba zvážit, jak přesně je potřeba danou výšku určit a podle toho zvolit pomůcky či přístroje k měření. Nejjednodušší pomůckou je **lesnický dendrometr**, kterým lze změřit výšku a tloušťku stromů, nebo i stožárů apod.

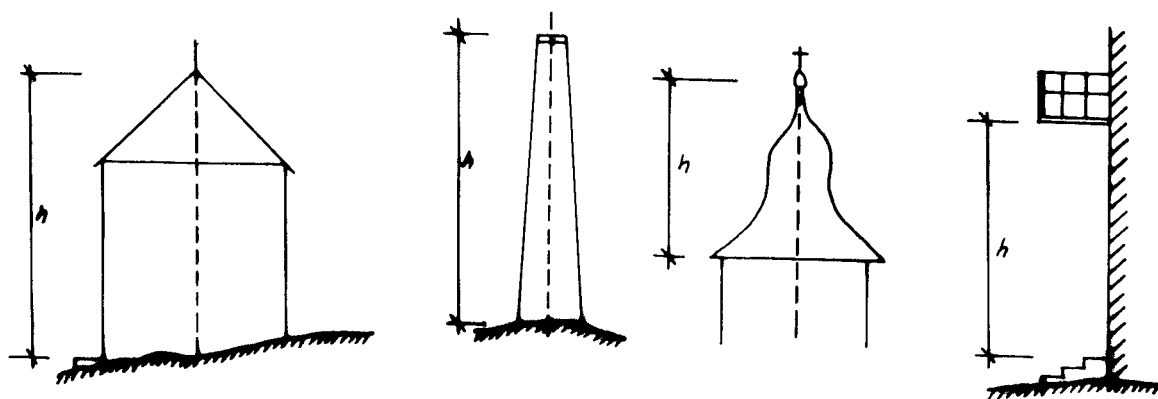
Lze jej snadno sestavit z pravítka, na kterém provedeme tři zářezy. Na počátku a ve vzdálenosti jednoho a deseti dílů od počátku. Použití spočívá v praktickém řešení podobnosti trojúhelníků (viz obr. 4.2).



Obr. 4.2

Uchopíme dendrometr ve svislé poloze do natažené ruky. Poodstoupíme tak daleko od předmětu, jehož výšku chceme určit, až jej vidíme celý v horním a dolním zárezu dendrometru. Na předmět promítneme zárez provedený ve vzdálenosti jednoho dílu od počátku a pomocník v tom místě učiní na předmětu značku. Nyní změříme výšku značky od terénu a vynásobíme deseti, čímž získáme celou výšku předmětu. Je třeba si uvědomit, že chyba v promítnutí zárezu na předmět se zdesetinásobí a proto se přesnost takto určené výšky pohybuje kolem 0,5 m. V mnohých případech je však dostačující.

Chceme-li určit výšku předmětu s vyšší přesností, je třeba použít **teodolitu** a **pásma** nebo **totální stanice**. Vždy je třeba si uvědomit, že vždy určujeme výšku po svislici, a kam je vypočtená výška vztažena (viz obr.4.3).



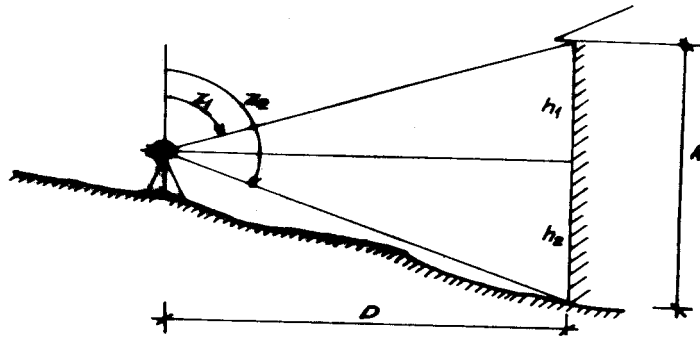
Obr.4.3

Vlastní měření se tedy provede s ohledem na přesně definovaný požadavek. Mohou nastat tyto tři varianty:

- a) lze změřit vzdálenost mezi teodolitem a předmětem

$$h = h_1 + h_2 = D \cdot \cotg z_1 - D \cdot \cotg z_2$$

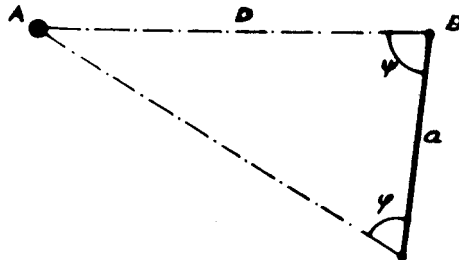
$$h = D \cdot (\cotg z_1 - \cotg z_2)$$



Obr. 4.4

- b) nelze změřit vzdálenost mezi teodolitem a předmětem, ale lze rozvinout do strany pomocnou základnu **a**

$$D = a \frac{\sin \varphi}{\sin(\varphi + \psi)}$$



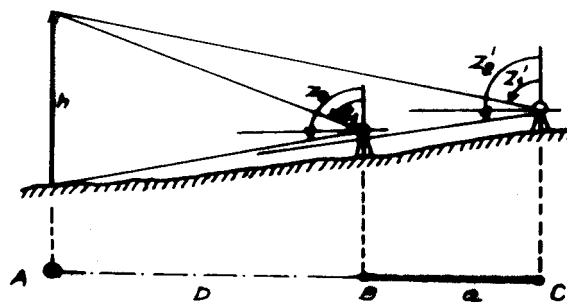
Obr. 4.5

Na obrázku 4.5 je znázorněný půdorys, na kterém je patrné, jak pomocí sinové věty z naměřené základny **a** a vodorovných úhlů  $\varphi$  a  $\psi$  vypočteme vodorovnou vzdálenost mezi stanoviskem teodolitu **B** a předmětem **A**. Na bodě **B** je třeba změřit zenitové úhly **z**. Další řešení viz varianta a).

- c) nelze změřit vzdálenost mezi teodolitem a předmětem a nelze rozvinout do strany pomocnou základnu **a**

Tato varianta může nastat v úzké ulici, kde je třeba určit výšku kostela .

Použijí opět pomocnou základnu **a**, kterou zvolím přesně v prodloužení nepřístupné vzdálenosti **D** (řez viz obr. 4.6).



Obr. 4.6

V tomto případě je třeba změřit pomocnou základnu **a**, a zároveň zenitové úhly **z** jak na bodě **B** tak **C**. Výšku předmětu odvodíme z následujících rovnic:

$$h = D \cdot (\cotg z_1 - \cotg z_2) = D \cdot p$$

$$h = (D + a) \cdot (\cotg z_1' + \cotg z_2') = (D + a) \cdot q$$

$$D \cdot p = (D + a) \cdot q = D \cdot q + a \cdot q$$

$$D \cdot p - D \cdot q = a \cdot q$$

$$D = \frac{a \cdot q}{p - q}$$

$$h = D \cdot p = \frac{a \cdot p \cdot q}{p - q}$$

Pozn. : výpočet je bez kontroly – nadbytečně měřené veličiny byly použity k výpočtu nepřístupné délky tak, aby převýšení vyšlo z obou postavení stejně.

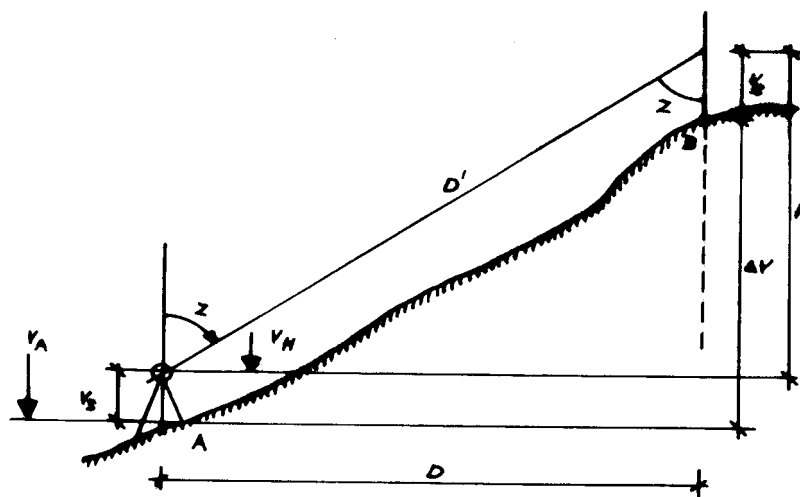
#### 4.2.2 Určení nadmořské výšky

Nadmořskou výšku zvoleného bodu určíme trigonometricky tak, že nad bodem o známé nadmořské výšce zcentrujeme a zhorizontujeme teodolit či totální stanici, změříme zenitový úhel a pásmem nebo elektronicky změříme vzdálenost (šikmou či vodorovnou). Zenitový úhel neměříme přímo ke zvolenému bodu, na který zpravidla není přímo vidět, ale k signálu (terči), který nad bodem svisle umístíme. Dále je třeba změřit (např. svinovacím kovovým dvoumetrem) na milimetry výšku přístroje (k točné ose dalekohledu) a výšku signálu nad cílovým bodem (viz obr. 4.7)

$$h = D \cdot \cotg z = D' \cdot \cos z$$

$$V_H = V_A + v_s$$

$$\underline{V_B = V_H \pm h - v_l}$$



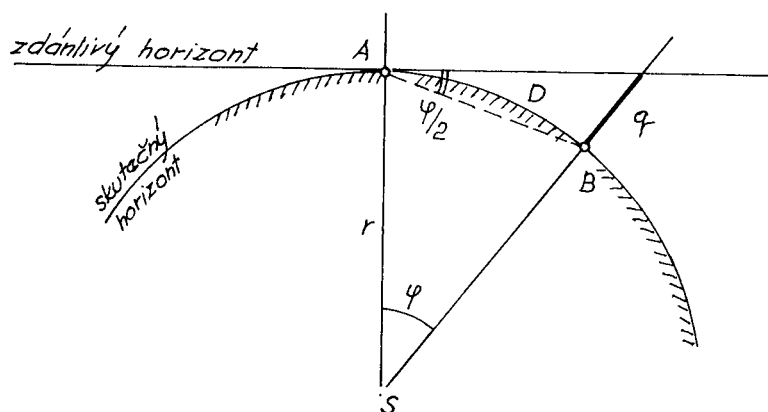
Obr. 4.7

Pokud je vzdálenost mezi body A a B větší než 300 m je třeba při trigonometrickém měření výšek brát v úvahu opravu ze zakřivení Země a z refrakce.

Vzorec pro opravu ze zakřivení Země (ze záměny zdánlivého a skutečného horizontu) vyplývá z obr. 4.8

$$q = D \frac{\varphi}{2} \quad \varphi = \frac{s}{r}$$

$$q = \frac{D^2}{2r} \quad r = 6380 \text{ km}$$



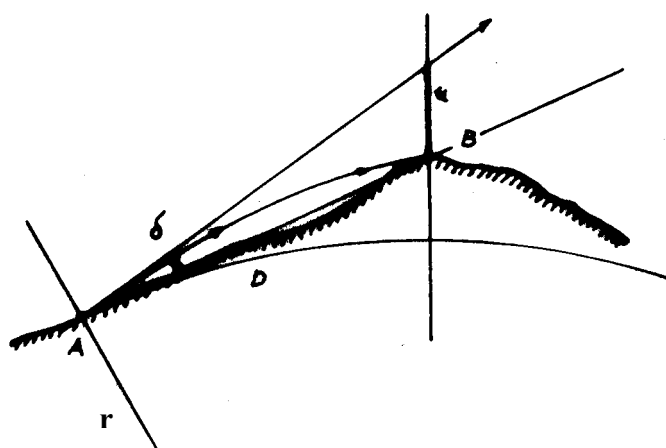
Obr. 4.8

Protože zenitový úhel je vztažen ke zdánlivému horizontu a nikoli ke skutečnému je třeba opravu ze zakřivení Země k převýšení **přičíst**.

Oprava z refrakce vyplývá z obr. 4.9

Refrakce v přízemních vrstvách atmosféry způsobuje ohyb záměry. Měříme ve směru tečny k obecně prostorově zakřivené záměři. Místo správného zenitového úhlu  $z$ , změříme obvykle při dostatečné výšce záměry nad terénem zenitový úhel  $z'$  menší o úhel  $\delta$ . Na koncovém bodě bude z tohoto důvodu převýšení o hodnotu  $u$  větší.

$$u = -k \frac{D^2}{2r} \quad k \cong 0.13 \quad r = 6\,380 \text{ km}$$



Obr. 4.9

Vzorec je podobný vzorci pro opravu ze zakřivení Země, má ale opačné znaménko a vyskytuje se zde empiricky určený Gaussův refrakční součinitel  $k$ . Opravu z refrakce je třeba od určeného převýšení vždy **odečíst**.

Následující tabulka názorně ukazuje jakých hodnot mohou obě opravy nabývat.

D (m)	q (m)	u (m)	q - u (m)
100	0.001	-	0.001
300	0.007	- 0.001	0.006
1 000	0.078	- 0.010	0.068
2 000	0.314	- 0.041	0.273

#### 4.2.3 Přesnost trigonometricky určených výšek

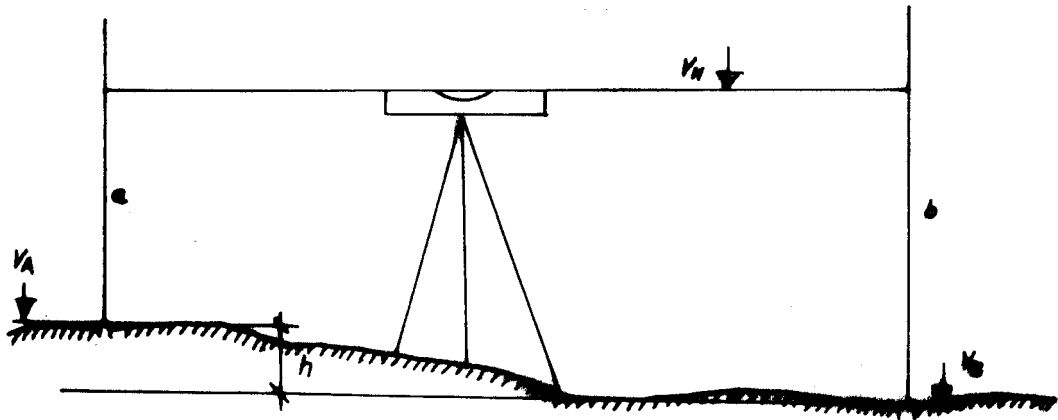
Výpočet přesnosti se provede podle zákona o hromadění středních chyb. Přitom je rozhodující přesnost měření délek a zejména svislých úhlů, ze kterých se převýšení odvozuje.

Abychom při měření výšky předmětu dosáhli přesnosti charakterizované střední chybou  $m_h \cong 0,01$  m, je třeba měřit příslušnou délku se střední chybou  $m_D \leq 0,01$  m a zenitový úhel se střední chybou  $m_z \leq 0,005^{\text{s}}$ .

Při určování převýšení na vzdálenost  $D = 150$  m, měříme-li  $D$  se střední chybou  $m_D = 0,04$  m, při zenitovém úhlu  $z = 115^{\text{s}}$  (nebo  $85^{\text{s}}$ ), měříme-li  $z$  se střední chybou  $m_z = 0,0015^{\text{s}}$  dosáhneme opět střední chybu převýšení  $m_h \cong 0,01$  m.

#### 4.3 Nivelace

Podstatou nivelace (z francouzského nivellement) je určování rozdílu výšek dvou bodů od zvoleného horizontu, který je realizován do vodorovné polohy **urovnaným** dalekohledem nivelačního přístroje (viz obr. 4.10), hodnoty **a**, **b** na svislých měřících (tzv. nivelačních latích) odečteme na vodorovné rysce záměrného kříže dalekohledu nivelačního přístroje.



Obr. 4.10

##### 4.3.1 Nivelační přístroje

Princip všech nivelačních přístrojů je stejný. Jejich prostřednictvím vytyčujeme vodorovnou rovinu (záměru). Lze je rozdělit podle různých hledisek:

- 1) podle realizace vodorovné záměry ♦ s nivelační libelou (starší konstrukce)  
♦ s kompenzátorem (většina nových přístrojů)
- 2) podle zdroje světla ♦ optické  
♦ laserové

3) podle způsobu odečítání ♦ vizuální

♦ automatické (čárkový kód)

4) podle přesnosti ♦ velmi přesné  $m_0 \leq 0,3$  mm

♦ přesné  $0,3 \text{ mm} < m_0 \leq 1,5$  mm

♦ technické  $1,5 \text{ mm} < m_0 \leq 5$  mm

♦ s nižší přesností  $m_0 > 5$  mm

kde  $m_0$  je střední kilometrová chyba (viz dále)

5) podle způsobu hrubého urovnání ♦ s klínovými kotouči

♦ se stavěcími šrouby

♦ s kulovou hlavicí stativu

Libelové i kompenzátorové nivelační přístroje mají pro hrubé urovnání do vodorovné roviny krabicovou libelu. Libelové nivelační přístroje mají pro jemné urovnání tzv. nivelační libelu, která je trubicová a velmi citlivá. Její urovnání provádíme pomocí elevačního šroubu.

U kompenzátorových nivelačních přístrojů je nivelační libela nahrazena mechanickým zařízením, pomocí kterého dosáhneme vodorovnosti záměrné přímky. Toto zařízení se nazývá **kompenzátor** a je založen na působení zemské tíže.

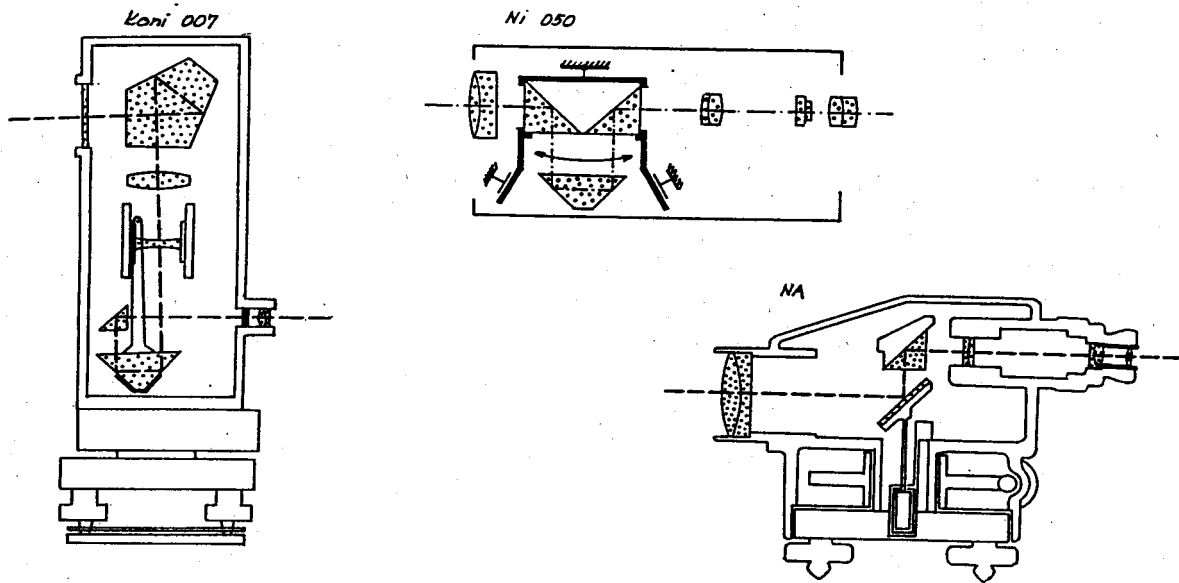
Hlavním konstrukčním prvkem kompenzátoru je nejčastěji :

- kyvadlo, nebo
- povrch kapaliny, nebo
- pružina s hranolem či zrcadlem

Vzhledem k tomu, že hlavní konstrukční prvek je zpravidla zavěšen a kývá se, je třeba jeho kyv tlumit. Tlumiče kompenzátorů jsou :

- vzduchové
- kapalinové
- magnetické

Princip konstrukce kompenzátoru viz obr. 4.11.

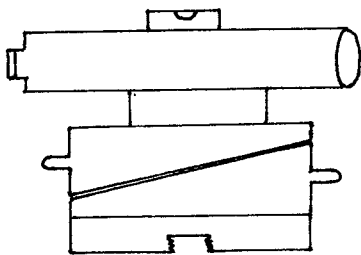


Obr. 4.11

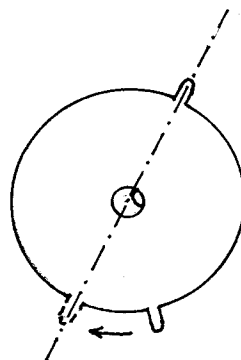
Příprava nivelačního přístroje před měřením

- 1) Pevně zašlápeme nohy stativu s nivelačním přístrojem – hlava stativu by měla být přibližně vodorovná. Ve svahu by měly být dvě nohy stativu umístěny ze svahu kvůli lepší stabilitě.
- 2) Zaostříme záměrný kříž dalekohledu a odstraníme paralaxu (stejně jako u dalekohledu teodolitu).
- 3) Hrubě zhorizontujeme nivelační přístroj pomocí krabicové libely.

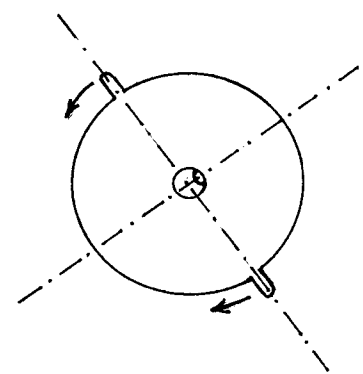
Pozn. U nivelačních přístrojů s klínovými kotouči, řez přístrojem viz obr. 4.12 a, je třeba postupovat následovně. Nejprve táhly tak, aby se ocitla proti sobě (pohled shora viz obr. 4.12 b). Potom otočíme protilehlými táhly tak, aby jejich spojnice byla kolmá na spojnici procházející středem krabicové libely a středem bubliny v této libele (viz obr. 4.12 c) a souběžným pohybem oběma táhly současně dostaneme bublinu doprostřed libely. Směr pohybu táhel je i směrem pohybu bubliny. Urovnání závisí především na přesnosti odhadu kolmosti čerchovaných spojnic (viz obr. 4.12 c).



Obr. 4.12a



Obr. 4.12b

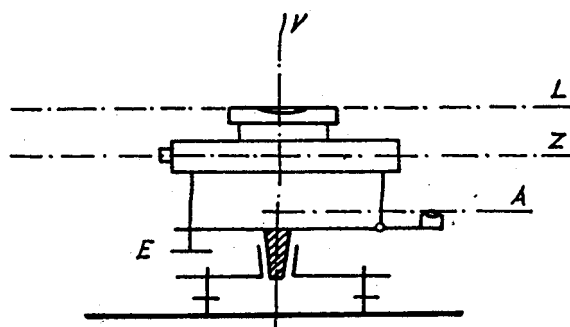


Obr. 4.12c

- 4) Zacílíme na nivelační lať a dokonale zaostříme obraz v dalekohledu.
- 5) Pečlivě urovnáme nivelační libelu elevačním šroubem. (U nivelačních přístrojů s kompenzátorem tento bod odpadá, jen je třeba se přesvědčit, lehkým poklepáním nehtem na dalekohled tam kde je umístěn kompenzátor, zda je funkční. Obraz záměrného kříže se při správné funkci kompenzátoru slabě chvěje.)

Přístrojové vady nivelačních přístrojů nepříznivě ovlivňují kvalitu nivelace. Vady vznikají nedodržením osových podmínek nivelačního přístroje.

1. osa pomocné krabicové libely **A** má být kolmá ke svislé ose přístroje **V**
2. vodorovná ryska záměrného kříže má být kolmá ke svislé ose přístroje **V**
3. osa nivelační libely **L** má být rovnoběžná se záměrnou přímkou

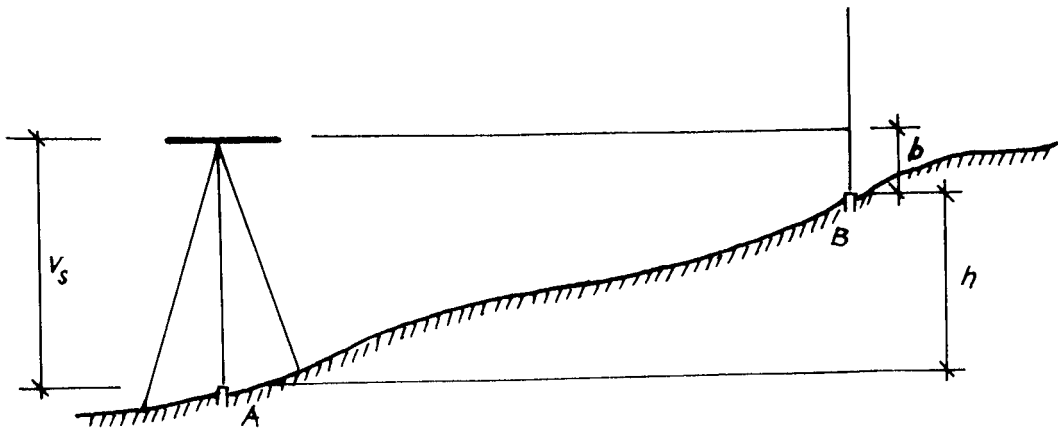


Obr. 4.13

- ad 1) Pomocí nivelační libely provedeme přesnou horizontaci tak, aby nivelační libela byla urovňána v jakékoliv poloze dalekohledu. Podmínka není splněna, když bublina pomocné krabicové libely není v jejím středu. Opravu lze provést pomocí rektifikačních šroubků u krabicové libely. U nivelačních přístrojů s kompenzátorem není, při nesplnění této podmínky, kompenzátor funkční (po urovňání pomocí krabicové libely nereaguje záměrný kříž na lehký poklep chvěním). Takový nivelační přístroj je třeba dát do opravy.
- ad 2) Porušení této podmínky je málo časté. Vadu zjistíme tak, že levý okraj vodorovné rysky záměrného kříže zaměříme na zřetelný bod (např. roh dílku na svislé a upevněné nivelační lati). Při posunu jemnou ustanovkou má vodorovná ryska záměrného kříže stále krýt zvolený bod. Nekryje-li, je zapotřebí pootočit clonku záměrného kříže.
- ad 3) Tato podmínka je rozhodující pro správnou funkci nivelačního přístroje a je nutno ověřit její správnost **každý den** před započítím měření a vždy po delším transportu nivelačního přístroje. Tomuto ověření říkáme **polní zkouška nivelačního přístroje** (viz obr. 4.14).



Tato metoda se v praxi uplatňuje výjimečně, zpravidla při měření příčných profilů. Její princip je patrný z obr. 4.15.



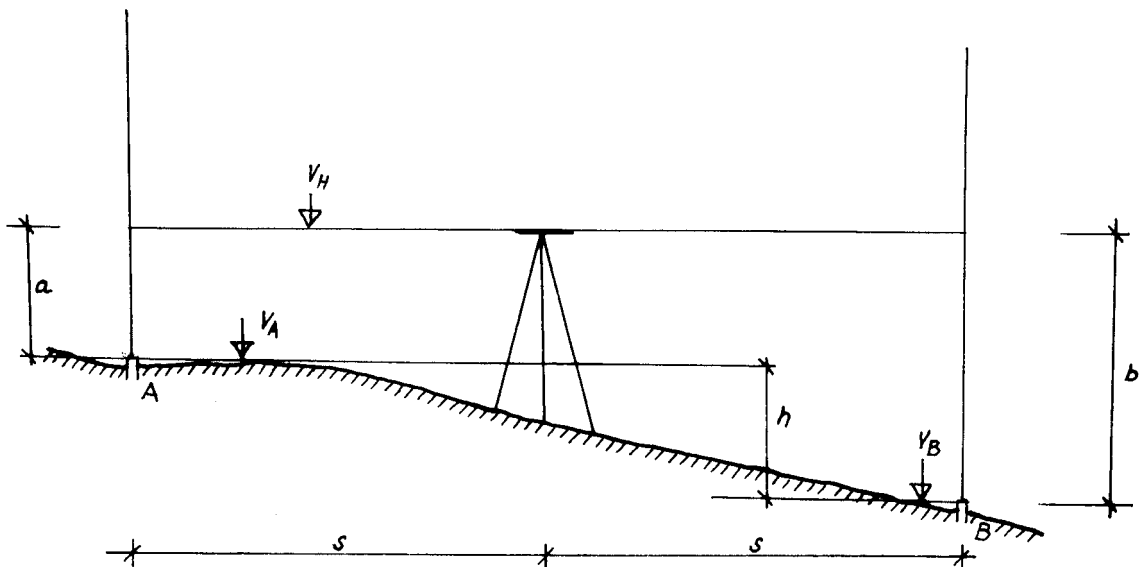
Obr. 4.15

Na bodě A zhorizontujeme nivelační přístroj. Svinovacím dvoumetrem odměříme na milimetry výšku přístroje  $v_s$ , a na nivelační lati svisle postavené na bodě B odečteme hodnotu  $b$ . Převýšení mezi body A a B je :

$$h = v_s - b$$

#### Geometrická nivelace ze středu

Touto metodou se v praxi provádí většina nivelačních měření. Podstata vyplývá z obr. 4.16.

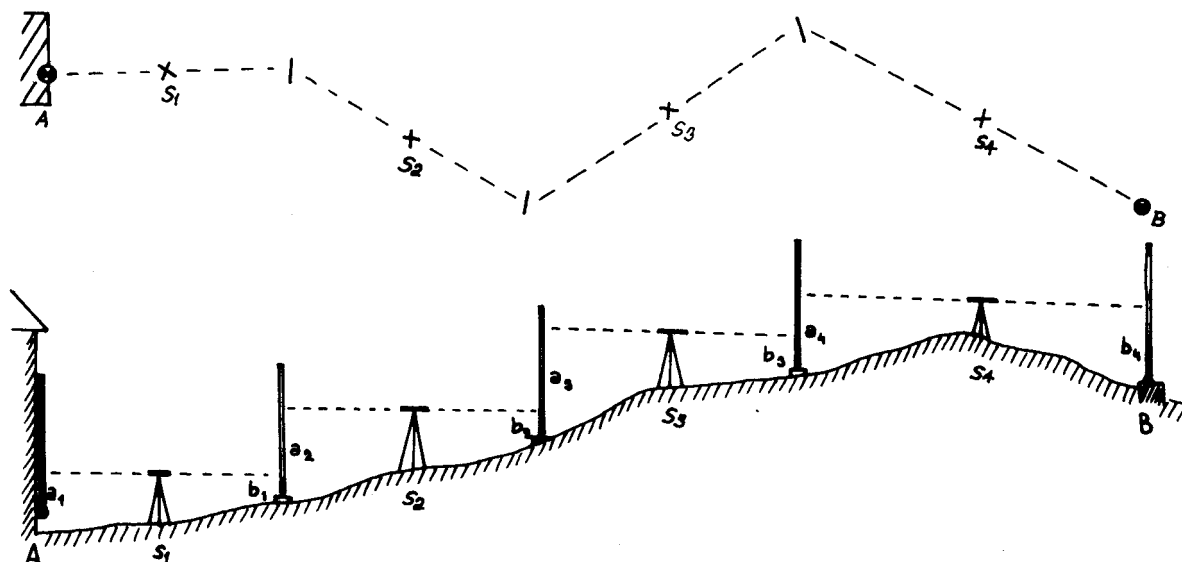


Obr. 4.16

Naším úkolem je opět zjistit převýšení mezi body **A** a **B**. Tentokrát postavíme nivelační přístroj přesně doprostřed mezi tyto body a zhorizontujeme jej. Na body **A** a **B** postavíme svisle nivelační latě. Na latích odečteme hodnoty **a** a **b**. Hledané převýšení je :

$$h = a - b$$

Postavení lat' – nivelační přístroj – lat' jak je vyobrazeno na obr. 4.16 se nazývá **nivelační sestava** a je základním prvkem geometrické nivelace ze středu. Vzhledem k tomu, že velmi často mezi body **A** a **B**, jejichž převýšení chceme určit, není přímá viditelnost, nebo jsou od sebe příliš vzdálené, či převýšení je příliš velké, aby bylo možno provést určení převýšení pomocí jedné nivelační sestavy je třeba sdružit nivelační sestavy do **nivelačního oddílu** (viz obr 4.17).



Obr. 4.17

V horní části obr. 4.17 je půdorys nivelačního oddílu. Stanoviska nivelačního přístroje jsou označena **S<sub>1</sub> – S<sub>4</sub>**. Povšimněte si, že délky jednotlivých nivelačních sestav se mohou lišit, a že nivelační oddíl může být směrově libovolně zalomený. Jen je třeba dodržet zásadu, že ke směrovému zalomení nivelačního oddílu může docházet pouze v místě postavení latě (nivelační sestavy musí být přímé). Nivelační latě stavíme přímo na body **A** a **B**, ale na přechodných postaveních latí (**přestavových bodech**) stavíme latě na **nivelační podložky**, které pečlivě zašlapujeme do terénu a dočasně tak přestavové body stabilizujeme. Označíme-li všechna čtení na lat' vzad (myšleno ve směru nivelačního oddílu) **a<sub>1</sub> ..... a<sub>n</sub>** a všechna čtení na lat' vpřed **b<sub>1</sub>.....b<sub>n</sub>**, bude pro výpočet převýšení mezi body **A**, **B** platit :

$$a_1 + a_2 + a_3 \dots \dots \dots a_n = [a]$$

$$b_1 + b_2 + b_3 \dots \dots \dots b_n = [b]$$

$$h = [ a ] - [ b ]$$

Známe-li výšku bodu **A**, výška bodu **B** bude :

$$V_B = V_A + h$$

při čemž hodnota **h** může být kladná nebo záporná.

Nivelační oddíly se sdružují do větších celků, kterým říkáme **nivelační pořady**. Rozlišujeme tři druhy nivelačních pořadů :

- volné
- vložené
- uzavřené

**Volnými nivelačními pořady** nazýváme takové, které začínají na nivelačním bodě o známé a ověřené nadmořské výšce a končí na bodě určovaném. Nejjednodušší příklad takového pořadu je na obr. 4.17 a sestává se pouze z jednoho oddílu. Tento typ nivelačního pořadu je v praxi **nepřípustný**. Lze sice spočítat výšku neznámého určovaného bodu ,ale nelze zjistit možnou hrubou chybu.

**Vložený nivelační pořad** je nejvhodnější. U něj vycházíme ze známého nivelačního bodu s ověřenou výškou a končíme na jiném známém nivelačním bodě s ověřenou výškou. V takovém pořadu můžeme mít libovolný počet nivelačních oddílů a lze tedy v jeho rámci určit výšky i většího počtu nových neznámých bodů.

**Uzavřený nivelační pořad** je vlastně zvláštním případem vloženého nivelačního pořadu. Výchozí a koncový nivelační bod je totožný. V tomto případě je naprosto nevyhnutelné ověřit výšku tohoto nivelačního bodu před započítáním vlastního měření.

Podle toho jak přesně chceme určit výšku nově určovaných bodů používáme při měření tři různé přesných druhů (způsobů) :

- technické nivelace
- přesné nivelace
- velmi přesné nivelace

Všechny tři využívají principu geometrické nivelace ze středu. Liší se však v použitých typech nivelačních přístrojů (viz kap. 4.3.1) a pomůckách jako jsou nivelační latě a nivelační podložky. Také technologie měření má s vzrůstající přesností více omezení a je pracnější. Velmi zhruba se dá říci, že přesnost technické nivelace je centimetrová, přesné nivelace milimetrová a u velmi přesné nivelace ještě o řád vyšší. Pro běžné práce nám postačí pracovat metodou technické nivelace.

#### Zásady technické nivelace

- a) Nivelační přístroj musí odpovídat podmínce, že střední kilometrová chyba  $m_0 \leq 5$  mm.
- b) Nivelační latě mohou být dřevěné nebo kovové s centimetrovou stupnicí, z jednoho kusu nebo sklápěcí či teleskopické o délce 2 – 4 m, opatřené krabicovou libelou.

- c) Nivelační podložky litinové nebo kovové s polokulovitým vrchlíkem.
- d) Délky záměr (vzdálenost latí od nivelačního přístroje) se volí s ohledem na sklonitost terénu, stav ovzduší (při vyšších teplotách se vzduch chvěje) a požadovanou přesnost. V rovinném terénu může délka záměr dosáhnout až 120 m, ale doporučuje se aby nepřesahovaly 60 m. Rozdíl v délkách záměr u jedné nivelační sestavy by neměl přesáhnout 1 – 2 m, proto lze délku záměr pouze krokovat.
- e) Maximální délka nivelačního pořadu u vloženého nivelačního pořadu je 5 km, u uzavřeného 3 km.
- f) Výšky záměr nad terénem by neměly klesnout pod 0,3 m.
- g) Polní zkoušku nivelačního přístroje provádět vždy po delším transportu a každé ráno před měřením.
- h) Ověření výšek výchozího a koncového nivelačního bodu je nutno provádět **vždy** alespoň na jeden nejbližší známý nivelační bod před započítáním měření nivelačního pořadu.
- i) Mezní odchylka nivelačních pořadů technické nivelace (mezi daným a naměřeným převýšením).

$$\Delta_h = 40 \text{ mm} \cdot \sqrt{r} \quad \text{kde } r \text{ je délka nivelačního pořadu v kilometrech}$$

Výpočet mezní odchylky musí předcházet vlastnímu výpočtu nivelačního pořadu (viz příl. 4.1)

Pouze je-li splněna nerovnost

$$\Delta_h > o_h \quad \text{kde } o_h = h - h' = \text{odchylka měření}$$

$h$  = dané převýšení počátečního a koncového bodu nivelačního pořadu  
 $h'$  = změřené převýšení počátečního a koncového bodu nivelačního pořadu  
**[ a ] - [ b ]**

je možno přistoupit k rovnoměrnému rozdělení oprav  $v$  nejlépe na čtení vzd.

$$v = \frac{o_h}{n} \quad n \text{ je počet čtení vzd}$$

Pozn. Opravy  $v$  zaokrouhlujeme na celé milimetry, musí však platit  $[v] = o_h$ . V případě, že  $o_h < n$  přisoudíme opravu jen na některá čtení vzd, ale vždy rovnoměrně do celého nivelačního pořadu.

### 4.3.3 Přesnost nivelace

Přesnost nivelace se odvíjí od chyb, kterých se při nivelaci dopouštíme.

Chyby opět dělíme na **hrubé** a **nevyhnutelné**. Nevyhnutelné chyby na **systematické** a **nahodilé**.

Mezi **hrubé chyby** při nivelaci lze zařadit :

- opomenutí urovnání nivelačního přístroje
- odečítání hodnoty na lati podle dálkoměrné rýsky
- posun nivelační podložky (zejména výškový)
- přehlédnutí při odečítání
- přepis při zápisu do nivelačního zápisníku

Těmto chybám se lze vyhnout pečlivou prací všech pracovníků a lze je snadno zjistit porovnáním mezní odchylky s odchylkou měření.

**Systematické chyby** při nivelaci jsou nejnebezpečnější, protože každá z nich má vždy stejné znaménko a jejich velikost může nebezpečně růst. Patří mezi ně :

- chyba ze zanedbání rozdílu mezi zdánlivým a skutečným horizontem. Záměrná přímka urovnaného nivelačního přístroje vytváří zdánlivý horizont, který se v místě nivelační latě odklání od skutečného horizontu. Chyba se při geometrické nivelaci ze středu zcela eliminuje tím, že nivelační přístroj je uprostřed latí.
- chyba ze svislé složky refrakce. Vzniká při nivelaci ve velmi svažitém terénu tím, že záměrný paprsek proniká různě ohřátými vrstvami vzduchu. Snížení vlivu této chyby lze dosáhnout tím, že volíme záměry více jak 30 cm nad terénem.
- chyba z nesprávné délky laťového metru. Stupnice nivelační latě má být přesným délkovým měřítkem. Vlivem teploty a vlhkosti venkovního prostředí může dojít ke změnám délky laťového metru. U přesných nivelací se proto používá speciálních latí se stupnicí nanosenou na kovovém pásku z invarové slitiny. U metody technické nivelace nemá tato chyba na přesnost měření větší vliv.
- chyba z nesvislé polohy nivelační latě. Při této chybě vždy získáme větší hodnotu čtení než v případě, že k chybě nedochází. Ze všech zmíněných systematických chyb je nejnebezpečnější. Lze ji eliminovat pečlivým stavěním nivelačních latí do svislé polohy pomocí rektifikovaných krabicových libel. V případě že není nivelační lať opatřena libelou nebo není tato libela funkční, lze ji nouzově nahradit pozvolným kýváním latí ve směru záměry (odečte se vždy nejmenší hodnota na lati).

**Nahodilé chyby** při nivelaci splňují kritéria Gaussovy křivky ( viz obr. 2.2 ), jsou to :

- chyba z nepřesného urovnání nivelační libely nebo z chvění při činnosti kompenzátoru. Chybu minimalizujeme pečlivým urovnáním nivelační libely. U kompenzátorových nivelačních přístrojů vyčkáme, až se ztlumí kyv kompenzátoru. Za větrného počasí je možno chránit nivelační přístroj před porывy větru slunečníkem.

- chyba ze změny výšky nivelačního přístroje nebo latě. Zmenšení chyby dosáhneme pečlivým zašlapáváním noh stativu a nivelačních podložek do terénu. Nebezpečné pérování podložek na trávě, mechu, nebo jehličí odstraníme odkopnutím drnu. Rychlost a rovnoměrné tempo odečítání hodnot vzad a vpřed také tuto chybu zmenší.
- chyba ze čtení laťové stupnice. U technické nivelace odhadujeme na centimetrové stupnici milimetry co nejpečlivěji. U přesnějších typů nivelací se pro zpřesnění čtení používá např. optických mikrometrů na stejném principu jako u přesných teodolitů (viz kap. 3.2).
- chyba z nestejnomyšerného dělení laťové stupnice. Tuto chybu potlačíme používáním kvalitně vyrobených laťů.

V případě, že jsme si vědomi jaký vliv na měření mají všechny uvedené chyby a výše zmíněnými pokyny je eliminujeme, měla by odchylka měření být bez problému menší než mezní odchylka a měření bude mít odpovídající kvalitu. Uvedená mezní odchylka

$$\Delta_h = 40 \text{ mm} \cdot \sqrt{r}, \text{ bývá pro přesnější práce zpřísněna na } \Delta_h = 20 \text{ mm} \cdot \sqrt{r}.$$

Při posuzování přesnosti nivelačních přístrojů (viz kap 4.3.1) byla zmíněna střední kilometrová chyba  $m_0$ . Je to chyba jednotková, vyjadřující míru přesnosti měření na 1 km délky nivelačního pořadu měřeného dvakrát (TAM  $\times$  ZPĚT).

$$m_0 = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{\rho^2}{r}}$$

kde  $\rho$  je rozdíl měření tam – zpět v mm

$r$  je délka nivelačního pořadu v km

**Carl Friedrich Gauss** (1777 – 1855) se zabýval řadou témat matematiky a fyziky. V neposlední řadě také geodezií. Jeho práce měly značný vliv na rozvoj mnoha oblastí. Nejlepším důkazem jeho vážnosti v rodném Německu je desetimarková bankovka, platná do konce roku 2001, na jejímž líci je vyobrazen. Vlevo od jeho portrétu je silueta univerzity, na níž působil, a jeho křivka normálního rozdělení. Na rubu bankovky vpravo dole je zobrazena Hannoverská trigonometrická (trojúhelníková) síť, kterou C. F. Gauss vybudoval a proměřil pro následné mapování Hannoverského království. Uprostřed rubu bankovky je Gaussem zkonstruovaný přístroj, teleskop, pro zaměření této sítě. Celá bankovka je tedy naplněna geodetickou tematikou.







# Zápisník pro technickou nivelaci

Příloha 4.1

Délka sestavy (kroky)	Číslo bodu	Čtení na lati		Nadmořská výška Bpv	Místní výškový systém	Poznámka
		vzad +	vpřed -			
76	16	1735		391,867		typ přístroje: NI 050
		-1 0488				výr. číslo přístroje: 447564
84		2446				měřeno dne: 23.4.2002
		-1 0463				měřil: ROLLER
92		3529				
		-1 0365				zapsal: BRLKA
130		0468				
		-1 2022				vypočetl: BRLKA
82		0792				viditelnost: DOBRÁ
		-1 2205				zkouška přístroje:
96		0260				$a_1 = 12,13$ $a_2 = 11,76$
		-1 2206				$b_1 = 19,24$ $b_2 = 18,88$
78		0183				$h_1 = 0,711$ $h_2 = 0,712$
		-1 2680				$h_1 - h_2 = -1 \text{ mm}$
104		0263				
		-1 2410				
68	17	0667	0750	388,612		
Σ 810		Σ 10343	13589			$h = -3,255 \text{ m}$ $h' = -3,246 \text{ m}$ $\sigma_h = h - h' = -9 \text{ mm}$ $\Delta_h = 40 \text{ mm} \cdot \sqrt{r} \text{ [mm]}$ $r = 810 \text{ kroků} = 0,607 \text{ km}$ $\Delta_h = 31 \text{ mm}$ $\Delta_h > \sigma_h$
60	17	1837		388,612		
		+2 2157				
94		1945				
		+1 1482				
48		3181				
2401		+2 2121	389,819			
106		1791				
		+1 3442				
82		0312				
		+2 1784				
78		0484				
2402		+2 0122	387,063			
104		1465				
		+2 1137				
68		2173				
		+1 2105				
92		1567				
		+2 2241				
74		2784				
		+2 1865				$h = 0,000 \text{ m}$ $h' = -0,018 \text{ m}$ $\sigma_h = h - h' = +18 \text{ mm}$ $\Delta_h = 40 \text{ mm} \cdot \sqrt{r} \text{ [mm]}$ $r = 868 \text{ kroků} = 0,651 \text{ km}$ $\Delta_h = 32 \text{ mm}$ $\Delta_h > \sigma_h$
62	17	1175	0276	388,612 ✓		
Σ 868		Σ 18714	18732			



## 5 GEODETICKÉ ZÁKLADY

Při zaměřování větších územních celků je potřeba si uvědomit, že při všech měřeních se vyskytují nevyhnutelné chyby. Proto se musí při měřických pracích, zejména většího rozsahu, dodržovat takový postup, který zamezuje hromadění chyb nebo alespoň snižuje jejich vliv na nejmenší míru.

Zásadně se musí postupovat **z velkého do malého**, tedy z celku do podrobností. Každé měření většího rozsahu se proto musí opírat o předem vybudovanou síť základních polohově a výškově (případně tíhově) určených bodů, které tvoří tzv. geodetické základy. Tyto základy tvoří:

- polohová bodová pole
- výšková bodová pole
- tíhová bodová pole

### 5.1 Polohopisné základy

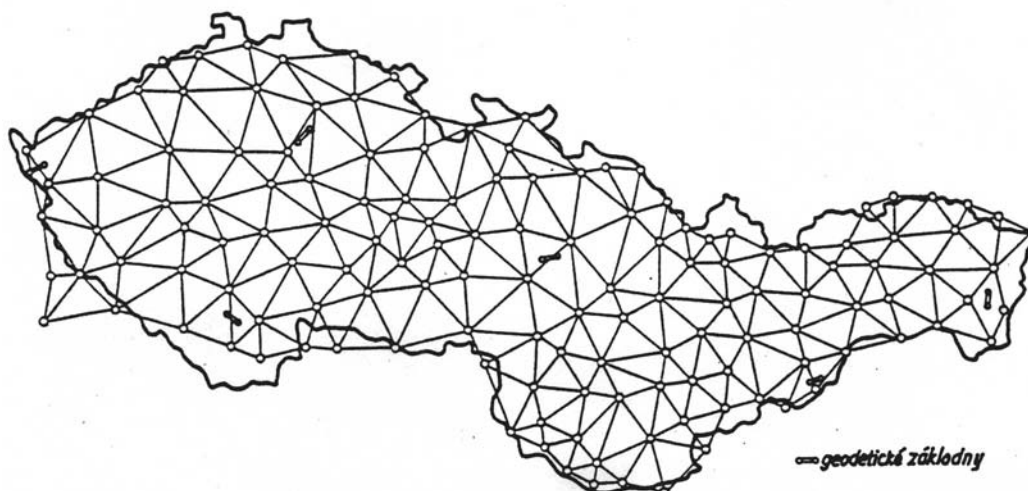
Polohopisné základy tvoří polohová bodová pole:

- základní polohové bodové pole (ZPBP)
- podrobné polohové bodové pole (PPBP)

Základní polohové bodové pole ZPBP tvoří body různých základních polohových sítí, vytvořených na území našeho státu v různých časových údobích. Jedná se o:

- body referenční sítě nultého řádu
- body Astronomicko – geodetické sítě (AGS)
- body České státní trigonometrické sítě (ČSTS) I. – V. řádu
- body geodynamické sítě – tyto body patří k nejnověji vytvořeným. Jsou určeny na základě přesných měření pomocí umělých družic Země (UDZ) metodou Globálního polohového systému (GPS).

**Základní střední souřadnicová chyba u všech bodů ZPBP  $m_{y,x} = 0,015m$**

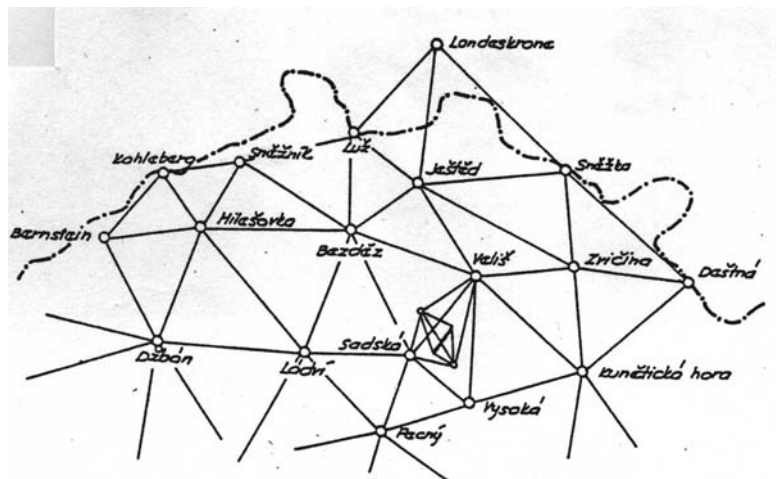


Československá astronomicko-geodetická síť (AGS)

Obr. 5.1

Na obr. 5.1 je patrné rozložení bodů Astronomicko – geodetické sítě (AGS) na území bývalého Československa. Délky stran trojúhelníků byly mezi 30 – 50 km. Tehdy AGS obsahovala 144 bodů, které tvořily 227 trojúhelníků. Body byly stabilizovány na kopcích a vyvýšených místech, aby byla zajištěna viditelnost mezi sebou. V síti byly změřeny všechny vodorovné úhly (prováděla se tzv. triangulace). Rozměr sítě se určil pomocí šesti geodetických základen rozložených na celém území (viz obr. 5.1). Astronomická orientace, určení zeměpisných souřadnic  $\varphi$  a  $\lambda$ , byla prováděna na 11 bodech tzv. Laplaceových. Triangulace byla metoda vyvinutá v době, kdy bylo snazší, rychlejší a přesnější měřit v trojúhelníkové síti vrcholové úhly než délky stran. Délky stran se získaly postupným výpočtem z jednotlivých trojúhelníků. Bylo však nutno určit minimálně jednu délku strany v trigonometrické síti. Pro území Československa bylo určeno šest délek stran, kvůli kontrole a zpřesnění výpočtů. Každá délka strany byla určena nepřímo pomocí geodetické základny zvolené v rovinném území v blízkosti této strany.

Geodetická základna byla měřena přímo invarovými dráty s přesností  $1 : 10^6$ , tj. 1 mm na km. Rozvinutí geodetické základny do blízké strany trigonometrické sítě proběhlo přes tzv. rhombické obrazce (viz obr. 5.2, kde je patrná geodetická základna u Sadské), opět proměřováním vrcholových úhlů v těchto obrazcích a následným výpočtem.

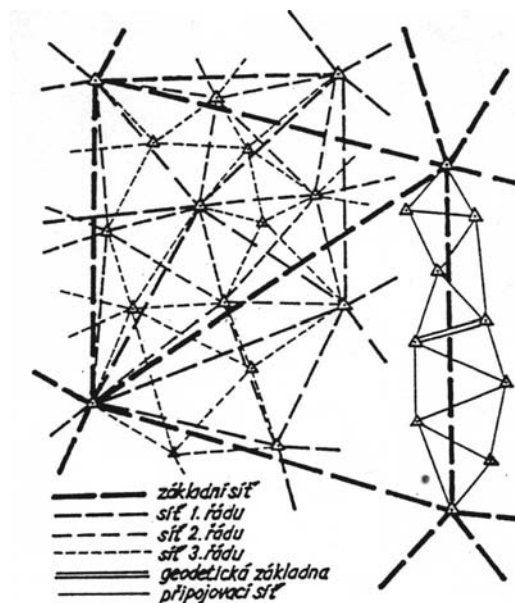


Detail astronomicko-geodetické sítě (AGS)

Obr. 5.2

Vysoká přesnost určení geodetické základny byla nutná z toho důvodu, že se zde při určení strany sítě porušovala základní geodetická podmínka – postupovat z velkého do malého.

AGS se dále zhušťovala body České státní trigonometrické sítě (ČSTS) I.-V. řádu (viz obr. 5.3).



Ukázka tvorby trigonometrické sítě I. – III. řádu

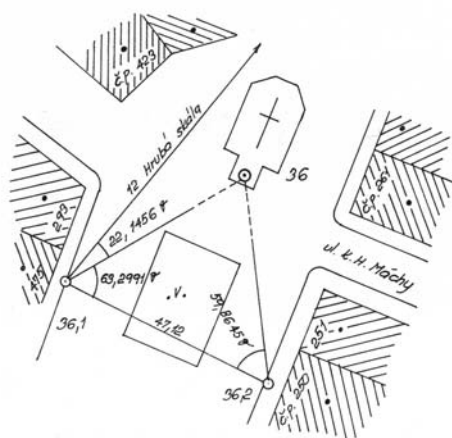
Obr. 5.3

Délky stran trojúhelníků v ČSTS I. řádu se pohybovaly kolem 25 km, délky stran u ČSTS V. řádu byly mezi 1,5 – 2 km.

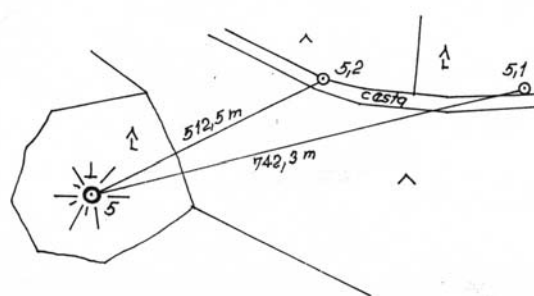
Byla tak vytvořena hustá plošná síť, mající geometrickou návaznost. Je označena Jednotná trigonometrická síť katastrální. Souřadnicový systém, který byl vytvořen se nazývá S – JTSK a je celostátním pravoúhlým souřadnicovým systémem ČR.

Mezi body ZPBP patří též **body přidružené** k trigonometrickým bodům. Jsou to body zajišťovací a orientační. Oba dva druhy přidružených bodů mají měřický vztah vždy k určitému trigonometrickému bodu.

**Zajišťovací body** jsou voleny u trigonometrických bodů s trvalou signalizací (např. věž kostela), kde se nelze centricky postavit na takový bod. Zajišťovací body (zpravidla 2) se v takovém případě zastabilizují v bezprostřední blízkosti takového trigonometrického bodu (viz obr. 5.4) a určí se jejich souřadnice, aby se umožnilo snadnější připojení návazných sítí PBPP.



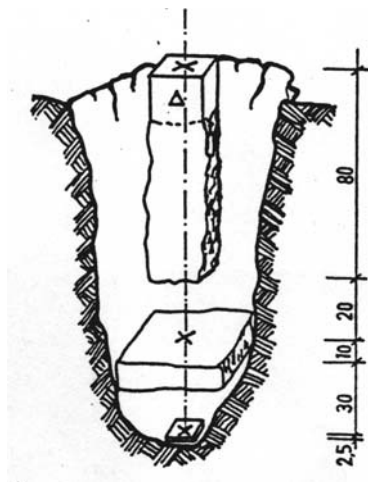
Obr. 5.4



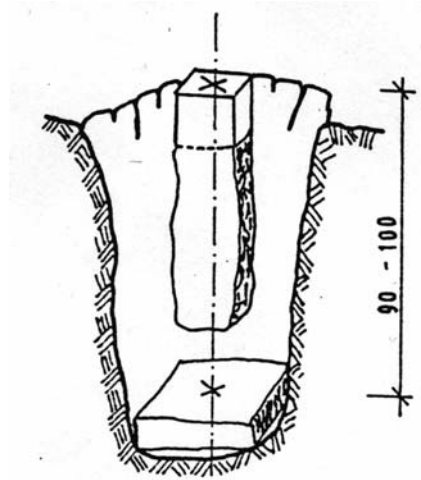
Obr. 5.5

**Orientační body** bývají opět dva a jsou zřizovány u některých trigonometrických bodů, kde je pravděpodobné, že se v průběhu delší doby znemožní orientace na sousední trigonometrické body růstem okolní vegetace. Od „mateřského“ trigonometrického bodu jsou vzdáleny 80 – 1000 m (viz obr. 5.5) s ohledem na místní podmínky a často nejsou určeny jejich pravouhlé souřadnice, ale pouze směrníky (úhlové hodnoty), získané astronomickým měřením na trigonometrickém bodě. Opět slouží pro snadnější připojování návazných sítí PBPP.

Stabilizace bodů ZPBP se v převážné většině případů prováděla pomocí žulového kamene s vytesaným křížkem ve směru úhlopříček na jeho horní straně. Tento žulový mezník byl doplněn dvěma podzemními značkami (žulová deska a skleněná destička), umístěnými přesně ve svislici (viz obr.5.6).



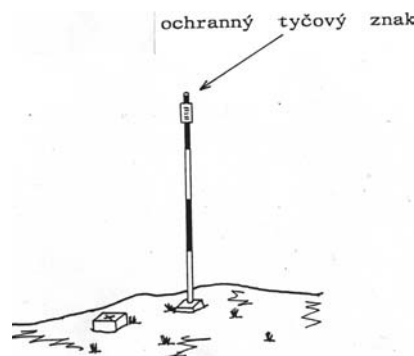
Obr. 5.6



Obr. 5.7

Podzemních značek se užívalo při zničení nadzemní značky. Body přidružené a též body zhušťovací (patřící již do PPBP) byly stabilizovány obdobně jen s tím rozdílem, že žulový mezník byl menší a podzemní značka byla jen jedna (viz obr. 5.7).

Ochranou před zničením bodů ZPBP a bodů přidružených byl ochranný tyčový znak (OTZ). Tento znak tvořila červenobíle natřená železná tyč v betonové patce (u bodů přidružených černobíle natřená) se smaltovanou tabulkou s nápisem „Státní triangulace, poškození se trestá“. V případě většího nebezpečí zničení bodu, např. uprostřed pole byly tyto OTZ dva. Vzdálenost OTZ od žulového mezníku byla 0,75 m a tabulka s nápisem směřovala k mezníku (viz obr. 5.8).



Obr. 5.8

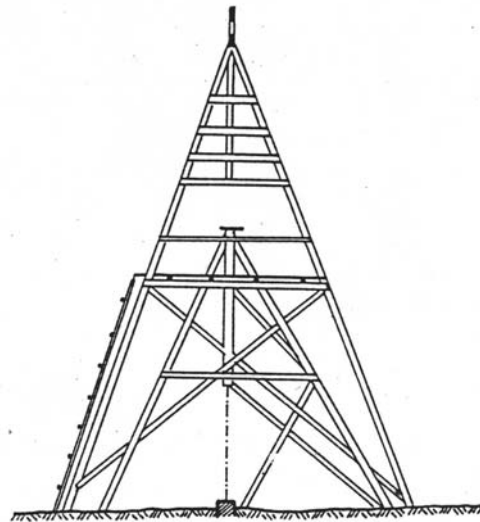
OTZ slouží též jako orientace při vyhledání bodu často zakrytého bujnou vegetací. V lesích a nepřístupných terénech někdy OTZ nahrazovaly tzv. ochranné kopce nebo kamenné valy.

Signalizovat body ZPBP a body přidružené můžeme nejjednodušeji přechodně pomocí svislé výtyčky ve stojánku (viz obr. 5.9).



Přechodná signalizace výtyčkou

Obr. 5.9



Trvalá signalizace měřickou věží

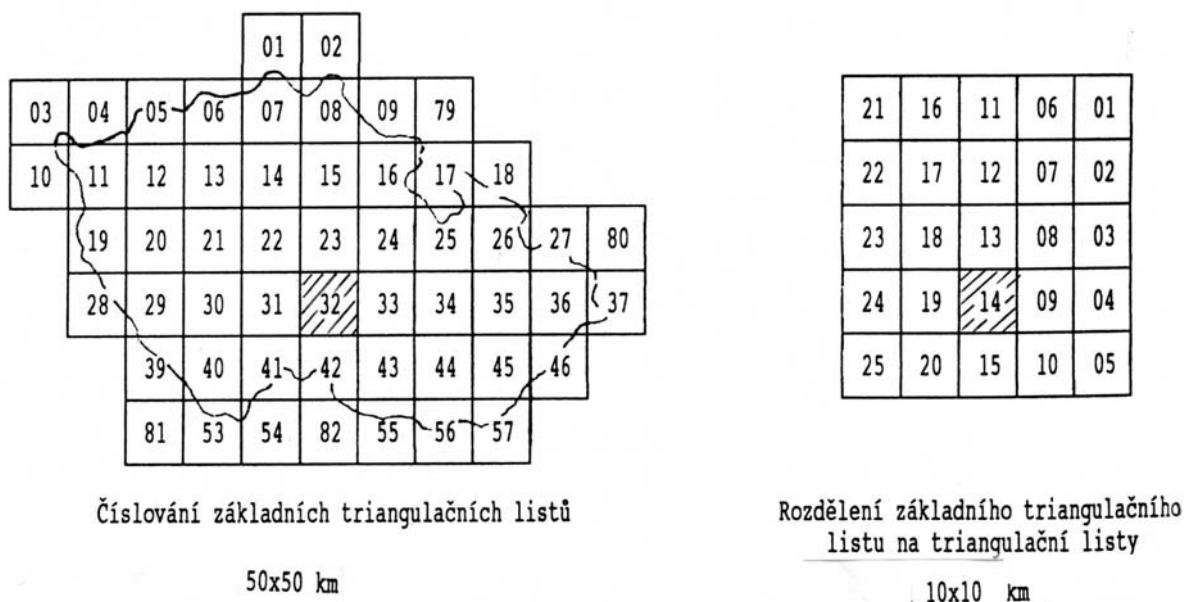
Obr. 5.10

Často používaná je i přechodná signalizace pomocí speciálního terče v trojnožce teodolitu na stativu. V případě, že je třeba vyšší signál nad bodem použijeme kovové trubkové konstrukce, která se nazývá hypertrip. Mezi trvalé signalizace potom patří dřevěné pyramidy a dřevěné měřické věže (viz obr. 5.10). Tyto věže se již v současné době nevyužívají a jen v některých lokalitách ještě stojí a chátrají. Jak je patrné z obrázku, měřickou věž tvoří dvě na sobě nezávislé konstrukce. Jednu tvoří opěry pro vlastní signální (bíločernou) tyč a zároveň na sobě nese žebříky a podlážku ke zvýšenému postavení teodolitu. Druhá nižší konstrukce uvnitř první nese vlastní observační stolek pod teodolit. Tyto dvě konstrukce nejsou propojeny, kvůli otřesům a chvění. V ideálním případě by měla signální tyč, střed observačního stolku a střed bodu ZPBP být v jedné svislici. Často tomu tak bohužel není a je potom třeba měřit tzv. centrační prvky a naměřené úhlové hodnoty pomocí těchto prvků opravit.

Pozn.: V případě, že někde v přírodě narazíte na podobnou dřevěnou stavbu, vyvarujte se výstupu na ní. Za několik desítek let od svého vzniku je již pravděpodobně shnilá a může dojít k jejímu zřícení.

Číslování bodů ZPBP se provádí vždy v rámci triangulačního listu – evidenční jednotky od 1 do 199. Tento triangulační list má rozměr 10 x 10 km a jeho číslování je patrné z obr. 5.11.

## Číslování trigonometrických bodů



Příklad odvození čísla evidenční jednotky 3214

Obr. 5.11

Vychází se z tzv. základního triangulačního listu 50 x 50km, který dělíme na 5 sloupců a 5 vrstev. Nomenklatura evidenční jednotky tvoří vždy čtyřčísli. První dvojčíslí je číslo základního triangulačního listu a druhé dvojčíslí je dvojčíslí triangulačního listu v rámci základního triangulačního listu, tvořícího první dvojčíslí. Každý bod ZPBP má své číslo a název podle pomístního názvosloví. Body přidružené se označují číslem bodu základního, ke kterému jsou přidružené a číslem 1 nebo 2 za desetinou tečkou (12.1 U záhybu).

Podle Návodu pro obnovu katastrálního operátu, který vydal ČÚZK v roce 1997 je třeba takové číslo doplnit na úplné dvanáctimístné následovně: nejprve zapíšeme 0009, dále napíšeme číslo evidenční jednotky, potom třímístné číslo bodu a zakončíme nulou. Číslo bodu přidruženého bude mít na konci místo nuly své pořadové číslo. Například úplné dvanáctimístné číslo trigonometrického bodu 12 v evidenční jednotce 3214 bude 000932140120 a jeho přidruženého bodu 12.1 bude 000932140121.

Dokumentace bodů ZPBP je k dispozici za úplatu na Zeměměřickém úřadě v Praze (ZÚ, Praha 8, Pod sídlištěm 9) v triangulační dokumentaci, nebo v technické dokumentaci místně příslušného katastrálního úřadu. Zde jsou tyto body zaneseny v přehledných mapách a pro každý bod jsou založeny Geodetické údaje, které tvoří list formátu A4 (viz příl. 5.1).

Každý z geodetických údajů obsahují kompletní informace o bodě ZPBP i o jeho bodech přidružených. Především číslo a název bodu a jeho souřadnice y, x, z. Dále jeho místopis a slovní popis místa, kde se nachází. Informace o tom kdo, kdy a jak ho stabilizoval, jaké má ochranné znaky a kolik má přidružených bodů včetně údajů o nich.

Podrobné polohové bodové pole (PPBP) doplňuje ZPBP na hustotu nutnou pro vyhotovování map velkých měřítek, pro účelová mapování, vytyčovací práce a jiné technické účely. Body PPBP nemají jednotnou přesnost jako body ZPBP, ale mají 5 tříd přesnosti.

třída přesnosti	střední souřadnicová chyba
1.	0,02 m
2.	0,04 m
3.	0,06 m
4.	0,12 m
5.	0,20 m

Body PPBP dělíme též podle metod určení na body zhušťovací, polygonové, měřické a fotogrammetrické.

Body zhušťovací mají 1. třídu přesnosti, jsou určovány převážně úhlovým či délkovým protínáním a trojúhelníkovými řetězci. Stabilizace a jejich ochrana probíhá obdobně jako u bodů ZPBP (viz obr. 5.7 a obr. 5.8). Číslování je opět v rámci evidenčních jednotek (triangulačních listů) čísla od 201 do 499. Úplné dvanáctimístné číslo získáme podle stejných pravidel jako u bodů ZPBP. Často byly jako zhušťovací body voleny trvalé signály (věže kostelů, osy komínů apod.), u takových byly zřizovány i body zajišťovací.

Body polygonové mají rozdílnou přesnost. Od 1. do 3. třídy přesnosti. Tyto body, jak již z názvu vyplývá bývají určovány převážně polygonovými pořady různých typů.

Body měřické mají 4. třídu přesnosti a jejich určení bývá rozlišné. Mohou to být body na měřických přímkách, body vedlejších polygonových pořadů, rajony apod.

Body fotogrammetrické mají 5. třídu přesnosti a jsou určeny měřením na leteckých snímcích.

Stabilizace polygonových bodů může být buď trvalá nebo dočasná. Mezi dočasnou stabilizaci řadíme dřevěný kolík, železnou trubku či nastřelovací hřeb. Trvale stabilizované body se nazývají Pevné body podrobného pole (PBPP) a možností trvalých stabilizací je celá řada, žulový mezník s úhlopříčným křížkem, mezník z umělé hmoty, obetonovaná trubka, vytesaný křížek na skále, kovové konzole na budovách (poloha stanoviska se určuje pomocí pevných ramen promítnutých na terén), roh domu apod.

Stabilizace u měřických a fotogrammetrických bodů bývá zpravidla dočasná.

Číslování bodů podrobného polohového pole, vyjma bodů zhušťovacích se provádí vždy v rámci katastrálního území (KÚ). Používají se čísla 501 – 3999. Úplné dvanáctimístné číslo bodu PPBP má následující tvar PPP00000CCCC, kde PPP je číslo katastrálního území v okrese, CCCC je číslo bodu PPBP. Například bod číslo 501 v katastrálním území 159 má úplné číslo 159000000501.

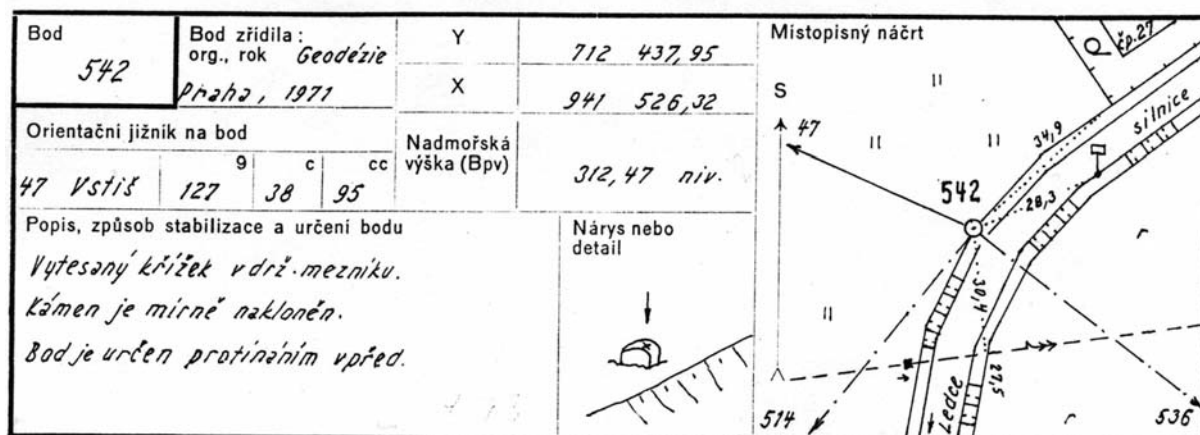
Geodetické údaje o PBPP (pevných bodech podrobného pole) nejsou tak rozsáhlé jako u bodů ZPBP a na stranu formátu A4 se vejdu zpravidla čtyři. Opět obsahují všechny závažné informace o bodu (viz obr. 5.12). Získat je lze opět za úplaty pouze na odděleních technické dokumentace příslušného katastrálního úřadu.

Kat. území *Smečno*

Obec *Ledce*

Str. *1*

## GEODETICKÉ ÚDAJE O PBPP



Obr. 5.12

### 5.2 Výškopisné základy

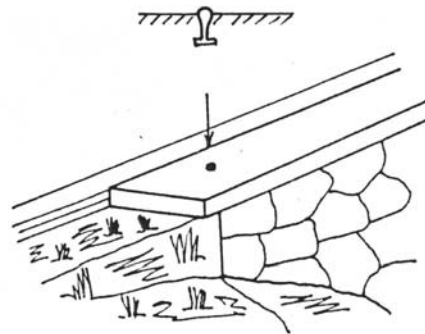
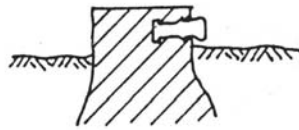
Výškopisné základy tvoří výšková bodová pole:

- základní výškové bodové pole (ZVBP)
- podrobné výškové bodové pole (PVBP)

Základní výškové bodové pole tvoří 11 základních nivelačních bodů, dále body základní nivelační sítě I. řádu a body nivelačních sítí II. a III. řádu. Výšky bodů základního výškového bodového pole, vyjma nivelačních bodů III.řádu se určují metodou velmi přesné nivelace (VPN) a s přesností na 1 desetinu milimetru. Nivelační body III. řádu metodou přesné nivelace(PN) s přesností na 1mm.

Podrobné výškové bodové pole tvoří body nivelační sítě IV.řádu, body plošných nivelačních sítí (PNS), dále stabilizované body technické nivelace a výškové indikační body. Nivelační body IV. řádu a body PNS se určují metodou přesné nivelace (PN) s přesností na 1 mm. Stabilizované body technické nivelace se určují metodou technické nivelace s přesností na 1 cm. Výškové indikační body je zvláštní kategorie bodů, sloužící ke sledování vertikálních posunů v poddolovaných územích, na velkých stavbách apod. Určeny jsou metodou PN nebo VPN s odpovídající přesností těchto metod.

Stabilizace nivelačních bodů nivelační sítě I. až IV.řádu a nivelačních bodů PNS je zpravidla prováděna na stavebních objektech trvalého charakteru, na skalách i ve volném terénu pomocí nivelačních značek. Máme dva druhy nivelačních značek čepovou a hřebovou (viz obr. 5.13) z nekorodujícího materiálu (temperované litiny nebo mosazi).



Čepové nivelační značky

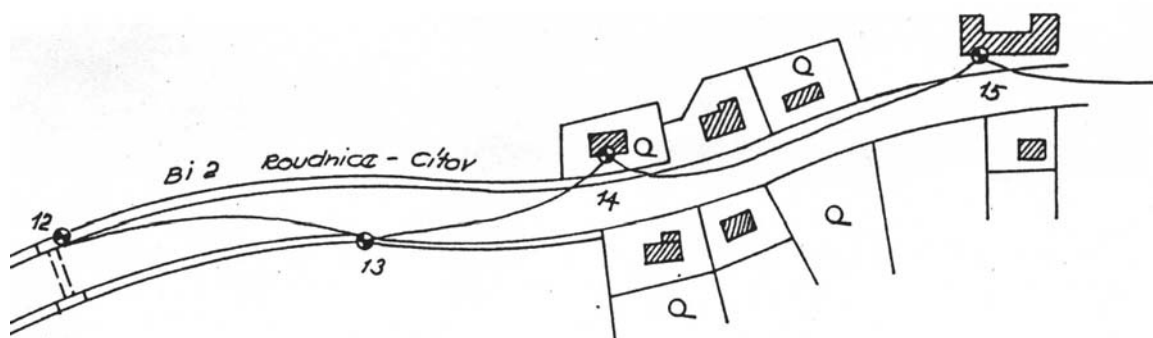
Hřebová nivelační značka

Obr. 5.13

Výška se vždy vztahuje k nejvyššímu místu (vrchlíku) značky. Čepové nivelační značky se stabilizují zabetonováním do budov z boku nebo do nivelačních žulových mezníků z boku. Nivelační značky se zásadně neumísťují do novostaveb. Nivelační mezník musí být v zemi zabetonován. Hřebové nivelační značky se umísťují shora do betonových čel propustků nebo do nivelačních kamenů. Při volbě objektů pro umístění nivelačních značek je rozhodující jeho stabilita. V místech, kde je možno využít přirozené stabilizace (vyhlazená plocha na skále) přednostně ji použijeme.

Ochrana nivelačních značek spočívá v umístění výstražné bílé smaltované tabulky s nápisem „Státní nivelace, poškození se trestá“ (u bodů I.-III. řádu) nebo „Podrobné nivelace, poškození se trestá“ (u bodů IV. řádu a PNS). Tabulka se umísťuje nad nivelační bod do úrovně očí. Na budovách je zabetonována přímo na budově u nivelačních mezníků se umísťuje na červenobílou železnou tyč (ochranný tyčový znak). U stabilizovaných bodů technické nivelace je výška vztažena k hlavě žulového nebo umělohmotného mezníku, k vrcholu obetonované trubky apod.

Číslování nivelačních bodů I – IV.řádu se provádí od 1 průběžně, vždy v rámci příslušného nivelačního pořadu (viz obr. 5.14).



Ukázka části nivelačního pořadu ČSNS III. řádu Bi2 Roudnice-Cítov

Obr. 5.14

**Proto je třeba za číslo nivelačního bodu uvádět vždy i označení příslušného pořadu.**

U nivelačních bodů PNS se číslování provádí opět od 1 průběžně v rámci příslušné lokality, ve které je plošná nivelační síť budována. Za číslo takového nivelačního bodu je třeba uvést název příslušné lokality.

Dokumentace bodů ZVBP je k dispozici za úplatu na Zeměměřickém úřadě v Praze (ZÚ, Praha 8, pod sídlištěm 9) v nivelační dokumentaci, nebo technické dokumentaci místně příslušného katastrálního úřadu. Zde jsou tyto body zaneseny v přehledných mapách a pro každý bod založeny Nivelační údaje, které tvoří list formátu A4 (viz příl. 5.2).

Každý z nivelačních údajů obsahuje kompletní informace o bodě ZVBP. Především jeho číslo, označení nivelačního pořadu, ve kterém je zapojen a jeho nadmořskou výšku. Dále jeho místopis a slovní popis místa, kde se nachází. Informace o tom kdo, kdy a jak jej stabilizoval a zaměřil atd. Body PVBP nalezneme pouze v technické dokumentaci příslušného katastrálního úřadu. Neexistuje zde centrální evidence. U bodu nivelačních sítí IV. řádu a PNS jsou to opět Nivelační údaje. U ostatních bodů PVBP nejsou zakládány samostatné Nivelační údaje a jejich získání hodně závisí na ochotě pracovníků technické dokumentace katastrálních úřadů.

### 5.3 Historie výškopisných základů

Počátky budování výškových bodových polí na území ČR spadají do druhé poloviny 19. století. Tehdy byla naše republika součástí Rakouska – Uherska. Z této doby pochází soubor měření Vojenského zeměpisného ústavu ve Vídni. Za základ byla zvolena vybroušená ploška na skále představující střední hladinu Jaderského moře (Molo Sartorio v Terstu). Za základní nivelační bod pro naše území byl zvolen bod Lišov u Českých Budějovic. Krátce po vzniku Československé republiky roku 1920 bylo zřízeno oddělení Nivelační služby při Ministerstvu veřejných prací a vznikl termín Československá jednotná nivelační síť (ČSJNS), která zahrnovala všechny již určené nivelační body a byla dále dobudována až v roce 1944 měla téměř 40 000 bodů, v roce 1957 již měla více než 70 000 bodů.

V době II. světové války byl na krátký čas změněn výškový systém a ze systému ČSJNS/Jadran byly výšky udávány v systému N.N. (Normal Null), a vztaheny k základnímu bodu v Amsterdamu.

Po II. světové válce začal postupný přechod na systém vztahený ke střední hladině Baltického moře (ve vojenském přístavu Kronštat). Vzhledem ke komplikovaným vztahům mezi původním jaderským a novým baltským systémem vzniklo v průběhu let hned několik systémů. Nejprve „Výškový systém baltský – 68“, kdy se od výšek v systému Jadran odečítalo 68 cm. Později „Výškový systém baltský – 46“, kdy se od výšek v systému Jadran odečítalo 46 cm.

Po mezinárodním vyrovnání nivelačních sítí vznikl konečně výškový systém Balt po vyrovnání (Bpv), ve kterém není jednotný rozdíl mezi výškami jednotlivých nivelačních bodů. V důsledku tíhových oprav se rozdíl nepatrně liší případ od případu. Převod mezi oběma systémy je tedy pouze přibližný

$$Bpv \cong \text{Jadran} - 40 \text{ cm}$$

**Od 1.1. 2000 je pro veškerá výšková měření přípustný pouze systém Bpv.**

Pozn.: V některých výjimečných případech mohou být některé body určeny v místním výškovém systému. Výšky jsou vztaheny k jednomu výchozímu bodu. Je však třeba zvolit výšku výchozího bodu tak, aby nemohlo dojít k záměně se systémem Bpv.

## 6 MĚŘICKÉ SÍTĚ

V předchozí kapitole bylo pojednáno o geodetických základech, které byly v průběhu mnoha desítek let vybudovány na území našeho státu. Přesto, že polohopisných i výškopisných bodů tvořících tyto základy je zde poměrně hodně, nastane velmi často situace, že jejich hustota nedostačuje pro konkrétní mapovací práce. Nezbyvá tedy než stávající bodová pole zhuštit. Toto zhuštění se provádí pomocí měřických sítí.

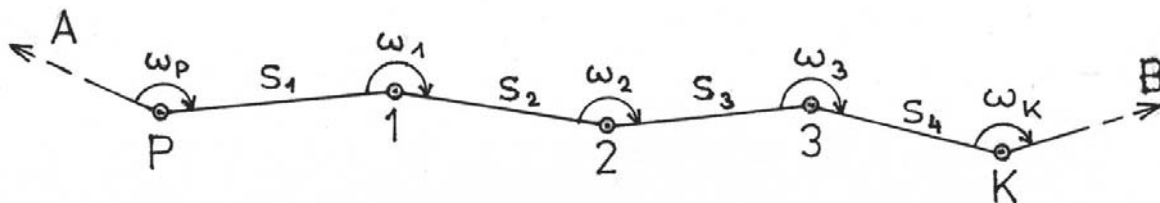
### 6.1 Polohové sítě

Tyto sítě vytváříme proto, abychom jejich pomocí doplnili polohopisné základy nacházející se v dané lokalitě. Nejprve je proto třeba získat všechny geodetické údaje o polohopisných geodetických bodech v této lokalitě na patřičných institucích (viz kap. 5.1).

V terénu je třeba provést rekognoskaci (průzkum) těchto bodů, při čemž je třeba počítat s možností, že mnohé z polohopisných bodů získaných v dokumentaci nebudou nalezeny. Příčinou bývají nové povrchy vozovek a chodníků, vandalové, orba apod.

Na základě výsledků rekognoskace stávajících bodů a vlastního zájmového území se rozhodneme pro způsob, jakým stávající body doplnit a zhuštit. Metody zhuštění bodového pole je celá řada a volba závisí na mnoha různých faktorech jako jsou: konfigurace terénu, použité měřické přístroje a pomůcky, přesnost nových polohových bodů apod.

Nejčastější metodou zhuštění je metoda polygonových pořadů. Princip této metody spočívá v určování nových polohových bodů pomocí polárních prvků, kdy z výchozího známého bodu P (viz obr. 6.1) zaměříme levostranný vodorovný úhel  $\omega_P$  a změříme



Obr. 6.1

vodorovnou vzdálenost  $s_1$  k novému bodu 1. Měření pokračuje na bodě 1 na další neznámý bod 2 opět změřením levostranného vodorovného úhlu  $\omega_1$  a vodorovné délky  $s_2$  k dalšímu neznámému bodu 3. Tímto způsobem můžeme zaměřit  $n$  nových bodů a celé měření zakončit na známém bodě K. Vzhledem k tomu, že známé body P a K máme určeny v pravouhlé souřadné soustavě, je třeba provést výpočet souřadnic  $y, x$  nových bodů též v této pravouhlé souřadné soustavě. Problematika vlastního výpočtu je obsahem kapitoly 9.2.5. Vlastní polygonové pořady rozdělujeme podle několika hledisek.

- Podle způsobu výpočtu na
- 1) oboustranně připojené a orientované  
(viz obr. 6.1), u tohoto případu je třeba změřit levostranné vrcholové úhly  $\omega_P$  a  $\omega_K$  na bodech P a K ke známým bodům A a B.
  - 2) oboustranně připojené a orientované na počátku  
tento případ nastane, když není na konci pořadu k dispozici bod B, a tudíž není možno změřit  $\omega_K$ .
  - 3) oboustranně připojené a neorientované (vetknuté)

v tomto případě není k dispozici bod A ani bod B, a tudíž chybí levostranné vrcholové úhly  $\omega_P$  a  $\omega_K$ .

4) jednostranně připojené a orientované (volné)

zde známe pouze bod P a bod A. Bod K ani B nejsou k dispozici.

5) uzavřené

zde bod P splývá s bodem K, je však třeba znát ještě bod A.

Z hlediska kvality a možnosti kontrol je nejlépe použít variantu 1). Variantu 4) není pro nemožnost výpočetní ani měřické kontroly dobré používat. V případě nouze lze použít pořad maximálně o třech stranách. Volný polygonový pořad o jedné straně se nazývá rajon.

Podle délky stran polygonového pořadu je dělíme na pořady:

- s dlouhými stranami (300 – 1500 m)
- s krátkými stranami (60 – 300 m), výjimečně 50 m

Polygonové pořady s dlouhými stranami předpokládají pro měření délek použití elektronických dálkoměrů.

Podle kvality výchozích a koncových bodů dělíme polygonové pořady na :

- hlavní – vychází a končí na bodech ZPBP nebo na bodech PPBP přesnosti alespoň o třídu vyšší než jsou určované body.
- vedlejší – vychází a končí na bodech minimálně stejné třídy jako jsou určované body.

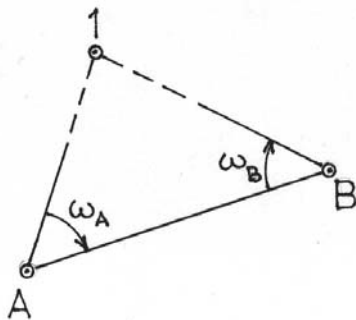
Z uvedeného rozdělení vyplývá, že nelze získat touto metodou vyšší přesnost nových bodů, než je přesnost bodů výchozích, jejichž kvalita je limitující.

Při volbě nových bodů zaměřovaných metodou polygonových pořadů je třeba dodržovat alespoň rámcově určitá kritéria, nazývaná geometrickými parametry polygonových pořadů:

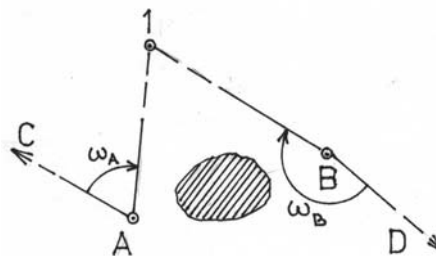
- mezní délku strany (zpravidla 300m)
- mezní poměr délek stran pořadu (zpravidla 1:3)
- mezní poměr délek sousedních stran (zpravidla 1: 2)
- maximální vybočení pořadu (součet délek pořadu by neměl překročit 1,5 násobek délky  $s_{PK}$ )
- maximální odklon strany od spojnice  $s_{PK}$  ( $50^{\circ} - 60^{\circ}$ )
- maximální součet délek stran pořadu
  - u hlavních pořadů 2 000 – 2 500 m
  - u vedlejších pořadů 1 200 – 1 600 m
- maximální počet vrcholů (17 – 25)

Obecně lze napsat, že čím máme vyšší nároky na přesnost nově určených bodů touto metodou, tím budou geometrické parametry přísnější a naopak. Podle toho též volíme přístroje a pomůcky pro zaměřování polygonových pořadů. Pro měření délek v současnosti volíme mezi elektronickým dálkoměrem nebo přímým měřením pásmem. Měření nitkovým dálkoměrem zpravidla nevyhovuje pro svojí nízkou přesnost. Vrcholové úhly měříme přesnými teodolity minimálně v jedné skupině. V současnosti je ideální použít geodetickou totální stanici.

V případě absence elektronického dálkoměru, a tam kde měření pásmem je obtížné či nemožné (např. přes rybník) je možné zvolit jinou metodu určení nových bodů, jako je např. protínání z úhlů (obr. 6.2) nebo protínání z orientovaných směrů (obr. 6.3).



Obr. 6.2



Obr. 6.3

Při protínání z úhlů je třeba zaměřit vodorovné úhly  $\omega_A$  a  $\omega_B$  na známých bodech A a B směřující k určovanému bodu 1. Odvození pravoúhlých souřadnic určovaného bodu 1, viz kapitola 9.2.3.

Při protínání z orientovaných směrů je situace obdobná jako u předchozího případu jen není přímá viditelnost mezi známými body A a B. Vodorovné úhly  $\omega_A$  a  $\omega_B$  v tomto případě měříme od jiných známých bodů C a D k určovanému bodu 1. Odvození pravoúhlých souřadnic určovaného bodu 1, viz kapitola 9.2.3.

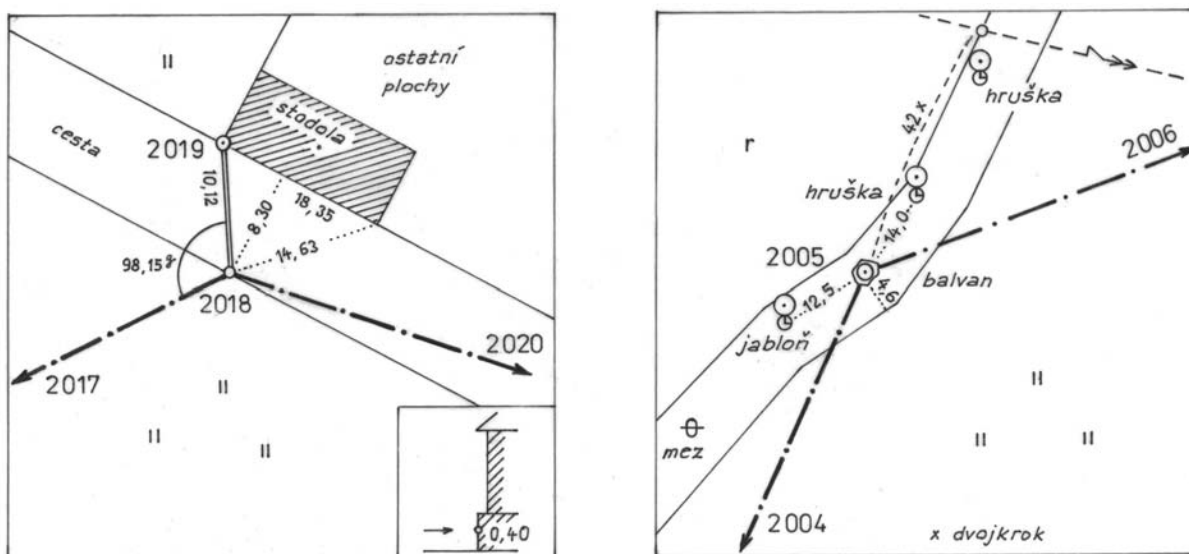
Měření u těchto dvou metod opět probíhá přesným teodolitem minimálně v jedné skupině. Je třeba dbát na to, aby protínací úhel na bodě 1 nebyl příliš ostrý či tupý ( $30^\circ - 170^\circ$ ), což by zhoršilo přesnost určení souřadnic bodu 1.

Měřické polohové sítě lze též budovat pomocí trojúhelníkových řetězců, protínáním z délek (trilaterací) či pomocí protínání zpět.

S ohledem na zvolenou metodu zhuštění stávajícího bodového pole, konfiguraci terénu a rozsah mapovacích prací provedeme nejprve vytyčení nových polohových bodů. U obtížnějších terénů provádíme vytyčení nejprve zkusmo, u jednoduchých je možno provádět vytyčení a následnou stabilizaci definitivně. Je třeba dodržet následujících několik zásad pro volbu nových polohových bodů:

- a) mezi body musí být dobrá viditelnost (větve a křoví je třeba odstranit, v lesích dát pozor na zákryt se kmenem stromu, je třeba používat výtyčky).
- b) body je třeba umístit na chráněná místa, kde nejsou ohroženy dopravou, orbou, těžbou, následnými zemními pracemi apod.
- c) okolo zvoleného bodu musí být prostor pro obsluhu teodolitu či totální stanice.
- d) nově zvolený bod musí být zvolen na pevném podloží, které umožní pevné postavení přístroje (nevolit body v bažinách či na nezhutněných výsypkách).
- e) v okolí nového bodu by se měly nalézat pevné předměty (rohy domů, lampy, šachty apod.), od kterých je možno vyhotovit místopis bodu.
- f) ze zvoleného bodu by měl být rozhled do širokého okolí (je třeba dbát na to, aby nebyl v těsné blízkosti stromu či domu, který zakrývá zájmový prostor).
- g) po trvalé stabilizaci (šroubovací mezník, železná trubka apod.) nebo po dočasné stabilizaci (dřevěný kolík) je třeba bod obarvit vodou nesmytelnou barvou (zpravidla červenou) a vyhotovit ihned místopis (viz obr. 6.4). Od pevných okolních předmětů vzdálených maximálně 30 m oměřit křížovými nebo ortogonálními měřeními

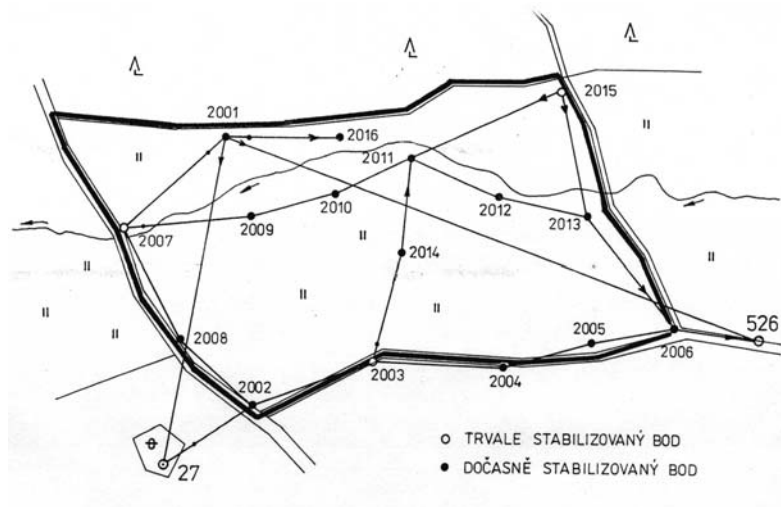
polohu nového bodu. Místa okolních předmětů, od kterých bylo měření prováděno též označit barvou (tečka max. velikosti pomeranče).



Obr. 6.4

h) v případě nutnosti umístění nového bodu do prostoru ohrožení, je třeba alespoň se pokusit bod ochránit (lavičkou, kulem apod.)

Zároveň s místopisy je třeba vyhotovit Přehled měřické sítě a nové body očíslovat. Měřítko Přehledu měřické sítě bývá 1 : 5 000 nebo 1 : 2 000. Číslování nových bodů měřické sítě provádíme úplným dvanáctimístným číslem v rámci katastrálního území podle Návodu pro obnovu katastrálního operátu, který vydal ČÚZK v roce 1997. To v případě, že měření budeme předávat katastrálnímu úřadu. V ostatních případech postačí nové vzniklé body číslovat od čísla 2001 uceleně v rámci zakázky. Postup číslování by měl odpovídat postupu výpočtu. Nejprve číslovat body hlavních polygonových pořadů, dále body určené protínáním, trojúhelníkovými řetězci a potom body vedlejších polygonových pořadů a rajony. Příklad Přehledu měřické sítě viz obr. 6.5.



Obr. 6.5

## 6.2 Výškové sítě

Tyto sítě slouží ke zhuštění stávajících výškopisných základů. Jak bodů ZVBP tak PVBP v zájmovém území. Stejně jako u polohových sítí i zde je třeba nejprve v dokumentaci příslušných úřadů (viz kapitola 5.2) vyhledat Nivelační údaje všech stávajících bodů ZVBP a PVBP. Po následné rekognoskaci v terénu zjistit skutečný stav těchto bodů a v případě, že pro další práce je třeba provést jejich zhuštění, zvolit v optimálních místech nové nivelační body, provést jejich stabilizaci a následné určení jejich nadmořských výšek.

Vzdálenost mezi nivelačními body by neměla překročit 500 – 700 m. Ideální stabilizací je buď čepová, nebo hřbová litinová nivelační značka zabetonovaná do budovy či stavby (např. do betonového čela propustku). Možno je využít i jiné stabilizace (staré mezníky, ocelový trn ve skále, zabetonovaný čep, výstupky na balvanech apod.). Vždy je třeba, aby nový výškový bod měl jednoznačnou výšku a byl obarven nesmytelnou barvou. Body těchto sítí určujeme zpravidla metodou technické nivelace viz kapitola 4.3. Výškové body zapojíme do nivelačních pořadů, a číslováme od 1 v rámci jedné zakázky. Celé měření připojíme na stávající ověřené body ZVBP a PVBP.

Pro každý výškový bod je nutno vyhotovit místopis.

## 6.3 Kombinované sítě

Pod tímto pojmem rozumíme takové body polohové měřické sítě, u kterých je určena též nadmořská výška. V technické praxi je takových sítí většina, protože jejich využití pro měření je univerzální.

Pro určení nadmořských výšek lze využít dvou metod:

- a) technická nivelace – tato metoda je vhodná pokud máme již z předchozího měření určeny polohové souřadnice  $y$ ,  $x$  bodů sítě. Nadmořské výšky lze takto určit s relativní přesností 5 mm.
- b) trigonometricky – touto metodou lze s výhodou určovat jednotlivá převýšení mezi novými body zároveň s jejich polohou, pokud máme k dispozici moderní geodetický přístroj – totální stanici. Metoda představuje velikou ekonomickou úsporu a v případě, že měříme na milimetry výšku přístroje a signálu, je přesnost takto určené nadmořské výšky srovnatelná s metodou technické nivelace. Nové body, které chceme určit též výškově zapojíme do tzv. výškového pořadu. Na počátku a konci takového pořadu musí být bod o známé nadmořské výšce. Na mezilehlých bodech měříme totální stanicí převýšení. Vždy dvakrát, tam a zpět. Měření tam a zpět průměrujeme. Získáme převýšení dané (rozdíl nadmořské výšky počátečního a koncového bodu). Převýšení naměřené představuje sumu všech dílčích zprůměrovaných převýšení. Rozdíl těchto dvou převýšení  $o_h$  porovnáme s mezní odchylkou výškového pořadu

$$\Delta_h = 50 \text{ mm} \cdot \sqrt{r} \quad \text{kde } r \text{ je délka výškového pořadu v km}$$

Je-li splněna nerovnost  $\Delta_h > o_h$  lze rozdělit  $o_h$  rovnoměrně na jednotlivá převýšení.

## 7 MĚŘENÍ POLOHOPISU

Máme-li v zájmovém území dostatečnou síť pevných bodů polohového pole, můžeme přikročit k podrobnému zaměřování polohopisu pro budoucí plán nebo mapu.

Polohopis je takový obsah mapy nebo plánu, který znázorňuje geometricky správně všechny objekty, hranice a body, viditelné na zemském povrchu v příslušném měřítku, na vhodnou průmětnu a přiměřeně generalizované. V polohopise se též vyskytují předměty měření nad i pod povrchem, jakými jsou energovody, tunely, sklepy, lanovky apod.

Polohopis je spolu s popisem nedílnou součástí každé mapy či plánu. Výškopisnou složku taková mapa či plán mít může, ale nemusí. Příkladem mapového díla bez výškopisu je katastrální mapa. Pro daňové účely nebyl výškopis potřeba. Celé mapové dílo proto obsahuje pouze polohopis a popis.

### 7.1 Základní pojmy

Podrobným bodem polohopisu rozumíme každý prvek, který v terénu zaměříme a následně zobrazíme do mapy nebo plánu, aby tvořil buď součást kresby, nebo osamocený bod.

Dále se budeme zabývat pouze velkoměřítkovým mapováním (1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000) či plány (1 : 1 000, 1 : 500, 1 : 200) pro technické účely.

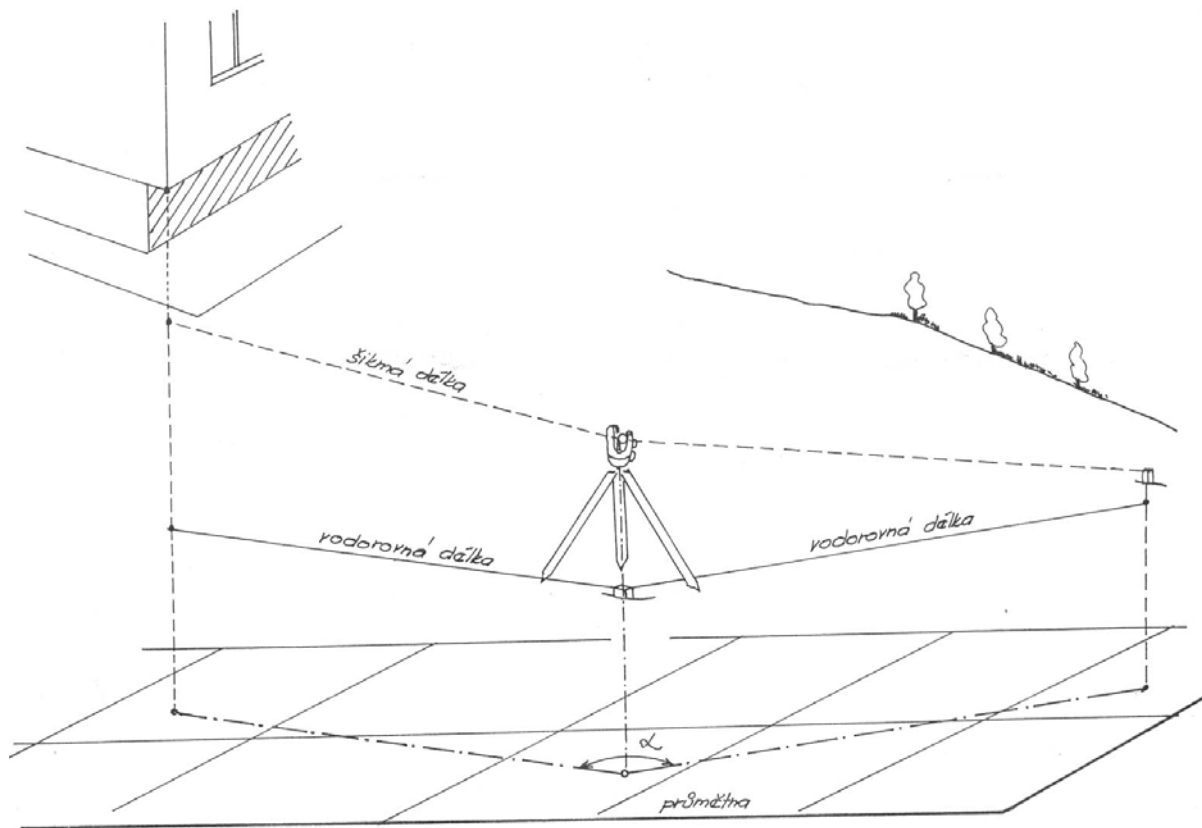
Podrobné body polohopisu můžeme rozdělit na:

- pevné – jsou to takové body, které v terénu i na plánu či mapě jsou jednoznačně identické (např. roh stavby, mezník s křížkem, střed šachty atd.)
- volné – tyto body nelze v terénu přesně identifikovat (body na kruhových objektech, obvody křoví, mokřin apod.)

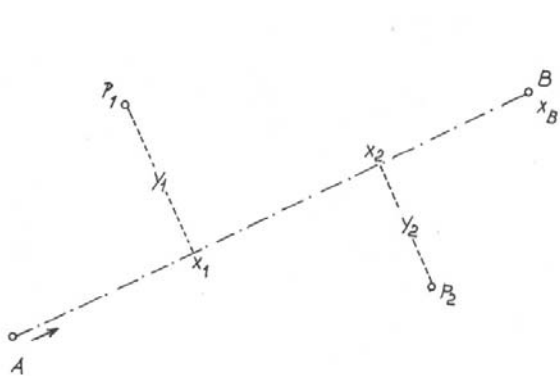
Mezi těmito dvěma extrémami leží ostatní podrobné body polohopisu. Vnitřní přesnost podrobných bodů polohopisu se pohybuje mezi 0,01 m (střed křížku v mezníku) až 1 – 2 m (okraj křoví, mokřin).

Polohu podrobných bodů polohopisu určujeme geodetickými metodami od sítě pevných bodů polohového pole. Každý podrobný bod se promítá ze své obecné polohy na zemském povrchu na rovinu průmětny (vodorovná rovina) pravoúhlým promítáním. Postup průmětu je zřejmý z obr. 7.1.

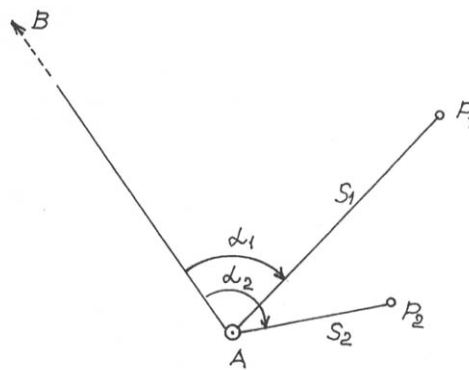
Nejběžnějšími metodami pro určování podrobných bodů polohopisu je metoda ortogonální (zde zjišťujeme hodnoty staničení a kolmic podrobných bodů  $P_1$ ,  $P_2$  vůči dvěma nejbližším bodům měřické sítě (viz obr. 7.2) a metoda polární, (zde zjišťujeme velikost vodorovného úhlu od známého směru a vzdálenost od stanoviska k podrobným bodům  $P_1$ ,  $P_2$  viz obr. 7.3).



Obr. 7.1



Obr. 7.2



Obr. 7.3

Každá měřická přímka (u metody ortogonální), nebo stanoviště s výchozím směrem (u metody polární), tvoří samostatnou místní soustavu. U naprosté většiny měření polohopisných plánů a map jsou tyto dílčí části zapojeny do většího celku. Síť pevných bodů polohového pole jsou určeny zpravidla v jednotném pravoúhlém státním systému S-JTSK (systém jednotné trigonometrické sítě katastrální) nebo v jednotném místním systému. Tím se všechny dílčí místní soustavy propojí v jeden, geometricky správný celek.

Předměty měření. Při mapování pro technické účely jsou to:

- hranice správní, majetkové a druhů pozemků
- budovy a ostatní stavební objekty trvale spojené se zemí (nikoli stavební buňky a marigotky)
- železnice, dálnice, silnice a cesty

- vodní plochy a toky
- spojová, rozvodná a jiná technická zařízení

Předměty šetření. Během podrobného měření je třeba zjistit informace, kterými (formou popisu a mapových značek) upřesníme obsah zaměřených skutečností. Zjišťujeme:

- druh vzdělávání pozemků (role, louka, ovocný sad, zahrada aj.)
- charakter budov, staveb a zařízení
- kvantitativní a kvalitativní údaje o předmětech měření (druhy stromů, výška stromů, úprava vozovky, průměry potrubí aj.).

Tvarem předmětu měření rozumíme obrazec vytvořený tímto předmětem na zemském povrchu. U předmětů malého rozsahu nezobrazitelných v měřítku mapování měříme jeho těžiště a v plánu či mapě jej vyznačíme příslušnou bodovou mapovou značkou.

Obrysem předmětu měření je u staveb průnik stran s terénem. Pozemky jsou zpravidla ohraničeny křivkami. Při měření je nahrazujeme lomenými čarami, které se k těmto křivkám přimykají. Pokud jsou hranice pozemků označeny trvalými znaky (mezníky, ploty, zídky, obrubníky apod.), tvoří obrys jejich spojnice.

Pozemek je část zemského povrchu, oddělená od sousední části trvalým rozhraněním (hranicí správní, vlastnickou, užívací nebo hranicí kultur).

Parcela je geometricky zobrazený pozemek v mapě nebo plánu. Označuje se parcelním číslem, pod kterým je uvedena v katastrálních mapách.

Pozn. V praxi často dochází k záměně pojmů pozemek a parcela. Proto je třeba, aby se tyto dva rozdílné pojmy nezaměňovaly.

Generalizací obsahu mapy či plánu rozumíme zjednodušení, schematizování nebo vypuštění prvků měření. Při měření polohopisu je generalizace obsahu tím nejobtížnějším. Generalizaci provádí vedoucí měřické skupiny a na jeho úsudku závisí celkový výsledek práce. Generalizace závisí především na měřítku mapování. Pro představu je třeba si uvědomit, že např. pro měřítko mapování 1 : 1 000 je 10 cm ve skutečnosti na mapě 0,1 mm, což je hranice zobrazitelnosti. Dalším faktorem, který je při volbě míry generalizace třeba zohlednit, je přesnost identifikace podrobných bodů polohopisu (viz výše – body pevné a volné). Také je třeba zohlednit důležitost zaměřovaných skutečností vzhledem k účelu, pro který mapu či plán vyhotovujeme. Mnohdy zaměříme i předmět měření, který nelze půdorysně v daném měřítku zobrazit, jeho středem či těžištěm a použijeme bodovou mapovou značku pro jeho vyjádření v mapě či plánu (např. lampy, dešťové vpustě, sloupy apod.).

Úplnost podrobného měření je nezbytná pro to, aby dané území, zobrazené buď v mapě nebo plánu, odpovídalo skutečnosti. Nesmí se tedy stát, že např. v části takového území zaměříme lampy a v jiné části je zahrneme mezi prvky, které generalizujeme.

Mapové značky dělíme do třech kategorií :

- bodové mapové značky - slouží k zákresu takových předmětů měření, které nelze zobrazit jejich půdorysem (např. lampy, šachty, dešťové vpustě, hydranty, šoupata aj.)
- čárové (liniové) mapové značky - pomocí těchto značek blíže informujeme o charakteru určité čáry v mapě či plánu (např. různé druhy správních hranic, druhy plotů, druhy rozvodných sítí aj.).
- plošné mapové značky - umísťujeme v těžišti uzavřených obrazců, vytvořených na mapách či plánech. Když je obrazec

členitý či příliš rozsáhlý, umístíme do něj rozptýleně i několik plošných mapových značek. Slouží k rozlišení charakteru těchto ploch (např. zahrady, zatravněné plochy, ovocné sady, hřbitovy, lesy aj.)

Každá mapa nebo plán by měly v příloze obsahovat klíč všech použitých mapových značek (viz příloha 7.1). Mapové značky by měly mít vždy stejnou velikost. Bodové a plošné mapové značky by měly být orientovány vždy k severu. Na plánech a mapách mapové značky vyhotovujeme pravítky a šablonami, u polních náčrtů je provádíme od ruky.

## 7.2 Ortogonální metoda

Podstata ortogonální metody spočívá ve zjišťování lokálních pravoúhlých souřadnic podrobných bodů vzhledem ke spojnici dvou bodů polohového bodového pole. Tato spojnice se nazývá měřická přímka. Souřadnici  $x$  na měřické přímce říkáme staničení a souřadnici  $y$  kolmice.

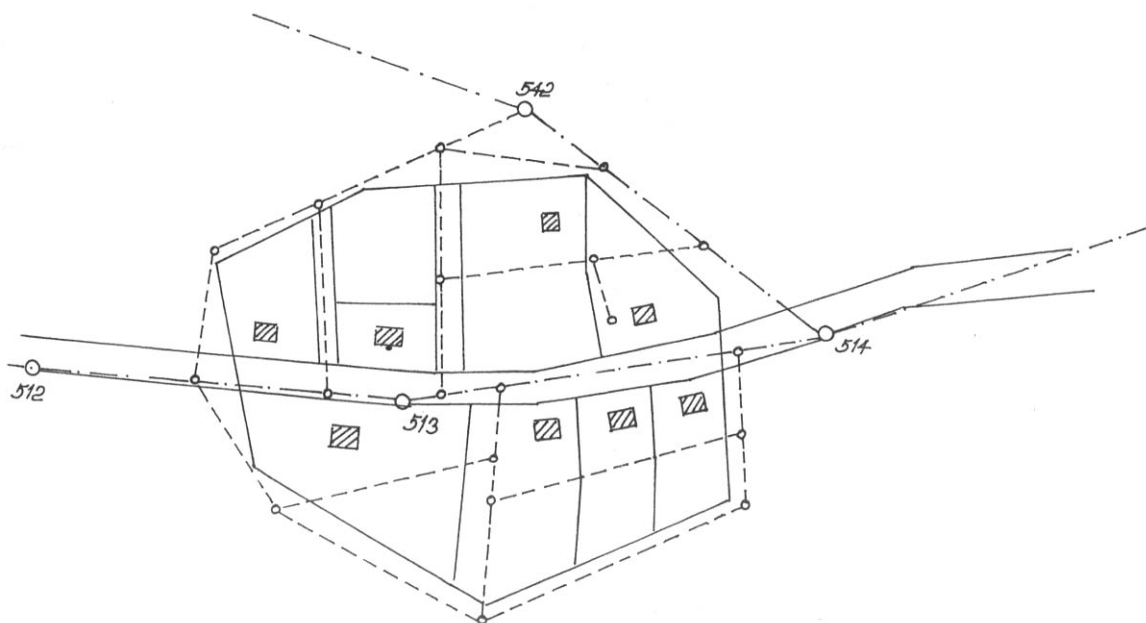
V zaměřovaném prostoru je zpravidla více měřických přímek. Mezi nimi musí existovat geometrický vztah. Tvoří měřickou síť v jednotném systému buď místním nebo státním (S – JTSK). Lokální pravoúhlé souřadnice jednotlivých měřických přímek tak lze převést do jednotné matematické soustavy.

Výhodou této metody je možnost podrobného měření polohopisu za použití jednoduchých a relativně velmi laciných pomůcek. (Dvojitý pentagonální hranol, ocelové pásmo, stojánky na výtyčky s výtyčkami, olovnice a sada měřických jehel.) Jednoduché je i vlastní měření, zápis naměřených hodnot, kontrola výsledku i snadné zobrazení podrobných bodů.

Nevýhodou metody je nutnost měření v rovinném, přehledném nezarostlém terénu s malou dopravní frekvencí. Délka měřických přímek by neměla přesáhnout 500 m a délky kolmic 30 m, výjimečně 50 m.

V současné době, kdy většina geodetů vlastní totální stanici se tato metoda využívá ojedinelé. Poslední větší měření touto metodou bylo prováděno v 60tých letech minulého století.

Vlastnímu zaměřování touto metodou musí předcházet příprava, při které je třeba provést rekognoskaci zájmového prostoru pomocí geodetických údajů o pevných bodech polohového pole (viz kapitola 5.1). Je třeba nalézt stávající pevné body polohového pole a doplnit je měřickými sítěmi (viz kapitola 6.1) do takové hustoty, aby se z vybudované soustavy měřických přímek daly zaměřit všechny předměty měření. Zhuštění stávající měřické sítě může probíhat volbou nových bodů na stávajících přímkách (teodolitem), nebo vedlejšími polygonovými pořady či rajony, u kterých je omezení, že jejich délka nesmí přesáhnout 2/3 délky strany, ze které byly vytyčeny. Příklad sítě viz obr. 7.4.

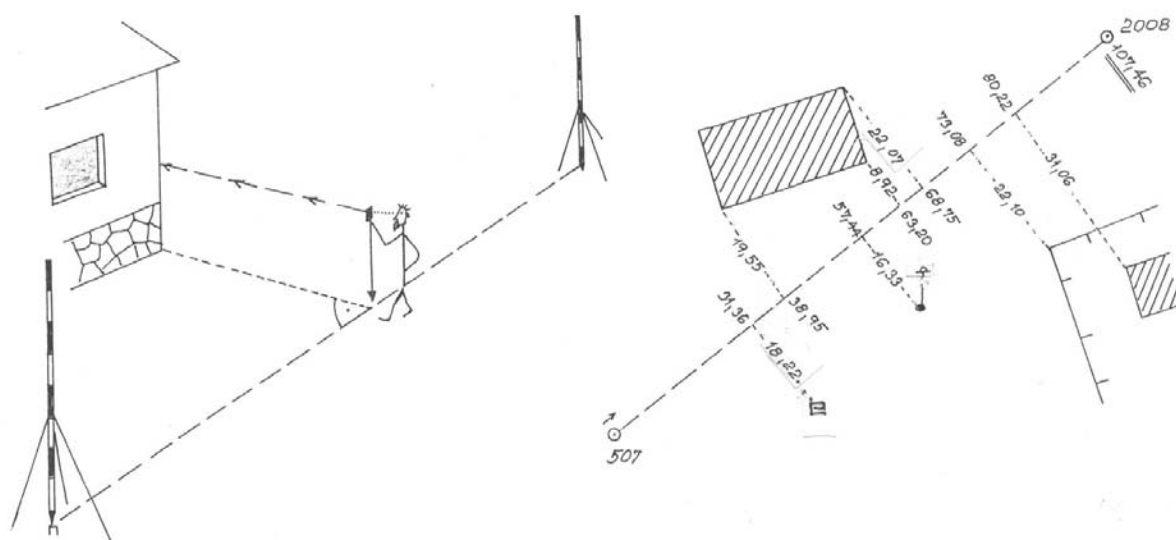


Obr. 7.4

Nové body měřické sítě určujeme ve 4. třídě přesnosti. Střední souřadnicová chyba  $m_{x,y} = 0,12$  m.

Postup zaměřování podrobných bodů polohopisu je následující:

- 1) vedoucí měřické skupiny složené zpravidla ze čtyř až pěti pracovníků rozdělí práci jednotlivým členům a sám začne tvorbou polního náčrtu zaměřovaného území v přibližném měřítku, které by nemělo být menší než měřítko mapování.
- 2) koncové body zvolené měřické přímky signalizujeme svislými výtyčkami ve stojácích.
- 3) pracovník s dvojitým pentagonálním hnanolem jde podél měřické přímky až do blízkosti paty kolmice na podrobný bod (např. roh budovy viz obr. 7.5).

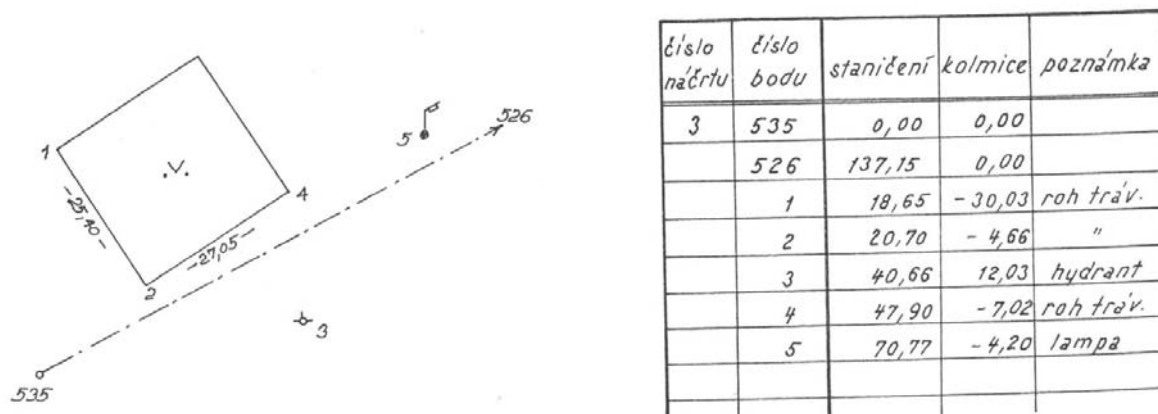


Obr. 7.5



Záznam naměřených hodnot můžeme provést dvojím způsobem. Starší a častěji používaný je způsob popsáný v předchozím textu (viz obr. 7.5 a 7.6).

Též je možné zapisovat naměřené staničení a kolmice mimo polní náčrt do zápisníku, který se potom stává nedílnou součástí měřického elaborátu (viz obr. 7.7).



Obr. 7.7

Pro rozlišení levostranné a pravostranné kolmice je třeba zvolit pro levostrannou kolmici znaménko minus. Polní náčrt se tak stává přehlednější. Obsahuje na rozdíl od klasického náčrtu čísla podrobných bodů polohopisu (zpravidla číslujeme od 1), která musí být bezpodmínečně identická s čísly v zápisníku. Oměrné míry se zapisují do polního náčrtu. Polní náčrt se doplňují mapovými značkami a dalšími údaji, např. severkou, datem zaměření atd.

Adjustace polních náčrtů spočívá v tom, že originální polní náčrty, vzniklé na tuhých čtvrtkách A4 v terénu se v kanceláři upraví tak, aby byl jejich obsah výraznější a lépe sloužily k vytvoření plánu či mapy. Tenkou červenou fixou se zvýrazní měřická síť včetně čísel měřických bodů. Černým fixem se zvýrazní číslo polního náčrtu, autor a datum vyhotovení (viz příloha 7.2). Na okrajích polních náčrtů se modrým fixem označí čísla sousedních polních náčrtů. **Zásadně při adjustaci používáme originálních, v terénu zhotovených polních náčrtů.**

Zobrazovací práce u ortogonální metody se dělí na tři části:

- vynášení bodů měřické sítě – body jsou uvedeny zpravidla ve státním systému S-JTSK, výjimečně v jednotném místním systému. Vynášení bodů se provádí buď ručně pomocí tzv. vynášecích trojúhelníků od křížků čtvercové sítě (rozstup křížků čtvercové sítě bývá 10 x 10 cm) s přesností na 0,1 mm v příslušném měřítku. Nebo automaticky na zobrazovacím zařízení (plotru) současně s vynesemím podrobných bodů. Lokální pravoúhlé souřadnice podrobných bodů je však třeba nejprve transformovat do jednotného souřadného systému.
- vynášení staničení a kolmic od jednotlivých měřických přímek. Pro ruční vynášení je třeba opět použít přesných měřitek (přesnost 0,1 mm). Nejprve vynášíme staničení (paty kolmic), a potom jednotlivé kolmice v příslušném měřítku.

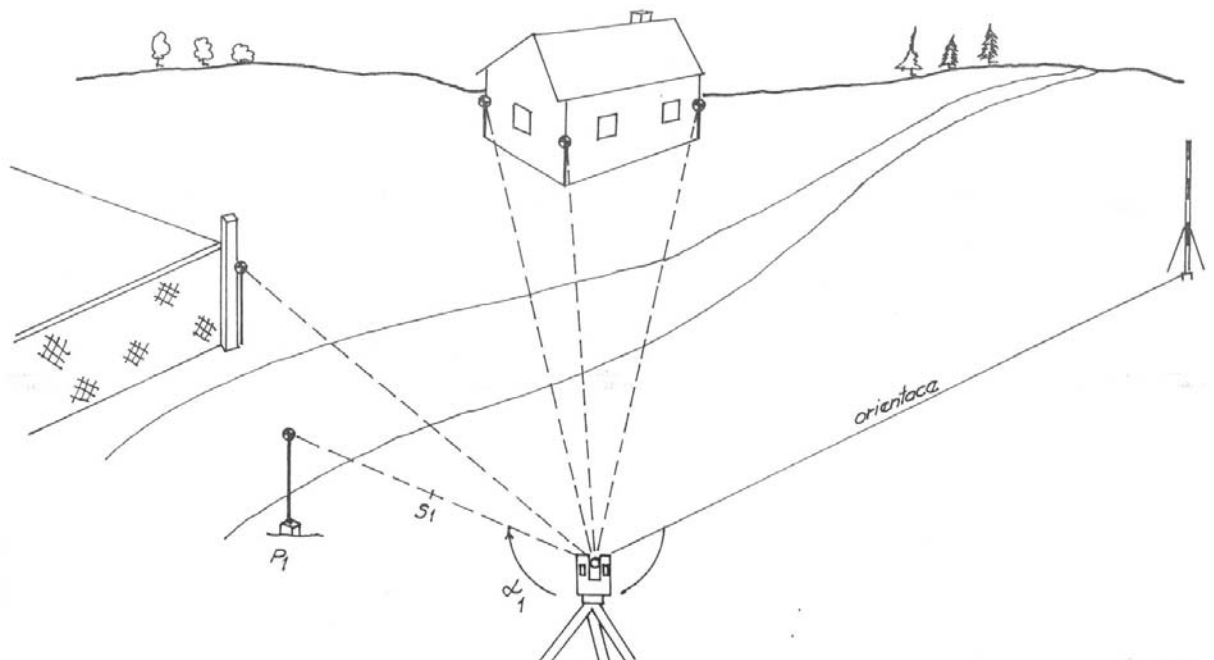
V případě automatického zpracování pomocí počítače a zobrazovacího zařízení (plotru) je třeba nejprve vypočítat souřadnice podrobných bodů v jednotném pravoúhlém systému ve kterém jsou uvedeny měřické body.

- c) konstrukce a vyhotovení polohopisu spočívá v pospojování jednotlivých podrobných bodů dle adjustovaných polních náčrtů a v zobrazení detailů, které byly zachyceny např. konstrukčními oměrnými měřeními. Závěrečná kontrola polohopisu se provádí porovnáním kontrolních oměrných měření měřených v terénu s odpovídajícími vzdálenostmi v měřítku mapování, chyba by neměla překročit hodnotu 0,5 mm. Polohopisný originál se v závěru vyrýsuje černou tuší podle pravítka a šablonek. Doplní se popisem a mapovými značkami. Měřické přímky se v polohopisném originále nevykreslují, stejně jako zde nejsou zachyceny hodnoty staničení, kolmic a oměrných měř (viz. příloha 7.3).

V případě, že je k dispozici příslušný software (např. interakční grafický systém KOKEŠ), lze i tuto část provést s jeho pomocí na počítači.

### 7.3 Polární metoda

Tato metoda měření polohopisu je v současnosti nejrozšířenější metodou určování podrobných bodů polohopisu. Podstatou této metody je určování lokálních polárních souřadnic (vodorovný úhel, vodorovná délka) od měřického bodu k podrobnému bodu (viz obr. 7.8). Vodorovný úhel musí mít jedno rameno ve směru na jiný měřický bod. Měřické body musí mít mezi sebou jednotný vztah, stejně jako u metody ortogonální. Bývají určeny buď ve státním pravoúhlém systému S – JTSK nebo výjimečně v jednotném místním systému. Lokální polární souřadnice podrobných bodů na jednotlivých měřických bodech tak lze převést do jednotné matematické soustavy.



Obr. 7.8

Výhodou této metody je především její rychlost, dosah měření z jednoho stanoviště, přístupnost a přesnost. Lze ji použít i ve svažitém, zarostlém terénu s velkou dopravní

frekvencí. Při použití elektronického dálkoměru nebo přímo totální stanice lze dosáhnout lepší přesnosti než u metody ortogonální.

Snadné je také její rozšíření pro současné měření výškopisu, což je u ortogonální metody neproveditelné.

Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na přístroje, kterými lze měření provádět. Vlastnímu zaměřování touto metodou musí předcházet příprava, spočívající v rekognoskaci zájmového území. Pomocí geodetických údajů o pevných bodech polohového pole (viz kapitola 5.1) je třeba nalézt stávající pevné body polohového pole a doplnit je měřickými sítěmi (viz kapitola 6.1) do takové hustoty, aby z nich bylo možno polární metodou provést úplné zaměření zájmového území.

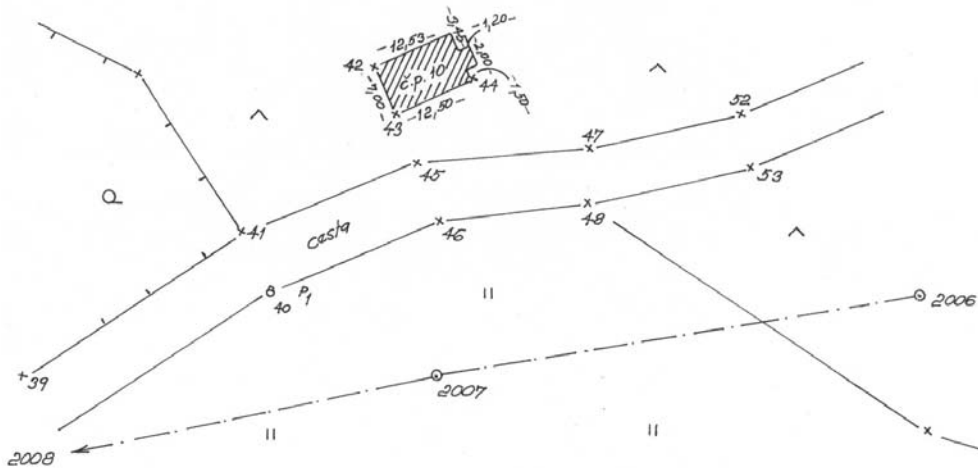
Stabilizace nových bodů měřické sítě se podle potřeby volí buď jako trvalá (šroubovací umělohmotný mezník) nebo dočasná (dřevěný kolík, nastřelovací hřeb).

Přesnost určení nových bodů měřické sítě se volí buď ve třetí třídě přesnosti ( $m_{x,y} = 0,08$  m) nebo ve 4. třídě přesnosti ( $m_{x,y} = 0,12$  m).

Přístroje a pomůcky používané pro polární metodu vychází z finančních možností měřiče. Nejlacnější variantou je technický teodolit na stativu, ocelové pásmo, olovnice a výtyčky ve stojácích. V případě, že je k dispozici geodetická totální stanice, která v sobě zahrnuje elektronický teodolit, elektronický světelný dálkoměr, registrační a výpočetní zařízení použijeme samozřejmě místo teodolitu a pásma tuto stanici.

Postup zaměřování podrobných bodů polohopisu je následující:

- 1) vedoucí měřické skupiny, složené zpravidla ze čtyř až pěti pracovníků rozdělí práci jednotlivým členům a sám začne s tvorbou polního náčrtu zaměřovaného území v přibližném měřítku, které by nemělo být menší než je měřítko mapování.
- 2) na měřickém stanovisku postaví měřič teodolit či totální stanici a provede centraci a horizontaci přístroje.
- 3) na sousední měřický bod postaví figurant výtyčku do stojánku nebo se postaví na tento bod s odrazným hranolem na teleskopické tyči (při použití totální stanice).
- 4) měřič u přístroje provede úhlovou orientaci na sousední měřický bod (nastaví do tohoto směru  $0^{\circ}$ ), zapisovatel začne do polárního zápisníku zapisovat naměřené hodnoty (v případě použití totální stanice, funkce zapisovatele odpadá a měřič naměřené hodnoty přímo registruje do vnitřní paměti přístroje). Příklad měření totální stanicí znázorňuje obr. 7.8.
- 5) vedoucí měřické skupiny zavádí figuranta s výtyčkou nebo s odrazným hranolem na jednotlivé podrobné body, které v polním náčrtu čísluje průběžně od č. 1.
- 6) měřič zaměří vodorovný úhel (vždy pouze v 1. poloze dalekohledu) na podrobný bod a buď zaměří délku mezi stanoviskem a podrobným bodem pásmem (pomocí dvou měřičů) nebo při práci s totální stanicí po zacílení na odrazný hranol, elektronicky změří vzdálenost a automaticky zaregistruje.
- 7) po zaměření 5 – 10 bodů je třeba kontrolovat identitu čísel podrobných bodů v polním náčrtu (viz obr. 7.9) a v polárním zápisníku (event. v registru totální stanice).  
Tím zabráníme nesrovnalostem při zpracování měření v kanceláři.



Obr. 7.9

- 8) závěrem měření na každém stanovisku je třeba poslat figuranta na výchozí orientační měřický bod a ověřit nulovou hodnotu vodorovného úhlu (s možnou chybou  $0,01^{\circ}$ ). Pokud je tato hodnota překročena, došlo k nežádoucímu posunu přístroje a měření je nutno opakovat.
- 9) stejně jako u ortogonální metody musí být zaměřeny kontrolní a konstrukční oměrné míry pásmem v metrech s přesností na centimetry. Vedoucí měření je zapiše do polního náčrtu.

Přesnost metody závisí na přístrojích a pomůckách, které použijeme především pro měření délek. Nejhorší kvalitu má polární měření, kde pro určování délek použijeme nitkový dálkoměr, zde je polohová chyba měřených bodů  $m_{x,y} = 0,3$  m, u teodolitu s pásmem do 100 m je  $m_{x,y} = 0,05$  m, u elektronického měření délek, zpravidla při použití totální stanice je  $m_{x,y} = 0,02$  m a lepší. Při této poslední variantě je již přesnost měření mnohdy vyšší než je přesnost identifikace podrobného bodu v terénu.

Adjustaci polních náčrtů provádíme podle stejných pravidel jako při ortogonální metodě (viz kapitola 7.2).

Zobrazovací práce u polární metody se dělí na tři části:

- a) vynášení bodů měřické sítě – zde postupujeme stejně jako při metodě ortogonální (viz kapitola 7.2).
- b) vynášení polárních souřadnic jednotlivých podrobných bodů. V tomto případě se při ručním vynášení použije polokruhový nebo celokruhový polární transportér, což je pomůcka s gonovou úhlovou stupnicí a ramenem, opatřeným stupnicí s měnitelným délkovým měřítkem. Tato pomůcka se umístí nad každý vyneseny bod měřické sítě, ze kterého bylo měřeno (stanovisko přístroje) a postupně se provede vynášení jednotlivých podrobných bodů. V případě, že máme k dispozici počítač a zobrazovací zařízení (plotr), výpočtem převedeme lokální polární souřadnice všech podrobných bodů do jednotné pravoúhlé soustavy měřické sítě a podrobné body se zobrazí na plotru.
- c) konstrukce a vyhotovení polohopisu – postup je opět stejný jako u ortogonální metody (viz kapitola 7.2).

# Dokumentace trigonometrických bodů

Příloha 5.1

Kraj: Středočeský  
 Okres: Kolín  
 Obec: Krupá  
 Kat. území: Krupá u Kostelce n.Č.L.

## GEODETICKÉ ÚDAJE

12047

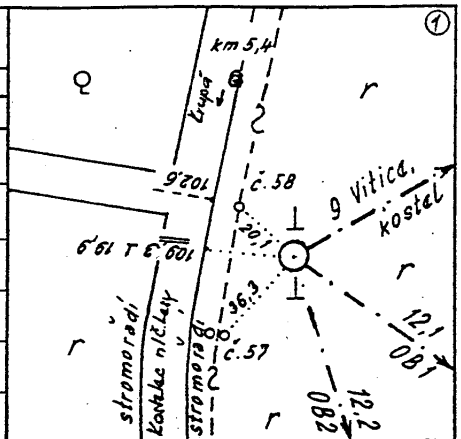
Pořadí č. 3

Platné od 1.9.82 do .....

JEN PRO VNITŘNÍ POTŘEBU

Stupeň 13-31 ohrožení: 2	Nomen- 060847 klatura: 2206
-----------------------------	--------------------------------

Číslo a název bodu: <b>12 U z á h y b u</b>				
Bod	Y	X	Nadmořská výška	
			Býv.	vztahuje se na
12	712 118,83	1 055 585,48	351,61	hranol
12,1	711 551,64	1 056 149,83	350,01	hranol
12,2	712 035,81	1 056 034,06	357,21	hranol
<i>Vzrostlému, št. št. Kolín A 1987, 044-397/87 ze 10. 1987.</i>				
<i>x/ určeno z jedné kombinace</i>				



Orientace na body / ve stupních /

Číslo	Název	Jižník	Délka strany	Číslo	Název	Jižník	Délka strany
12,1		314 51 22,5	800,128				
12,2		349 30 52,6	456,196				
9	Vitice, kostel /2201/	245 11 03	3 734,23				

Topografický popis bodu: Bod je východně silnice Kostelec - Č. Brod, 400 m jižně obce Krupá v poli, 20 m východně od silnice.

Vlastník (uživateľ): ČSSP Tucheraz Krupá Druh pozemku: role Parc. č. 494

Stabilizace

Bod	12	12,1	12,2
0,00	žula 16.16.93	0,00 žula 16.16.75	0,00 žula 16.16.75
0,92	žula 30.30.10	1,19 žula 30.30.10	1,22 žula 30.30.10
1,26	sklo 16.16.3		

Označ. povrch. značky na bodu:	Δ sev. TP jih		
Stabilizoval: (dat. rok)	ZÚČM 1943	KGF 1968	KGF 1968
Ochranný znak: (druh, rok, vzdál.)	b.sl. 1973-0,75 OT-1963-0,75	OT-1978-0,75 OT-1968-0,75	OT-1985-0,75 2 OT-1978-0,75

Druh a výška signalizační stavby nebo nárys trvalého cíle:

Signalizace z roku: .....

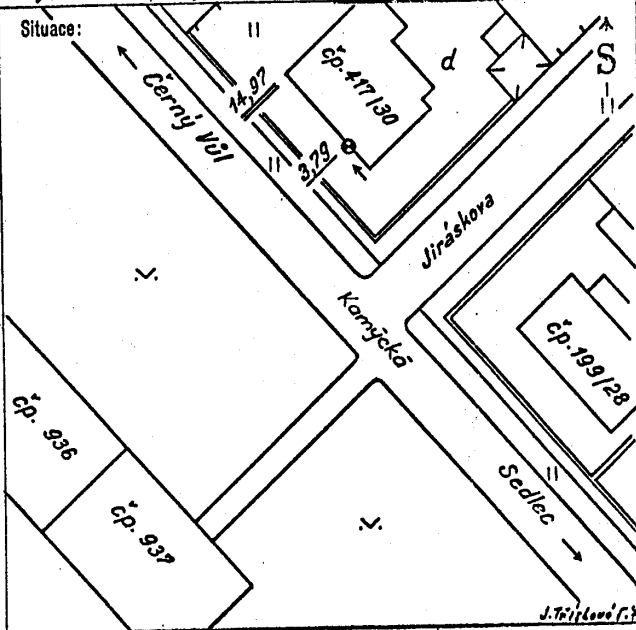
Stabilizace

12047




















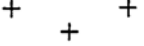













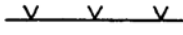

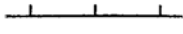

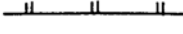

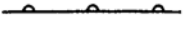

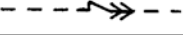


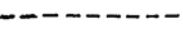
Geodetická ústředna štátní (razba, popis, dat.)

# NIVELAČNÍ ÚDAJE

Pořadí: 1 Platnost od: 1.4.1973 do:

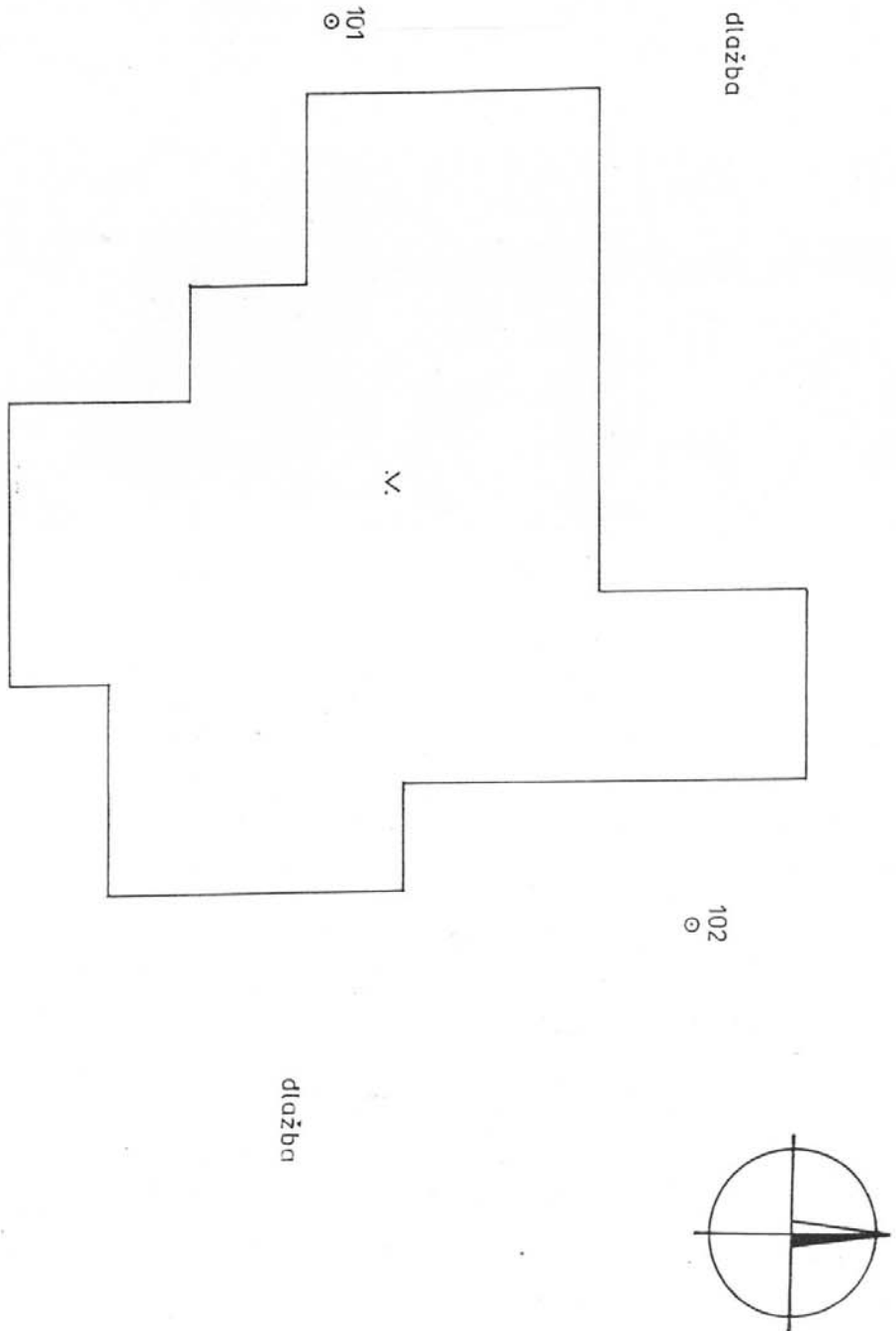
Nivelační pořadí - Podrobná nivelační síť:		Kraj: Hlavní město Praha		List mapy			
Bi 18 Sedlec - Černý Vůl		Okres: Praha 6		1:50000			
		Obec:		SMO - 6			
		Kat. úz.:		Kralupy n.Vlt. 8 - 8			
Předcházející bod: 9	Délka oddílu	Vzdálenost od počátku pořadí	Nivelační převýšení	Tíhová redukce	Oprava z vyrovnání	Nadmořská výška balt - po vyrovnání	Převod do jaderu +
Nivelační bod:	km		m	mm		m	m
10	0,186	1,968	+2,745 69	+0,08	-0,03	277,167 3	0,401 9
Situací popis: Č.Praha 6 - Suchdol, dům čp.417, 0,5 m nad zemí			Situace: 				
Poznámky:							
Druh značky	Stupeň stability	Stabilizoval (ústav, jméno, datum)		Druh bodu	Výška z roku.....	Převýšení z roku.....	
čepová VI	3 Druh stabilizace II	ÚGK Praha, 1961			1972	1972	
Stav a stáří stavby, stavební hmota, půdní vlastnosti: zachovalá, udržovaná, cihlová z roku 1932							
Geologický popis:							Klasifikace
Geomorfologické vlastnosti místa: rovina							
NÚ vyhotovil (ústav, jméno, datum)		situaci	GÚ Praha, Mládek, XI.1971		Kontroloval		
		zápis	Korec, 12.III.1973		Zemru, 6/4 73		
Záznam změn:							

**KLÍČ MAPOVÝCH ZNAČEK**

<b>bodové mapové značky</b>		<b>plošné mapové značky</b>	
trigonometrický bod		pole (jen v náčrtech)	
polygonový bod		travnatá plocha	
výbojková lampa		zahrada	
parková lampa		ovocný sad	
kanalizační šachta		parková úprava	
dešťová vpust'		neplodná půda	
podzemní hydrant		vinice	
nadzemní hydrant		chmelnice	
šoupě		křoviny	
betonový sloup		hřbitov	
dřevěný sloup		dřevěná budova	
železný sloup		zděná budova	
přihradový sloup		betonová budova	
osamělý jehlič. strom		kovová budova	
osamělý listnatý strom		rákosí	
osamělý ovocný strom		jehličnatý les	
<b>čárové (liniové) mapové značky</b>		listnatý les	
drátěný plot		smíšený les	
dřevěný plot		paseka	
živý plot		vodní hladina	
panelový plot		močál (průchodný)	
elektrické vedení		směrová růžice	
sdělovací vedení			
hranice les. průseku			



# POLOHOHOPISNÝ PLÁN



1 : 200

VYHOTOVILA: HLAVÁČKOVÁ  
DNE: 21. 11. 2000  
SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM: MÍSTNÍ

## 8 MĚŘENÍ VÝŠKOPISU

Měření a znázorňování výškopisu v mapách a plánech není ve všech případech nutné. Již v předchozí kapitole byla jako příklad mapového díla bez výškopisné složky uvedena mapa katastrální. U většiny map a plánů je však výšková složka stejně důležitá jako polohopis. Je proto nutné věnovat jí stejnou pozornost.

### 8.1 Topografie

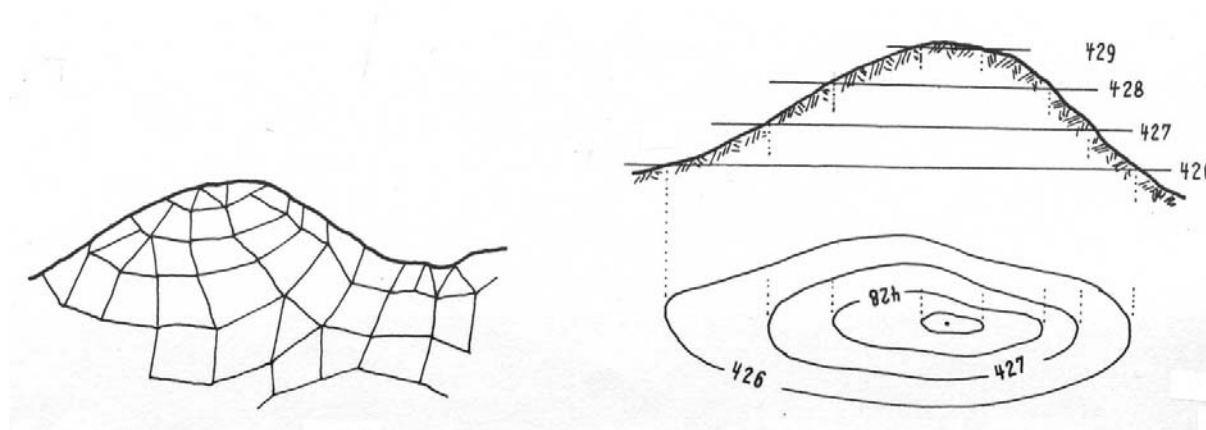
Topografie je jedním z oborů geodzie, který se zabývá popisem, studiem a znázorňováním terénních útvarů, vzniklých jak přírodními silami, tak uměle, působením lidské činnosti.

#### 8.1.1 Základní pojmy

Všechny terénní útvary můžeme z matematického hlediska popsat ve třírozměrné prostorové soustavě, kdy k pravoúhlým souřadnicím  $x$ ,  $y$  jednotlivých podrobných bodů těchto útvarů přiřadíme kolmou souřadnici  $z$ , kterou zpravidla bývá nadmořská výška (délka měřená po tížnici ke střední hladině moře).

Zemský povrch je nekonečně mnohotvárný a není možno jej matematicky vystihnout a zobrazit. Proto je nahrazován tzv. topografickou plochou.

Každou topografickou plochu můžeme vyjádřit jako soubor nekonečného počtu rovinných ploch buď nekonečně malých, nebo limitně malých, podle podmínek zjednodušení (viz obr. 8.1).



Obr. 8.1

Úkolem topografie je znázorňování terénního reliéfu v mapách a plánech. V průběhu staletí se měnily a zdokonalovaly způsoby vyjádření terénního reliéfu v mapách:

- šrafovaní patří mezi nejstarší způsob znázorňování terénu. Tvůrce mapy udává polohou šraf směr spádu a hustotou šraf velikost spádu terénu. Šrafy mívaly tvar štíhlých klínů nebo obdélníčků. Výhodou šrafovaní byla plastičnost vjemu, ale pro pracnost vytváření šraf a především pro zakrytí polohopisné kresby ve svažitých terénech bylo už v minulém století od tohoto způsobu upuštěno.
- barevná hypsometrie užívá barevné stupnice na vybarvení ploch mezi zvolenými vrstvami terénu. Průkopníkem této metody byl český profesor Kořistka. Vychází se ze zásady „čím vyšší vrstva tím tmavší barva“. Nížiny bývají světle zelené a velehory tmavohnědé. Tento způsob vyjádření výškových poměrů v mapách se dosud zachoval

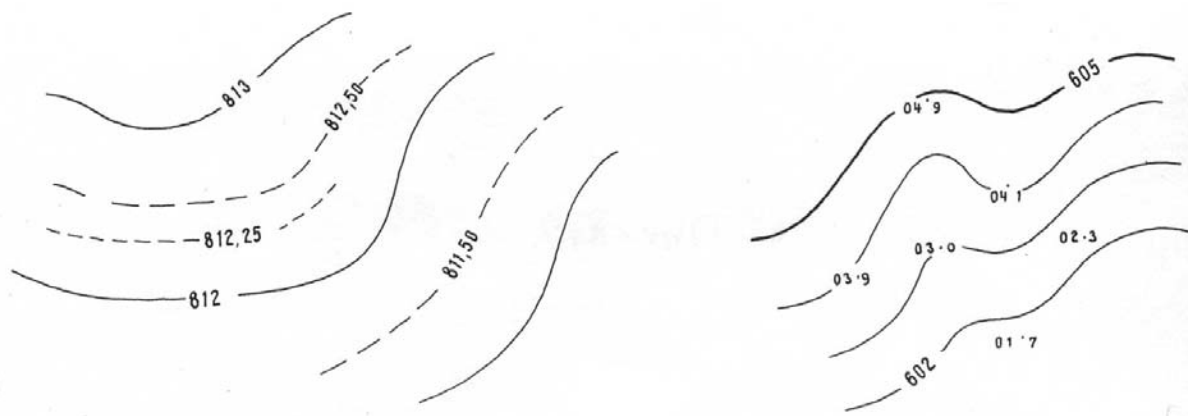
ve školních mapách a atlasech. Vytvoření reliéfu tímto způsobem je též poměrně pracné a klade vysoké nároky na barevné kartografické zpracování.

- c) stínování je plošné šedé tónování skloněných částí terénu. Slouží ke zvýšení plasticity zobrazeného reliéfu. Využívá vlastních stínů reliéfu při šikmém osvětlení. Směr osvětlení bývá od severu či severozápadu. Tento způsob vyjádření reliéfu nebývá prováděn samostatně, ale doplňuje zpravidla vrstevnicový obraz terénu. Často se používá u turistických map.
- d) vrstevnice (izohypsy) jsou půdorysným obrazem průsečných čar vodorovných rovin s terénem, přičemž jejich nadmořská výška je beze zbytku dělitelná zvoleným základním intervalem (výškou vrstvy). Jejich využití v současných technických mapách je téměř univerzální. Bývají doplněny výškovými kótami výškově dominantních bodů a technickými šrafami, které nahrazují vrstevnice zpravidla na terénních stupních a v příkopech. Pozor neplést s klínovými nebo obdélníkovými šrafami ad a).

Svislá vzdálenost mezi vrstvami oddělujícími jednotlivé vrstevnice se nazývá výška vrstvy nebo též základní interval vrstevnic.

Pro různá měřítka mapování a pro různě svažité terény se liší. Pro mapy menších měřítek se užívá základních intervalů 2 m, 5 m, 10 m, 20 m apod. Pro měřítko mapování 1 : 500, 1 : 1 000 a 1 : 2 000 bývá základní interval 1 m (v případě velkých sklonů terénu 5 m). U rovinných terénů se základní interval buď půlí nebo dokonce čtvrtí.

Vznikají tak doplňkové vrstevnice, které se vykreslují čárkovaně (5 mm čára, 1 mm mezera). Pro rychlou orientaci v mapách se každá pátá vrstevnice, jejíž kóta je beze zbytku dělitelná pětinásobkem základního intervalu zobrazuje zesíleně (tříkrát silněji). Popis vrstevnic provádíme celou nadmořskou výškou, vždy „hlavou“ číslic ve směru stoupání terénu. (viz obr. 8.2)



Obr. 8.2

### 8.1.2 Topografické tvary

Základním předpokladem pro schopnost zobrazení výškopisného obsahu map a plánů a též pro jeho používání je znalost alespoň základních tvarů, které se v terénu vyskytují.

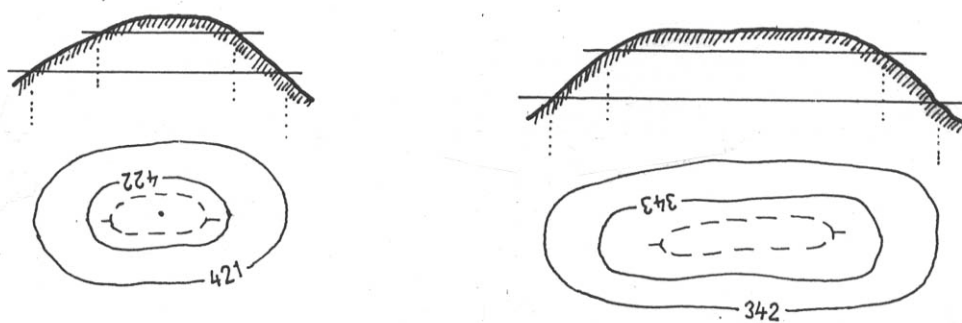
Jak již bylo v úvodu řečeno zemský povrch nahrazujeme topografickou plochou. Skutečný obraz terénu se musí zjednodušit, generalizovat a zanedbat malé detaily, které nejsou důležité. Jen tak je možno celý složitý zemský povrch rozložit na základní útvary,

zaměřit je a potom pospojovat v jeden celek v rámci zájmového území. Základní přirozené terénní útvary se seskupují do tří skupin:

- útvary vyvýšené (vrcholové)
- útvary na svahu
- útvary údolní

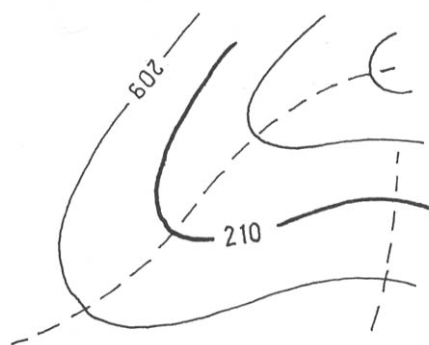
Mezi útvary vyvýšené patří:

**kupa** – mírně nebo nápadně zaoblený tvar, vrcholící obvykle v bodě, zvaném vrchol kupy. Spádnice z jednoho bodu nebo plochy míří na všechny strany. Tvarovou čarou kupy je uzavřená křivka (obr. 8.3).



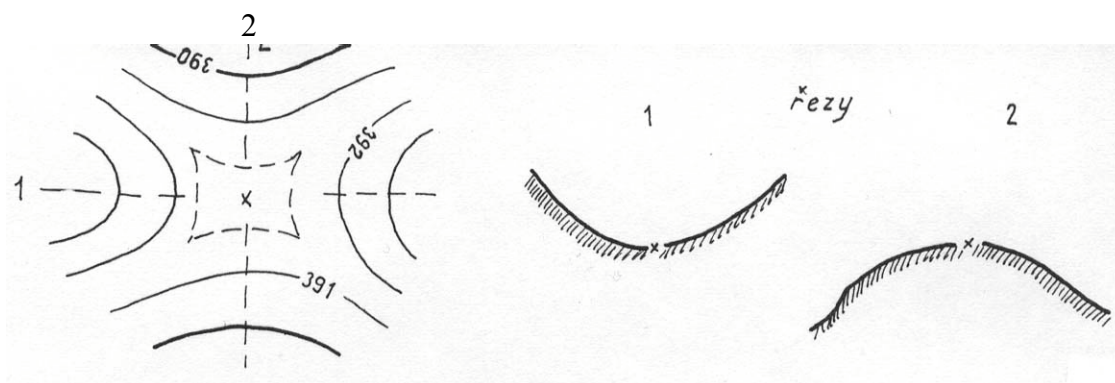
Obr. 8.3

**hřbet** – může být vodorovný, častěji skloněný. Je to útvar protáhlý ve směru hřbetní čáry. Svým průběhem hřbet rozděluje směr odtoku povrchových vod (obr. 8.4).

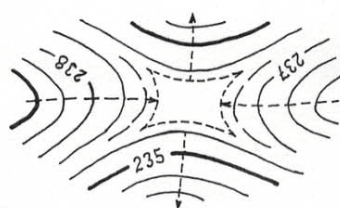


Obr.8.4

**sedlo** – nejniže ležící plocha mezi dvěma kupami. Nejnižším bodem je sedlový bod čili vrchol sedla. Sedlo je také styk ploch vypuklých a vhloubených (obr. 8.5). Podle tvaru tvarové čáry sedla dělíme sedla na podélná, příčná a nepravidelná (obr. 8.6 a, b, c).



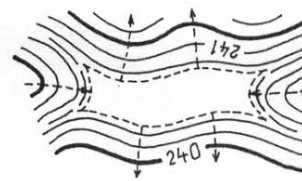
Obr. 8.5



Obr. 8.6 a



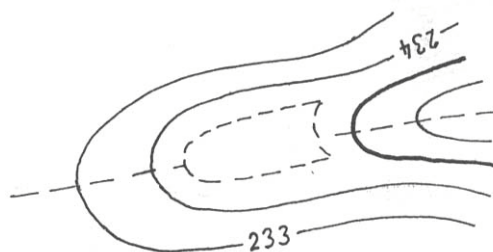
Obr. 8.6 b



Obr. 8.6 c

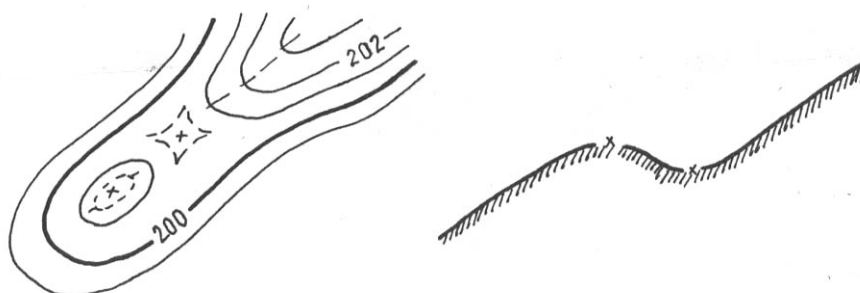
Útvary na svahu jsou:

**spočinek** – plochý, vodorovný nebo mírně skloněný útvar, který podél hřbetní čáry přerušuje svah (obr. 8.7).



Obr. 8.7

**svahová kupa** – zpravidla malý kupovitý útvar, který převyšuje svahový hřbet, přičemž mezi ním a kupou vzniká sedlo (obr. 8.8).



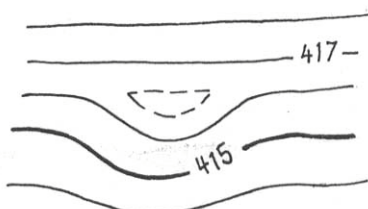
Obr. 8.8

**svahový hřbet** – vyvýšený útvar na úbočí, leží mezi dvěma vhloubenými plochami – úžlabinami (obr. 8.9).



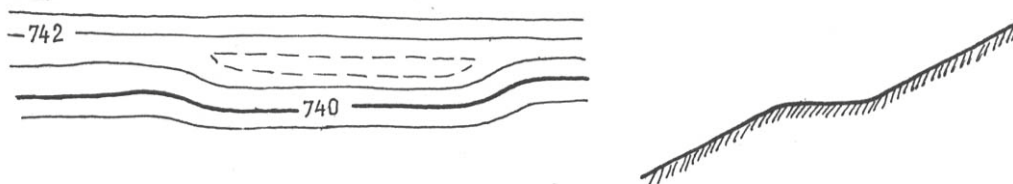
Obr. 8.9

**výčnělek** – malý plochý útvar na úbočí. Může být vodorovný nebo mírně skloněný (obr. 8.10).



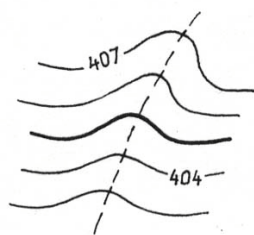
Obr. 8.10

**terasa** – rozsáhlejší plochý útvar na úbočí, protáhlý, sledující obvykle vrstevnici. Může být vodorovná nebo mírně skloněná (obr. 8.11).

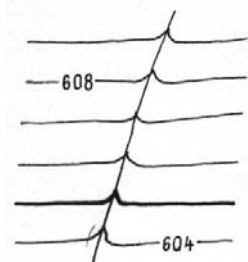


Obr. 8.11

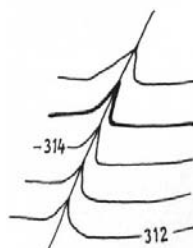
**úžlabí** – vhloubený útvar na svahu, mezi dvěma vypuklými plochami, hřbety kde vždy spádnice směřují k údolnici, které ji tvarovou čarou úžlabí (obr. 8.12 a). Krajnými případy úžlabí jsou rýha (obr. 8.12 b), zářez (obr. 8.12 c) a strž (obr. 8.12 d).



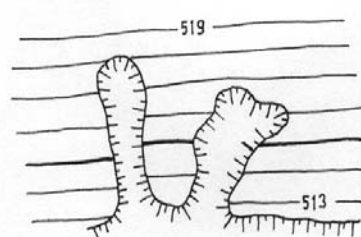
Obr. 8.12 a



Obr. 8.12 b



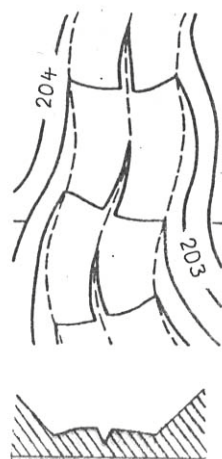
Obr. 8.12 c



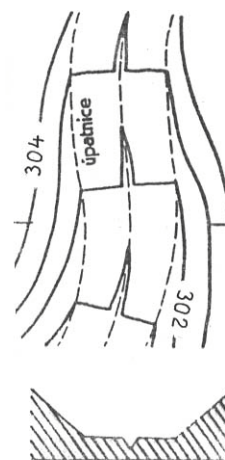
Obr. 8.12 d

Útvary údolní jsou:

**údolí** – útvary v nejnižším prostoru terénního reliéfu, zpravidla mírného spádu. Může mít zaoblené (jazykovité) (obr. 8.13 a) nebo rovné (obr. 8.13 b) dno. Údolím probíhá údolnice.

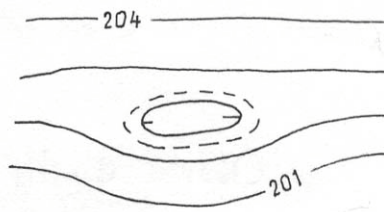
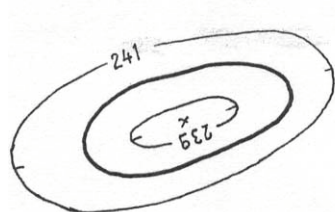


Obr. 8.13 a



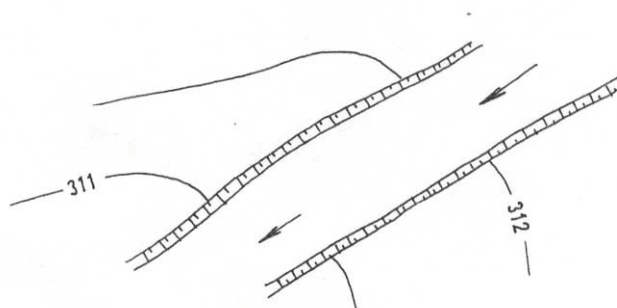
Obr. 8.13 b

**prohlubeň** – obvykle protáhlý, plochý údolní útvar, uzavřený, do jehož dna směřují všechny spádnice. Na dně mívá většinou vlhkou průsakovou vrstvu. Nejnižším bodem prohlubně je dno prohlubně (obr. 8.14).



Obr. 8.14

**raveny, údolní stupně** – nízké srázy, vzniklé působením vodních toků, naplavováním, boční erozí apod. (obr. 8.15).

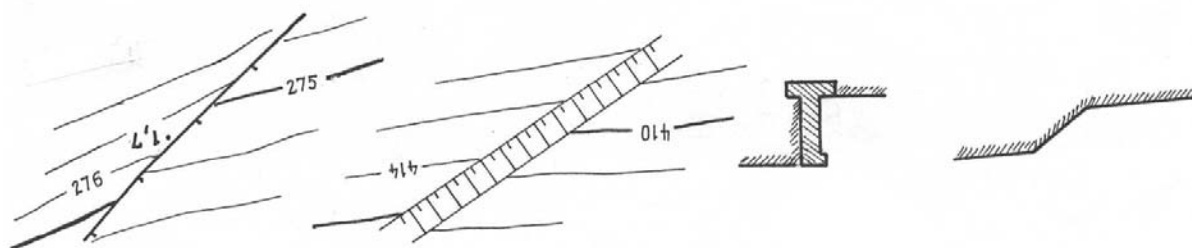


Obr. 8.15

Toto nejsou zdaleka všechny přirozené útvary na zemském povrchu, ale lze jejich pomocí popsat většinu přirozeného terénu naší republiky.

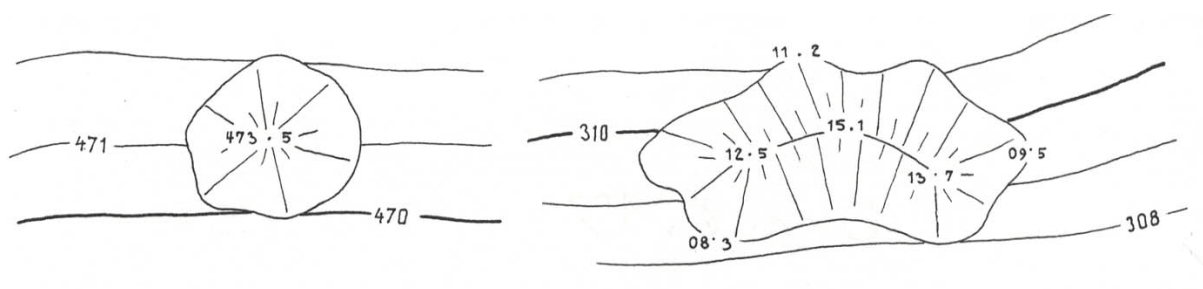
Naše krajina neobsahuje samozřejmě jen přirozené útvary. V důsledku dlouhodobé lidské činnosti jsou mnohé přirozené útvary přerušeny nebo přetvořeny lidmi. Vznikají tak útvary způsobené lidskou činností:

**stupně** – svislé nebo šikmé. Jsou to útvary ohraničené zpravidla vodorovnými, ale i šikmými, často rovnoběžnými hranami, mezi něž lze položit rovinu. Svislým stupněm je také opěrná zeď. Šikmé stupně řešíme zpravidla technickými šrafami (obr. 8.16).



Obr. 8.16

**haldy** – tvoří je obvykle navršená zemina nebo odpady. Nemají často žádný tvar, povrch je neurčitý, dochází zde k sesedání nebo sesouvání materiálu. Tyto útvary znázorníme zpravidla technickými šrafami (obr. 8.17).



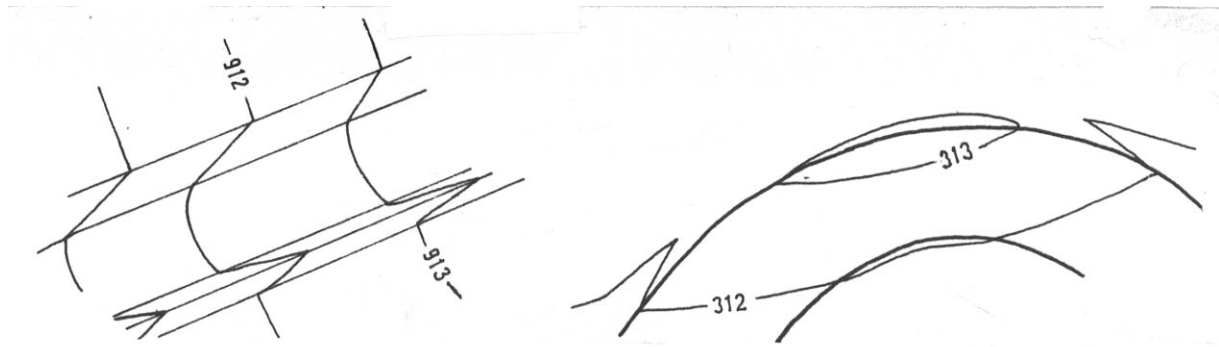
Obr. 8.17

**propadliny** – jámy, vzniklé propadnutím terénu po podzemní činnosti. Jejich tvar je zpravidla nepravidelný, někdy kuželový a opět pro jejich znázornění použijeme technické šrafy (obr. 8.18).



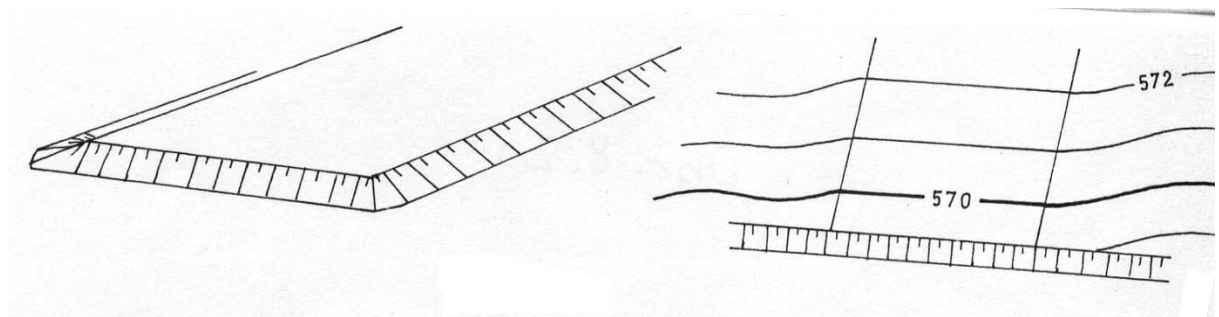
Obr. 8.18

**vozovky** – obvykle vyduté plochy, tvořící v souvislosti i plochy zborčené, části rotačních těles apod. Jsou v zásadě matematicky definovatelné a povrch podléhá určitým zákonitostem – odvodnění, sklonům, jízdním parametrům atd. (obr. 8.19).



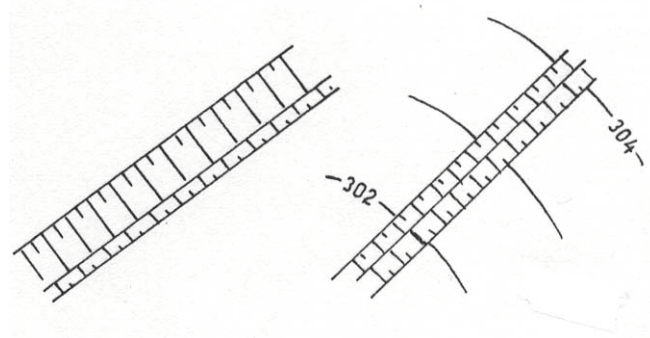
Obr. 8.19

**roviny** – vodorovné i šikmé (hřiště, parkoviště apod.). Bývají ostře ohraničené, mnohdy jsou částečně v náspu či ve výkopu, jejich rovinatost je dána přesností terénních úprav (obr. 8.20).



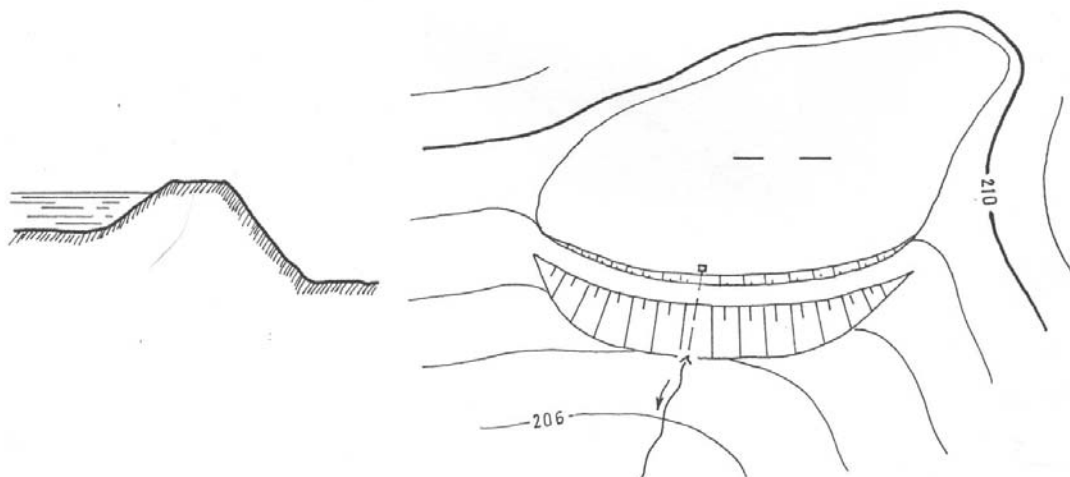
Obr. 8.20

**příkopy** – tvoří je dva stupně, mající společnou spodní hranu - příkopy trojúhelníkového průřezu (obr. 8.21). V praxi se též vyskytují příkopy lichoběžníkového průřezu. Průběh dna je dán sklonovými poměry podle odtoku.



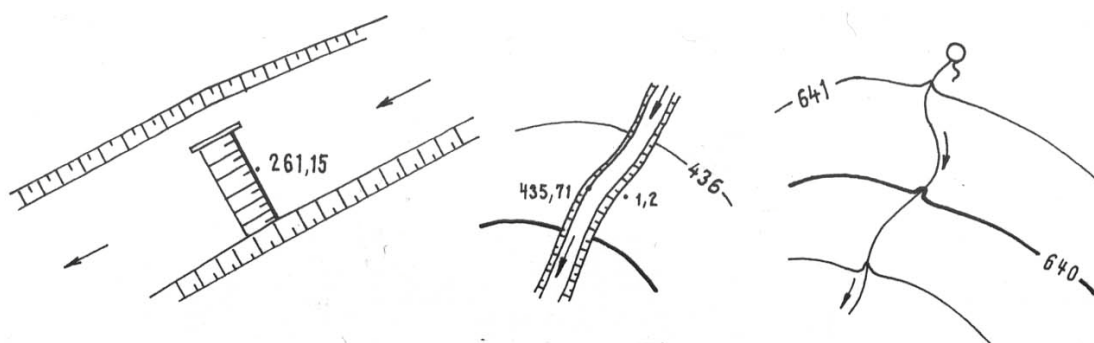
Obr. 8.21

**hráze** – jde o vodohospodářské stavby, sloužící k zadržení vody. Jejich tvar je určen soustavou jednoduchých geometrických ploch a rovin. Hráze jsou charakteristické hranami koruny a paty zemního tělesa (obr. 8.22).



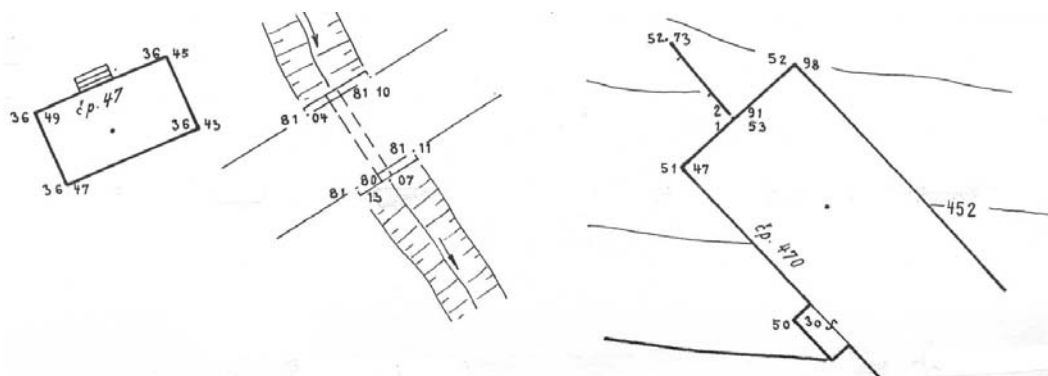
Obr. 8.22

**vodní plochy** – jezera, rybníky, nádrže, řeky, potoky, strouhy, kanály, jezy, náhony, plavební komory atd. tvoří zvláštní skupinu výškopisných ploch, charakterizovanou především obrysem a hlavními kótami, jako je výška hladiny k určitému datu, kóty jezů apod. (obr. 8.23).



Obr. 8.23

**stavební objekty** – výškově určíme pouze kóty rohů staveb event. výšky různých stavebních úrovní (kóty vchodu, 2. podlaží apod.). Vrstevnice v místech staveb neřešíme. U technických staveb (např. propustků) je možné doplnit světlost nebo relativní kóty (obr. 8.24).



Obr. 8.24

Tyto jednotlivé terénní útvary, ať přírodní či způsobené lidskou činností, je třeba v zájmovém území vyhledat, správně propojit a vytvořit tak ucelený obraz výškové složky mapy či plánu. Je proto třeba vytvořit topografický náčrt, ve kterém bude výškovými body a charakteristickými čarami znázorněna kostra terénu. Základními výškovými body jsou tři hlavní body terénní kostry:

- vrchol kupy – její nejvyšší bod
- vrchol sedla – nejnižší bod hřbetní čáry
- dno prohlubně – nejnižší místo

Hlavní čáry terénní kostry jsou také tři (v náčrtech je označujeme čárkovaně):

- hřbetnice - myšlená čára na povrchu terénu, která prochází po hraně hřbetu nebo po jeho nejvydutější ploše, ve směru spádu. Rozděluje směr odtoku (obr. 8.25 a).
- údolnice – myšlená čára, která prochází nejnižším místem údolí nebo úžlabí. Míří tam spádnice. Odtéká tudy povrchová voda (obr. 8.25 b).
- úpatnice – myšlená čára, procházející přechodem svahu do údolí zlomem či změnou spádu (obr. 8.25 c).

Mezi čáry terénní kostry patří též tvarové čáry, které ohraničují ostře (hranou) nebo přibližně vodorovné nebo skloněné části některých terénních útvarů jako jsou kupa, sedlo, spočinek, svahová kupa, výčnělek, terasa, prohlubeň apod. Tyto čárkované čáry slouží v náčrtu jako pomocná kresba pro konstrukci vrstevnic a v mapách se nevyskytují.

Obrisy některých dalších útvarů se značí plnou čarou jak v náčrtu tak v mapě a zpravidla bývají i čarami situačními. Jsou to strže, stupně, haldy, propadliny atd.

Do náčrtů se kromě hlavních čar terénní kostry doporučuje zvláště v nevýrazném terénu zakreslovat i spádnice. Tyto myšlené čáry největšího spádu terénu nám slouží pro interpolaci. V náčrtech je zakresluje čárkovaně, šipkou určíme směr spádu terénu (obr. 8.25 d). Horizontály, krátké křivky vystihující tvar vrstevnic na hlavních čarách terénní kostry a spádnicích slouží k jejich rozlišení. Jejich zhuštěním můžeme též vyjádřit prudší sklon terénu.



Obr. 8.25 a



Obr. 8.25 b



Obr. 8.25 c



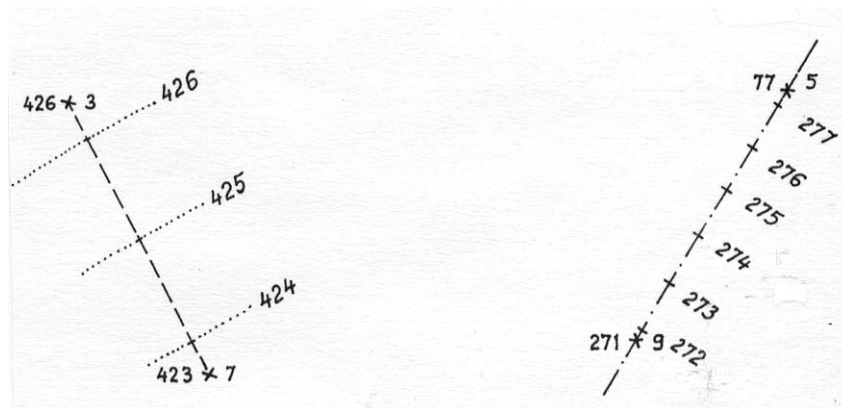
Obr. 8.25 d

### 8.1.3 Konstrukce vrstevnic

Sestrojení vrstevnic lze provádět několika různými způsoby. Buď přímým vytyčením a zaměřením jednotlivých vrstevnic v terénu (tento způsob je velmi pracný a až na malé výjimky - vytyčení zátopové čáry - se nepoužívá. Nepřímé určení vrstevnic na mapě či plánu provádíme buď fotogrammetrickými metodami, nebo klasickým způsobem, univerzální tachymetrickou metodou, pomocí které určíme řadu podrobných výškových bodů. Tyto body jsou voleny na charakteristických místech terénu a pomocí lineární nebo morfologické interpolace vytvoříme vrstevnicový obraz terénu. Vlastní tvorba vrstevnic může probíhat automatizovaně prostřednictvím počítačových programů (např. ATLAS) nebo ručně grafickým sestrojováním vrstevnic.

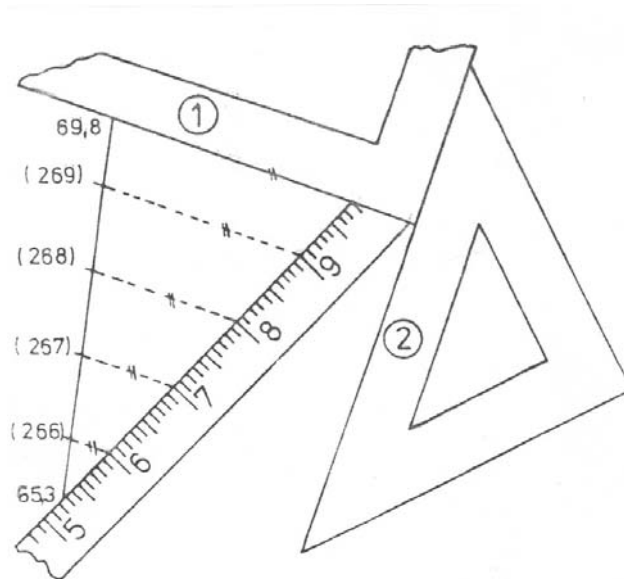
Lineární interpolaci vrstevnic provádíme zpravidla u plánů a map velkých měřítek. Základní podmínkou pro použití této interpolace je požadavek, aby mezi nejbližšími výškovými body byl stejnoměrný sklon terénu. Tuto podmínku lze splnit právě u velkoměřítkového mapování.

Při ručním sestrojování vrstevnic použijeme grafický způsob lineární interpolace. Předpokladem je vynesení všech výškových bodů opatřených příslušnými kótami v daném měřítku na kreslicí papír nesmazatelným způsobem. Z topografického náčrtu zakreslíme do tohoto polotovaru hlavní čáry terénní kostry (hřbetnice, údolnice, úpatnice) a spádnice. Nejbližší podrobné výškové body na těchto čarách mají kóty o obecných nadmořských výškách (zpravidla zaokrouhleny na decimetry). Právě mezi takovými výškovými body se bude provádět lineární interpolace. Na spojnici se naleznou místa, kterými prochází vrstevnice o nadmořské výšce, která je beze zbytku dělitelná základním intervalem vrstevnic. Rychlejší způsob je provést lineární interpolaci odhadem. Spočívá ve zrakovém rozdělení délky a převýšení mezi body na díly, odpovídající poměrově průsečíkům s vrstevnicemi (viz obr. 8.26).



Obr. 8.26

Tento způsob předpokládá delší cvik a cit. Pro začátečníky je vhodnější využít jednoduchých pomůcek (dvou trojúhelníků a papírového milimetrového měřítka) a využít poučku o podobnosti trojúhelníků (obr. 8.27).



Obr. 8.27

Nejprve přiložíme papírové měřítko šikmo od interpolované čáry ( $30^\circ - 50^\circ$ ) tak, aby se nižší z obou kót čáry dotýkala stupnice měřítka v místě, kde na měřítku hodnota centimetrů a milimetrů odpovídá hodnotě kóty v metrech a decimetrech. Měřítko se během interpolace nesmí pohnout. První trojúhelník přiložíme k interpolované čáře tak, aby jedna jeho hrana spojovala současně vyšší kótu na konci interpolované čáry a hodnotu, která na milimetrovém měřítku odpovídá v centimetrech a milimetrech vyšší kótě v metrech a decimetrech. K prvnímu trojúhelníku přiložíme druhý, který zůstane opět nehybný. Poslouží k tomu, aby se podél jeho hrany první trojúhelník posouval a vždy na celých centimetrech milimetrového měřítka bylo na interpolované čáře vyznačeno místo, odpovídající průsečnici čáry s určitou vrstevnicí. (Příklad na obr. 8.27 předpokládá interval vrstevnic 1 m).

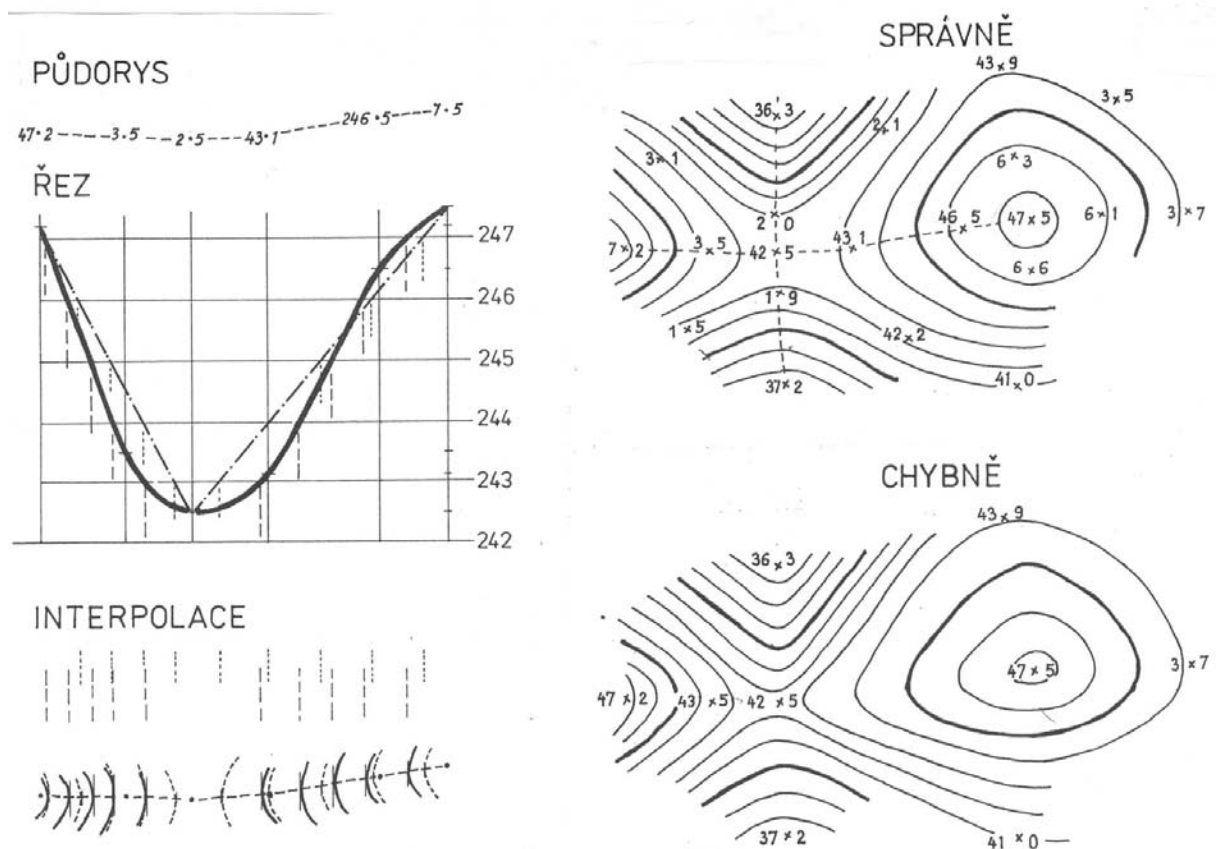
Tímto způsobem je třeba provést interpolaci na všech výše zmíněných čarách. Je třeba si uvědomit, že neprovádíme interpolaci na všech možných spojnicích mezi podrobnými výškovými body. Vždy se musí jednat o spojnice sousedících bodů ve směru největšího spádu. Interpolace nadbytečných spojnic může kvalitu celého vrstevnicového obrazu výrazně zhoršit. Při lineární interpolaci je třeba, aby interpolované průsečíky měly přesnost 0,5 – 1 mm.

Po vyinterpolování celého prostoru přistoupíme k vlastnímu vykreslení vrstevnic následovně:

- nejdříve pospojujeme lehce tužkou všechny průsečíky o stejných nadmořských výškách,
- dodržujeme zásadu, aby se vrstevnice ohýbala kolmo na hřbetnicích a údolnicích (tečna křivky v průsečíku musí být kolmá k těmto čarám),
- jde-li o terén klidný, pravidelný, mají být sousední vrstevnice téměř rovnoběžné, s plynule se měnící křivostí,
- po odstranění případných nesrovnalostí (chyby v interpolaci či špatně zanesený či vypočtený výškový bod) vykreslíme vrstevnice definitivně,
- zesílíme každou pátou vrstevnici, které je beze zbytku dělitelná pětinašobkem základního intervalu,

- provedeme rozptýleně popis vrstevnic,
- v plochých terénech je někdy vhodné sestavit ještě doplňkové vrstevnice v intervalu 0,5 vyjíměčně 0,25 hodnoty základního intervalu. Tyto doplňkové vrstevnice se vykreslují čárkovaně a vystihují přesněji určitá problematická místa v terénu. Není třeba je provádět v celém rozsahu území.

Morfologická interpolace vrstevnic bývá používána většinou při tvorbě výškopisu u map středních a malých měřítek. Je nutno provádět ji všude tam, kde mezi sousedními výškovými body nastává jiný než stejnoměrný sklon terénu. Mohou se vyskytnout dva případy: sklonu ubývá (plocha konvexní), nebo sklonu přibývá (plocha konkávní). V obou těchto případech by bylo hrubou chybou použít interpolaci lineární (viz obr. 8.28).



Obr. 8.28

Morfologickou interpolací je možno provádět pouze odhadem a citem pro terénní tvary. Zde je opět a ještě více nutný dokonale zvládnutý topografický náčrt s vyznačením ubývajícího či přibývajícího sklonu terénu (pomocí změněné hustoty horizontál na hlavních čarách terénní kostry a na spádnicích). U správně interpolovaných vrstevnic, když sklonu ubývá, zvětšuje se pravidelně rozestup vrstevnic. U přibývajícího sklonu se rozestup vrstevnic pravidelně zmenšuje.

## 8.2 Metody měření výškopisu

Za metody měření výškopisu můžeme zvolit pouze takové metody, při kterých lze určit nadmořskou výšku podrobných bodů. Konkrétně volba metody závisí na požadované přesnosti určení výškopisu, ale také na tom, zda známe přesnou polohu všech bodů, u kterých chceme znát i výšku či nikoli.

### 8.2.1 Univerzální tachymetrická metoda

Nejprve k názvu. Slovo tachymetrie (dříve tacheometrie) vzniklo složením dvou řeckých slov (tacheo – rychlost a metrein – měřit). Čili do češtiny přeloženo rychloměřictví. Univerzálnost v názvu označuje, že její využití je mnohostranné. Je nejpoužívanější metodou, protože při jejím použití lze určit nejen nadmořskou výšku podrobného bodu, ale i jeho polohu (zjišťujeme prostorovou polohu bodu). Zásadní rozdělení univerzální tachymetrické metody spočívá ve způsobu, jakým při této metodě určujeme vzdálenosti. Modernější, rychlejší a přesnější způsob určování vzdáleností pomocí elektronického dálkoměru předpokládá využití totální stanice. Taková tachymetrická metoda bývá označována jako metoda přesné tachymetrie.

Starší, méně přesný, ale z hlediska přístrojového vybavení podstatně lacinější je způsob určování vzdáleností opticky, metodou nitkového dálkoměru. Zde lze využít obyčejného technického teodolitu (viz kapitola 2.2.1). Tato metoda se nazývá metoda nitkové tachymetrie.

Při přesné tachymetrii se měřická skupina skládá z vedoucího, který vede polní náčrt, měřiče, jenž obsluhuje totální stanici a jednoho až dvou figurantů, kteří obcházejí orientační a podrobné body s odrazným hranolem na teleskopické tyči dle pokynů vedoucího měření. Postup při měření odpovídá měření polárnímu (viz kapitola 7.3). Navíc je třeba zaměřit (v metrech s přesností na centimetry) výšku přístroje. Od nejvyššího místa stabilizovaného stanoviska (hlava kolíku, vrchol trubky apod.) až k točné ose dalekohledu měřického přístroje  $v_s$  (nejlépe svinovacím dvoumetrem). Dále je třeba znát výšku středu odrazného hranolu nad terénem  $v_t$ . Zde využijeme půlcentimetrovou stupnici na teleskopické tyči (rozsah od 1,30 do 2,11 m).

Výšku přístroje měříme vždy až po centraci a horizontaci přístroje. Točná osa dalekohledu je vyznačena na dalekohledové vidlici. Změřené hodnoty zaregistruje měřič do vnitřní paměti totální stanice.

Stanoviska měření a orientační body musí mít určenu prostorovou polohu pravouhlými souřadnicemi (y,x,z).

Pro orientaci se doporučuje použít minimálně dvou sousedních měřických bodů. Jednotlivé orientační i podrobné body měřič (po zacílení na střed odrazného hranolu) registruje do vnitřní paměti totální stanice až do vyčerpání její kapacity. (2000 bodů i více podle modelu totální stanice). V případě zaplnění vnitřní paměti je třeba data přenést pomocí speciálního kabelu do počítače nebo notebooku.

Výpočet nadmořské výšky (souřadnice z), probíhá podle vzorců u obr. 4.7 z kapitoly 4.2.2 softwarem počítače. Převod lokálních polárních souřadnic do jednotné pravouhlé soustavy (y,x) je objasněn v kapitole 9.2.2. I tyto vzorce řeší příslušný software počítače (např. KOKES).

Obsluha totální stanice je velmi snadná, odpadá zde zapisovatel naměřených dat. Celá odpovědnost za správný výsledek měření je na vedoucím měřické skupiny. Musí volit správné podrobné body polohopisu s ohledem na rozumnou míru generalizace, nesmí žádný předmět měření vynechat. U podrobných bodů výškopisu se musí v terénu správně orientovat a nalézt zde dostatečný počet bodů na hlavních čarách terénní kostry, spádnících a hlavní body terénní kostry. U terénu s nevýrazným výškovým členěním musí výškové body volit

šachovnicově tak, aby v měřítku mapy nebyly od sebe dál než 3 - 4 cm (což pro měřítko mapování 1:1 000 představuje 30 – 40 m).

Přesnost metody přesné tachymetrie závisí především na kvalitě změřené délky. V současnosti se přesnost měřené délky pohybuje okolo 1 cm a příliš se neliší v závislosti na měřené vzdálenosti. Úhlová přesnost těchto přístrojů bývá udávána v miligonech a je zhruba  $2^{\text{mg}}$  ( $0,002^{\text{g}}$ ). Z obr. 3.16 vyplývá, že při průměrné délce záměry 500 m je směrový posun způsobený chybou vodorovného úhlu o  $0,002^{\text{g}}$ ,  $s_p = 0,016$  m, což zhruba odpovídá délkovému posunu, způsobenému nepřesností měřené délky. Obdobnou úvahou dospějeme i k obdobné kvalitě určení nadmořských výšek podrobných bodů. Přesnost měření je ve většině případů vyšší, než reálná možnost identifikace podrobných polohových i výškových bodů a lze ji proto použít jak pro měření extravilánu (polní trati), tak intravilánu (místní trati).

Metoda nitkové tachymetrie není zdaleka tak přesná jako předchozí metoda. Pro nízkou cenu měřického přístroje (zhruba desetinu ceny totální stanice) se dosud při měření často používá. Vzhledem ke kvalitě určené délky (30 – 50 cm na 150 m) ji lze s úspěchem použít pouze v extravilánu, kde přesnost identifikace podrobných bodů není tak kvalitní jako v intravilánu.

Měřická skupina se zvětší o zapisovatele, který do tachymetrického zápisníku (viz příl. 8.1) zapisuje naměřená data, měří výšku přístroje a po každých pěti podrobných bodech kontroluje číslování bodů, aby bylo identické s čísly v polním náčrtu, který vyhotovuje vedoucí skupiny (viz příloha 8.2). Práce měřiče u teodolitu je značně obtížnější, než při práci s totální stanicí. Nejprve zvolí vzdálenější měřický bod za počátek a pomocí repetiční svory nastaví v první poloze dalekohledu  $0^{\text{g}}$ . Na tento bod postaví jeden z figurantů – laťářů do svislé polohy měřickou lať. Měřič na lati odečte laťový úsek (viz kapitola 2.2.1), dále hodnotu střední nitě (střední rysky záměrného kříže) v metrech s přesností na centimetry. V tuto chvíli již může měřič odvolat laťáře a odečíst z odečítacího mikroskopu u okuláru dalekohledu zbývající dvě informace – vodorovný a zenitový úhel. Odečítá v gonech s přesností na  $0,01^{\text{g}}$ . Tyto čtyři informace (laťový úsek, hodnota střední nitě, vodorovný a zenitový úhel) je bezpodmínečně třeba odečítat na každém zaměřovaném bodě (podrobném i orientačním). Spolu s výškou přístroje, kterou zapisovatel změří a запиše do záhlaví zápisníku ihned po urovnání teodolitu, patří mezi nezbytné prvky, ze kterých lze určit souřadnice y,x,z podrobných bodů. Vzorec pro určení nadmořské výšky při nitkové tachymetrii vyplývá z obr. 2.5.

$$V_B = V_A + v_s \pm h - v_l$$

kde  $V_B$  = nadmořská výška určovaného bodu  
 $V_A$  = nadmořská výška stanoviska  
 $v_s$  = výška přístroje  
 $v_l$  = hodnota střední nitě  
 $h$  = převýšení mezi horizontem přístroje ( $V_H = V_A + v_s$ ) a bodem B měřeným v úrovni výšky střední nitě.  
Může nabývat jak kladných tak záporných hodnot.

$$h = \frac{1}{2} \cdot D' \cdot \sin 2z = D \cdot \cotg z$$

kde  $D' = k \cdot l$

$z$  = zenitový úhel

$k = 100$

$l$  = laťový úsek

$D$  = vodorovná délka

Nadmořské výšky orientačních měřických bodů jsou určeny předem přesnější metodou (např. technickou nivelací). Zapisovatel pomocí výše uvedeného vzorce zkontroluje přímo v terénu, zda je měření správné, pomocí příruční kalkulačky s funkcemi. Výsledek by se neměl lišit o více jak 2 cm.

Na konci měření na každém stanovišti je třeba, aby se laťář postavil na výchozí orientační bod a měřič zkontroloval především vodorovný úhel (neměl by se lišit o více jak  $0,02^{\circ}$ ). Nejlépe je, aby zapisovatel napsal tento bod ještě jednou za poslední podrobný bod.

Vzhledem k tomu, že délky jsou měřeny nitkovým dálkoměrem, neměla by největší vzdálenost od teodolitu překročit 150 m, což limituje vzdálenost stanovišek měření od sebe. Síť měřických bodů, na rozdíl od metody přesné tachymetrie, je třeba vybudovat hustší.

Výpočet souřadnic podrobných bodů bude rozdílný v případě, že použijeme k vynášení bodů polární polo či celokruhový transportér. V tom případě stačí ze vzorce  $D = k \cdot l \cdot \sin^2 z$  (viz obr. 2.5) vypočítat vodorovnou vzdálenost  $D$ , a vynášet pouze polární souřadnice.

Pokud je využit pro vynášení bodů plotr, je třeba určit jednotné ortogonální souřadnice všech bodů výpočtem na počítači.

Při ručním vynášení i při automatizované formě vynášení bodů na plotru jsou výsledkem podrobné body (polohové i výškové) opatřené kótou představující zbytkovou hodnotu nadmořské výšky. V nezpevněných místech jsou kóty udávány na decimetry, na zpevněném terénu (živice, beton) na centimetry. Desetinná tečka představuje zároveň polohu bodu.

Při ručním zpracování provedeme pospojování polohopisných čar černou tuší. Při automatizovaném zpracování využijeme geodetický software (např. KOKES). Následuje konstrukce vrstevnic, tak jak byla popsána v kapitole 8.1.3.

Opět je třeba zdůraznit, že bez kvalitně provedeného tachymetrického polního náčrtu, který musí bezpodmínečně zachycovat nejen polohopisné prvky, ale i výškopis (viz kapitola 8.1.2) nelze dosáhnout při tvorbě vrstevnic dobrého výsledku.

### 8.2.2 Plošná nivelace

Patří mezi podrobné mapovací výškopisné metody. Používá se v plochém, nepříliš svažitém a členitém terénu se zpevněným povrchem (zpravidla v zastavěném intravilánu). Protože, na rozdíl od tachymetrické metody, lze touto metodou určit pouze nadmořské výšky podrobných bodů, je základní podmínkou pro její použití polohové zaměření a zobrazení většiny podrobných výškových bodů.

Základem metody je řada pořadů technické nivelace (TN), u kterých se volí postavení nivelačního přístroje tak, aby z nich bylo možno postupně určit všechny podrobné výškové body. Pořady TN se oboustranně připojují na body výškového bodového pole.

Výšky podrobných bodů se určují bočními záměry z jednotlivých postavení nivelačního přístroje.

U bočních záměr dochází k porušení podmínky geometrické nivelace ze středu, protože podrobné body jsou rozloženy v různých vzdálenostech a směrech od postavení nivelačního přístroje. Vzhledem k požadované centimetrové přesnosti výšek podrobných bodů to lze zanedbat.

Záměry vzad a vpřed v pořadu se odečítají na mm, boční záměry stačí odečítat na cm. Několik podrobných výškových bodů, které nejsou v polohopisném podkladu zobrazeny (např. lomy rozvodných sítí, meze ap.) se polohově do podkladu doměří nejjednodušším způsobem od nejbližších zobrazených předmětů měření křížovými měřeními či ortogonálně pásmem.

Polohopisný podklad nejlépe zvětšený do dvojnásobného měřítka nám slouží jako polní náčrt. Zanivelované podrobné body číslováme průběžně od čísla 1. Číslování bočních záměr v nivelačním zápisníku pro plošnou nivelaci (viz příloha 8.3) musí odpovídat číslům v polním náčrtu.

Přímo v terénu se spočtou dosažené odchylky  $o_h$  jednotlivých pořadů TN a porovnají se s mezní odchylkou.

$$\Delta_h = 40mm \cdot \sqrt{r} \quad \text{kde } r \text{ je délka nivelačního pořadu v km}$$

V případě, že platí  $o_h < \Delta_h$ , lze odchylku v každém pořadu rovnoměrně rozdělit (na celé mm) na jednotlivé záměry vzad.

V kanceláři se spočtou nadmořské výšky u bočních záměr na podrobné body. Nivelační zápisník i polní náčrt se řádně vyadjustují.

Pozn. Metodu plošné nivelace používáme též při zaměření kontrolního profilu, pro zjištění přesnosti průběhu interpolovaných vrstevnic zaměřených tachymetrickou metodou.

## 9 GEODETICKÉ VÝPOČTY

### 9.1 Úvod

Při výpočtech prováděných v geodezii, se používají různé veličiny (měřené hodnoty úhlů, délky, výškové rozdíly, konstanty atd.), které mají rozdílné jednotky a různou přesnost. Je tedy třeba sjednotit jednotky, správně určit řád výsledku, stanovit počet platných cifer za desetinnou čárkou a správně výsledek zaokrouhlit. Pro výpočty lze použít kalkulačku s funkcemi nebo osobní počítač opatřený příslušným geodetickým softwarem.

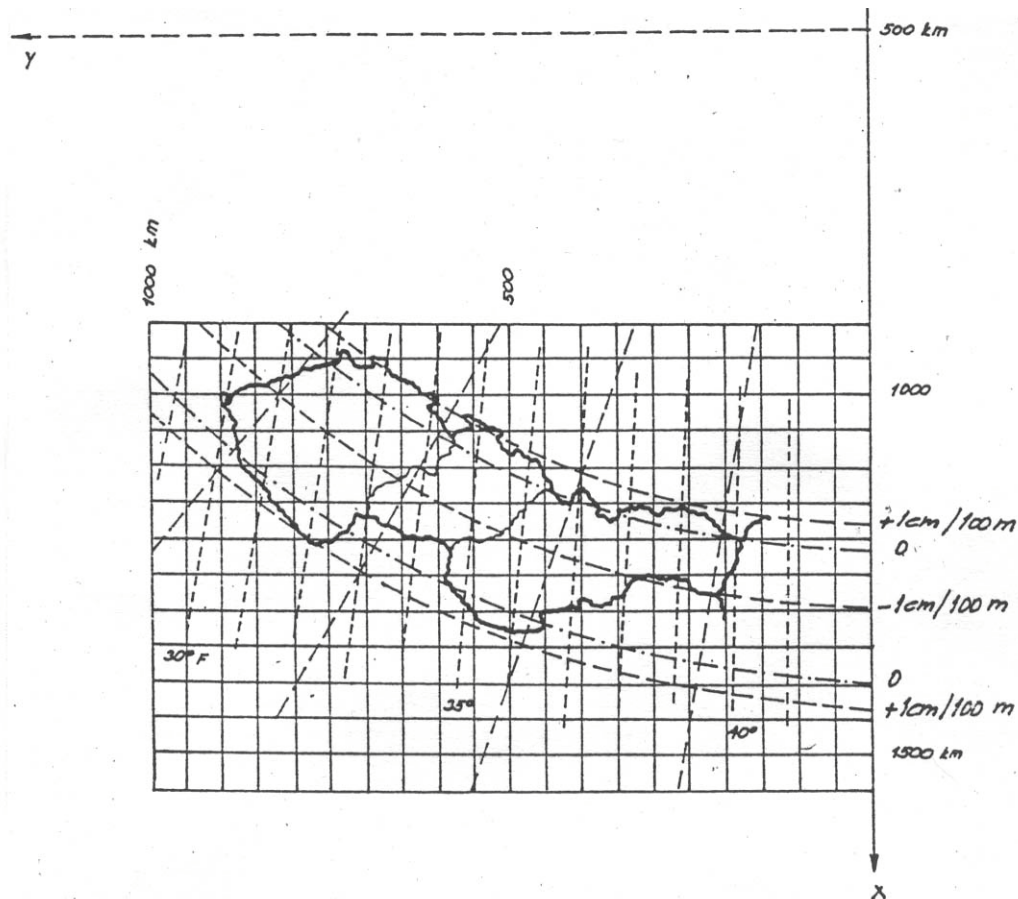
Využití výpočetní techniky značně ulehčuje a zrychluje kancelářské práce v geodezii. Tato technika však není všespasitelná. Často se stává, že nejsou dostatečně využívány její možnosti, jako např. používání paměti a různých funkcí u kalkulaček. Při výpočtu vzorců, ve kterých figurují goniometrické funkce měřených úhlů, je třeba přepnout kalkulačku do režimu gon (grad). U starších druhů kalkulaček může též nastat případ, že argument goniometrické funkce má nižší přesnost než je požadovaná. Proto je třeba se nejprve rozhodnout, zda je kalkulačka pro daný typ výpočtů vůbec použitelná.

### 9.2 Souřadnicové výpočty

V následující kapitole bude věnována pozornost určování rovinných pravoúhlých souřadnic  $y$ ,  $x$ . Všechny následující výpočty budou odvozovány ve státní geodetické soustavě pro civilní sektor S – JTSK (systém jednotné trigonometrické sítě katastrální).

Tato pravoúhlá soustava rovinných souřadnic platí na území České republiky od roku 1928. Její tvůrce Ing. Křovák, šéf triangulační kanceláře tehdejšího ministerstva financí, vyhrál soutěž na zobrazení pro Československou republiku. Křovákovo obecné kuželové zobrazení bylo konformní (nezkreslovalo úhly). Vrchol pláště kužele rozvinutého do roviny představuje počátek této soustavy a nachází se v blízkosti St. Peterburgu v Rusku. Kladný směr osy  $x$  směřuje k jihu a osa  $y$  je pootočena o  $90^\circ$  ve směru pohybu hodinových ručiček. Celá republika má souřadnice  $y$  i  $x$  kladné (viz obr.9.1). Celý převod zeměpisných souřadnic trigonometrické sítě z Besselova elipsoidu do roviny pláště kužele probíhal přes Gaussovu kouli, kterou nechal Ing. Křovák zmenšit (poloměr koule násobil koeficientem 0.9999).

Dosáhl tak zmenšení délkového zobrazení na hodnotu nepřevyšující  $1 \text{ cm} / 100 \text{ m}$ . Kužel obecně umístěný na Gaussovu kouli nebyl tedy tečný, ale sečný. Protínal republiku ve dvou tzv. kartografických rovnoběžkách na nichž není žádné délkové zobrazení (čerchovaná čára na obr. 9.1). Mezi těmito kartografickými rovnoběžkami má délkové zobrazení záporné hodnoty a se vzdalováním od nich narůstá. Vně kartografických rovnoběžek má délkové zobrazení hodnoty kladné a opět se se vzdalováním od nich zvětšuje.



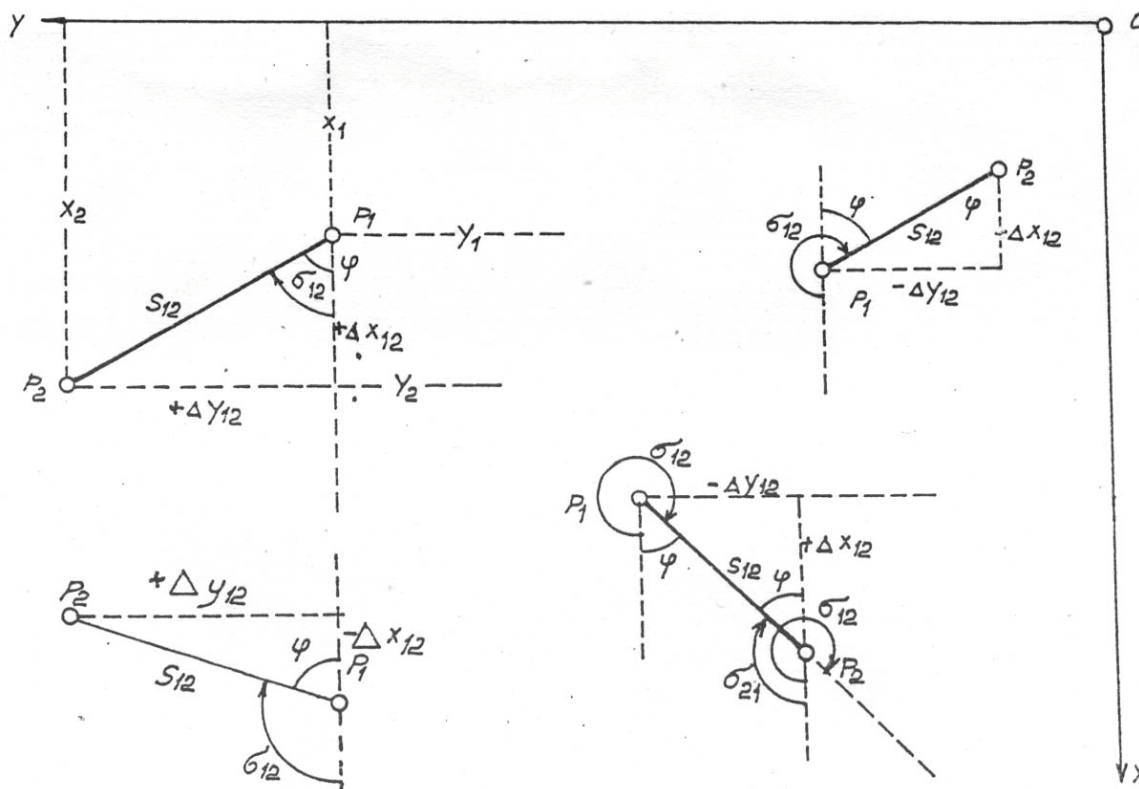
Obr. 9.1

### 9.2.1 Směrník

Základní úlohou v geodetických výpočtech je určení směrníku zvolené spojnice dvou bodů daných rovinnými souřadnicemi  $y$ ,  $x$ .

Směrník je úhel, měřený na zvoleném bodě přímky, který svírá rovnoběžka kladné osy  $X$  s přímkou. Měří se od rovnoběžky ve směru pohybu hodinových ručiček k přímce a může nabývat hodnot od  $0^\circ$  do  $400^\circ$ . V této soustavě bývá též nazýván jako jižník (rovnoběžka směřuje k jihu). Je označován řeckým symbolem  $\sigma$  (viz obr.9.2).

$$\operatorname{tg} \sigma_{12} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}}$$



Obr.9.2

Při výpočtu směrníku vypočteme nejprve tzv. tabulkový úhel  $\varphi$ ,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{|\Delta y|}{|\Delta x|}$$

v mezích  $0^\circ - 100^\circ$  a podle znamének souřadnicových rozdílů (viz následující tabulka) rozhodneme, ve kterém kvadrantu je hledaný směrník.

	I. kvadrant	II. kvadrant	III. kvadrant	IV. kvadrant
$\Delta y$	+	+	-	-
$\Delta x$	+	-	-	+
$\sigma$	$\varphi$	$200^\circ - \varphi$	$200^\circ + \varphi$	$400^\circ - \varphi$

Velikou výhodou je, že tento základní výpočet lze nezávislým vzorcem zkontrolovat tzv.  $50^\circ$  kontrolou :

$$\operatorname{tg}(\sigma + 50^\circ) = \frac{(x_2 + y_2) - (x_1 + y_1)}{(x_2 - y_2) - (x_1 - y_1)}$$

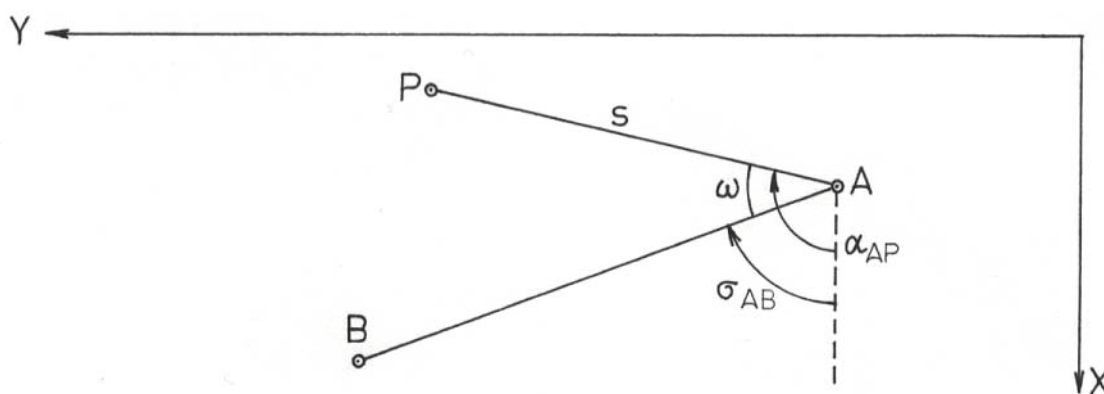
Kontrolní výpočet provedeme též nejprve v absolutních hodnotách čitatele a jmenovatele a podle výše uvedené tabulky určíme velikost  $\sigma_{12} + 50^\circ$ . Zásadně porovnáváme úhel nikoli funkci.

Z obr. 9.2 můžeme snadno odvodit délku strany  $s_{12}$  mezi body  $P_1$  a  $P_2$  trojím způsobem:

$$s_{12} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \sigma_{12}} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \sigma_{12}} = \sqrt{\Delta y_{12}^2 + \Delta x_{12}^2}$$

### 9.2.2 Rajon

Tato úloha patří mezi nejběžnější výpočty souřadnic bodů. Nejčastěji se tímto způsobem počítají souřadnice podrobných bodů zaměřených polárně (viz kapitola 7.3). Jde o úlohu převést souřadnice polární na pravoúhlé. U některých modelů kalkulaček je zabudován algoritmus na tento převod.



Obr. 9.3

**Dáno :** A, B (y, x)

**Měřeno :**  $\omega$  – vodorovný úhel  
s – vodorovná délka

**Určit :** P (y, x)

- před vlastním výpočtem je třeba určit směrník  $\sigma_{AB}$  podle kapitoly 9.2.1.
- vypočteme směrník  $\alpha_{AP}$

$$\alpha_{AP} = \sigma_{AB} + \omega$$

$\alpha_{AP}$  je směrník k určovanému bodu P. Protože má v sobě obsažen měřený prvek (vodorovný úhel  $\omega$ ), nazývá se  $\alpha$ .

- výsledné souřadnice

$$y_P = y_A + s \cdot \sin \alpha_{AP} = y_A + \Delta y_{AP}$$

$$x_P = x_A + s \cdot \cos \alpha_{AP} = x_A + \Delta x_{AP}$$

### 9.2.3 Protínání vpřed

Úloha protínání vpřed je aplikovaná především u výpočtu souřadnic bodů bodových polí. Ze dvou známých bodů, pomocí dvou vodorovných úhlů či délek lze snadno vypočítat souřadnice nového bodu. Protínání vpřed dělíme na :

- protínání z úhlů
- protínání z orientovaných směrů
- protínání z délek (trilaterace)

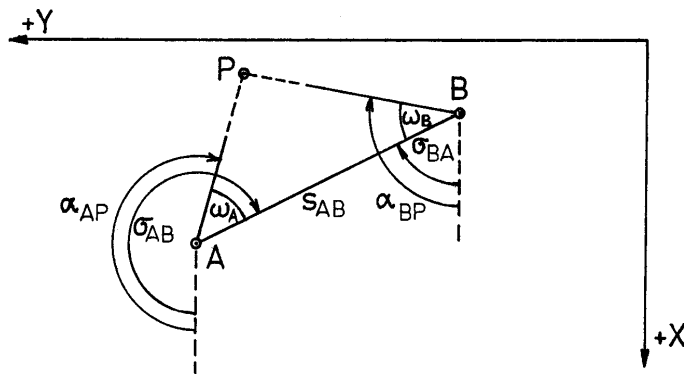
Při všech měřeních má být splněna podmínka pro správné určení neznámého bodu P : protínací úhel na bodě P by měl být v intervalu 30°-170°. Ideální úhel protnutí je 100°.

#### Protínání vpřed z úhlů

**Dáno :** A, B (y, x)

**Měřeno :**  $\omega_A, \omega_B$

**Určit :** P (y, x)



Obr. 9.4

a) vypočteme směrnik  $\sigma_{AB}$  a stranu  $s_{AB}$  (viz kapitola 9.2.1)

$$\sigma_{BA} = \sigma_{AB} - 200^\circ$$

b) vypočteme strany  $s_{AP}, s_{BP}$  ze sinové věty

$$\frac{s_{AP}}{s_{AB}} = \frac{\sin \omega_B}{\sin(\omega_A + \omega_B)} \Rightarrow s_{AP} = s_{AB} \frac{\sin \omega_B}{\sin(\omega_A + \omega_B)}$$

$$\frac{s_{BP}}{s_{AB}} = \frac{\sin \omega_A}{\sin(\omega_A + \omega_B)} \Rightarrow s_{BP} = s_{AB} \frac{\sin \omega_A}{\sin(\omega_A + \omega_B)}$$

c) vypočteme směrníky

$$\alpha_{AP} = \sigma_{AB} - \omega_A$$

$$\alpha_{BP} = \sigma_{BA} + \omega_B$$

d) výsledné souřadnice

$$y_P = y_A + s_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP} = y_B + s_{BP} \cdot \sin \alpha_{BP}$$

$$x_P = x_A + s_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP} = x_B + s_{BP} \cdot \cos \alpha_{BP}$$

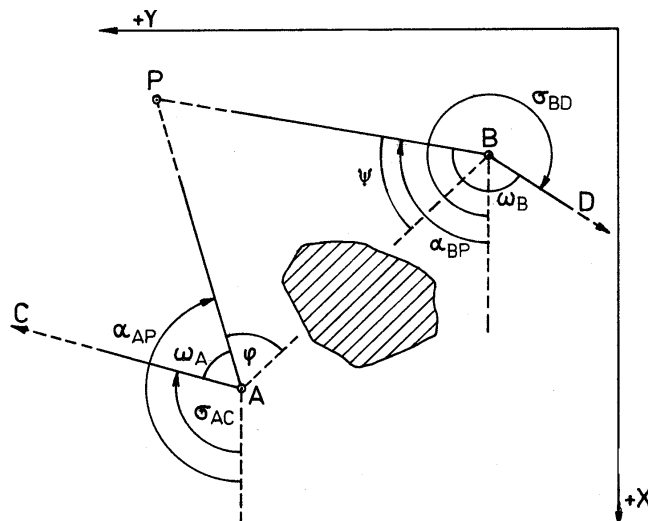
**POZOR!** DVOJÍ VÝPOČET SOUŘADNIC BODU P PŘEDSTAVUJE POUZE POČETNÍ KONTROLU

#### Protínání vpřed z orientovaných směrů

**Dáno :** A, B, C, D (y, x)

**Měřeno :**  $\omega_A, \omega_B$

**Určit :** P (y, x)



Obr. 9.5

a) vypočteme směrníky  $\sigma_{AC}$ ,  $\sigma_{BD}$ ,  $\sigma_{AB}$  a stranu  $s_{AB}$  (viz kapitola 9.2.1)

b) vypočteme orientované směry  $\alpha_{AP} = \sigma_{AC} + \omega_A$

$$\alpha_{BP} = \sigma_{BD} + \omega_B \quad (-400^\circ)$$

c) vypočteme pomocné úhly  $\varphi, \psi$

$$\varphi = \sigma_{AB} - \alpha_{AP} \quad \psi = \alpha_{BP} - \sigma_{BA}$$

d) vypočteme strany  $s_{AP}, s_{BP}$  ze sinové věty (trojúhelník ABP)

$$s_{AP} = s_{AB} \cdot \frac{\sin \psi}{\sin(\varphi + \psi)} \quad s_{BP} = s_{AB} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\varphi + \psi)}$$

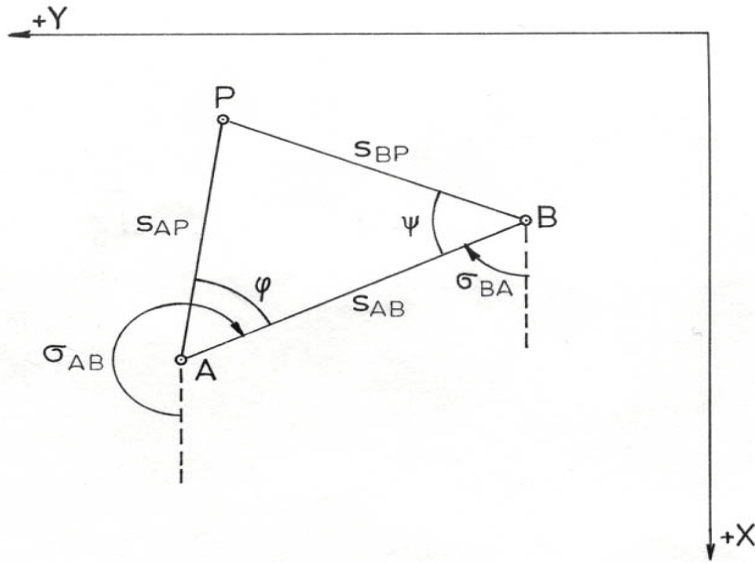
e) výsledné souřadnice

$$y_P = y_A + s_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP} = y_B + s_{BP} \cdot \sin \alpha_{BP}$$

$$x_P = x_A + s_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP} = x_B + s_{BP} \cdot \cos \alpha_{BP}$$

**POZOR!** DVOJÍ VÝPOČET SOUŘADNIC BODU P PŘEDSTAVUJE POUZE POČETNÍ KONTROLU

### Protínání vpřed z délek (trilaterace)



Obr. 9.6

**Dáno :** A, B (y, x)

**Měřeno :**  $s_{AP}$ ,  $s_{BP}$

**Určit :** P (y, x)

a) vypočteme směrnik  $\sigma_{AB}$  a stranu  $s_{AB}$  (viz kapitola 9.2.1)

b) vypočteme úhel  $\varphi$ ,  $\psi$  z kosinové věty (trojúhelník ABP)

$$s_{BP}^2 = s_{AB}^2 + s_{AP}^2 - 2 s_{AB} \cdot s_{AP} \cdot \cos \varphi \quad \cos \varphi = \frac{s_{AB}^2 + s_{AP}^2 - s_{BP}^2}{2 s_{AB} \cdot s_{AP}}$$

$$s_{AP}^2 = s_{AB}^2 + s_{BP}^2 - 2 s_{AB} \cdot s_{BP} \cdot \cos \psi \quad \cos \psi = \frac{s_{AB}^2 + s_{BP}^2 - s_{AP}^2}{2 s_{AB} \cdot s_{BP}}$$

c) vypočteme směrníky  $\alpha_{AP} = \sigma_{AB} - \varphi$

$$\alpha_{BP} = \sigma_{BA} + \psi$$

d) výsledné souřadnice

$$y_P = y_A + s_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP} = y_B + s_{BP} \cdot \sin \alpha_{BP}$$

$$x_P = x_A + s_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP} = x_B + s_{BP} \cdot \cos \alpha_{BP}$$

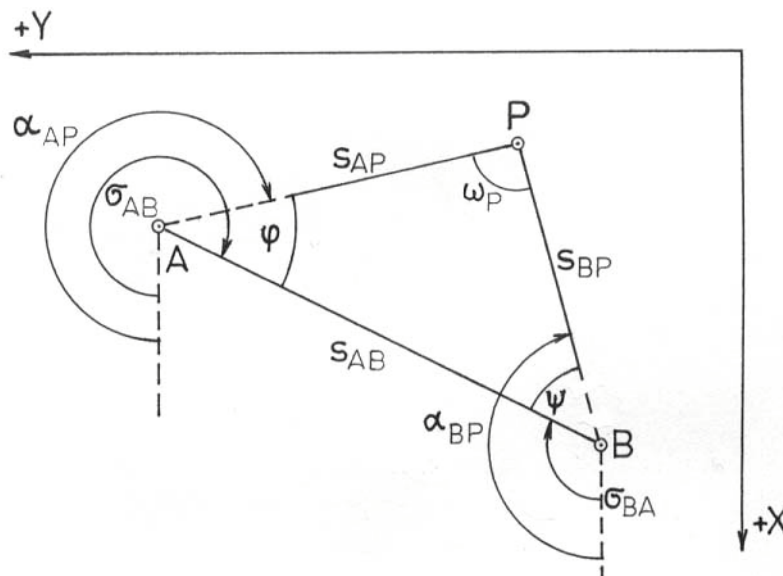
**POZOR!** DVOJÍ VÝPOČET SOUŘADNIC BODU P PŘEDSTAVUJE POUZE POČETNÍ KONTROLU

### 9.2.3 Volné stanovisko

**Dáno :** A, B (y, x)

**Měřeno :**  $S_{AP}$ ,  $S_{BP}$ ,  $\omega_P$

**Určit :** P (y, x)



Obr. 9.7

V tomto případě stojíme s teodolitem nebo totální stanicí přímo na určovaném bodu. U totální stanice bývá výpočetní algoritmus přímo součástí její výbavy. Toto řešení je oblíbené především u polohového vytyčování polární metodou v místech, kde je nebezpečí zničení předem stabilizovaných a určených vytyčovacích bodů.

a) vypočteme směrník  $\sigma_{AB}$  a stranu  $S_{AB}$  (viz kapitola 9.2.1)

$$\sigma_{BA} = \sigma_{AB} - 200^g$$

b) vypočteme úhel  $\varphi$ ,  $\psi$  ze sinové věty (trojúhelník ABP)

$$\sin \varphi = \sin \omega_P \cdot \frac{S_{BP}}{S_{AB}} \qquad \sin \psi = \sin \omega_P \cdot \frac{S_{AP}}{S_{AB}}$$

c) vypočteme směrníky  $\alpha_{AP} = \sigma_{AB} - \varphi$   
 $\alpha_{BP} = \sigma_{BA} + \psi$

c) výsledné souřadnice

$$y_P = y_A + S_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP} = y_B + S_{BP} \cdot \sin \alpha_{BP}$$

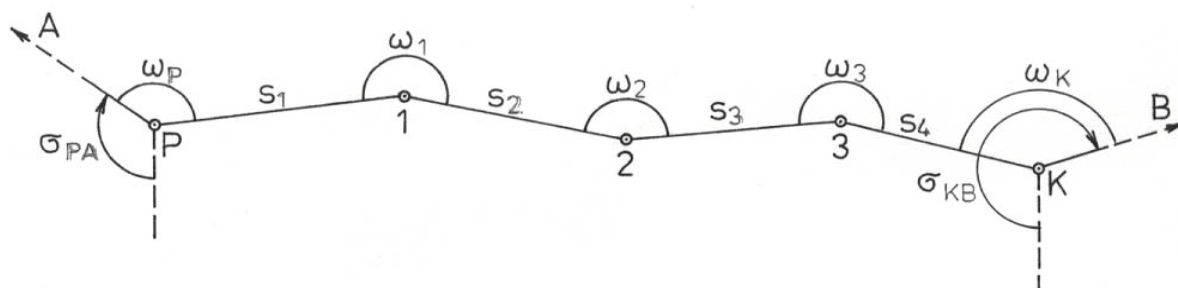
$$x_P = x_A + S_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP} = x_B + S_{BP} \cdot \cos \alpha_{BP}$$

**POZOR!** LÉPE JE URČIT SOUŘADNICE VOLNÉHO STANOVISKA (BODU P) ZE TŘÍ BODŮ. VÝSLEDKEM POTOM BUDE ARITMETICKÝ PRŮMĚR Z VYPOČTENÝCH SOUŘADNIC.

### 9.2.5 Polygonové pořady

O problematice polygonových pořadů bylo pojednáno v kapitole 6.1. Dále bude odvozen vlastní výpočet bodů různých druhů polygonových pořadů.

#### Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad



Obr. 9.8

**Dáno :** A, B, P, K (y, x)

**Měřeno :**  $S_1, S_2, S_3, S_4, \omega_P, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_K$

**Určit :** 1, 2, 3 (y, x)

V principu je řešení založeno na postupném výpočtu na sebe navazujících rajonů (viz kapitola 9.2.2). Vzhledem k tomu, že máme dány a naměřeny nadbytečné prvky pro výpočet, je třeba provést vyrovnání souřadnic nových bodů 1, 2, 3. Pro naše účely postačí vyrovnání přibližné, které rozdělujeme na úhlové a souřadnicové. Úhlové vyrovnání lze provést, protože na konci pořadu je měřen připojovací úhel  $\omega_K$  (orientace na konci pořadu). Souřadnicové vyrovnání lze též provést, protože jsou známy souřadnice koncového bodu K k němuž je měřena strana  $s_4$  a vrcholový úhel  $\omega_3$ . (Konkrétní výpočet viz příl. 9.1.)

- 1) úhlové vyrovnání provádíme rovnoměrně na všechny vrcholové úhly
  - a) vypočteme směrníky  $\sigma_{PA}, \sigma_{KB}$  (viz kapitola 9.2.1)
  - b) sečteme všechny vrcholové úhly  $\omega_P, \omega_1, \dots, \omega_K = [\omega]$
  - c) vypočteme  $\alpha'_{KB} = \sigma_{PA} + [\omega] - i \cdot 200^g$   
kde  $i$  je počet násobků  $200^g$
  - d) spočteme odchylku úhlového uzávěru  $o_\omega = \sigma_{KB} - \alpha'_{KB}$
  - e)  $o_\omega$  porovnáme s mezní odchylkou úhlového uzávěru  $\Delta_\omega$   
pro hlavní polygonový pořad  $\Delta_\omega = 10^{mg} \cdot \sqrt{n}$   
pro vedlejší polygonový pořad  $\Delta_\omega = 37,5^{mg} \cdot \sqrt{n+2}$   
kde  $n$  je počet vrcholových úhlů
  - f) v případě  $o_\omega < \Delta_\omega$  spočteme opravu  $d_\omega$
  - g)  $d_\omega = \frac{o_\omega}{n}$   $n \dots$  počet vrcholových úhlů
  - h) výpočet směrníků

$$\begin{aligned}\alpha_{P1} &= \sigma_{PA} + \omega_P + d_\omega \\ \alpha_{12} &= \alpha_{P1} - 200^g + \omega_1 + d_\omega \\ \alpha_{23} &= \alpha_{12} - 200^g + \omega_2 + d_\omega \\ \alpha_{3K} &= \alpha_{23} - 200^g + \omega_3 + d_\omega \\ \alpha_{KB} &= \alpha_{3K} - 200^g + \omega_4 + d_\omega \Rightarrow \text{kontrola } \sigma_{KB} = \alpha_{KB}\end{aligned}$$

2) souřadnicové vyrovnání – provádíme buď úměrně absolutním hodnotám souřadnicových rozdílů (při měření stran pásmem či optickým dálkoměrem), nebo rovnoměrně na všechny souřadnicové rozdíly (při měření stran elektronickým dálkoměrem)

a) vypočteme  $\Delta y'_{P1} = s_1 \cdot \sin \alpha_{P1}$  ;  $\Delta x'_{P1} = s_1 \cdot \cos \alpha_{P1}$   
 $\vdots$   
 $\Delta y'_{3K} = s_4 \cdot \sin \alpha_{3K}$  ;  $\Delta x'_{3K} = s_4 \cdot \cos \alpha_{3K}$

b) sečteme  $\Delta y'_{P1}, \Delta y'_{12}, \dots, \Delta y'_{3K} = [\Delta y']$   
sečteme  $\Delta x'_{P1}, \Delta x'_{12}, \dots, \Delta x'_{3K} = [\Delta x']$

c) vypočteme  $\Delta y_{PK} = y_K - y_P$   $\Delta x_{PK} = x_K - x_P$

d) spočteme souřadnicové uzávěry a polohový uzávěr  
 $o_y = \Delta y_{PK} - [\Delta y']$   $o_x = \Delta x_{PK} - [\Delta x']$   
 $o_p = \sqrt{o_y^2 + o_x^2}$

e)  $o_p$  porovnáme s mezní odchylkou  $\Delta_p$   
pro hlavní polygonový pořad  $\Delta_p = 0,011 \cdot \sqrt{[s]} + 0,12 \text{ m}$   
pro vedlejší polygonový pořad  $\Delta_p = 0,030 \cdot \sqrt{[s]} + 0,15 \text{ m}$   
kde  $[s]$  je součet polygonových stran v metrech

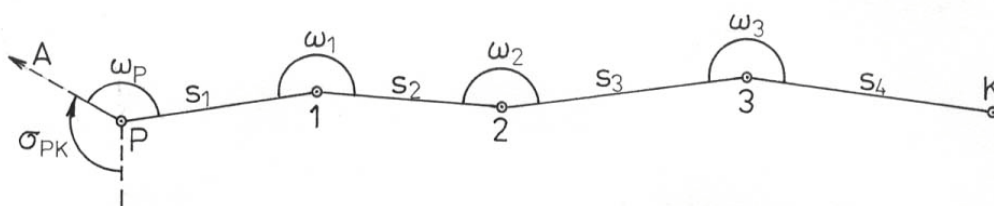
f) v případě  $o_p < \Delta_p$  spočteme opravy  $d_{\Delta y_{ik}}, d_{\Delta x_{ik}}$ . Rozdělení oprav odvodíme úměrně absolutním hodnotám souřadnicových rozdílů.

$$d_{\Delta y_{ki}} = \frac{o_y}{[\Delta y']} \cdot |\Delta y'_{ik}| \quad d_{\Delta x_{ki}} = \frac{o_x}{[\Delta x']} \cdot |\Delta x'_{ik}|$$

g) výpočet souřadnic bodů 1, 2, 3

$$\begin{aligned}y_1 &= y_P + (\Delta y'_{P1} + d_{\Delta y_{P1}}) & x_1 &= x_P + (\Delta x'_{P1} + d_{\Delta x_{P1}}) \\ y_2 &= y_1 + (\Delta y'_{12} + d_{\Delta y_{12}}) & x_2 &= x_1 + (\Delta x'_{12} + d_{\Delta x_{12}}) \\ y_3 &= y_2 + (\Delta y'_{23} + d_{\Delta y_{23}}) & x_3 &= x_2 + (\Delta x'_{23} + d_{\Delta x_{23}}) \\ \text{kontrola: } & y_K = y_3 + (\Delta y'_{3K} + d_{\Delta y_{3K}}) & x_K &= x_3 + (\Delta x'_{3K} + d_{\Delta x_{3K}})\end{aligned}$$

### Oboustranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad



Obr. 9.9

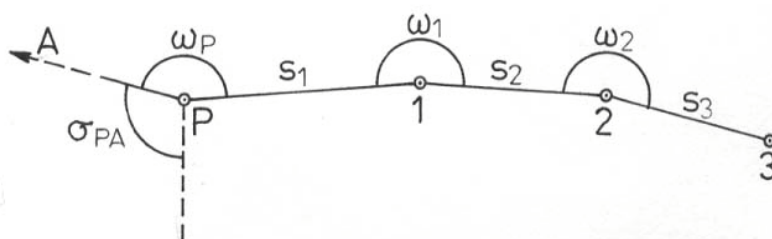
**Dáno :** A, P, K (y, x)

**Měřeno :**  $s_1, s_2, s_3, s_4, \omega_P, \omega_1, \omega_2, \omega_3$

**Určit :** 1, 2, 3 (y, x)

V principu je řešení založeno na postupném výpočtu na sebe navazujících rajonů (viz kapitola 9.2.2). Oproti předchozímu případu chybí orientace na konci pořadu (vrcholový úhel  $\omega_K$ ). Není proto možno provést úhlové vyrovnání. Souřadnicové vyrovnání provést lze (jsou známy souřadnice koncového bodu K). Postup souřadnicového vyrovnání je shodný s předcházejícím případem.

### Jednostranně připojený a orientovaný polygonový pořad (volný)



Obr. 9.10

**Dáno :** A, P, K (y, x)

**Měřeno :** s, s, s,  $\omega, \omega, \omega$

**Určit :** 1, 2, 3 (y, x)

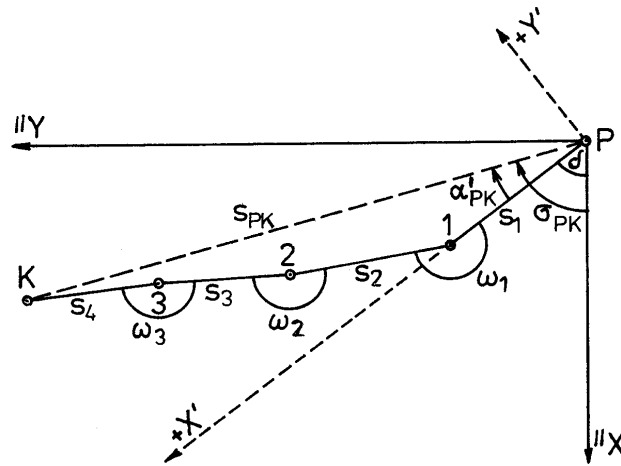
V principu je řešení opět založeno na postupném výpočtu na sebe navazujících rajonů (viz kapitola 9.2.2). Nelze zde provést úhlové ani souřadnicové vyrovnání (nejdou zadány ani změřeny žádné nadbytečné prvky). Není zde žádná kontrola měření ani výpočtu. Je lépe se takovému řešení vyhnout. V případě nouze by volný pořad měl mít **maximálně** tři strany.

Oboustranně připojený a neorientovaný polygonový pořad (vetknutý)

**Dáno :** P, K (y, x)

**Měřeno :**  $s_1, s_2, s_3, \omega_1, \omega_2, \omega_3$

**Určit :** 1, 2, 3 (y, x)



Obr. 9.11

Princip řešení: nejprve vypočteme souřadnicové rozdíly hledaných bodů v pomocné souřadnicové soustavě  $Y', X'$ . Výpočet v systému S-JTSK provedeme buď pomocí úhlu stočení s následným souřadnicovým vyrovnáním nebo podobnostní transformací.

Dále bude odvozen výpočet pomocí úhlu stočení s následným souřadnicovým vyrovnáním.

- vypočteme směrník  $\sigma_{PK}$  a stranu  $s_{PK}$  (viz kapitola 9.2.1)
- zvolíme pomocnou souřadnicovou soustavu  $Y', X'$   
počátek – bod P  
kladný směr osy  $X'$  – první polygonová strana
- vypočteme směrníky stran polygonového pořadu v pomocné soustavě  
 $\alpha'_{P1} = 0,0^g$   
 $\alpha'_{12} = \alpha'_{P1} + \omega_1 - 200^g$   
 $\alpha'_{23} = \alpha'_{12} + \omega_2 - 200^g$   
 $\alpha'_{3K} = \alpha'_{23} + \omega_3 - 200^g$
- vypočteme souřadnicové rozdíly v pomocné soustavě
 

$\Delta y'_{P1} = s_1 \cdot \sin \alpha'_{P1};$	$\Delta x'_{P1} = s_1 \cdot \cos \alpha'_{P1}$
$\Delta y'_{12} = s_2 \cdot \sin \alpha'_{12};$	$\Delta x'_{12} = s_2 \cdot \cos \alpha'_{12}$
$\Delta y'_{23} = s_3 \cdot \sin \alpha'_{23};$	$\Delta x'_{23} = s_3 \cdot \cos \alpha'_{23}$
$\Delta y'_{3K} = s_4 \cdot \sin \alpha'_{3K};$	$\Delta x'_{3K} = s_4 \cdot \cos \alpha'_{3K}$
- sečteme
 

$\Delta y'_{P1}, \dots, \Delta y'_{3K} = [\Delta y'] = y'_K$
$\Delta x'_{P1}, \dots, \Delta x'_{3K} = [\Delta x'] = x'_K$
- vypočteme  $s'_{PK}$ 

$$s'_{PK} = \sqrt{[\Delta y']^2 + [\Delta x']^2}$$

- g) spočteme odchylku mezi stranou  $s_{PK}$  viz bod a) a stranou  $s'_{PK}$  viz bod f)

$$o_s = s_{PK} - s'_{PK}$$

- h)  $o_s$  porovnáme s mezní odchylkou  $\Delta_s$

$$\Delta_s = 0,01 \sqrt{[s]} + 0,04 \text{ m} \quad \text{kde } [s] \text{ je součet všech stran v metrech}$$

- i) v případě  $o_s < \Delta_s$  spočteme úhel stočení  $\delta$

$$\delta = \sigma_{PK} - \alpha'_{PK} \quad \text{tg } \alpha'_{PK} = \frac{[\Delta y']}{[\Delta x']}$$

- j) o úhel stočení opravíme směrníky v pomocné souřadnicové soustavě

$$\alpha_{P1} = \alpha'_{P1} + \delta$$

$$\alpha_{12} = \alpha'_{12} + \delta$$

$$\alpha_{23} = \alpha'_{23} + \delta$$

$$\alpha_{3K} = \alpha'_{3K} + \delta$$

- k) s opravenými směrníky spočteme  $\Delta y, \Delta x$  v soustavě S-JTSK

- l) provedeme souřadnicové vyrovnání (viz oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad)

- m) vypočteme souřadnice bodů 1, 2, 3 (viz oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad)

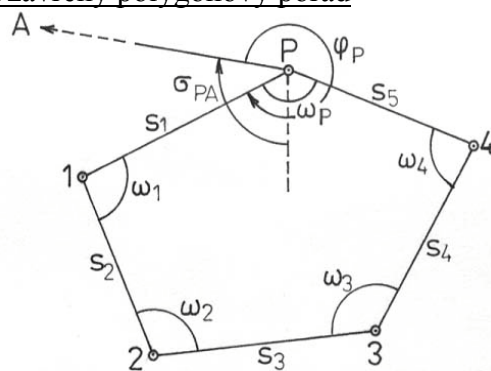
### Uzavřený polygonový pořad

**Dáno :** A, P (y, x)

**Měřeno :**  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$

$\omega_P, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \varphi_P$

**Určit :** 1, 2, 3, 4 (y, x)



Obr. 9.12

V principu se jedná o postupný výpočet na sebe navazujících rajonů (viz kapitola 9.2.2). Z poučky o součtu vnitřních (resp. vnějších) úhlů v uzavřeném obrazci získáme úhlovou kontrolu a lze provést úhlové vyrovnání. Protože bod P je totožný s bodem K, lze provést i souřadnicové vyrovnání. V případě, že z bodu P je možná orientace na dva známé body A a B je lépe ji využít. Výpočet úhlového vyrovnání bude potom totožný s úhlovým vyrovnáním polygonového pořadu oboustranně připojeného a orientovaného. Lze tím zamezit možné chybě v měření úhlu  $\varphi_P$  a možného pootočení celého polygonového pořadu.

- 1) úhlové vyrovnání (u případu z obr. 9.12) – rovnoměrně na všechny vrcholové úhly
  - a) vypočteme směrník  $\sigma_{PA}$  (viz kapitola 9.2.1)
  - b) sečteme všechny vrcholové úhly  $\omega_P, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4 = [\omega]$
  - c) mělo by platit  $[\omega] = (n - 2) \cdot 200^g$   
event.  $(n + 2) \cdot 200^g$  pro vnější úhly  
 $[\omega] = 600^g$
  - d) spočteme odchylku úhlového uzávěru  
 $o_\omega = (n - 2) \cdot 200^g - [\omega]$
  - e)  $o_\omega$  porovnáme s mezní odchylkou úhlového uzávěru  $\Delta_\omega$  (viz polygonový pořad oboustranně připojený a orientovaný)
  - f) v případě  $o_\omega < \Delta_\omega$  spočteme opravu  $d_\omega$   
$$d_\omega = \frac{o_\omega}{n}$$
 kde n je počet vrcholových úhlů
  - g) výpočet směrníků
 
$$\alpha_{P1} = \sigma_{PA} + \varphi_P + \omega_P + d_\omega \quad (-400^g)$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{P1} + \omega_1 + d_\omega - 200^g$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{12} + \omega_2 + d_\omega - 200^g$$

$$\alpha_{34} = \alpha_{23} + \omega_3 + d_\omega - 200^g$$

$$\alpha_{4P} = \alpha_{34} + \omega_4 + d_\omega - 200^g$$
- 2) souřadnicové vyrovnání a výpočet souřadnic bodu 1, 2, 3, 4 viz řešení oboustranně připojeného a orientovaného polygonového pořadu

Poznámka: hodnoty  $[\Delta y]$  a  $[\Delta x]$  se mají rovnat nule (bod P  $\equiv$  K). Uzavřený polygonový pořad není z hlediska geometrických parametrů ideální řešení. Není zde respektován požadavek co možná nejpřímějšího vedení polygonového pořadu. Kvalita takto určených bodů je nižší.

## 10 VYTYČOVACÍ PRÁCE

Vytyčováním zpravidla rozumíme přenesení projektovaného objektu nebo jednotlivých bodů geodetickým měřením do terénu. Podkladem pro vytyčování polohy bývá obvykle mapa nebo plán velkého měřítka. Zde je zakreslen nový, dosud neexistující projektovaný objekt. Pro výšková vytyčování jsou výchozími podklady obvykle podélné a příčné profily (řezy).

Vytyčování se uplatňuje ve všech oborech stavební činnosti. Vytyčujeme jak objekty s prostorovou skladbou, tak objekty liniové a plošné. V zemědělství a lesnictví se geodetickými metodami vytyčují hospodářsko – technické úpravy pozemků, lesní a polní cesty, účelové stavební objekty (např. kravíny, silážní jámy apod.), mostky, malé vodní nádrže, odvodňovací a zavodňovací stavby atd.

Při vytyčování je třeba dbát na přesnost, pečlivost a spolehlivost práce s ohledem na maximální hospodárnost. Proto je nutno znát důkladně metody a postupy použité při vytyčení a používat všechny dostupné kontroly vytyčení, bez kterých nelze žádné vytyčování odpovědně provádět.

Vytyčovací práce dělíme na:

- polohové vytyčování – vytyčování v horizontální rovině v systému S – JTSK nebo místní soustavě
- výškové vytyčování – vytyčení nadmořských výšek v systému Bpv, eventuálně místním

K přístrojům a pomůckám, které jsou stejné jako při měření příslušnými metodami je třeba přiřadit kolíky, stavební dřevo, hřebíky, kladivo, pilu, barvu, provaz, ochranné tyče apod.

### 10.1 Polohové vytyčování

Před vlastním vytyčením je třeba nejprve v zájmovém prostoru vybudovat síť vytyčovacích bodů, ze kterých bude vytyčení provedeno. Je možno využít stávajících bodů polohového pole, které je podle potřeby možno zhustit a eventuálně ochránit před zničením během výstavby. Všechny vytyčovací body musí mít jednotný polohový systém, (zpravidla S-JTSK).

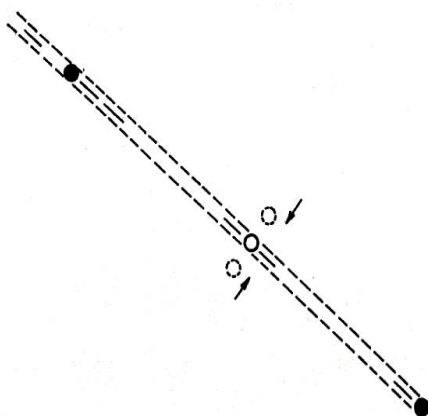
V kanceláři je třeba spočítat vytyčovací prvky a vyhotovit VYTYČOVACÍ VÝKRES, který musí mít tyto náležitosti:

- a) schematický náčrt objektu s vyznačenými hlavními vytyčovými body a vytyčovacími body
- b) místopisy vytyčovacích bodů
- c) vytyčovací prvky hlavních vytyčovaných bodů
- d) kontrolní údaje pro vytyčování (projektované konstrukční míry, délky úhlopříček projektovaných pravoúhlých objektů apod.)
- e) předepsanou přesnost vytyčení
- f) použitý polohový systém (S-JTSK, místní)

### 10.1.1 Základní vytyčovací úlohy

U těchto základních úloh zpravidla vystačíme s pásmem, výtyčkami ve stojáncích, dvojitým pentagonálním hranolem, měřickými hřeby, kolíky a kladivem. Mezi základní úlohy patří:

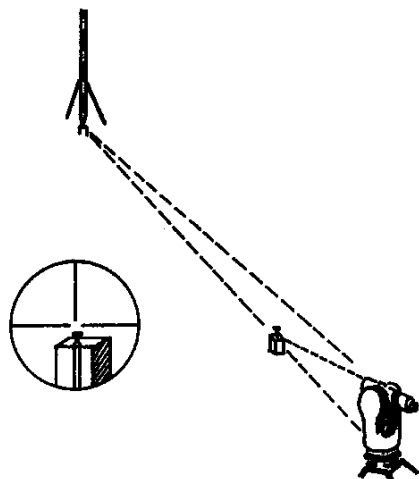
#### a) vytyčení přímky:



Obr. 10.1

#### od oka (obr. 10.1)

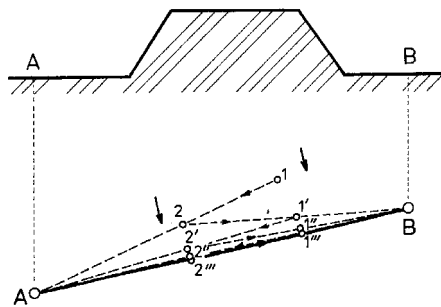
pro přímky do 200 m, je-li vidět mezi koncovými body, vytyčíme přímku pouhým zařazováním. Na koncové body přímky postavíme do stojánek výtyčky. Postavíme se za jeden koncový bod a figuranta se třetí výtyčkou zařadíme do směru. Zařazení můžeme opakovat. Přitom dosáhneme přesnost v zařazení výtyčky 3-5 cm.



Obr. 10.2

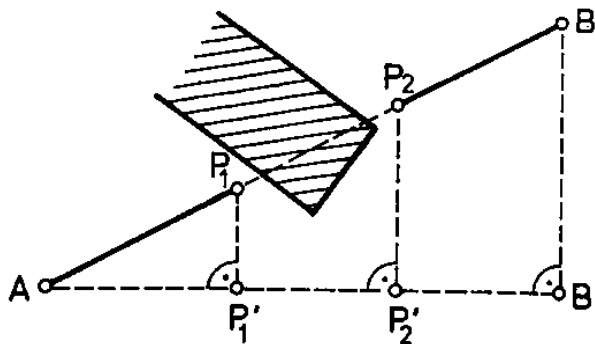
#### teodolitem (obr. 10.2)

teodolit pečlivě centrujeme nad jedním koncovým bodem a zacílíme na druhý koncový bod. Povolíme pouze hrubou vertikální ustanovku, sklápíme dalekohled a zařazujeme figuranta na mezibody. Pro hrubé zařazení použijeme výtyčku, potom zařadíme dřevěný kolík, do kterého nakonec zatluče podle našich pokynů hřebíček. Přesnost mezibodů se tím oproti předchozímu případu asi 10 krát zlepšuje.



Obr. 10.3

přes překážku (obr. 10.3)  
v případě, že není viditelnost mezi koncovými body přímky v důsledku terénní vlny (např. železniční násep), je třeba postavit na koncové body přímky výtyčky do stojánek. S figurantem se postavíme do prostoru, odkud je vidět na obě koncové výtyčky (na železniční násep). Postupně zařazujeme svou a figurantovu výtyčku navzájem tak, až je každá trojice výtyček v přímce.



Obr. 10.4

přes neprůhlednou překážku (obr. 10.4) využijeme řešení podobnosti trojúhelníků. Od bodu A vedeme pomocný směr  $AB'$ , na kterém nalezneme patu kolmice  $B'$  pomocí pentagonu. Změříme délky  $AB'$  a  $BB'$ . Podle přibližné polohy určených mezilehlých bodů  $P_1$  a  $P_2$  zvolíme paty kolmic  $P_1'$  a  $P_2'$ . Jejich délky se spočtou ze vzorců:

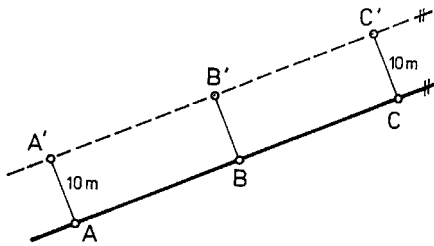
$$P_1P_1' = AP_1' \frac{BB'}{AB'}$$

$$P_2P_2' = AP_2' \frac{BB'}{AB'}$$

b) prodloužení přímky:

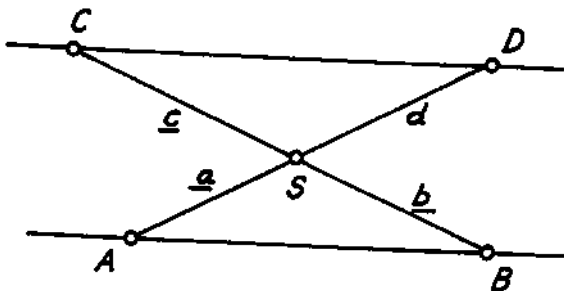
od oka lze prodloužit přímku pomocí výtyček maximálně o 1/3 její délky. V případě, že potřebujeme prodloužit přímku více, a to nejvýš o její celou délku, je třeba použít teodolitu.

c) vytyčení rovnoběžky:



Obr. 10.5

pomocí kolmic (obr. 10.5)  
na dané přímce se zvolí body, na nichž se pomocí pentagonu vztyčí kolmice o stejných délkách.

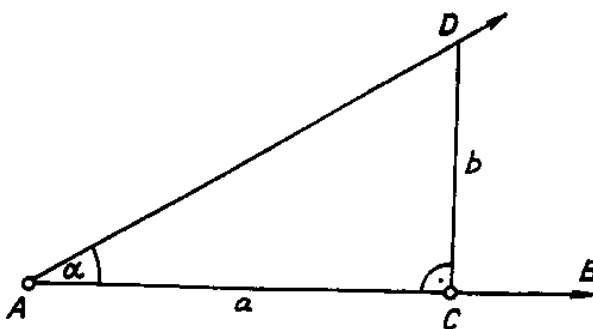


Obr. 10.6

vytyčení rovnoběžky z úhlopříček (obr. 10.6) zde je dána přímka AB a jeden bod rovnoběžky C. Na úhlopříčce BC se zvolí asi uprostřed bod S. Změříme délky a, b, c. Z podobností trojúhelníků vypočteme délku d, kterou vytyčíme na směru AS od bodu S a získáme druhý bod rovnoběžky D.

$$\begin{aligned} b : c &= a : d \\ b \cdot d &= c \cdot a \\ d &= \frac{c \cdot a}{b} \end{aligned}$$

d) vytyčení úhlu dané velikosti bez teodolitu (obr. 10.7)



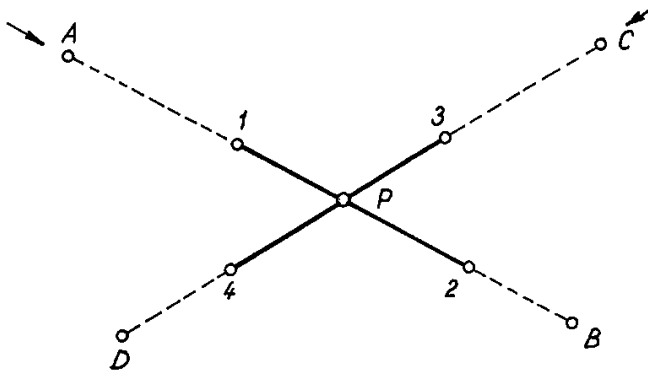
Obr. 10.7

v bodě A se má vytyčit od daného směru AB úhel  $\alpha$ . Na přímce zvolíme pomocný bod C ve vhodné vzdálenosti. Změříme délku a. Délku kolmice b vypočteme ze vzorce:

$$b = a \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

V bodě c vztyčíme pentagonem kolmici a délku b na ni nanese.

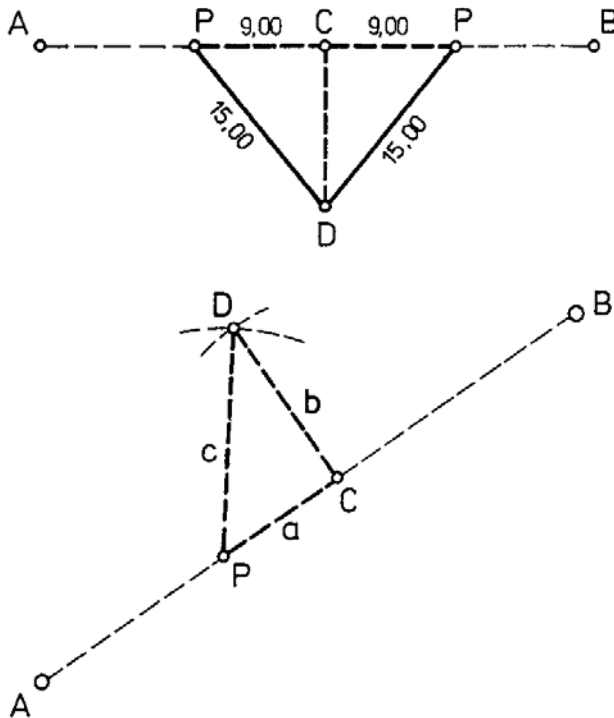
e) vytyčení průsečíků dvou přímek (obr. 10.8)



Obr. 10.8

přímo – na koncových bodech přímek se postaví výtyčky. Dva pracovníci se postaví za body A a C a postupně přibližováním zařazují figuranta s výtyčkou tak dlouho, až je v zákrytu obou přímek, nepřímo – v blízkosti hledaného průsečíku se na každé přímce určí dvojice bodů a osadí se měřickými hřeby nebo kolíky. Spojnici těchto bodů realizujeme provazem či pásmem, průtnutí je hledaným průsečíkem.

f) vytyčení kolmice bez pentagonu (obr. 10.9)



Obr. 10.9

symetricky na přímce – od daného bodu, ve kterém je třeba vztyčit kolmici, vyznačíme na přímce dva pomocné body P o vhodné délce (vzhledem ke vztyčované kolmici). Od nich vypneme pásmo nad přímkou. Hledaný směr získáme v polovině pásma, použitím Pythagorových čísel nebo jejich násobků. Na přímce se od paty kolmice vyznačí pomocný bod P vzdálený o délku odvěsny a.

V předpokládané poloze bodu D se pásmem od bodu P o délce přepony vyznačí průběh kružnice. Stejně tak se vyznačí pásmem oblouk z bodu C o délce odvěsny b. Průsečíkem je hledaný bod D. Po vytyčení délky pro kontrolu přeměříme. Opačným postupem získáme patu kolmice k příslušné přímce.

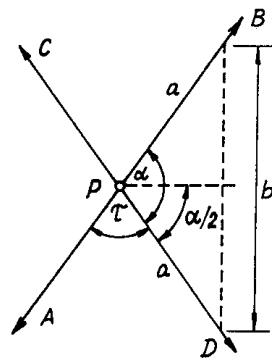
Pythagorova čísla

$$a = 3, 6, 9, 12$$

$$b = 4, 8, 12, 16$$

$$c = 5, 10, 15, 20$$

g) určení velikosti úhlu bez teodolitu (obr. 10.10)



v průsečíku přímek AB a CD je třeba určit velikost úhlu. Změříme délky a, b.

Úhel  $\alpha$  získáme ze vzorce:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{b}{2a}$$

$$\tau = 200^g - \alpha$$

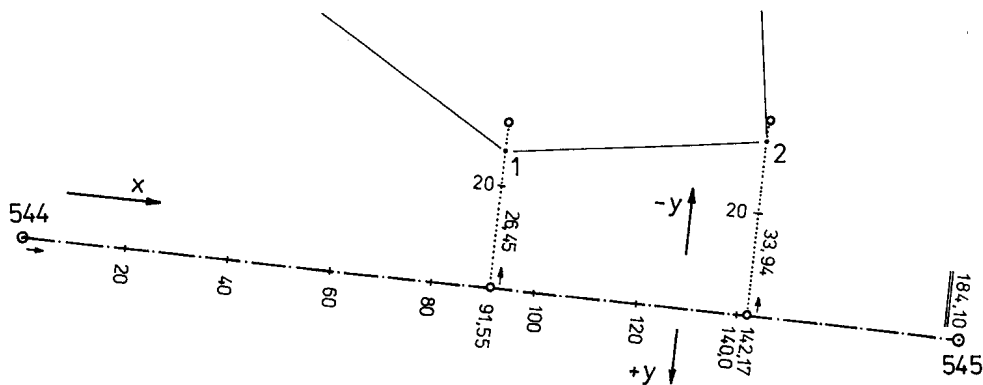
Obr. 10.10

### 10.1.2 Ortogonalní metoda vytyčování

Ortogonalní metoda se při vytyčování používá pro svou jednoduchost a běžně dostupné a laciné pomůcky (pásmo, stojánky, výtyčky, měřické jehly, dvojitý pentagonální hranol).

Podstata vytyčení spočívá v realizaci dvou vytyčovacích prvků – staničení a kolmice, od spojnice vytyčovacích bodů.

- koncové body vytyčovací přímky označíme vytyčkami ve stojáncích.
- vytyčíme příslušná staničení (paty kolmic) k bodům 1, 2 (viz obr. 10.11) pásmem ve vodorovné poloze.
- kolmice vytyčíme tak, že na vzdálenost o málo větší než je délka kolmice, zařadíme pentagonem výtyčku. Délku kolmice vytyčíme pásmem ve vodorovné poloze a na místě vytyčeného bodu zarazíme kolík. Na obr. 10.11 je naznačen postup při 20ti metrovém pásmu. Při vytyčení kolmice pentagonem nemá její délka přesahovat 30 m, max. 50 m. Dosahovaná přesnost v poloze vytyčovaného bodu je 3-5 cm v poloze.



Obr. 10.11

Pozn. Pokud není možno dodržet délku kolmice či je třeba s větší přesností (1-2 cm) určit polohu vytyčovaných bodů, je třeba použít místo pentagonu teodolit, který postavíme vždy na patu kolmice. Nulový směr zvolíme na vzdálenější koncový bod vytyčovací přímkou a podle směru kolmice nastavíme 100<sup>g</sup> nebo 300<sup>g</sup>. Při měření délek pásmem je třeba dodržovat všechny zásady z kapitoly 2.1 Přímé měření délek.

- d) po ukončení vytyčení je třeba bezpodmínečně provést kontroly vytyčeného objektu. Zpravidla to bývá kontrolní měření oměrných měř a jejich porovnání s projektovanými konstrukčními měřeními. U pravoúhlých objektů je třeba změřit též hodnotu úhlopříček a opět zkontrolovat s projektovanou hodnotou.

### 10.1.3 Polární metoda vytyčování

Tato metoda se v současnosti používá častěji při stavebních pracích, kde se žádá větší přesnost. Podstatou metody je vytyčení jednotlivých vytyčovaných bodů pomocí vodorovného úhlu a vodorovné délky. Tyto dvě veličiny jsou vytyčovacími prvky pro polární metodu.

Pro vlastní vytyčení je třeba znát minimální jeden vytyčovací bod a orientační směr, ke kterému vztáhneme 0<sup>g</sup> vodorovného úhlu.

Při polární metodě vytyčování používáme úhломěrný přístroj (zpravidla minutový teodolit) a pomůcku či přístroj k vytyčení délky.

Nejlevnějším dálkoměrem pro vytyčování je nitkový dálkoměr, který je zabudován přímo v dalekohledu teodolitu (viz kapitola 2.2.1 Optické měření délek). Polární vytyčení s tímto dálkoměrem je ale poměrně nepřesné. Reálná přesnost v poloze takto vytyčených bodů je 25-40 cm. Postup při vytyčení je následovný:

- a) na vytyčovací bod postavíme teodolit a provedeme jeho centraci a horizontaci
- b) nulový směr 0<sup>g</sup> na orientační bod nastavíme pomocí repetiční svory.
- c) nastavíme vytyčovací vodorovný úhel a do tohoto směru zařadíme měřickou lať do vzdálenosti, která zhruba odpovídá vytyčované délce.
- d) odečteme zenitový úhel  $z$  a laťový úsek  $l$  na lati a ze vzorce  $s = 100 \cdot l \cdot \sin^2 z$  vypočteme skutečně vytyčenou délku.
- e) rozdíl mezi vytyčovanou délkou a skutečně vytyčenou délkou nanese pomocí dvoumetru či latě před nebo za vytyčovaný bod (podle znaménka). Směr nanášení kontrolujeme teodolitem.
- f) závěrem postavíme měřickou lať na nově vytyčený bod odečteme zenitový úhel, laťový úsek a opět spočteme zpřesněnou vytyčovanou délku. Zároveň kontrolujeme vytyčovací úhel.
- g) po vytyčení všech požadovaných bodů je nutno provést kontroly vzdálenosti mezi vytyčovanými body pomocí projektovaných konstrukčních měř. U pravoúhlých objektů změřit úhlopříčky.

Použití nitkového optického dálkoměru pro polární vytyčování není pro svou nízkou přesnost ve stavebnictví příliš vhodné. Má své opodstatnění pouze u hrubých zemních prací.

Kvalitnějších výsledků lze dosáhnout při použití teodolitu a pásma. Při pečlivé práci lze dosáhnout přesností 2-3 cm v poloze vytyčovaného bodu. Postup vytyčení odpovídá předchozímu způsobu vytyčení s tím rozdílem, že vytyčovanou délku nanášíme do

vytyčovaného směru pomocí pásma ve vodorovné poloze. Odpadá zde výpočet vzorce pro nitkový dálkoměr. Opět je třeba využít všech kontrol správného vytyčení.

V současné době se nejčastěji při polárním vytyčování používá totální stanice, která v sobě zahrnuje elektronický teodolit i elektronický světelný dálkoměr. Programy zabudované v softwaru takové stanice obsahují převod ortogonálních souřadnic na polární. Přesnost vytyčení za použití tohoto moderního přístroje je zhruba 1 cm v poloze vytyčeného bodu. Ani tento způsob vytyčení nemusí být bezchybný. I zde se může objevit chyba, proto je třeba i v tomto případě použít všech kontrol (viz výše).

Zvláštním případem polárního vytyčování za pomoci totální stanice je tzv. metoda volného stanoviska. Tato metoda vznikla při vytyčovacích pracích na rozsáhlých stavbách, kde je do výstavby zapojena těžká technika. Poměrně často se zde stávalo, že vytyčovací body, umístěné v bezprostřední blízkosti vytyčovaných objektů před započítím zemních prací, byly stavebními stroji během výstavby zničeny. Geodeti si proto vytvořili síť vytyčovacích bodů v blízkém okolí stavby. Při požadavku vytyčení libovolného objektu uvnitř staveniště se s totální stanicí postavili na vhodné blízké nestabilizované místo, odkud byla dobrá viditelnost na vytyčované i vytyčovací body (na tzv. volné stanovisko). Na tomto místě zhorizontovali totální stanici a provedli úhlová a délková měření na okolní vytyčovací body. Výpočet souřadnic tohoto volného stanoviska je popsán v kapitole 9.2.4 Volné stanovisko. U moderních totálních stanic je algoritmus výpočtu volného stanoviska přímo zabudován v softwaru totální stanice, stejně jako následný výpočet vytyčovacích prvků z tohoto volného stanoviska. Při tomto postupu odpadá nebezpečí poškození či zničení vytyčovacích bodů uvnitř staveniště.

#### 10.1.4 Vytyčování metodou protínání (vpřed a z délek)

Kromě ortogonální a polární metody se v ojedinělých případech používá k vytyčování i metoda protínání. Protínání vpřed z úhlů má za vytyčovací prvky dva vodorovné úhly a předpokládá využití dvou teodolitů s obsluhou na dvou vytyčovacích bodech. Zde je nutno dbát na omezení velikosti protínacího úhlu na vytyčovaných bodech v rozmezí  $30^{\circ} - 150^{\circ}$ .

Vytyčování protínáním z délek (trilaterací) se nejčastěji využívá při vyhledávání bodů polohového pole podle místopisů pomocí křížových měř. Délky zde realizujeme zpravidla pomocí dvou pásem.

#### 10.1.5 Výpočty vytyčovacích prvků

Vytyčovacími prvky rozumíme takové délkové nebo úhlové hodnoty, jejichž vynesemím z daných vytyčovacích bodů získáme polohu vytyčovacího bodu. Podle způsobu zjišťování vytyčovacích prvků rozlišujeme :

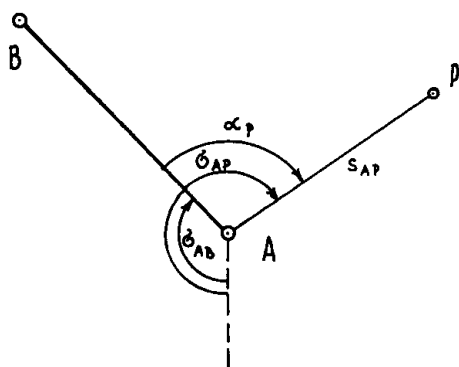
- číselnou metodu
- grafickou metodu

##### a) číselné metody výpočtu vytyčovacích prvků

Používá se standardních výpočetních algoritmů jako je výpočet směrníku, rajonu, bodu na přímce, délky strany ze souřadnic apod. S výhodou lze použít ručních kalkulaček s funkcemi či osobních počítačů s příslušným softwarovým vybavením. Použití těchto moderních výpočetních pomůcek nese v sobě mnohá úskalí (např. malý rozsah displeje, výpočet funkcí na menší počet platných cifer než je třeba, výpočet funkcí v šedesátinné míře apod.).

Vstupními údaji pro výpočty jsou souřadnice daných vytyčovacíh bodů a souřadnice bodů určovaných (vytyčovaných hlavních bodů stavby). Souřadnice hlavních bodů stavby získáme v číselné formě (v případě analytického řešení projektu - dnes častější případ) nebo grafickým odsunem z polohopisného plánu projektu.

Při grafickém odsunu jsou získané hodnoty závislé na přesnosti zákresu a odměření. Hodnoty takto získané jsou i přes veškeré úsilí nepřesné. Naměřené souřadnice neodpovídají projektovaným rozměrům stavby. Proto je nutné upravit takto získané souřadnice vhodným způsobem, aby projektovaným rozměrům stavby odpovídaly.



### Výpočet polárních vytyčovacích prvků

(obr. 10.12)

Dáno : vytyčovací bod A,B (y, x)

vytyčovaný bod P (y, x)

Určit : vytyčovací prvky  $\alpha_P$ ,  $s_{AP}$

a) vypočteme ze souřadnic  $\sigma_{AB}$ ,  $\sigma_{AP}$

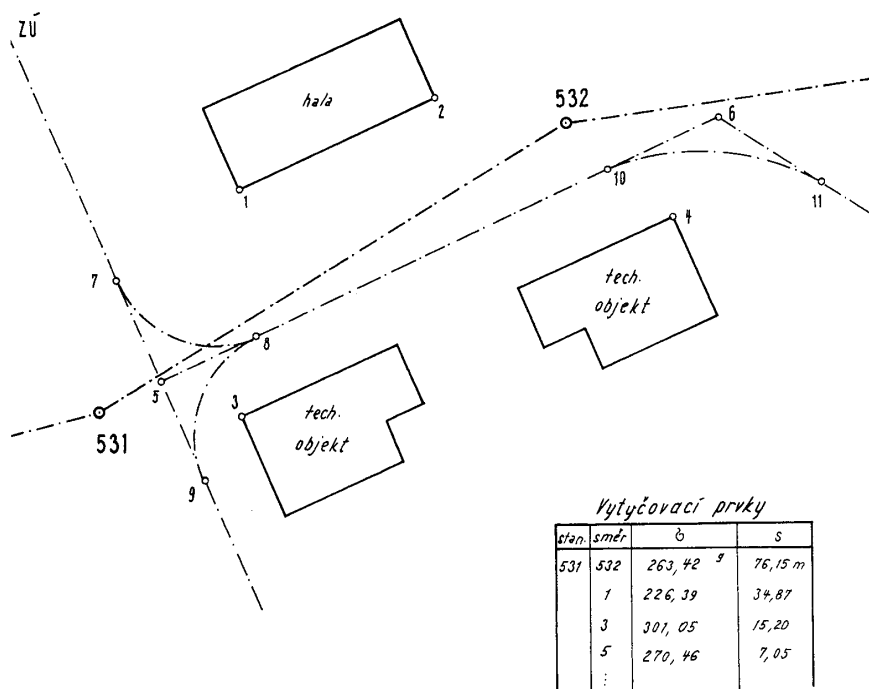
b) určíme  $\alpha_P = \sigma_{AP} - \sigma_{AB}$

c) určíme  $s_{AP} = \sqrt{\Delta y_{AP}^2 + \Delta x_{AP}^2}$

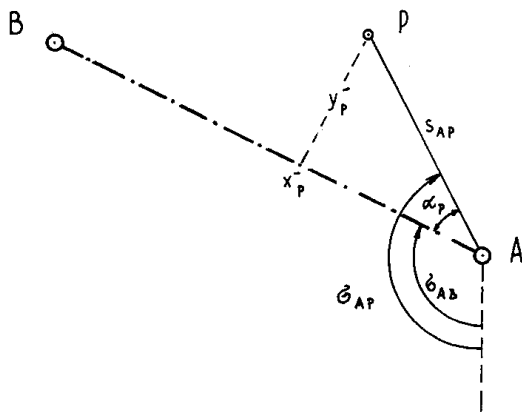
Obr. 10.12

Tímto způsobem provedeme výpočet vytyčovacích prvků pro všechny vytyčované body. Kontrolní vzdálenosti mezi vytyčovanými body určíme Pythagorovou větou.

Pozn. Není vždy nutné určovat úhel  $\alpha_P$  od daného směru. Postačí zadat vypočtený směrnik na určovaný bod. Do daného směru je ovšem třeba též vložit příslušný směrnik! Viz obr. 10.13, kde je ukázka části vytyčovacího výkresu.



Obr. 10.13



Obr. 10.14

### Výpočet ortogonálních vytyčovacích prvků (obr. 10.14)

Dáno : vytyčovací bod A,B ( $y, x$ )  
vytyčovaný bod P ( $y, x$ )

Určit : vytyčovací prvky:

$x'_p$  ..... staničení

$y'_p$  ..... délka kolmice

a) vypočteme ze souřadnic  $\sigma_{AB}$ ,  $\sigma_{AP}$

b) určíme  $\alpha_P = \sigma_{AP} - \sigma_{AB}$

c) určíme  $s_{AP} = \sqrt{\Delta y_{AP}^2 + \Delta x_{AP}^2}$

d)  $x'_p = s_{AP} \cdot \cos \alpha_P$

e)  $y'_p = s_{AP} \cdot \sin \alpha_P$

Veškeré výpočty kontrolujeme a hledáme různé způsoby jiného ověření získaných vytyčovacích prvků. Bez kontroly je nepřijatelné provést výpis vytyčovacích prvků do vytyčovacího výkresu.

#### b) grafické metody získání vytyčovacích prvků

Grafickou metodou se zjišťují zpravidla lokální souřadnice pro ortogonální vytyčovací metodu. Odměření probíhá z grafického mapového podkladu. Graficky určované vytyčovací prvky hlavních bodů stavby se zásadně vztahují k pevným předmětům identickým v mapě i terénu. Jako pevné a identické body se mohou použít rohy budov, osy sloupů, mezníky, kilometrovníky, osamělé stromy, boží muka, rohy plotů a zdí, vpustě, šachty, šoupata, hydranty apod.

Pro každý pevný bod mají být z mapy odsunuty zajišťovací míry, které ověřují jeho polohu k jiným okolním předmětům. V terénu je nutno před vlastním vytyčením tuto kontrolu důsledně provést.

Je třeba zdůraznit, že grafické metody získávání vytyčovacích prvků jsou z hlediska přesnosti i při pečlivé práci na hranici přípustnosti. Použijeme je pouze jako nouzové řešení.

## 10.2 Výškové vytyčování

U staveb výškově vytyčujeme úrovně betonových základů a výšky různých výškových úrovní stavby. Na melioračních stavbách úrovně šachet, dna tvárniceových příkopů aj. Výškově musíme vytyčovat i různé zemní práce, propustky a výustě.

Výškové vytyčování je v principu shodné s nivelací. Rozdíl tkví v tom, že při nivelaci neznáme výškový rozdíl mezi daným nivelačním bodem a bodem určeným, kdežto u výškového vytyčování je třeba daný (projektovaný) výškový rozdíl v určitém místě vytyčit.

Kromě soupravy pro technickou nivelaci se při stavebních pracích používá i jednoduchých pomůcek, jakými jsou dlaždičské kříže, vodováhy, hadicové vodováhy, svahoměry apod.

Jako podklady, ze kterých lze odvodit projektované výškové úrovně slouží podélné a příčné profily (řezy), výkresy zemních prací a stavební výkresy.

Za vytyčovací výškové body použijeme především stávající body nivelační sítě, které doplníme s ohledem na potřebu stavby dalšími stabilizovanými výškovými body. Mezi nimi má být tzv. hlavní výškový bod (HVB). Jediný státní výškový systém od roku 2000 je systém Balt po vyrovnání (Bpv). Pro jednoduché vytyčení lze výjimečně použít místní výškový systém, jehož výška musí být výrazně odlišná od Bpv (kvůli možné záměně).

**Všechny vytyčovací výškové body musí mít svoji výšku ověřenu.**

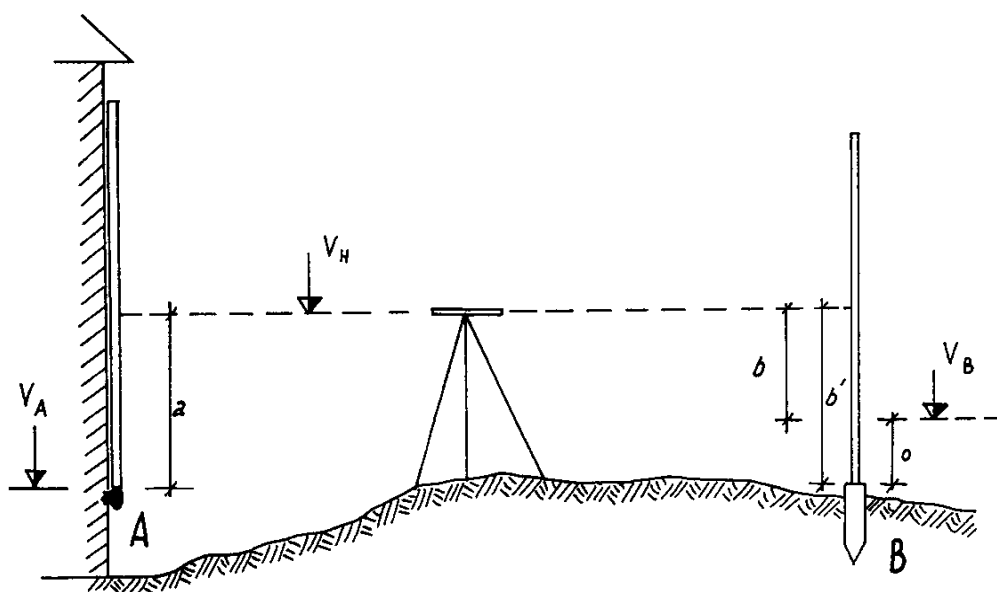
Přesnost výškových vytyčovacích prací musí odpovídat současně platným ČSN 73 0420/86, 73 0421/86, 73 0422/86 a 73 3050/86.

V uvedené tabulce jsou mezní výškové odchylky uvedeny v souvislosti s různými stavebními činnostmi a podle toho se liší.

druh práce nebo objektu	mezní výšková odchylka
cesty, zemní práce a úpravy terénu	50 mm
násypy a výkopy	20 mm
stavby kamenné, cihlové a betonové	10 mm
stavby prefabrikované	3 mm
základy pro ocelové stavby	5 mm
zavodňovací a odvodňovací stavby	2 – 5 mm

### 10.2.1 Přenesení výšky

Z obr. 10.15 je patrné, jak lze z jednoho postavení nivelačního přístroje z vytyčovacího bodu A o známé nadmořské výšce přenést výšku na vytyčovaný bod B.



Obr. 10.15



### 10.2.2 Vytyčení vodorovné roviny (přímky)

Tato úloha se vyskytuje při terénních úpravách hřišť, parkovišť, betonáži vodorovných desek, při stavbě základů pro budovy, haly apod. V některých případech se místo nadmořských výšek používají výšky relativní, vztažené k jednomu určenému bodu.

Vytyčení vodorovné roviny je v podstatě zcela shodné s případem přenesení výšky. Jen místo jednoho bodu B přenášíme stejnou výšku na více bodů v jedné přímce či ploše.

Pozn. V případě, že je třeba určit v terénu vrstevnici (izočáru), např. zátopovou čáru u rybníku, postupuje figurant s nivelační latí po terénu (bez nivelační podložky) a měřič u nivelačního přístroje mu dává pokyny, aby postupoval nahoru či dolů po svahu, až na střední vodorovné rysce odečte požadované čtení „b“. Zde se nalézá hledaný bod. Figurant jej označí měřickým hřebem nebo kolíkem a celý postup opakuje o několik metrů dál. Vodorovné vzdálenosti mezi jednotlivými místy, kde prochází zadaná vrstevnice nutno volit individuálně podle konfigurace terénu a účelu, pro který vrstevnici v terénu vytyčujeme.

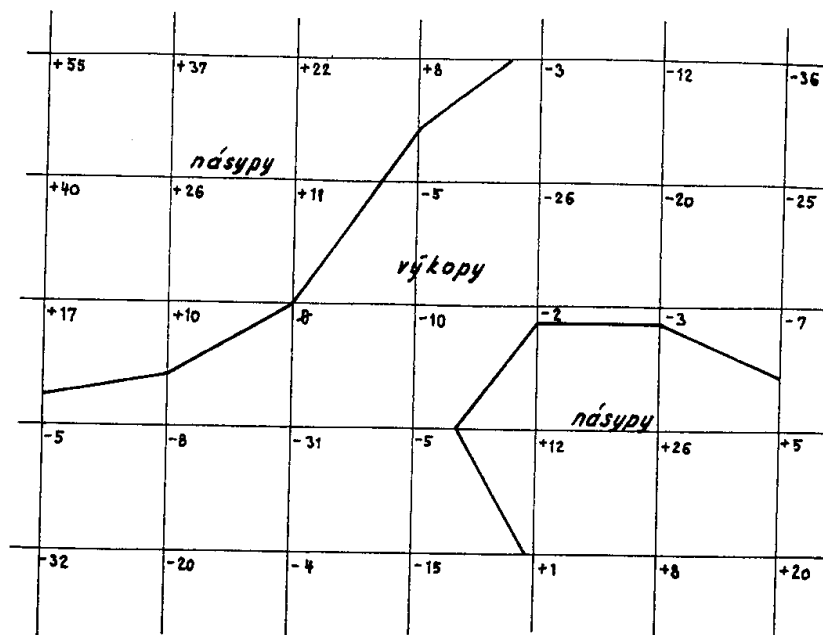
Vytyčení roviny můžeme provádět buď před zemními pracemi nebo v jejich průběhu. V prvním případě u rozsáhlejších ploch je třeba vytvořit si v daném prostoru čtvercovou síť. Strany čtverců mohou být 5, 10, 20 m, podle konfigurace terénu a účelu, pro který vytyčení provádíme. Vlastní vytyčení sítě probíhá následovně:

- a) zvolíme v rohu plochy výchozí bod a směr jedné strany
- b) teodolitem, nivelačním přístrojem s vodorovným kruhem či pentagonem vytyčíme na výchozím bodě kolmý směr
- c) na obou ramenech směrů vytyčíme celé délky čtverce či obdélníku plochy pásmem
- d) pomocí úhломěrného přístroje či pomůcky vytyčíme zbývající roh celé sítě (pro kontrolu ze dvou sousedních rohů)
- e) podél celé čtvercové sítě rozměříme velikost jednotlivých čtverců
- f) vnitřní body čtvercové sítě se snadno vytyčí od oka jako průsečíky spojnic vnějších bodů pomocí výtyček
- g) všechny body sítě označíme kolíky a očíslováme

Technickou nivelací zanivelujeme a určíme výšky vrchů kolíků. Změříme výšky všech kolíků čtvercové sítě nad terénem. Rozdílem výšky vrchů kolíků a jejich výškou nad terénem získáme výšky terénu v místě kolíků  $V_n$ . Ty porovnáme s projektovanou výškou  $V_B$ .

$$o_n = V_n - V_B$$

Rozdíly  $o_n$  vpisujeme do nákresu čtvercové sítě (viz obr. 10.17).



Obr. 10.17

V nákresu čtvercové sítě lze pomocí lineární interpolace vyhledat „nulovou čáru“ rozdělující výkopy a násypy a lze snadno vypočítat i kubatury. V terénu na kolíky vyznačíme s příslušnými znaménky hodnotu  $o_n$ .

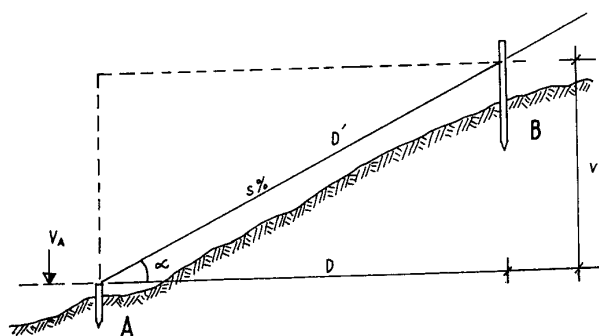
Pozn. Pozor, je třeba vždy jasně uvést, zda hodnota je počítána k terénu u kolíku nebo k vrchu kolíku.

Nyní je možno provést zemní práce. Tento způsob je vhodný pro menší úpravy, prováděné ručně či malou mechanizací.

Při použití větších stavebních mechanismů dochází často ke zničení vytyčených kolíků čtvercové sítě, a proto je lépe provádět vytyčování roviny v průběhu zemních prací. S výhodou je zde možno použít speciálních laserových nivelačních přístrojů, které mohou často i rotovat, a vytváří tak světelný horizont.

### 10.2.3 Vytyčení přímky a roviny daného spádu

Přímku daného spádu vytyčujeme obvykle v koncových bodech, kde opět umístíme kolíky (viz obr. 10.18)



$$v = D \cdot \operatorname{tg} \alpha = D' \cdot s$$

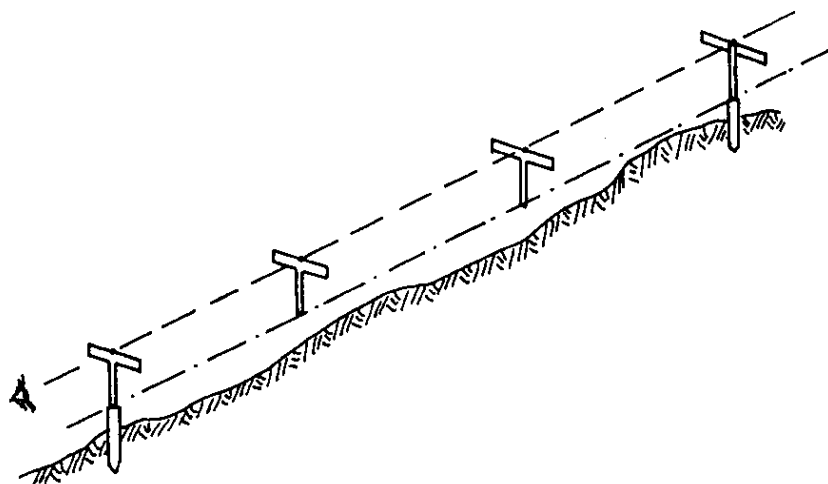
$$s\% = \frac{v}{D} \cdot 100$$

$$v = \frac{s\%}{100} \cdot D$$

Obr. 10.18

Pro výpočet je třeba znát délku mezi koncovými body. Délku musíme změřit vodorovnou nebo šikmou u velkých sklonů terénu. V zadání je třeba znát úhel sklonu nebo sklon v % event. v promilích. Horní nebo dolní kolík je třeba prohlásit za výchozí. Vytyčujeme převýšení v.

U vytyčení roviny daného spádu opět využijeme čtvercové síť jako v kapitole 10.2.2. Mohou nastat dvě varianty. Buď dvě strany této sítě jsou vodorovné, nebo obecně položené. U první varianty vytyčíme vždy rovnoběžné přímky stejného spádu a mezilehlé body můžeme vytyčit pomocí jednoduchých pomůcek jako jsou dlaždičské kříže (viz obr. 10.19). Výška všech dlaždičských křížů musí být stejná. Zařazování do roviny provádíme od oka. Dlaždičské kříže lze samozřejmě použít i při vytyčování vodorovných rovin.



Obr. 10.19

Pokud je třeba vytyčit obecně položenou rovinu nejčastěji se použije čtvercové síť jako u vodorovné roviny. Projektované výšky jednotlivých bodů budou však rozdílné (získané výpočtem v kanceláři).

## 11 VÝPOČET VÝMĚR

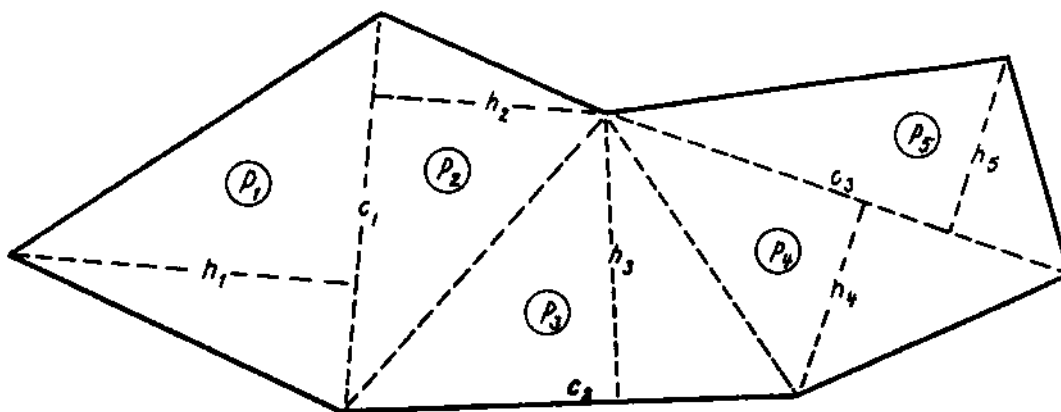
V geodezii a v technické praxi je často třeba určit plochy pozemků nebo plochy v plánech a technických výkresech. Termínem výměra rozumíme plochu prostorového mnohoúhelníku převedeného do zobrazovací (vodorovné) roviny. U ploch pozemků se tedy neurčuje plocha přirozeného povrchu, který je nepravidelný, sklonitý a nerovný, ale jeho zidealizovaného tvaru. Výměry pozemků se zjišťují:

- z přímo měřených hodnot v terénu
- grafickým způsobem z map a plánů

Při určování výměr obrazců v technické praxi je dělení obdobné. Za přímo měřené hodnoty jsou zde považovány projektované rozměry staveb.

### 11.1 Výpočet výměr z měřených hodnot

Před určením výměry pozemku je třeba jeho skutečné hranice nahradit lomenými přímkami. Pokud není obecný mnohoúhelník takto vytvořený příliš složitý, lze jej rozdělit na jednodušší obrazce (zpravidla trojúhelníky, viz obr. 11.1). Máme-li k dispozici pásmo a pentagon s výtyčkami, provedeme zaměření všech základen a po určení pat kolmic pentagonem i výšek dílčích trojúhelníků.



Obr. 11.1

Výpočet výměry pozemku z obr. 11.1 je následující:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 0,5 \cdot c_1 \cdot h_1 + 0,5 \cdot c_1 \cdot h_2 + 0,5 \cdot c_2 \cdot h_3 + 0,5 \cdot c_3 \cdot h_4 + 0,5 \cdot c_3 \cdot h_5$$

$$P = 0,5 \cdot c_1 \cdot (h_1 + h_2) + 0,5 \cdot c_2 \cdot h_3 + 0,5 \cdot c_3 \cdot (h_4 + h_5)$$

V praxi často nastane případ, že nemáme k dispozici pentagon, ale pouze pásmo. Výměry dílčích trojúhelníků získáme tak, že oměříme všechny tři strany a výpočet provedeme pomocí Heronova vzorce:

$$P = \sqrt{s \cdot (s - a) \cdot (s - b) \cdot (s - c)}$$

kde  $a, b, c$  jsou strany trojúhelníku

$$s = \frac{a + b + c}{2}$$

Máme-li k dispozici teodolit a pásmo a nelze z nějakého důvodu změřit jednu ze stran trojúhelníku, změříme zbývající dvě strany **a**, **b** pásmem a úhel  $\gamma$  jimi sevřený teodolitem.

$$P = 0,5 \cdot a \cdot b \cdot \sin \gamma$$

V případě, že je třeba určit výměru pozemku kruhového tvaru použijeme známý vzorec :

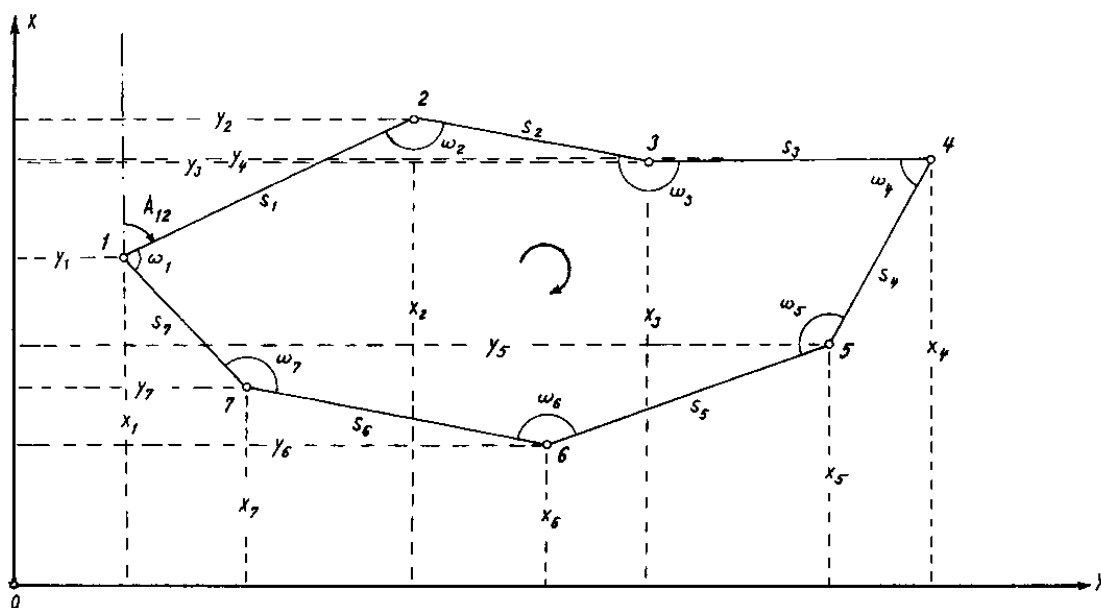
$$P = \pi \cdot r^2 \quad \text{kde } r \text{ je poloměr kruhu}$$

toto nastane např. při určení výměry např. kruhového bazénu.

Výměra eliptického tvaru se spočte ze vzorce:

$$P = \pi \cdot a \cdot b \quad \text{kde } a, b \text{ jsou poloosy elipsy.}$$

Zaměřujeme-li pozemek, uvnitř kterého se nelze pohybovat (např. rybník), pro určení výměry postačí změřit všechny obvodové strany a úhly (viz obr. 11.2).



Obr. 11.2

Výpočet provedeme pomocí Mascheroniho vzorce:  
 v obrazci vynecháme jednu obvodovou stranu, ze zbývajících vytvoříme všechny kombinace po dvou a ty vynásobíme siny součtu vrcholových úhlů, ležících mezi kombinovanými stranami. Výrazům se sudým (lichým) počtem úhlů přisoudíme znaménko záporné (kladné).  
 U příkladu z obr. 11.2 bude vzorec vypadat následovně:

$$\begin{aligned}
2P = & s_1 \cdot s_2 \cdot \sin\omega_2 - s_1 \cdot s_3 \cdot \sin(\omega_2 + \omega_3) + s_1 \cdot s_4 \cdot \sin(\omega_2 + \omega_3 + \omega_4) - \\
& -s_1 \cdot s_5 \cdot \sin(\omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5) + s_1 \cdot s_6 \cdot \sin(\omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5 + \omega_6) + \\
& + s_2 \cdot s_3 \cdot \sin\omega_3 - s_2 \cdot s_4 \cdot \sin(\omega_3 + \omega_4) + s_2 \cdot s_5 \cdot \sin(\omega_3 + \omega_4 + \omega_5) - \\
& -s_2 \cdot s_6 \cdot \sin(\omega_3 + \omega_4 + \omega_5 + \omega_6) + s_3 \cdot s_4 \cdot \sin\omega_4 - s_3 \cdot s_5 \cdot \sin(\omega_4 + \omega_5) + \\
& + s_3 \cdot s_6 \cdot \sin(\omega_4 + \omega_5 + \omega_6) + s_4 \cdot s_5 \cdot \sin\omega_5 - s_4 \cdot s_6 \cdot \sin(\omega_5 + \omega_6) + \\
& + s_5 \cdot s_6 \cdot \sin\omega_6
\end{aligned}$$

Z uvedeného vzorce vyplývá, že je výpočet již při sedmi vrcholech pozemku značně rozsáhlý a při jeho výpočtu může snadno dojít k chybě. Proto je třeba výpočet nezávisle kontrolovat.

Máme-li k dispozici totální stanici bývá v doprovodných programech uveden i program pro automatický výpočet výměry pozemku. Totální stanici umístíme do blízkosti určovaného pozemku. Je jedno zda uvnitř, nebo vně. Je však třeba, aby byly od stanice vidět všechny lomové body pozemku. Potom figurant obejde s odrazným hranolem jednotlivé lomové body pozemku ve směru pohybu hodinových ručiček. Na každém lomovém bodu provedeme registraci naměřených dat. Od třetího lomového bodu se na displeji totální stanice objevuje aktuální plocha pozemku. Není třeba dojít s odrazným hranolem až na výchozí bod, program automaticky uzavírá určenou plochu na první lomový bod.

## 11.2 Grafické metody určování výměr

Abychom mohli určovat výměry pozemků grafickým způsobem, je nejprve třeba zobrazit tyto pozemky do mapy či plánu. Vzniklé parcely jsou zobrazeny v měřítku 1 : M. Neboť plocha je vyjádřena jako součin dvou délek, bude plocha každého obrazce (parcely) v mapě či plánu zmenšena v poměru 1 : M<sup>2</sup>. Platí úměra:

$$\begin{aligned}
p : P &= 1 : M^2 \\
P &= p \cdot M^2
\end{aligned}
\quad \text{kde } P \text{ je plocha pozemku} \\
\quad \quad \quad P \text{ je plocha parcely na} \\
\quad \quad \quad \text{mapě v měřítku 1 : M}$$

Graficky můžeme výměry určovat obdobným způsobem, jak bylo popsáno v kapitole 11.1 s tím rozdílem, že hodnoty ze kterých provádíme výpočet, odměřujeme co nejpečlivěji v příslušném měřítku z mapy či plánu. U dlouhých obdélníkových tzv. honových parcel, kde jejich délka několikanásobně převyšuje šířku, měříme v terénu šířku takového pozemku a délku odsunujeme z mapy. Tímto kombinovaným způsobem příznivě ovlivníme přesnost výsledku, protože v tomto případě má kvalita změřené šířky podstatně větší váhu ve výpočtu než její délka.

Nejčastěji se však pro grafické určování výměr z map či plánů používají různé pomůcky. Nejjednodušší pomůckou může být milimetrový pauzovací papír, který přiložíme na určovaný obrazec a součet celých čtverců, nalézajících se uvnitř obrazce znásobíme plochou čtverce na pauzovacím papíru. Čím hustší síť čtverců zvolíme, tím přesnějšího výsledku dosáhneme. Pro zpřesnění můžeme započítat i části čtverců, které jsou částečně vně obrazce.

Speciálními pomůckami vytvořenými pro tento účel jsou různé druhy planimetrů. Rozeznáváme:

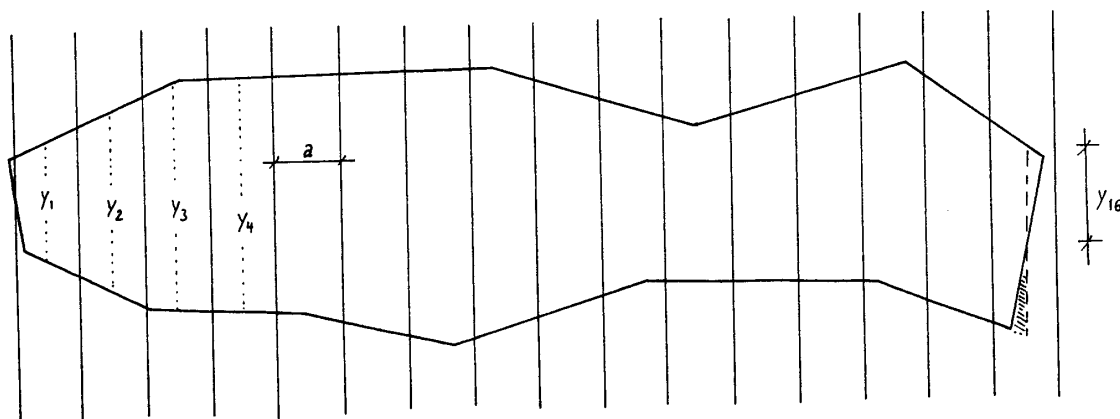
- nitkové planimetry
- polární planimetry
- valivé planimetry

a) nitkový planimetr (obr. 11.3)

Princip tohoto planimetru spočívá v rozložení určovaného obrazce na úzké proužky, mající lichoběžníkový tvar. Plochu jednotlivého lichoběžníku určíme ze vzorce:

$$P = a \cdot y \quad \text{kde } a \text{ je šířka lichoběžníku}$$

$$y \text{ je střední příčka lichoběžníku}$$



Obr. 11.3

Zachováme-li stejnou šířku „a“ lichoběžníků, můžeme určit plochu celého určovaného obrazce ze vzorce:

$$P = a \cdot y_1 + a \cdot y_2 + \dots + a \cdot y_n = a \cdot (y_1 + y_2 + \dots + y_n)$$

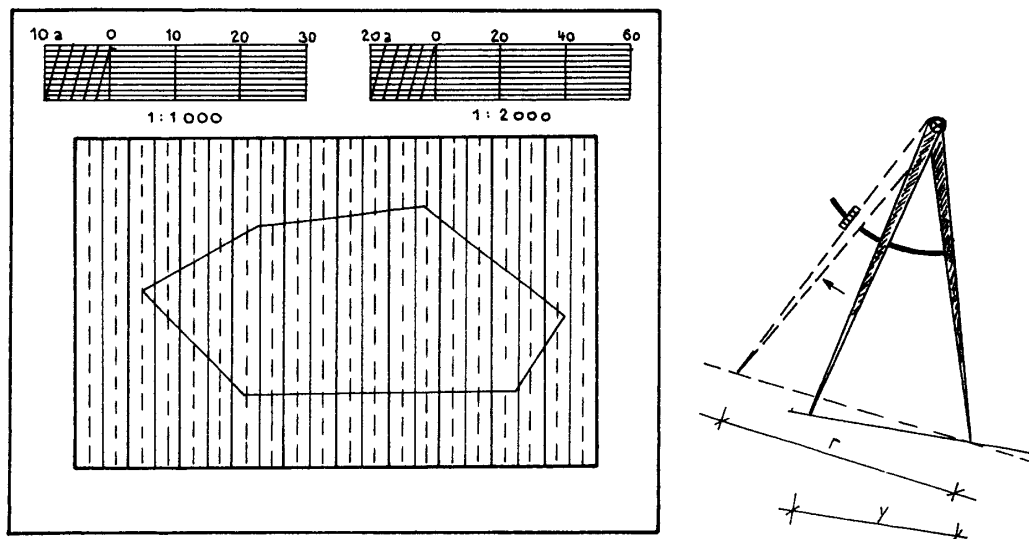
$$P = a \cdot \sum y$$

Tímto způsobem můžeme určovat výměry velmi složitých obrazců. Používají se dva typy nitkových planimetrů astralonový, kde je síť rovnoběžek vytištěna na průhledné umělohmotné folii, kterou přikládáme na planimetrovaný obrazec, nebo starší typ Alderův, kde je síť rovnoběžek realizována osnovou silonových vláken (původně koňských žíní) různě zbarvených pro snazší orientaci. Vláknata jsou napjata v kovovém rámu (obr. 11.4).

Do výbavy astralonového i Alderova nitkového planimetru patří tzv. součtové kroužítko, pomocí kterého sčítáme střední příčky všech lichoběžníků v planimetrovaném obrazci.

Postup práce s nitkovým planimetrem je následující:

- 1) položíme planimetr na obrazec tak, aby rovnoběžky protínaly kolmo podélnou osu obrazce
- 2) zároveň je podélně nastavíme tak, aby první lichoběžník byl úplný (dotýkal se rovnoběžky). viz obr. 11.4



Obr. 11.4

- 3) nastavíme si maximální rozvor součtového kružítko podle měřítka mapy pomocí příčného měřítka na kovovém rámu planimetru. Příčná měřítka slouží pro přesné odečtení zbytkových hodnot určované plochy. Jsou sestrojena pro běžně používaná měřítka map a délkové hodnoty na nich jsou převedeny do plošných podle vzdáleností rovnoběžek „a“:

$$y = \frac{1}{a} P$$

- 4) vlastní načítání plochy po jednotlivých lichoběžnicích.  
Postupně rozvíráním součtového kružítko podél jednotlivých středních příček.
- 5) na konci planimetřované plochy obdržíme počet celých rozvorů součtového kružítko a zbytkovou část, kterou odečteme pomocí příčného měřítka

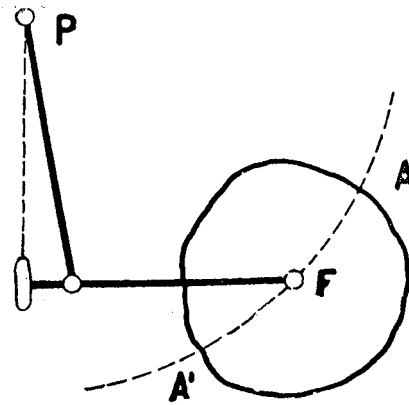
$$P = n \cdot (a \cdot r) + a \cdot \Delta y = n \cdot p + \Delta p$$

kde  $n$  je počet celých rozvorů  
 $a$  je šířka lichoběžníku  
 $r$  je celý rozvor kružítko  
 $\Delta y$  je zbytková délka v kružítko

Přesnost nitkových planimetrů je poměrně vysoká, udávaná poměrnou chybou 1 : 3 000. Pomocí nitkových planimetrů byly zjišťovány výměry v katastrálních mapách.

b) polární planimetr (obr. 11.5)

Je to nejpoužívanější pomůcka pro určování výměr z map a plánů všude tam, kde není třeba vyšší přesnosti. V letech 1854 – 6 jej zkonstruoval Švýcar Amsler.



Obr. 11.5

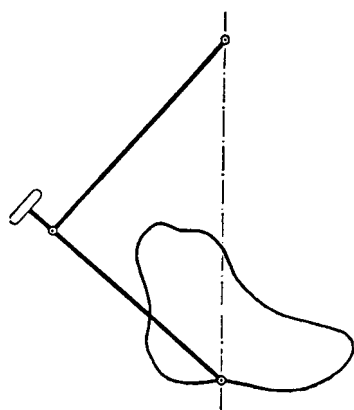
Planimetr se skládá z pólového ramene otočného kolem pólu P, dále z ramene pojízdného, spojeného kloubem s ramenem pólovým. Pojízdné rameno je zakončeno hrotem F nebo značkou na skleněné destičce, opatřené lupou. Na pojízdném rameni je umístěno odečítací zařízení spřažené s integračním kolečkem. Odečítací zařízení umožňuje určit celé otočky integračního kolečka a počet tisícín otočky pomocí vernieru.

Plošný obsah obrazce změříme tak, že objedeme ve směru otáčení hodinových ručiček pojízdným hrotem nebo značkou na skleněné desce celý obvod obrazce (podél obvodové čáry). Je třeba odečíst na odečítacím zařízení stav otáček na počátku objíždění a na jeho konci. Rozdíl mezi koncovým a počátečním čtením udá počet jednic (tisícín otáček integračního kolečka). Každé jednici přisoudíme příslušnou plochu podle seřizovací tabulky, která je přiložena ke každému planimetru. Plocha jednice je závislá na délce pojízdného ramene (možno ji měnit a je opět uvedena v seřizovací tabulce), a na měřítku planimetrovaného plánu či mapy.

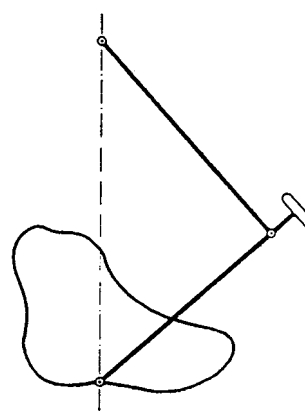
Postup při planimetrování polárním panimetrem:

- 1) planimetrovaný obrazec umístíme na rovnou desku stolu a zajistíme proti posunu (izolepou či napínáčky)
- 2) podle seřizovací tabulky nastavíme pomocí vernieru pro příslušné měřítko planimetrovaného obrazce délku pojízdného ramena
- 3) planimetr umístíme vně planimetrovaného obrazce, aby základní kružnice protínala strany planimetrovaného obrazce přibližně středem obrazce. Základní kružnici opisuje polární planimetr hrotem F, nebo značkou na skleněné destičce, když je spojnice pólu P a integračního kolečka kolmá k pojízdnému ramenu (viz obr. 11.5).

- 4) nejprve provedeme zkušební měření. Objedeme čtvercovou plošku o známé ploše. Nastavíme hrot či značku do jednoho rohu plošky, odečteme počáteční stav otáček, ve směru pohybu hodinových ručiček objedeme obvod plošky do stejného místa a opět odečteme konečný stav otáček. Rozdíl obou čtení je počet jednic, který po vynásobení plochou jedné jednice nám dá známou plochu. Pokud se plocha liší o více než dvě jednice od plochy známé je třeba opakovat měření, případně zkontrolovat nastavení délky pojízdného ramena.
- 5) provedeme vlastní měření obdobným způsobem jako v bodě 4) nejprve v tzv. první poloze planimetru (obr. 11.6 a) a to ve směru pohybu hodinových ručiček. Podruhé proti směru pohybu ručiček u hodin (při rozdílu odečítáme vždy menší hodnotu od větší).
- 6) Měření opakujeme ve druhé poloze planimetru (obr. 11.6 b) opět ve směru a v protisměru pohybu hodinových ručiček.



Obr. 11.6 a



Obr. 11.6 b

- 7) ze čtyř měření provedeme aritmetický průměr a vyloučíme tím většinu přístrojových chyb. Planimetr s možností obou poloh měření se nazývá kompenzační.

Poznámka: je třeba dbát na to, aby pohyb integračního kolečka po podložce byl plynulý a kolečko nepřijíždělo různé překážky (hrany čtvrtky, napínačky apod.), dále aby byl povrch dostatečně drsný a kolečko se nesmýkalo (nevhodný povrch je sklo a umakart). Na počátku je třeba nechat obecné čtení odečítacího zařízení, nenastavovat na nulu. Je-li obrazec větší a nelze jej objet najednou rozdělíme jej na části.

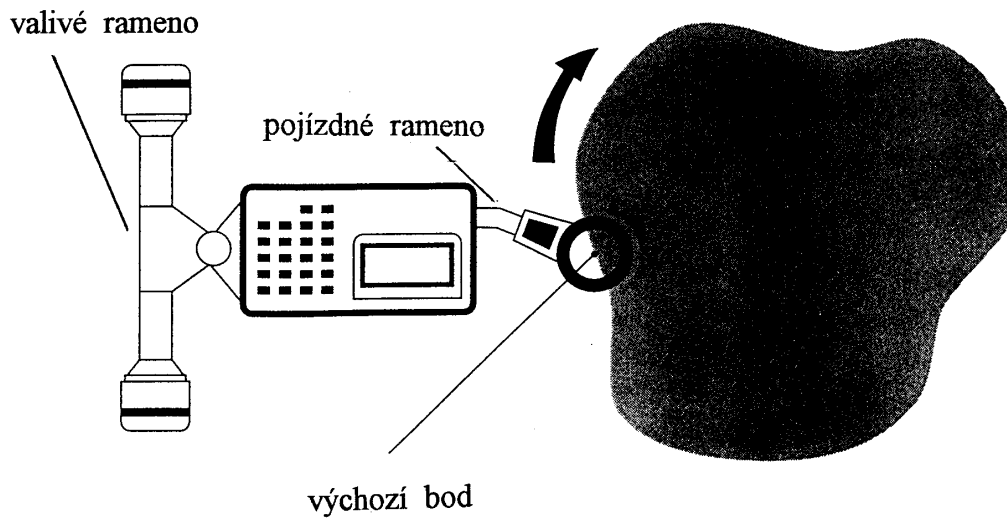
Též je třeba neplanimetrovat přímé obrysové hrany podle pravítka, ale vést hrot či značku volnou rukou.

Přesnost polárního kompenzačního planimetru se udává poměrnou chybou 1 : 500.

### c) valivý planimetr

Je modifikací planimetru polárního. Místo polárního ramena má valivé rameno symetricky připevněné k ramenu pojízdnému. Na pojízdném rameni je umístěno opět integrační kolečko s odečítacím zařízením. Na konci pojízdného ramena je opět značka pro objíždění

lupou. Postup práce s tímto planimetrem je obdobný jako u planimetru polárního, jen při výchozím postavení musí být valivé rameno vůči ramenu pojízdnému v kolmé poloze (viz obr. 11.7).



Obr. 11.7

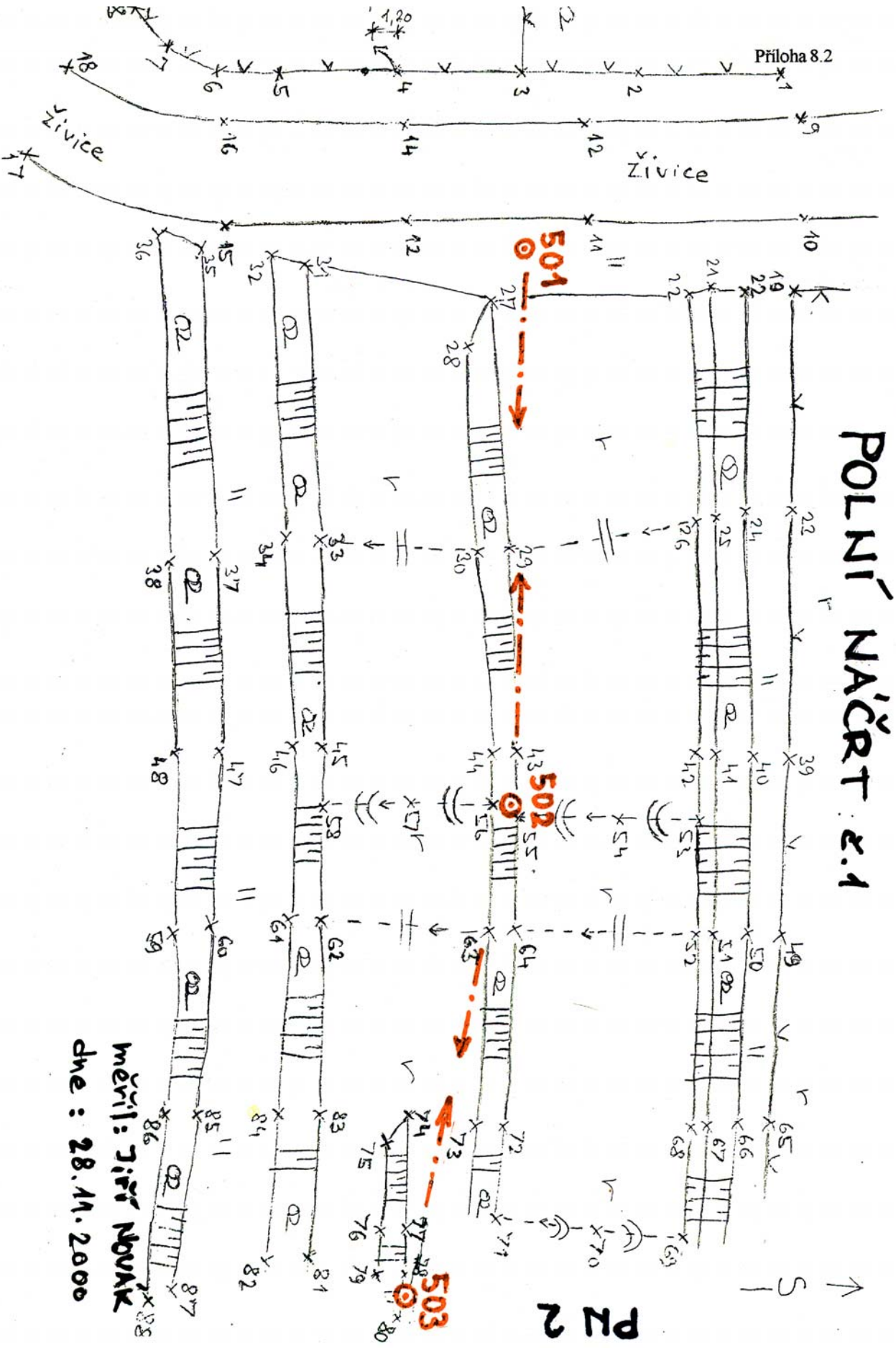
V současné době se jak u polárních, tak u valivých planimetrů hodnoty otáček integračního kolečka registrují v digitální formě. Měření je tak velmi snadné a po zaregistrování příslušného měřítka mapy či plánu lze na displeji z tekutých krystalů okamžitě odečíst hodnotu plochy.

Pořad č.:

# Tachymetrický zázpisník

Str.:

Stanovisko :		Úhel				Laťový úsek $l$	Čtení na obrazu latě	Výšky:		Výška bodu $V_B = V_H + (h - v_l)$	
502		vodorovný		svislý $z$		cm		$1,62 = v_s$ přístroje	$281,44 = V_A$ stanoviska rov. srov.		
Tachymetrický bod	číslo	popis	výškový $\beta$		Vodorovná vzdálenost	dolní	střední $v_l$		$\Sigma = V_H = 283,06$		
			g	c	g	c	$d_0$	horní	$h = 50.l \sin 2z$	$h - v_l$	
					m	cm	$\pm$	m	$\pm$	m	
				98	98	36,9		-	1,18	(282,46)	
501		0 00				36,9		+	0,59	- 0,59	282,47
				99	16	47,3		-	2,24		(281,43)
503		81 85				47,3		+	0,62	- 1,62	281,44
								-			
				106	94	5,9		-	1,08		
1		28 16									
				102	76	18,7		-	1,09		
2		393 22									
				102	19	19,5		-	1,10		
3		394 27									
				103	03	15,5		-	1,07		
4		352 41									
				102	84	15,3		-	1,07		
5		347 01									
				102	56	16,3		-	1,08		
6		344 03									
				102	90	14,0		-	1,07		
7		335 95									
				102	58	14,8		-	1,06		
8		333 27									
				100	95	28,5		-	1,14		
9		318 24									



Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Příloha 8.3

Číslo bodu	Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu přístroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
	přestavového	božného			přestavového	určeného božně	
	vzad +	vřed -	božné -				
21103		1312		345,291	343,980		
	1		1610		343,68		
	2		1820		343,47		
	3		1850		343,44		
	4		1870		343,42		
	5		1740		343,55		
	6		1740		343,55		
	7		2220		343,07		
			2238				
		0176		343,228			
	8		0580		342,65		
	9		1150		342,08		
	10		1690		341,54		
	11		2120		341,11		
	12		2430		340,80		
	13		2780		340,45		
	14		3120		340,11		
	15		3480		339,75		
	16		3950		339,28		
			2036				
		1282		342,473			
	17		3510		338,96		
	18		3140		339,33		$h = -1,280\text{ m}$
	19		2690		339,78		$h' = -1,276\text{ m}$
	20		2140		340,33		$\sigma_h = -0,004\text{ m}$
	21		1690		340,78		$\Delta_h = 40\text{ mm} \cdot \sqrt{r}$ $r = 0,072\text{ km}$
	22		1160		341,31		$\Delta_h = 11\text{ mm}$
	23		0630		341,84		$\sigma_h < \Delta_h$
			0383				
		1682					
21104			1071		342,700		
		4452	5728				

VÝPOČET SOUŘADNIC BODŮ POLYGONOVÝCH POŘADŮ

Příloha 9.1

Číslo pořadí	Číslo bodu	Úhly a úhlové vyrovnání			Směrníky			Strany s [m]	sin α		Souřadnice a souřadnicové vyrovnání	
		g	c	cc	g	c	cc		1+ sin α + cos α	cos α	y	x
(1)	(2)	(3)			(4)			(5)	(6)		(7)	(8)
13	G <sub>15-244</sub>				165	08	45					
	15	274	77	90							649 763,51	1 073 988,59
				+ 9							-0,01	+0,01
				+ 8	39	86	44	93,47			54,78	75,73
	1	234	38	30							649 818,28	1 074 064,33
				+ 8	74	24	82	114,17			-0,01	+0,01
				+ 8	74	13	30	112,73			104,96	44,93
	2	200	06	40							649 923,23	1 074 109,27
				+ 8	74	13	30	112,73			-0,01	+0,01
				+ 8	70	65	78	108,03			103,68	44,26
	3	196	34	40							650 026,90	1 074 153,54
				+ 8	70	65	78	108,03			-0,01	+0,01
				+ 8	77	19	56	115,84			96,76	48,05
4	206	53	70							650 123,65	1 074 201,60	
			+ 8	77	19	56	115,84			-0,02	+0,01	
			+ 8	76	66	84	115,94			108,49	40,61	
5	199	47	20							650 232,12	1 074 242,22	
			+ 8	76	66	84	115,94			-0,02	+0,01	
			+ 8	88	15	32				108,24	41,55	
55	211	48	40							650 340,34	1 074 283,78	
G <sub>55-124</sub>				88	15	32						
G <sub>15-244</sub> [ω]	1688	14	75				[s] 660,18			Δy <sub>PK</sub> +576,83	Δx <sub>PK</sub> +295,19	
										[Δy'] +576,91	[Δx'] +295,13	
G <sub>55-124</sub>		88	15	32								
d <sub>55-124</sub>		88	14	75							O <sub>y</sub> = Δy <sub>PK</sub> - [Δy'] = -0,08m	
O <sub>w</sub>				57							O <sub>x</sub> = Δx <sub>PK</sub> - [Δx'] = +0,06m	
Δw = 10 <sup>m</sup> · 2 · √n'					n = počet vrcholů						O <sub>p</sub> = √(O <sub>y</sub> <sup>2</sup> + O <sub>x</sub> <sup>2</sup> ) = 0,10m	
Δw = 10 <sup>m</sup> · 8 · √7												
Δw = 0,02658												
Δw > O <sub>w</sub>											Δ <sub>p</sub> = 0,011 · √[s] + 0,12m	
											Δ <sub>p</sub> = 0,40m	
											Δ <sub>p</sub> > O <sub>p</sub>	



Pro výuku Geodezie