

## 4.7 MERANIE UHLOV MAGNETICKÝMI PRÍSTROJMI

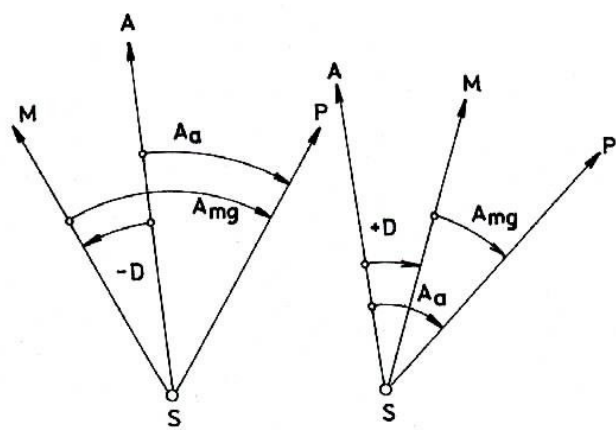
Magnetické prístroje slúžia na meranie vodorovných uhlov, ktoré sa v tomto prípade nazývajú magnetické azimuty, a na orientáciu, t.j. usmerňovanie teodolitu (buzolového teodolitu) do smeru magnetického meridiánu. Meranie sa vykonáva na podklade známej skutočnosti, že sa magnetická ihla účinkami zemského magnetizmu ustáli vždy do smeru magnetického meridiánu.

Pri meraní magnetických azimutov sa stretávame s pojmami:

Astronomický meridián ( $A$ ) miesta z ktorého sa meria, je priesečnica zvislej roviny preloženej vertikálnou osou prístroja a zemepisným severom so zemským povrchom.

Magnetický meridián ( $M$ ) predstavuje priesečnica zvislej roviny preloženej osou ustálenej deklinácie magnetiky so zemským povrchom.

Magnetický azimut ( $A_{mg}$ ) je uhol v mieste merania od severnej vetvy magnetického meridiánu po určovaný bod v smere hodinového číslovania. Je vždy kladný a počíta sa od  $0^\circ$  do  $400^\circ$  ( $0^\circ - 360^\circ$ ) (obr. 4.52).



Obr. 4.52. Magnetická deklinácia

Magnetická deklinácia ( $D$ ) je uhol v mieste merania, ktorý zvierá smer magnetického meridiánu  $M$  a astronomického meridiánu  $A$  (obr. 4.52). Deklinácia odklonená na západ je záporná, na východ je kladná. Aby sa získal astronomický azimut  $A_a$ , deklináciu je potrebné vždy algebraicky pripočítať k odmeranému magnetickému azimutu. Astronomický meridián, na úrovni používania magnetických prístrojov, má stálu polohu, smer magnetického meridiánu sa mení. V dôsledku toho sa mení i hodnota magnetickej deklinácie  $D$ , a to pravidelne (i keď nie rovnomerne) podľa miesta a času merania.

Určenie magnetickej deklinácie. Na podklade zisťovania zmien magnetickej deklinácie na rôznych miestach zemského povrchu k určitému dátumu sa vyhotovila magnetická mapa. Krivky na tejto mape, spájajúce miesta o rovnakej deklinácii sa nazývajú izogóny. Hodnota magnetickej deklinácie sa mení, spôsobuje to účinok slnecnej činnosti a vplyv zmeny polohy zemskej osi na magnetické pole Zeme. Zmeny magnetickej deklinácie sa v pravidelných obdobiach (periodicky) opakujú. Podľa dĺžky periódy ich rozdeľujeme na denné, ročné a sekulárne, sú to tzv. variácie. Sekulárna variácia ukazuje, že magnetická deklinácia sa v priebehu storočia mení a kolíše medzi dvoma krajnými hodnotami.

Magnetickú deklináciu pozorovaného miesta charakterizuje normálna deklinácia  $D$  k určitému dátumu – epoche. Zistila sa ako aritmetický priemer 366-tich po sebe idúcich priemerných denných deklinácií, pričom uvažovaná epocha je uprostred tohoto ročného obdobia.

Miestne a časové zmeny magnetickej deklinácie majú pomerne rovnomerný priebeh. Magnetickú deklináciu je preto možné určiť zo vzťahu:

$$D_t = D_{1957,5} + v(t - 1957,5), \quad (4.20)$$

kde  $D_{1957,5}$  je magnetická deklinácia v mieste merania k epoche napr. 1957,5 a zistí sa z mapy izogón. alebo z topografickej mapy 1:10 000, kde jej hodnota je uvedená k stredu mapového listu (obvykle sa udáva v sexagezimálnom delení).

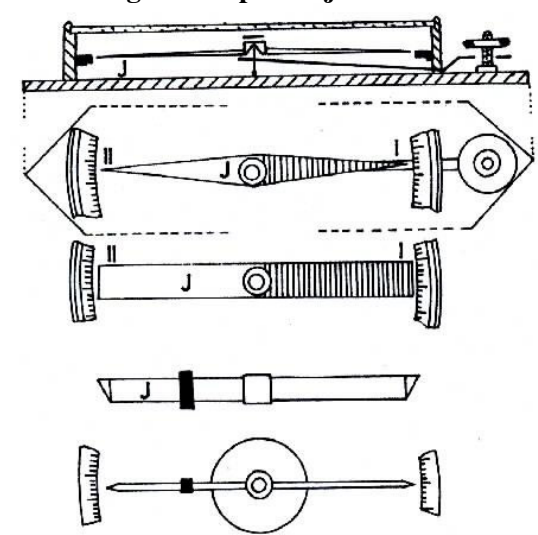
$v$  je ročná zmena magnetickej deklinácie, nájde sa na mape izopor, alebo na mimorámcových údajoch topografickej mapy 1:10 000,

$t$  je časový údaj merania deklinácie, udáva sa ako desatinné číslo.

Tak napríklad magnetická deklinácia v Žiline v skorých ranných hodinách 1. 4. 2003 bola:  
 $D_{2001,25} = 0^\circ 08' + 5,1' \cdot 45,83 = 4^\circ 02'$ . Údaje  $D_{1957,5} = 0^\circ 08'$  a  $v = 5,1'$  sa zistili z topografickej mapy v mierke 1:10 000.

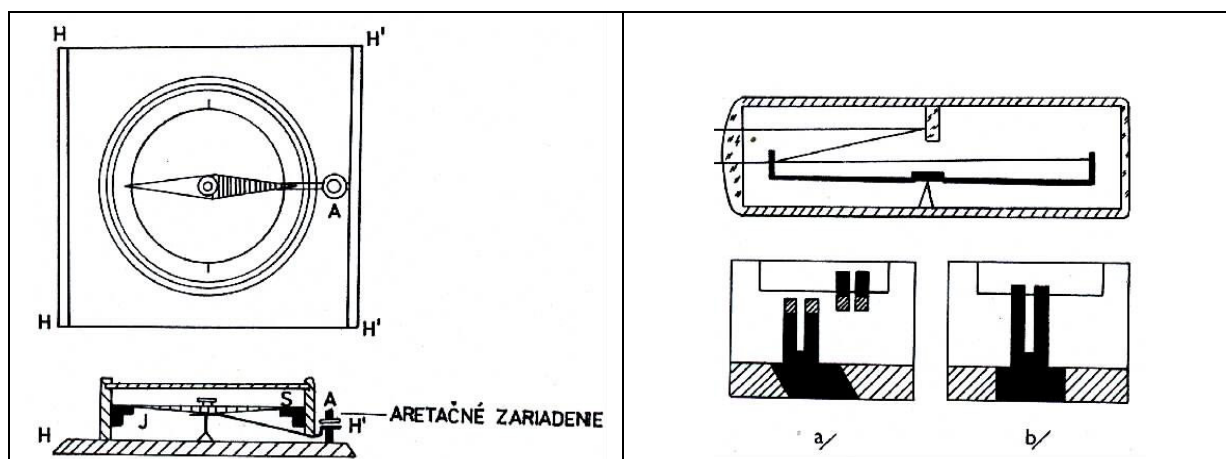
Okrem zmeny deklinácie podľa miesta pozorovania a času, ktorá je celkom pravidelná, nastávajú nepravidelné zmeny – poruchy. Tieto zmeny sú spôsobené: magnetickými búrkami, feromagnetickými kovmi, vplyvom jednosmerného elektrického prúdu, vplyvom nepravidelne rozložených železných a ocelových súčiastok vlastného prístroja a vplyvom geologického zloženia hornín v oblasti merania (železné rudy). V takýchto prípadoch magnetické prístroje na meranie magnetických azimutov a na pripojovacie merania nie je možné použiť.

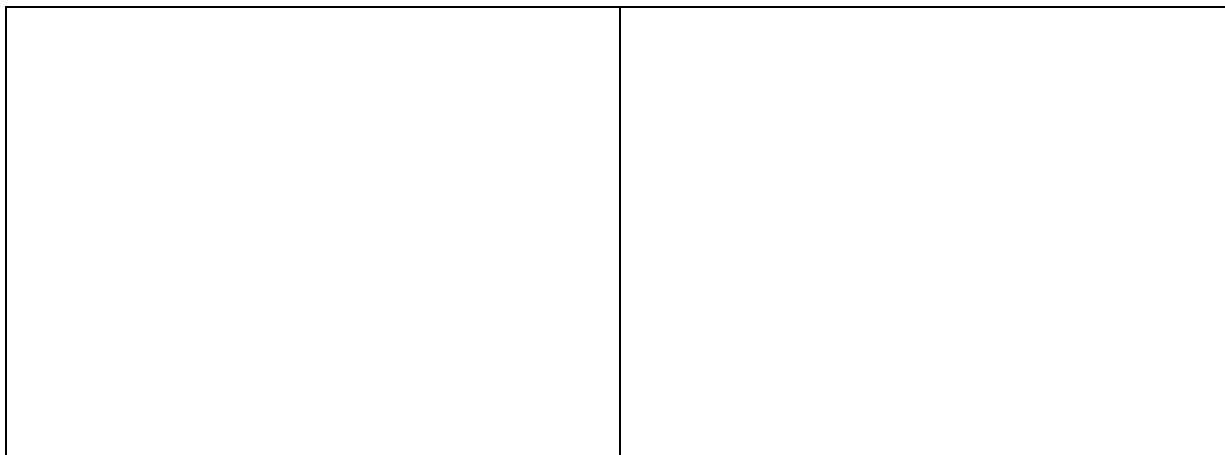
#### 4.7.1 Magnetické prístroje



Obr. 4.53. Tvary magnetických ihiel

Základnou súčiastkou všetkých magnetických prístrojov je magnetická ihla (magnetka) (obr. 4.53). Je to kovová tyčka, silne zmagnetizovaná, v strede má ložisko v ktorom je podopretá hrotom, takže sa môže voľne kývať. Pôsobením zemského magnetizmu sa magnetka svojou pozdĺžnou osou stavia do smeru magnetického meridiánu  $M$ . Vyvážením magnetky sa odstraňuje jav zvaný inklinácia, ktorý je spôsobovaný skláňaním jej severného konca. Citlivosť magnetky závisí od dĺžky ocelevej tyčinky, váhy, intenzity magnetizovania, tvrdosti ložiska a hrotu, na ktorom magnetka leží. Magnetická ihla doplnená skrinkou s deleným kruhom a zámerným priezorom (ďalekohľadom) predstavuje najjednoduchšiu pomôcku na meranie magnetických azimutov buzolu (obr. 4.54). Na rozdiel od buzoly kompas nie je vystrojený zámerným priezorom.





Obr. 4.54. Buzola

Obr. 4.55. Schéma trubicového usmerňovača

Magnetka buzoly je asi 10 až 12 cm dlhá, je postavená na plocho alebo na hranu. Jej zahrotené, alebo ryskami opatrené konce slúžia ako čítacie indexy. Vypínacím (aretačným) zariadením môžeme magnetku nadvihnúť a pritlačiť ku sklu a tým chrániť jej hrot pred otupením a ložisko pred opotrebovaním. Magnetka sa vypína počas prenášania alebo pri transporte prístroja.

Delený kruh buzol je číslovaný opačne ako u teodolitov, t.j. proti smeru číslovania hodín.

V súčasnej geodetickej praxi sa buzola ako uhlomerný prístroj používa zriedkavo. Na meranie magnetických azimutov sa používajú hlavne buzolové teodolity. Sú to v podstate teodolity doplnené plnokruhovým nasadzovacím kompasom, alebo aspoň časťou kompasu, tzv. trubicovým usmerňovačom, ktorý umožňuje nastaviť zámernú priamku do smeru magnetického meridiánu.

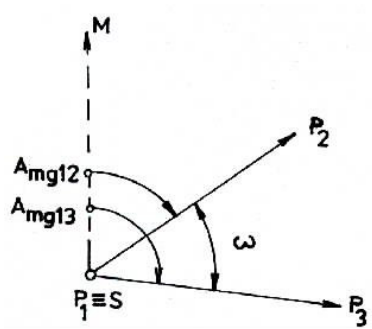
Trubicový usmerňovač je skrinkové alebo valcové puzdro (obr. 4.55), v ktorom je na hrote zavesená magnetka, opatrená aretačným zariadením. Obrazy oboch koncov magnetky (severného a južného) sa prenášajú optickou cestou do zorného poľa trubicového usmerňovača (obr. 4.55a). Magnetka je urovnaná v tom okamihu, keď sa otáčaním alidády dosiahne koincidencia oboch obrazov jej hrotov (obr. 4.55b). Tým sa súčasne zamerá priamky nastaví do smeru magnetického meridiánu.

Väčšina vyrábaných teodolitov v súčasnosti má charakter buzolových teodolitov, pretože ich príslušenstvo obsahuje rúrkový usmerňovač, alebo plnokruhový kompas, ktoré sa pripevňujú na teleso prístroja. Zo starších prístrojov, teodolit Meopta T1<sup>c</sup> má trvalo zabudovaný trubicový usmerňovač.

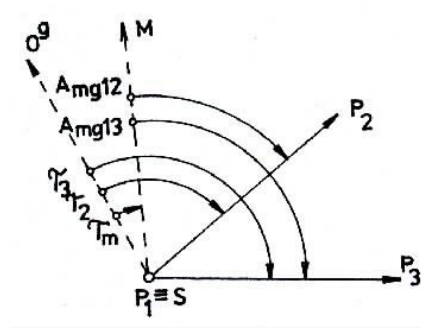
#### 4.7.2 Meranie magnetických azimutov

Magnetické azimuty sa merajú dvoma spôsobmi:

1. **Priamy spôsob** merania magnetických azimutov vyžaduje prístroj s plnokruhovou buzolou. Prístroj zhorizontujeme a scentrujeme na stanovisku  $P_1$ . Aretovanú magnetku uvoľníme a zacieme na bod  $P_2$ . Po ustálení magnetky čítame pomocou lupy pozície hrotov magnetky na vodorovnom kruhu buzoly. Pri hrote nasmerovanom na sever čítame stupne a ich desatiny, pri hrote nasmerovanom na juh čítame desatiny stupňa. Pred čítaním sa trenie v ložisku magnetky odstráni jemným poklepom. Pri čítaní byť oko merača má v predĺženej ose magnetky, aby nevznikla paralaxa.



Obr. 4.56. Priamy spôsob merania magnetických azimutov



Obr. 4.57. Nepriamy spôsob merania magnetických azimutov

Rovnakým spôsobom odmeriame magnetický azimut  $A_{mg13}$  spojnice  $P_1P_3$ . Vodorovný uhol získame z rozdielu azimutov:

$$\omega = A_{mg13} - A_{mg12} \quad (4.21)$$

Azimuty meriame v dvoch polohách ďalekohľadu.

**2. Nepriamy spôsob** merania magnetických azimutov môžeme aplikovať buzolovými teodolitmi. Podstatou merania je určenie čítania  $\psi_m$ , ktoré zodpovedá tej polohe alidády, pri ktorej sa zámerná rovina stotožňuje so smerom magnetického meridiánu  $M$ . Osnova smerov sa potom orientuje k smeru magnetického meridiánu.

Zámernú rovinu do smeru magnetického meridiánu nastavíme tak, že aretovanú magnetku uvoľníme a alidádu otáčame tak dlho, až severný hrot magnetky ukazuje približne k nule vodorovného kruhu, resp. ak je prístroj vybavený trubicovým usmerňovačom, dosiahne sa približne koincidencia oboch hrotov trubicového usmerňovača. Alidádová svorka sa upne a pohybovkou sa nastaví čítanie  $0^\circ$  resp. koincidencia hrotov trubidového usmerňovača. V tejto polohe alidády čítame na limbe hodnotu  $\psi_m$ . Ak ide o prístroj s repetičnou svorkou, alebo limbom na postrk, prípadne prístroj s limbovou svorkou a pohybovkou, môžeme nastaviť čítanie  $\psi_m = 0$ . Potom magnetku uvoľníme, postupne cieľime na body  $P_2, P_3$ , atď., pri ktorých získavame čítanie  $\psi_2, \psi_3$ , atď.

Výsledné magnetické azimuty sa určia z rovníc:

$$A_{mg12} = \psi_2 - \psi_m, \quad A_{mg13} = \psi_3 - \psi_m \dots A_{mg1n} = \psi_n - \psi_m \quad (4.22)$$

Presnosť určenia magnetického azimutu sa dá zvýšiť opakovaným nastavovaním alidády do smeru magnetického meridiánu, pri ktorom sa určuje hodnota  $\psi_m$ , do rovníc (4.22) sa potom zavedie jej hodnota aritmetického priemeru ( $\bar{\psi}_m$ ).

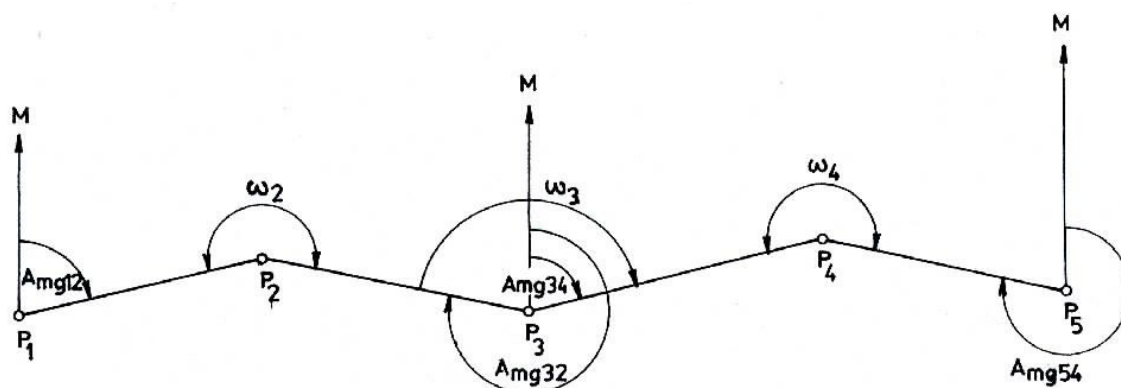
#### 4.7.3 Využitie odmeraných magnetických azimutov

Odmerané magnetické azimuty využívame pri určovaní vrcholových uhlov v polygónoch tzv. buzolových polygónoch, ktoré sú charakterizované krátkymi polygónovými stranami. Merajú sa v podzemných priestoroch, v zalesnených priestoroch atď. Ako je vidieť z obr. 4.58, vrcholové uhly môžeme odvodiť z magnetických azimutov odmeraných na každom druhom stanovisku:

$$\begin{aligned} \omega_2 &= (A_{mg32} - 200^\circ) - A_{mg12} + 200^\circ = A_{mg32} - A_{mg12}, \\ \omega_3 &= (400^\circ - A_{mg32}) + A_{mg34}, \end{aligned} \quad (4.23)$$

$$\omega_4 = A_{mg54} - A_{mg34},$$

⋮



Obr. 4.58. Meranie magnetických azimutov v buzolovom polygóne

Meranie magnetických azimutov v geodetickej praxi má veľký význam vtedy, ak je možné ich prepočítať na smerníky (kap. 6.21), napr. pri určení centračného uhla na excentricky postavený stromový signál (len v prípadoch, keď dĺžka excentricity je  $e < 10$  m), pri vytýčení prieseku potrebného k realizácii líniovej stavby (vedenie VVN, lanová dráha a pod.). Sú to prípady, kedy by si splnenie danej úlohy bežnými geodetickými metódami vyžiadalo napr. realizáciu pomocných priesekov, ďalšie zhusťovanie bodového poľa a iné meračské výkony.

#### 4.7.4 Presnosť merania magnetických azimutov

Na presnosť meraných magnetických azimutov vplýva malá citlivosť magnetky, ktorá môže byť dôsledkom nedostatočne hladkého ložiska, či hrotu, na ktorom magnetka leží, prípadne i jej nedostatočného zmagnetizovania.

Rozhodujúci vplyv na presnosť merania magnetických azimutov má chyba v čítaní polohy hrotu magnetky medzi ryskami ohraničujúcimi najmenší dielik stupnice vodorovného kruhu. Stredná chyba v čítaní závisí hlavne na veľkosti kruhu a na tom, či sa čítanie vykonáva pomocou lupy, alebo voľným okom. Pre priemery kruhu väčšie než 10 cm, sa udáva jej hodnota 3' až 5', pre kruhy 8 až 10 cm a malé buzoly sa uvádza hodnota strednej chyby v čítaní 10' a viac minút.

Priaznivejšie výsledky sa dosahujú pri nepriamom spôsobe merania magnetických azimutov. Namiesto chyby v čítaní polohy hrotu magnetky je tu o polovicu menšia chyba v nastavení hrotu na nulový dielik, doplnená malou chybou v čítaní na limbe.

Strednú chybu meraných azimutov v hodnote 1' môžeme dosiahnuť nepriamym meraním magnetických azimutov, pomocou trubicového usmerňovača s koincidenčným spôsobom urovnania, ak nastavenie niekoľkonásobne opakujeme.

Na sériu navzájom na seba nadväzujúcich azimutov odmeraných v priebehu jedného dňa má vplyv denná zmena deklinácie. Amplitúda denného kolísania smeru magnetického meridiánu v letných mesiacoch dosahuje 10' až 12', v zimných mesiacoch je do 5'. O 8.00 hod. ráno (v zime a v lete trochu neskôr) je severný koniec magnetky najbližšie k magnetickému meridiánu, potom sa vychýľuje a okolo 14.00 hod. dosahuje maximálnu výchylku. Po 18.00 hod. opäť sa blíži k strednej polohe. V záujme zníženia účinku časovej (dennej) zmeny deklinácie, meranie magnetických azimutov sa zásadne vykonáva v "magneticky kludnej dobe", ktorá je od 18.00 hod. do 8.00 hod. ránej.

Zmena deklinácie pri prácach v rozsahu do 1 km je nepatrná, dosahuje len asi 20''.

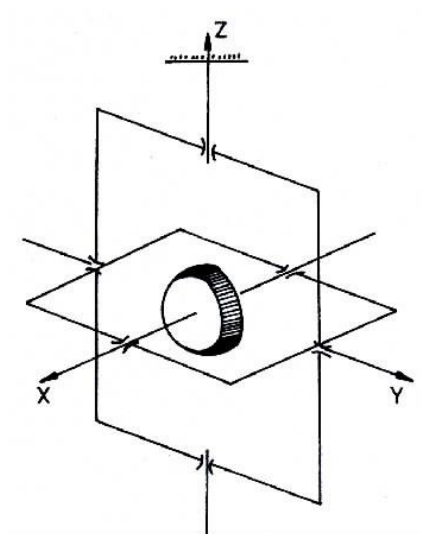
## 4.8 GYROSKOPICKÁ ORIENTÁCIA SMEROV

Francúzsky fyzik Leon Foucault (1852) zistil, že zemské teleso, ktoré sa zotrvačne otáča okolo svojej osi, vytvára zotrvačnickové pole, v ktorom os voľne zaveseného a rýchlo sa otáčajúceho zotrvačníka (gyroskopu) postupne zaujme smer rovnobežný so zemskou osou. Tento objav sa začal prakticky využívať pre geodetické účely zostrojením gyrokompasu (1921). Asi pre 60-mi rokmi bol zkonštruovaný zotrvačnickový prístroj v spojení s teodolitom tzv. gyroteodolit.

Princíp činnosti gyroteodolitu vychádza z podstaty gyroskopu, kde je rýchlo rotujúci zotrvačník umiestnený v Cardanovom závесе s tromi stupňami voľnosti v osiach  $Z$ ,  $Y$ ,  $X$  (obr. 4.59), tzn., že hlavná os zotrvačnosti má možnosť zaujať akúkoľvek polohu, vzhľadom k svojmu najbližšiemu okoliu. Keď sa obmedzí voľnosť gyroskopu v osi  $Y$  napr. kyvadlom, ktoré má nízko ťažisko, môže sa zotrvačník otáčať len okolo osi  $X$  a s touto osou okolo osi  $Z$ , čím vzniká len dvojstupňová voľnosť. Os  $X$  sa potom udržiava vo vodorovnej polohe a pri rýchlo sa otáčajúcom zotrvačníku zaujme smer astronomického meridiánu.

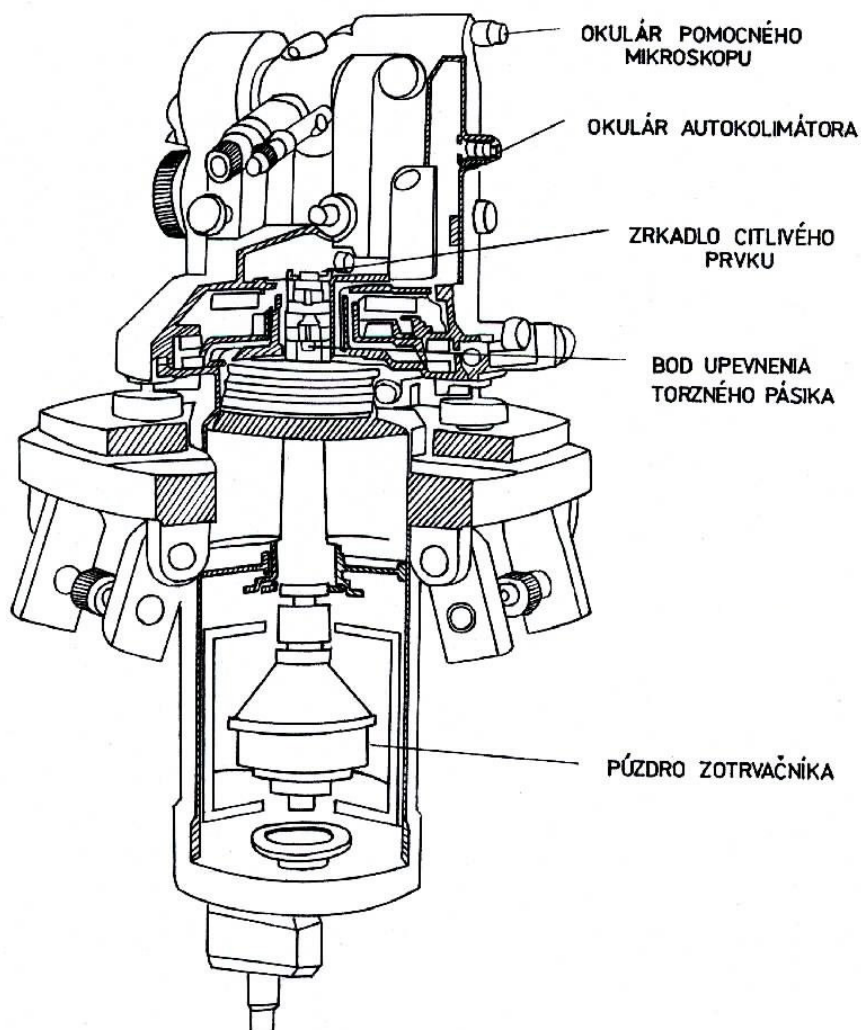
Každý gyroteodolit sa skladá z

- teodolitu, ktorého presnosť má byť väčšia než presnosť gyrokompasu (sekundový teodolit),
- gyrokompasu, jeho hlavnou súčasťou je citlivý prvok, ktorý udáva smer,
- príslušenstva, ku ktorému patrí masívny stojan a zdroj elektrického prúdu.



Obr. 4.59. Schéma troch stupňov voľnosti v osiach





Obr. 4.60. Gyroteodolit MOM Gi-B1

Gyrokompas môže byť umiestnený buď pod teodoliom (obr. 4.60), alebo nad ním, vo forme gyrokompasového nadstavca (obr. 4.61). Zotrvačník gyrokompasu je v podstate rotor trojfázového vysokoobrátkového elektromotoru, ktorý je pevne spojený s citlivým prvkom. Citlivý prvok má tvar rotačného telesa a býva zavesený na torznom pásiku ako kyvadlo, alebo je uzavretý v dutom plášti a pláva v nádobe s kvapalinou, resp. má inú úpravu. Vo všetkých prípadoch os rotujúceho zotrvačníka môže meniť svoju polohu len vo vodorovnej rovine a pri rýchlo sa otáčajúcom zotrvačníku zaujme smer astronomického meridiánu. Tento smer zaujme za určitý čas, v dôsledku zotrvačnosti sa kýve okolo rovnovážnej polohy tlmenými kmitmi, až nastane úplný útlm. Zotrvačník sa musí pritom otáčať rýchlosťou 20 000 až 30 000 otočiek za minútu.

V súčasnej dobe existuje niekoľko typov gyroteodolitov vyrábaných v Rusku, Nemecku, Švajčiarsku a iných krajinách.

Jeden z gyroteodolitov používaných u nás je prístroj Gi-B1 maďarskej firmy MOM (obr. 4.60). Teodolit má koincidenčný spôsob čítania s najmenším dielikom stupnice mikrometra  $2''$ . Citlivý prvok gyrokompasu je zavesený v podobe kyvadla na torznom pásiku.

Otáčavý moment (asi 20 000 otočiek/min) udeľuje zotrvačníku generátor napájaný 12V akumulátorom. Pozorovanie kmitov citlivého prvku okolo roviny meridiánu umožňuje opticko-mechanický celok, pozostávajúci z autokolimačného ďalekohľadu a pomocnej stupnice, ktorý je pripojený na citlivom prvku. Sledovanie kmitov sa uskutočňuje manuálne nekonečnou skrutkou s hrubým a jemným vedením. Presnosť určenia astronomického azimutu sa udáva strednou chybou  $15''$ , určenie azimutu vrátane postavenia prístroja trvá 30 až 45 minút.

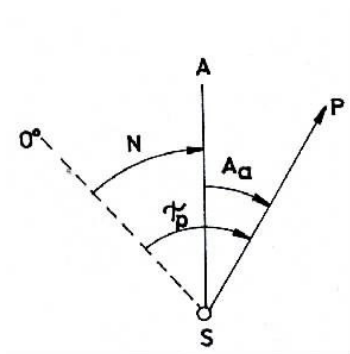
Okrem gyroteodolitu geodetická prax používa aj gyrokompasové nadstavce, ktoré tvoria doplnkové orientačné zariadenie pre presné teodolity, napr. gyrokompasový nadstavec Wild GAK 1 (obr. 4.61), ktorý možno nasadiť na rôzne teodolity firmy Wild (dnes firmy Leica).



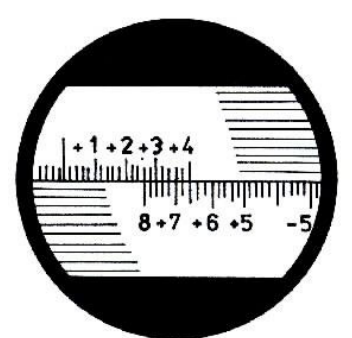
Obr. 4.61. Gyroskopický nadstavec Wild GAK 1 v spojení s teodolitom Wild T 2

#### Určenie astronomického azimutu gyroskopickým teodolitom

Gyroskopický teodolit sa scentruje a presne sa zhorizontuje. Trubicovým usmerňovačom sa určí približne sever a na vodorovnom kruhu sa nastaví čítanie blízke nule. Potom sa zacieli na orientačný bod ( $P$ ) a číta sa na vodorovnom kruhu (obr. 4.62). Ďalej nasleduje určenie nulovej torznej polohy citlivého prvku, pri ktorej sa zotrvačník ešte neotáča. Citlivý prvok sa odaretuje a nechá sa chvíľku v kľude, pritom kmitá okolo rovnovážnej polohy, ktorá sa určí čítaním krajných polôh na torznej stupnici (obr. 4.63). Torzná stupnica sa pozoruje autokolimačným ďalekohľadom. V jeho zornom poli sú dve od seba oddelené stupnice, ktoré sa po odaretovaní citlivého prvku posúvajú proti sebe, až dosiahnú krajnú polohu. Potom sa začnú posunovať proti sebe opačným smerom do druhej krajnej polohy. Krajné polohy sa čítajú na hornej stupnici podľa strednej čiarky (indexu) dolnej stupnice.



Obr. 4.62. Určenie astronomického azimutu



Obr. 4.63. Torzná stupnica

Z čítaných krajných polôh  $a_1, a_2, a_3, \dots$  sa určí nulová poloha priemerovaním:



$$\begin{aligned}
a'_1 &= \frac{a_1 + a_2}{2} ; & a'_2 &= \frac{a_2 + a_3}{2} ; & a'_3 &= \frac{a_3 + a_4}{2} ; \dots \\
A_1 &= \frac{a'_1 + a'_2}{2} ; & A_2 &= \frac{a'_2 + a'_3}{2} ; \\
A'_0 &= \frac{A_1 + A_2}{2} .
\end{aligned} \tag{4.24}$$

Na nulovej torznej polohe sa citlivý prvok zaaretuje. Zapne sa elektromotor, keď zotrvačník dosiahne vyžadovaný počet otáčok odaretuje sa citlivý prvok a hneď sa začne pozorovať torzná stupnica. Stupnice sa proti sebe posúvajú rýchlo a neustále sa od seba vzdávajú. Merač musí skrutkami alidády udržiavať rysky nulovej polohy stupnice blízko seba, pretože keď os zotrvačníka zaujme krajnú polohu na krátky čas sa pohyb stupníc zastaví, vtedy treba zkoincidovať rysky a prečítať uhlovú hodnotu na vodorovnom kruhu teodolitu  $n_1$ . Zotrvačník medzi tým rotuje ďalej a vychýľuje os rotácie na druhú stranu. V okamihu krajnej polohy po skoincidovaní indexov, na vodorovnom kruhu čítame údaj  $n_2$ . Postup sa opakuje minimálne štyrikrát a z čítaní na teodolite  $n_1, n_2, n_3, \dots$  sa určí nulová hodnota  $N_0$  podobne ako v rovniciach (4.24).

Elektromotor sa vypne a znova sa určí podľa predchádzajúceho postupu nulová torzná poloha  $A'_0$  a vytvorí sa priemer

$$A_0 = \frac{1}{2}(A'_0 + A''_0) . \tag{4.25}$$

$A_0$  sa použije na určenie opravy nulového bodu  $\Delta N = C A_0$ , hodnota koeficientu  $C$  je udaná pre každý prístroj.

Čítanie vodorovného kruhu pre smer astronomického meridiánu bude

$$N = N_0 + \Delta N_0 . \tag{4.26}$$

Nakoniec sa zacieli na daný bod  $P$  a v oboch polohách ďalekohľadu sa určí jeho azimut:

$$A_a = \psi_P - N + \Delta , \tag{4.27}$$

kde  $\Delta$  je konštanta prístroja ( $90^\circ$  alebo  $0^\circ$ ), jej hodnota je závislá od umiestnenia autokolimačného ďalekohľadu na alidáde vzhľadom na zámernú rovinu teodolitu.

Gyroteodolity nachádzajú hlavné uplatnenie pri pripojovacích prácach v podzemných priestoroch, ako aj pri iných geodetických úlohách.