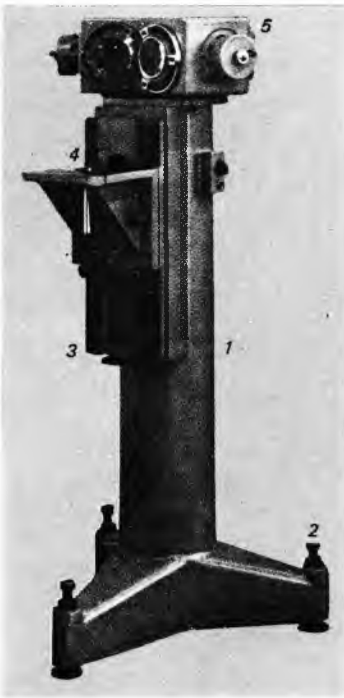
durbin: paralelnost kolimacijskih osi kolimatora i durbina nakon viziranja pomoću durbina.

Kolimator ili slog dvaju kolimatora primjenjuje se za ispitivanje i rektifikaciju glavnog uvjeta nivelira, libele ili kompenzatora vertikalnog kruga teodolita, pogreške kolimacijske osi, ekscentričnosti alhidade, multiplikacijske konstante optičkih daljinomjera, ishodišnog položaja dijagrama, ispitivanje točnosti podjele kruga (sl. 73) itd.




Sl. 73. Uređaj s kolimatorima za ispitivanje podjele kruga teodolita. *1* nosač, *2* podnožni vijci, *3* vodilica podnožne ploče instrumenta, *4* podnožna ploča, *5* kućište kolimatora

Znatnu primjenu pri ispitivanjima u laboratoriju imaju *komparatori* različitih konstrukcija za ispitivanje podjele nivelmanskih letava, ili razmaka marki i ekscentričnosti bazisne letve, zatim uređaji za ispitivanje geodetske vizurne linije durbina, točnosti viziranja itd.

LIT.: *N. Čubranić*, Viša geodezija, Zagreb 1954. — *S. Macarol*, Praktična geodezija. Zagreb 1961. — *Jordan-Eggert-Kneissl*, Handbuch der Vermessungskunde. Bd II. 1963, Bd. III. 1956, Bd. VI. 1966. — *E. Gigas*, Physikalisch-Geodätische Messverfahren. Bonn 1966. — *M. Janković*, Inženjerska geodezija, Zagreb 1968. — *П. Закатов*, Инженерная геодезия. Москва 1969. — *Г. П. Левчук*, Курс инженерной геодезии. Москва 1970. — *Б. А. Литвинов, В. М. Лобачев, Н. Н. Воронков*, Геодезическое инструментоведение. Москва 1971. — *B. Adolfsson*, The use of electronic distance and direct reading tacheometers and surwey systems based of them. Stockholm 1972. — *F. Deumlich*, Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. Berlin 1972. — *G. Strasser*, Die elektronischen Kurzdistanzmesser. Wien 1972. — *H. Zetsche*, Elektrooptische Nahbereichsentfernungsmesser. Bonn 1973. — *Z. Narobe*, Teoretske osnove i praktična primjena žiroteodolita. Zagreb 1975. — *V. Petković*, Elektromagnetski daljinomjeri i njihova primjena u geodeziji, Zagreb 1975.

*D. Benčić*

## GEODETSKI KOORDINATNI SUSTAVI,

sustavi pravaca i ravnina za određivanje položaja točke u ravnini, matematički definiranoj zakrivljenoj plohi ili u prostoru. U geodeziji se upotrebljavaju: koordinatni sustavi na nebeskom svodu (nebeski koordinatni sustavi), koordinatni sustavi na Zemljinu elipsoidu ili Zemljinoj kugli, koordinatni sustavi u ravnini i koordinatni sustavi u prostoru.

**Nebeski koordinatni sustavi.** Nebeska kugla (sfera) zamišljena je kugla u svemiru koja ima središte u središtu Zemlje, ali je tako velikog polumjera da pravci povučeni iz različitih točaka unutar kugle (na Zemlji ili u Sunčevu sustavu) do površine nebeske kugle imaju isti smjer. Pravac koji spaja oko promatrača s nebeskim tijelom prodire kroz površinu nebeske kugle u točki koja označuje prividni položaj nebeskog tijela. Ta točka prodora ujedno je i smjer u kojem se vidi promatrano nebesko tijelo. Da se točno odredi smjer nebeskog tijela i opiše njegovo prividno gibanje po nebeskoj kugli, definiraju se na njoj točke, lukovi i krugovi koji su osnova nebeskih koordinatnih sustava, a to su horizontski, ekvatorski i ekliptički koordinatni sustav.

*Horizontski koordinatni sustav.* Vertikala, koja pada u smjer djelovanja sile teže na mjestu promatrača, osnova je horizontskog koordinatnog sustava. Vertikala prodire kroz nebesku kuglu u dvije točke. *Zenit* $Z$ (sl. 1) nalazi se iznad glave promatrača, a *nadir* $Z_1$ na suprotnoj je strani nebeske kugle. *Horizont* je krug na nebeskoj kugli koji je presjecište te kugle s ravninom okomitom na vertikalu koja prolazi mjestom promatrača. Pravac koji prolazi sjevernim i južnim polom Zemlje a prodire kroz površinu nebeske kugle zove se *svjetska os* $PP_1$. Ona je os rotacije Zemlje, a točke $P$ i $P_1$ označuju *sjeverni* i *južni nebeski pol.*

*Nebeski meridijan* na mjestu promatranja najveća je kružnica na nebeskoj kugli koja prolazi kroz zenit, nadir, sjeverni i južni pol ($ZSP_1Z_1NP$, sl. 1). Najveća kružnica na nebeskoj kugli koja prolazi promatranim nebeskim tijelom, zenitom i nadirom, a okomita je na horizont, naziva se *vertikalnim krugom nebeskog tijela.* A ako je ta kružnica okomita na nebeski meridijan, to je *prvi vertikal* nebeskog tijela.

Položaj nebeskog tijela u horizontskom koordinatnom sustavu određen je dvjema horizontskim koordinatama: visinom $v$ i azimutom $\alpha$. *Visina* nebeskog tijela $T$ određena je kutom $TOH$ što ga čini njegov smjer $OT$ s ravninom horizonta na mjestu promatranja. Visina se iskazuje kutom $0°\cdots+90°$ kad je tijelo iznad horizonta, a kutom $0°\cdots-90°$ kad se tijelo nalazi ispod horizonta. Često se umjesto visine upotrebljava *zenitna daljina* $z$ koja je komplement visine, jer je $z = 90° - v$. Iskazuje se kutom $0°\cdots 180°$ od zenita do nadira. Kut koji čini ravnina meridijana na mjestu promatranja i vertikalni krug (kut $SOH$) zove se *azimut*. Broji se na horizontu počevši od meridijana (točka $S$) u smjeru kazaljke na satu kutom $0°\cdots 360°$.

Horizontske koordinate mijenjaju se s promjenom mjesta promatranja, ali i uz stalno mjesto promatranja one se stalno mijenjaju zbog prividne dnevne vrtnje nebeske kugle koja rotira zajedno sa Zemljom.

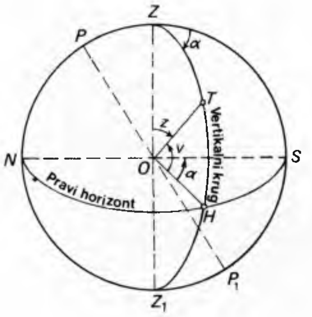
*Ekvatorski koordinatni sustavi.* Položaj nebeskog tijela u tim sustavima određen je ekvatorskim koordinatama koje se definiraju pomoću satnog kuta ili pomoću rektascenzije, pa zbog toga postoje dva ekvatorska koordinatna sustava. U oba sustava položaj nebeskog tijela određen je s obzirom na *nebeski ekvator.* To je kružnica određena presjecištem nebeske kugle s ravninom koja prolazi mjestom promatranja i okomita je na svjetsku os (sl. 2). Kružnica na nebeskoj kugli koja prolazi promatranim tijelom i nebeskim polovima a okomita je na nebeski ekvator zove se *satna kružnica* ili kružnica deklinacija.

U prvom sustavu položaj nebeskog tijela određen je satnim kutom $\tau$ i deklinacijom $\delta$. *Satni kut* nebeskog tijela $T$ (sl. 2) jednak je kutu između ravnine satnog kruga i ravnine meridijana na mjestu promatranja. Broji se obično od meridijana u smjeru dnevne prividne vrtnje nebeske kugle ($0°\cdots 360°$). Iskazuje se obično u satima i dijelovima sata umjesto u stupnjevima i njegovim dijelovima, pa je 360° jednako 24h (1h = 15°, 1 minuta = 15′, 1s = 15″). *Deklinacija* je nebeskog tijela kut njegova smjera s ravninom ekvatora. Umjesto deklinacije upotrebljava se *polna daljina* $p$, koja je jednaka kutnoj udaljenosti tijela od sjevernog nebeskog pola, pa je $p = 90° - \delta$. Deklinacija i polna daljina mjere se na ravnini satnog kuta; deklinacija počevši od ekvatora do polova ($0°\cdots \pm 90°$), a polna daljina od sjevernog do južnog pola ($0°\cdots 180°$).

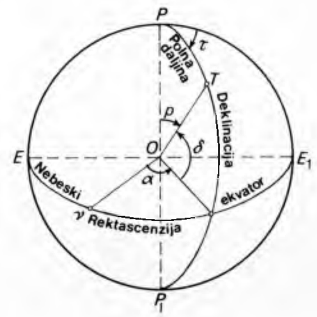
U drugom sustavu položaj nebeskog tijela određen je rektascenzijom $\alpha$ i deklinacijom $\delta$. *Rektascenzija* nebeskog tijela na nebeskoj kugli jest kut između satnog kruga nebeskog tijela i ravnine satnog kruga koji prolazi točkom nebeskog ekvatora u kojoj se nađe središte Sunca u trenutku kad astronomski počinje proljece (proljetna točka $\nu$) (sl. 2). Rektascenzija se mjeri na nebeskom ekvatoru od proljetne točke u smjeru godišnjeg prividnog gibanja Sunca, odnosno u suprotnom smjeru od prividne vrtnje nebeske kugle. Mjeri se obično u satima (0···24h) a rijetko u stupnjevima.

*Ekliptički koordinatni sustav. Ekliptika* je kružnica kojom je predstavljena godišnja putanja Sunca. Kako je godišnje Sunčevo gibanje samo odraz Zemljina gibanja oko Sunca tokom godine, ekliptika je presjecište ravnine Zemljine staze u gibanju oko Sunca s nebeskom kuglom. Ravnina ekliptike pomaknuta je prema ravnini ekvatora za kut od 23°27′ (sl. 3), a ekliptika i ekvator sijeku se u dvije ekvinocijalne točke (proljetna i jesenska) u kojima se Sunce nađe kad astronomski počinje proljeće i jesen. Krug koji je okomit na ravninu ekliptike prolazi polovima ekliptike nebeske kugle $P_E$ i $P_{1E}$. Njegovo presjecište s nebeskom kuglom zove se *širinska kružnica.*

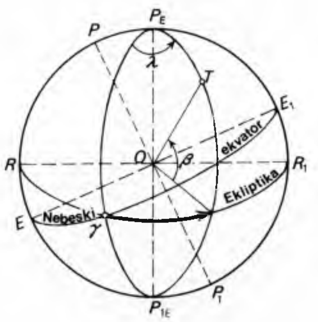
Položaj nebeskog tijela određen je dvjema ekliptičkim koordinatama: duljinom $\lambda$ i širinom $\beta$. *Duljina* nebeskog tijela jednaka je kutu između ravnine njegovog širinskog kruga i ravnine širinskog kruga koji prolazi proljetnom točkom. Mjeri se na ekliptici počevši od proljetne točke u smjeru godišnjeg prividnog gibanja Sunca 0°···360° (sl. 3). Kut između smjera nebeskog tijela i ravnine ekliptike jednak je *širini* nebeskog tijela. Mjeri se u ravnini njegovog širinskog kruga počevši od ekliptike do sjevernog pola ekliptike (0°··· +90°) i do južnog pola (0°··· −90°).



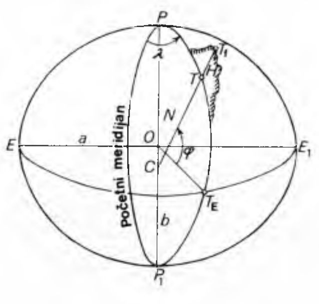

Sl. 1. Horizontski koordinatni sustav




Sl. 2. Ekvatorski koordinatni sustav




Sl. 3. Ekliptički koordinatni sustav




Sl. 4. Geografski koordinatni sustav

**Koordinatni sustavi na Zemljinu elipsoidu.** Zemljin elipsoid nastaje rotacijom elipse oko njezine kraće osi koja je ujedno i Zemljina os. Za definiranje položaja na Zemljinom elipsoidu najčešće se upotrebljavaju geografski, pravokutni i polarni koordinatni sustav.

*Geografski koordinatni sustav* čini mreža meridijana i paralela. *Meridijani* su elipse (meridijanske elipse) presječnice ravnina koje prolaze Zemljinom osi s površinom elipsoida. Za određivanje položaja na elipsoidu potrebno je definirati *početni meridijan.* Do dvadesetih godina ovog stoljeća bilo je više početnih meridijana: meridijan svjetionika na otoku Ferro (najzapadniji otok među Kanarskim otocima), meridijan zvjezdarnica u Parizu, Potsdamu kod Berlina i Pulkovu kod Lenjingrada. Danas se, prema međunarodnom dogovoru, za početni meridijan uzima onaj koji prolazi zvjezdarnicom Greenwich kod Londona. Razlike geografskih duljina među spomenutim početnim meridijanima iznose: Greenwich—Ferro 17°39′46,02″, Pariz—Greenwich 2°20′13,98″, Pulkovo—Greenwich 30°19′38,55″, Potsdam—Greenwich 13°4′1,725″ ± 0,3″.

Presjecišta Zemljinog elipsoida s ravninama okomitim na njegovu os daju kružnice na površini elipsoida koje se nazivaju *paralelama. Ekvator* je takva kružnica koja ima najveći promjer.

U geografskom koordinatnom sustavu položaj točke $T$ na površini Zemlje (sl. 4) određen je dvjema koordinatama: geografskom širinom $\varphi$ i geografskom duljinom $\lambda$. Te se koordinate obično nazivaju geografskim, a ponekad i apsolutnim (univerzalnim) koordinatama. Prema načinu određivanja razlikuju se astronomske i geodetske koordinate. Astronomske koordinate određuju se astronomskim opažanjima, a geodetske geodetskim mjerenjima. Kad se radi o geodetskim koordinatama, određuje se i treća koordinata, *apsolutna visina H* promatrane točke. To je duljina normale $T_f T$ (sl. 4) od točke na fizičkoj površini Zemlje do površine zamišljenog elipsoida. Kad se površina zamišljenog elipsoida podudara sa srednjom razinom površine mora (v. *Geoid*), ta se visina naziva nadmorska visina.

*Geografska širina* je kut koji zatvara normala točke $T$ (sl. 4) na elipsoid s ravninom ekvatora, a geografska je duljina kut između meridijana točke $T$ i početnog meridijana. Geografska širina mjeri se na meridijanu promatrane točke od ekvatora prema sjevernom ili južnom polu (0°··· ±90°), a geografska se duljina mjeri po bilo kojoj od paralela, obično po paraleli promatrane točke, polazeći od početnog meridijana na istok ili zapad (0°··· +180° na zapad, 0°··· −180° na istok).

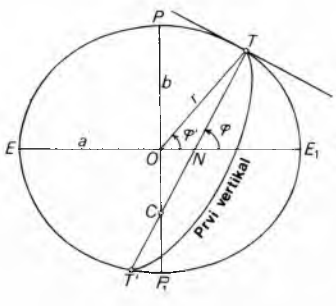
Upotrebljavaju se, osim toga, još i geocentrička $\varphi'$ i reducirana širina $u$.

*Geocentrička širina* je kut $TOE_1$ (sl. 5) što ga čini radijusvektor točke $T$ s većom osi elipse koja karakterizira Zemljin elipsoid. Položaj točke $T$ određen je geocentričkom širinom i radijusvektorom $r$.

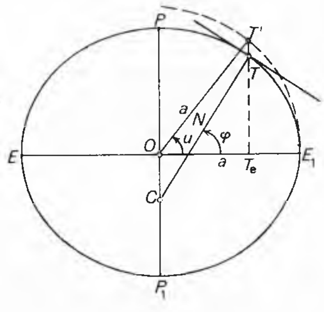
*Reducirana širina* je kut $T'OE_1$ (sl. 6) što ga čini polumjer kružnice koja prolazi točkom $T'$ i kojoj je središte u središtu $O$ elipsoida. Polumjer te kružnice jednak je većoj osi elipse, a točka $T'$ presjecište je produženja okomice $TT_e$ na veću os elipse i spomenute kružnice. Položaj točke $T$ određen je reduciranom širinom i većom osi elipse.

Međusobna veza između geocentričke $\varphi'$ i geografske širine $\varphi$ određena je relacijom

$$\tan\varphi' = (1 + e^2)\tan\varphi, \tag{1}$$




Sl. 5. Geografski koordinatni sustav s geocentričnom širinom




Sl. 6. Geografski koordinatni sustav s reduciranom širinom

gdje je $e$ prvi brojni *ekscentricitet elipse.* Ta se veza može prikazati i izrazom

$$(\varphi - \varphi')'' = \varrho'' - \frac{e^2}{2}\sin(2\varphi), \tag{2}$$

koji je samo približan jer su zanemareni članovi s većim potencijama od $e$.

Relacija

$$\tan u = \sqrt{1 + e^2}\tan\varphi \tag{3}$$

daje međusobni odnos reducirane širine $u$ i geografske širine $\varphi$, a izraz

$$(\varphi - u)'' = \varrho''\frac{e^2}{4} - \sin(2\varphi) \tag{4}$$

daje samo približne vrijednosti iz već navedenih razloga.

*Pravokutni kooordinatni sustav na elipsoidu.* Osnovicu pravokutnog sustava čini po volji odabrani meridijan i okomica na bilo koju točku toga meridijana. Sjecište toga meridijana i okomice ishodište je pravokutnog koordinatnog sustava. Na sl. 7 prikazan je pravokutni koordinatni sustav s ishodištem u točki $O$, pa je položaj točke $T$ određen apscisom $OT'$ i ordinatom $T'T$.

U prošlom stoljeću i do dvadesetih godina ovoga stoljeća za premjer većih dijelova površine Zemlje upotrebljavane su Soldnerove pravokutne koordinate na elipsoidu (J. G. Soldner, 1776—1833). Za preračunavanje geografskih koordinata $\varphi$ i $\lambda$ u pravokutne koordinate $x$ i $y$ vrijede slijedeće relacije:

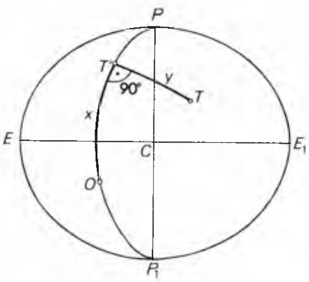
$$x = B + \frac{N\lambda}{24}\sin\varphi\cos\varphi +$$

$$+ \frac{N\lambda^4}{24}\sin\varphi\cos^3\varphi(5 - \tan^2\varphi + 5\eta^2 + 3\eta^2\tan^2\varphi + \eta^4) \quad (5)$$

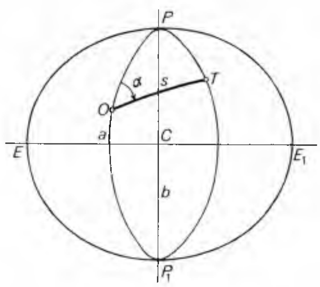
$$y = N\lambda\cos\varphi - \frac{N\lambda^3}{6}\sin^2\varphi\cos\varphi -$$

$$- \frac{N\lambda^5}{120}\sin^2\varphi\cos^3\varphi(8 - \tan^2\varphi), \quad (6)$$

gdje je $B$ duljina luka meridijana od ekvatora do paralele geografske širine $\varphi$, $\lambda$ geografska duljina koja vrijedi za meridijan koji je odabran za os $x$ pravokutnog sustava, $N$ polumjer prvog vertikala (duljina $TN$ na sl. 5), a $\eta = e'\cos\varphi$ gdje je $e'$ drugi brojni ekscentricitet elipse.




Sl. 7. Pravokutni koordinatni sustav na elipsoidu




Sl. 8. Polarni koordinatni sustav na elipsoidu

*Polarni koordinatni sustav na elipsoidu.* Osnovicu toga koordinatnog sustava čine polarna os na kojoj je odabrana točka kao pol koordinatnog sustava. Položaj točke na elipsoidu određen je azimutom $\alpha$ i najkraćom dužinom (geodetskom linijom) između pola sustava i promatrane točke.

Kut između polarne osi $OP$ (sl. 8) i najkraće dužine između pola i promatrane točke $OT$ zove se *azimut*. Mjeri se u smjeru kretanja kazaljke na satu (0°···360°).

**Koordinatni sustavi na Zemljinoj kugli.** Računanje na kugli mnogo je jednostavnije nego na elipsoidu, pa se Zemljin elipsoid, kad god to točnost računa dopušta, zamjenjuje Zemljinom kuglom. Polumjer kugle kojom se aproksimira elipsoid određuje se prema različitim kriterijima.

Budući da je kugla po svojem obliku vrlo bliska elipsoidu, polumjer kugle može se odrediti kao aritmetička sredina triju poluosi elipsoida. Prema tome kriteriju polumjer kugle izračunava se iz relacije

$$R = a\left(1 - \frac{e^2}{6} - \frac{e^4}{24} - \frac{e^6}{48} - \ldots\right). \quad (7)$$

Tada se za Besselov elipsoid (v. *Geodezija*) dobiva polumjer

$$R = 6370291{,}091\,\text{m}.$$

Za kriterij da površina kugle kojom se zamjenjuje elipsoid mora biti jednaka površini elipsoida, polumjer kugle iznosi

$$R_\text{p} = a\left(1 - \frac{e^2}{6} - \frac{17e^4}{360} - \frac{67e^6}{3024} - \ldots\right), \quad (8)$$

pa je polumjer kugle koja zamjenjuje Besselov elipsoid

$$R_\text{p} = 6370289{,}511\,\text{m}.$$

Ako se postavi zahtjev da volumen kugle mora biti jednak volumenu elipsoida, polumjer je kugle

$$R_\text{v} = a\left(1 - \frac{e^2}{6} - \frac{5e^4}{72} - \frac{55e^6}{1296} - \ldots\right), \quad (9)$$

odnosno

$$R_\text{v} = \sqrt[3]{a^2 b}. \quad (10)$$

Tada kugla koja zamjenjuje Besselov elipsoid ima polumjer

$$R_\text{v} = 6370283{,}158\,\text{m}.$$

U formulama (7)···(10) $a$ je veća os elipse, $b$ manja os, a $e$ prvi brojni ekscentricitet.

Sve navedene formule vrijede kad se kuglom želi zamijeniti cijeli Zemljin elipsoid. Ako je, međutim, potrebno prilagoditi kuglu samo dijelu elipsoida (nekoj točki elipsoida i njenom bliskom okolišu), najbolje odgovara dio kugle s polumjerom koji je geometrijska sredina zakrivljenosti $M$ po meridijanu i zakrivljenosti $N$ po prvom vertikalu (v. *Geodezija*), pa je polumjer kugle

$$R_\text{g} = \sqrt{MN}. \quad (11)$$

Do uvođenja kartografskih projekcija (v. *Kartografija*) često je primjenjivana Soldnerova kugla. To je kugla koja ima polumjer jednak duljini prvog vertikala $TC$ (sl. 5). Prvi vertikal nalazi se u ravnini koja prolazi točkom $T''$, a okomita je na ravninu meridijana $PE_1P_1E$. Soldnerova kugla dodiruje elipsoid u točki $T$ koja je na paraleli $\varphi_0$, pa na toj paraleli najvjernije određuje elipsoid.

Za određivanje položaja na Zemljinoj kugli češće se upotrebljavaju polarne sferne koordinate (sl. 9). Položaj točke u polarnom, sfernom koordinatnom sustavu na Zemljinoj kugli određen je zenitnom daljinom $z$ i azimutom $\alpha$. Zenitna daljina komplement je visine $v$, pa je $z = 90° - v$, a azimut je kut kao i u horizontskom koordinatnom sustavu. Sferni koordinatni sustav čini mreža almukantarata i vertikala. Almukantarati su linije na površini Zemljine kugle koje spajaju točke jednakih zenitnih daljina, a vertikali spajaju točke jednakih azimuta.

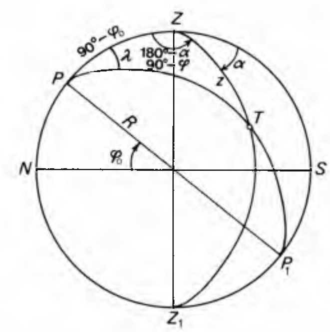
Za preračunavanje geografskih koordinata $\varphi$ i $\lambda$ u sferne polarne koordinate $z$ i $\alpha$ služe slijedeće formule:

$$\cos z = \sin\varphi_0\sin\varphi + \cos\varphi_0\cos\varphi\cos\lambda \quad (12)$$

$$\sin z\sin\alpha = \sin\lambda\cos\varphi \quad (13)$$

$$\sin z\cos\alpha = \sin\varphi_0\cos\varphi\cos\lambda - \sin\varphi\cos\varphi_0, \quad (14)$$

gdje je $\varphi_0$ geografska širina pola sfernog polarnog sustava.



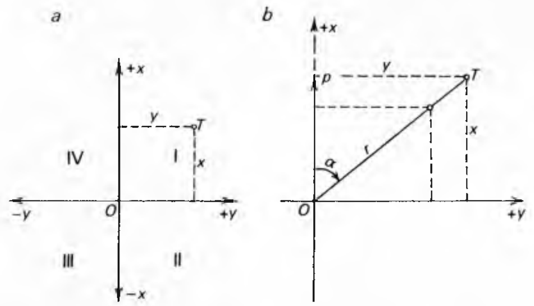

Sl. 9. Polarni sferni koordinatni sustav na kugli

Od pravokutnih koordinatnih sustava na Zemljinoj kugli upotrebljava se Soldnerov pravokutni sustav koji je definiran kao i na Zemljinom elipsoidu. Formule za preračunavanje iz geografskih u pravokutne koordinate jednake su formulama koje vrijede za elipsoid, u koje treba uvrstiti za $B = R(\varphi - \varphi_0)$, za $N = R$, a za $\eta = 0$. Tu je $\varphi_0$ geografska širina ishodišta koordinatnog sustava.

**Koordinatni sustavi u ravnini.** U geodeziji se upotrebljavaju pravokutni i polarni koordinatni sustavi.

Osnovicu *pravokutnog koordinatnog sustava* čine osi apscise i ordinate koje se sijeku u ishodištu koordinatnog sustava. U geodeziji se *apscisna os x* obično postavlja vertikalno određujući meridijan koji prolazi ishodištem. *Ordinatna os*, okomita na apscisnu os, označava paralelu koja prolazi kroz ishodište. Pozitivni smjer apscisne osi ide na sjever (u starim koordinatnim sustavima na jug), a pozitivni smjer ordinatne osi na istok (u starim koordinatnim sustavima na zapad). Koordinatnim osima podijeljena je ravnina koordinatnog sustava na četiri *kvadranta* koji se razlikuju po predznacima koordinata a obilježavaju se rimskim brojevima (I···IV) koji se povećavaju idući u smjeru kretanja kazaljke na satu (sl. 10a).

U *polarnom koordinatnom sustavu* u ravnini položaj točke određen je polarnim koordinatama: *radijusvektorom r* (polarna daljina) i *polarnim kutom* α (azimut). Hvatište radijusvektora nalazi se u ishodištu koordinatnog sustava *O* (sl. 10b). Radijusvektor uvijek je pozitivan, a polarni se kut računa kao pozitivan ako se računa u smjeru kretanja kazaljke na satu.




Sl. 10. Pravokutni *a* i polarni *b* koordinatni sustav u ravnini

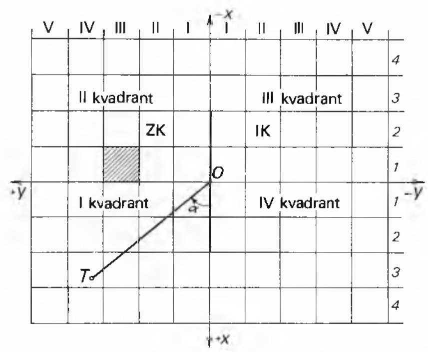
Za preračunavanje iz pravokutnih u polarne koordinate vrijede formule:

$$\tan\alpha = \frac{y}{x}; \qquad r = \sqrt{x^2 + y^2}, \tag{15}$$

a za preračunavanje iz polarnih u pravokutne koordinate formule:

$$x = r\cos\alpha; \qquad y = r\sin\alpha. \tag{16}$$

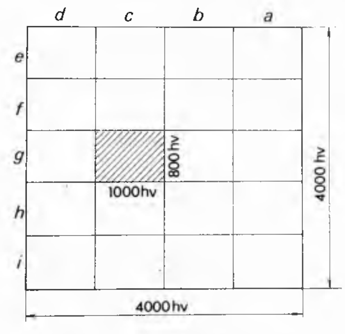
Do uvođenja Soldnerovih koordinata i kartografskih projekcija (v. *Kartografija*) premjeravalo se i izrađivani su planovi bez obzira na zakrivljenost površine Zemlje, pa su cijele oblasti kartirane u pravokutnom koordinatnom sustava u ravnini. U takvim sustavima za ishodišta su odabirane triangulacijske točke I reda (v. *Geodezija*) koje su se nalazile približno u središtu područja kartiranja, pa je prema nazivu tih točaka i sustav dobivao naziv. Apscisna os obično se podudarala s meridijanom koji prolazi kroz ishodište koordinatnog sustava.




Sl. 11. Podjela područja na zone i kolone površine 1 kvadratne milje u pravokutnom koordinatnom sustavu (starije oznake)

U tim starim premjerima područje je podijeljeno na *zone* (slojeve) i *kolone* (stupce) različitih dimenzija. Najčešće su to bili kvadrati sa stranicama od 4000 hvati i s površinom od 1 kvadratne milje (1 kvadratna milja = $10^4$ katastarskih jutara = $16 \cdot 10^6$ četvornih hvati; 1 hvat = 1,896484 m, 1 četvorni hvat = 3,596652 m²). Kolone se označuju rimskim brojevima brojeći prema istoku i zapadu, a polazeći od apscisne osi (sl. 11), a zone arapskim brojevima brojeći prema sjeveru i jugu a polazeći od ordinatne osi. Položaj neke kvadratne milje označuje se brojem zone i kolone ispred kojih se upisuje oznaka položaja zone s obzirom na apscisnu os. Oznaka ZK znači da se radi o području na zapadu od te osi, a oznaka IK da se radi o području koje leži istočno od apscisne osi. Tako npr. oznaka ZKIII1 znači da se radi o kvadratnoj milji koja se nalazi zapadno od osi apscisa u koloni III i u zoni 1.

Kvadratna milja naziva se i *temeljnim* (*triangulacijskim*) *listom*, jer su na njemu označene i sve triangulacijske točke koje se nalaze na tom području.




Sl. 12. Podjela temeljnog lista (kvadratne milje) na 20 sekcija (listova) (starije oznake položaja sekcija)

Svaki temeljni list (kvadratna milja) dijeli se na 20 *listova* (*sekcija*). Položaj svake sekcije označen je malim slovima (sl. 12). Sekcija je pravokutnik sa stranicama od 800 i 1000 hvati ($0{,}8 \cdot 10^6$ četvornih hvati = 500 katastarskih jutara). Svaka sekcija nosi oznaku kvadratne milje u kojoj se nalazi i oznaku svojeg položaja unutar te kvadratne milje. Tako npr. sekcija označena na sl. 12, a koja se nalazi u kvadratnoj milji označenoj na sl. 11, nosi oznaku ZK III 1 cg.

Takvi koordinatni sustavi primjenjivani su u većini evropskih zemalja, pa i dijelovima Jugoslavije koji su bili u sastavu Austro-Ugarske. Na današnjem području Jugoslavije primjenjivani su slijedeći koordinatni sustavi:

*Bečki koordinatni sustav* ima ishodište koordinatnog sustava u točki koja odgovara vrhu tornja (jabuka ispod križa) crkve Sv. Stjepana u Beču. Geografske su koordinate ishodišta:

$$\varphi = 48°12'31{,}54''$$
$$\lambda = 34°2'27{,}32'' \text{ od Ferra.}$$

U koordinatnom sustavu, koji je upotrijebljen u Dalmaciji, apscisa prolazi kroz ishodište sustava, a os ordinata prolazi između 48. i 49. zone. Takvi planovi izrađeni za Dalmaciju još su i danas u upotrebi na područjima gdje nije proveden novi premjer.

Štajerska je imala svoj posebni koordinatni sustav s ishodištem u triangulacijskoj točki *Schackelberg* kod Graza. Ishodište ima geografske koordinate:

$$\varphi = 47°11'54{,}87''$$
$$\lambda = 33°7'59{,}9472'' \text{ od Ferra.}$$

Na području Slovenije apscisna os se podudara s meridijanom u ishodištu, a ordinatna os prolazi između 9. i 10. zone. Neke granične općine u Sloveniji imaju katastarske planove u tom koordinatnom sustavu.

Na području Slovenije i Istre, uključujući otoke Cres, Lošinj i Krk, primijenjen je *Krimski koordinatni sustav* kojem se ishodište nalazi u triangulacijskoj točki I reda Krim na Krimskom brdu (14 km južno od Ljubljane). Ta točka ima geografske koordinate:

$$\varphi = 45°55'75''$$
$$\lambda = 32°8'18{,}71'' \text{ od Ferra.}$$

Planovi izrađeni u tom koordinatnom sustavu u upotrebi su u onim općinama u SR Sloveniji u kojima nije provedena nova izmjera.

*Budimpeštanski koordinatni sustav* ima ishodište u točki koju čini toranj nekadašnjeg astronomskog opservatorija na brijegu Gellerthegy kod Budimpešte. Geografske su koordinate ishodišta:

$$\varphi = 47°29'9{,}6380''$$
$$\lambda = 36°42'53{,}5733'' \text{ Ferra.}$$

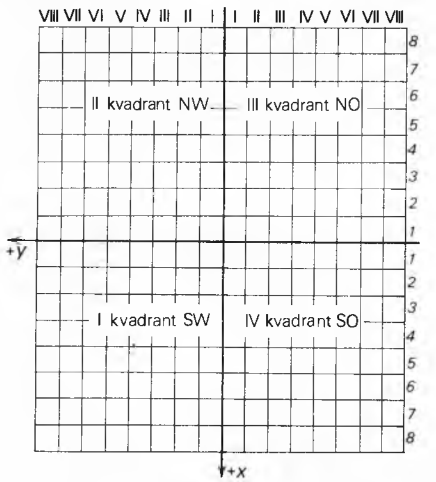
U tome koordinatnome sustavu premjereno je područje većeg dijela današnje SAP Vojvodine, južni dio Slavonije (dio bivše Vojne krajine) i Prekomurje.

*Kloštarivanički koordinatni sustav* ima ishodište u točki koja odgovara tornju franjevačke crkve u Kloštar-Ivaniću kod Zagreba. Ishodište toga sustava ima, prema novijim mjerenjima, geografske koordinate:

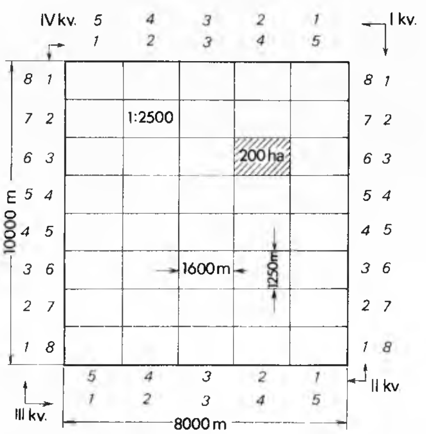
$$\varphi = 45°44'33{,}7747''$$
$$\lambda = 16°25'6{,}4091'' \text{ od Greenwicha.}$$

Na području Slavonije, uže Hrvatske, Hrv. primorja i Like premjer je proveden prema tome koordinatnom sustavu, a planovi su još i danas u upotrebi.

Nakon prihvaćanja metra kao osnovne mjerne jedinice za duljinu (1872), odlučeno je da se ta mjerna jedinica uvede u koordinatne sustave. Izvršena je nova podjela na zone i kolone, pa je uvedena širina zona od 8 km, a visina kolona od 10 km (sl. 13). Označivanje kolona i zona nije promijenjeno, ali se položaj svakog od tih pravokutnika (nazvanih triangulacijska sekcija) u kvadrantima označuje stranama svijeta (NO — sjeveroistočni kvadrant, NW, SW, SO). Svaka triangulacijska sekcija podijeljena je na 40 detaljnih listova (sl. 14), kojima su prikazane površine dimenzija 1600m × 1250m ($2 \cdot 10^6\,\mathrm{m}^2 =$ = 200ha). Način označivanja detaljnih listova vidi se na sl. 14.




Sl. 13. Podjela područja na triangulacijske sekcije




Sl. 14. Podjela triangulacijske sekcije na 40 detaljnih listova

Mjerilo za prvobitne planove iznosilo je 1:2880, što odgovara mjerilu 1 palac na planu = 40 hvati na zemljištu. Budući da 1 hvat ima 6 stopa, a stopa 12 palaca, dolazi se do spomenutog mjerila. Nakon uvođenja metra kao osnovne jedinice cijeli je katastarski elaborat preračunat, a planovi su rađeni u mjerilima 1:2500, 1:1250 i 1:625.

**Pravokutni koordinatni sustavi u ravnini kartografskih projekcija.** Svaki element na površini Zemljinog elipsoida ili kugle može se prikazati nizom točaka, a položaj svake točke određen je geografskim koordinatama $\varphi$ i $\lambda$. Svaka od tih točaka može se preslikati u pravokutni koordinatni sustav u ravnini (ravnina kartografske projekcije) ako se matematički definiraju veze između geografskih i pravokutnih koordinata $x$ i $y$. Funkcijska je veza između tih koordinata u općenitom obliku

$$x = f_1(\varphi, \lambda) \tag{17}$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda), \tag{18}$$

gdje su $f_1$ i $f_2$ neprekidne funkcije. O njihovom obliku ovise svojstva projekcije. Postoji vrlo mnogo načina preslikavanja, dakle i vrlo mnogo različitih kartografskih projekcija, već prema analitičkom obliku spomenutih funkcija (v. *Kartografija*).

Ishodišta pravokutnih koordinatnih sustava u ravnini kartografskih projekcija obično se tako odabiru da računanja budu što jednostavnija. Zbog toga se i ishodište postavlja što bliže središtu područja koje se preslikava. Osim toga, nastoji se da vrijednosti koordinata budu uvijek istog predznaka.

Obično svaka zemlja ima jedan ili više pravokutnih koordinatnih sustava, ali se nastoji da se prihvati jedinstveni sustav za cijelu Zemlju (v. *Kartografija*).

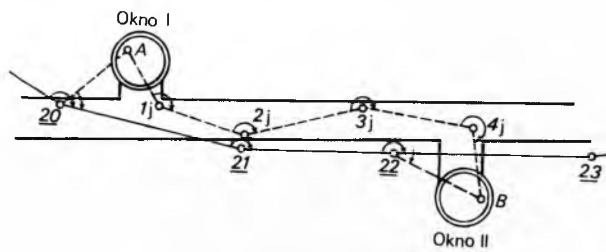
**Koordinatni sustav u prostoru.** U prostornim koordinatnim sustavima potrebna je, pored apscise i ordinate, i treća koordinata (*aplikata z*). U geodeziji prostornim koordinatnim sustavima određuje se položaj točke s obzirom na površinu Zemljinog elipsoida, odnosno s obzirom na razinu mora (nadmorska visina).

*B. Borčić*

**GEODETSKI RADOVI U RUDARSTVU** posebna je grana geodezije razvijena za potrebe rudarstva, osobito za potrebe podzemnih (jamskih) radova. Najčešće se ta grana označuje i specifičnim nazivom *rudarska mjerenja* ili *jamomjerstvo* (engl. mine surveying, franc. arpentage de mines ili arpentage souterrain, njem. Markscheidenwesen, rus. Маркшейдонское дело).

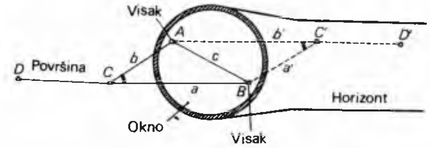
Rudarska mjerenja provode se prilagođenim geodetskim metodama i instrumentima, a služe za izradbu grafičkih prikaza (karata) jamskih prostora u pogodnom mjerilu i svrsishodnoj projekcija s potrebnim tehničkim (rudarskim, geološkim) detaljima. Grafičkim prikazima moraju se stalno pratiti sve promjene u jami, bilo da su one nastale namjerno, tokom rudarskih radova, bilo da su posljedica više sile (prodor vode ili plina, gorski udar, jamski požar). Osim toga, jamskim se mjerenjima prate i promjene što ih jamski radovi uzrokuju na površini, kao što je slijeganje terena nad otkopanim prostorom.

**Priključak rudnika na državni premjer.** Da bi se rudnički nacrti (i jamski i površinski) uklopili u topografiju i katastarsko stanje okolice, nacrti jamskih prostora moraju se priključiti na državni premjer (državnu mrežu), što se postiže neposrednim ili posrednim mjerenjima. Ako u neposrednoj blizini rudnika ima triangulacijskih točaka, on će se priključiti na njih neposredno ili preciznim poligonometrijskim vlakom. Priključak se može izvesti kroz dva okna (sl. 1) (privremeno kroz jedno), kroz niskop ili drugi neki otvor, i to mehaničkim ili optičkim projiciranjem ili direktnim preciznim poligonskim vlakom.




Sl. 1. Priključak jame kroz dva okna

**Orijentacija jame.** Ako je ulaz u jamu kroz potkop, uskop ili koso okno, priključak (orijentacija) jame je na površinu jednostavan, jer se precizni poligonometrijski vlak samo produžuje kroz ulaz u jamski prostor. Ako se, međutim, priključuje kroz okno, orijentacija se jame može izvesti npr. tako da se projiciraju u okno dva viska (sl. 2). Tada su čelične žice viskova




Sl. 2. Priključak jame kroz okno viskovima

nad ušćem okna projekcije vanjskih točaka, pa one predstavljaju dvije točke površinskog mjerenja s koordinatama, prenijete (projicirane) na niži horizont u jami. Tako se u jami dobiva duljina stranice i njezin smjerni kut koji se onda dalje priključuje na tzv. priključni trokut ili četverokut jamskog poligonskog vlaka. Budući da se čitav jamski poligon (koji može biti vrlo dugačak) oslanja samo na tu kratku orijentiranu stranicu projiciranu s površine, potrebno je svesti netočnost pri projiciranju na najmanju moguću mjeru, po mogućnosti na ±0,10mm. Ima i drugih