

Uvod

Pregled povijesnog razvoja navigacije

*Navigacija*¹ je vještina vođenja broda, zrakoplova ili svemirske letjelice najpovoljnijim (najkracim i najsigurnijim) putem između dviju tocaka. U počecima u navigaciji je prevladavala sigurnost plovnog puta koja se temeljila na vlastitom iskustvu. Razvojem navigacijskih metoda osim sigurnog bira se i što kraci put i time navigacija počinje koristiti znanstvene metode. U kasnijim povijesnim razdobljima postavljaju se oznake koje pridonose sigurnosti, razrađuju se teorijske osnove određivanja koordinata, vrše se mjerenja, razrađuju nove metode orijentacije.

Generalno, povijest navigacije može se podijeliti u pet različitih razdoblja: predkompasno, kompasno, kronometarsko, elektronsko i satelitsko razdoblje.

Predkompasno razdoblje

Poznato je da su prije uvođenja kompasa na brodove ljudi plovili samo na kratkim udaljenostima u blizini obale, i prve navigacijske metode vjerojatno su podrazumijevale izbor onih plovnih putova koji su nudili najsigurnija zakloništa, odnosno plovidbu u područjima zaštićenim od olujnih vjetrova ili ostali nepovoljnih hidrometeoroloških uvjeta. Ipak, ako se zanemare biblijske i ostale religiozne legende (na pr. Noina arka), najstarije navigacijske zabilješke spominje već Homer u Odiseji (14. stoljeće p.n.e.). Iz tog epa razvidno je da se koristila orijentacija pomoću nebeskih tijela. Grčki astronom Pytheas opisuje putovanje iz Sredozemlja do Škotske u četvrtom stoljeću p.n.e. i spominje orijentaciju pomoću Sunca. Prve geografske karte izradene su 4000 godina p.n.e., ali su bile neupotrebljive za navigaciju. Oko 2000 godina p.n.e. Kinezi su koristili magnetsku iglu za identifikaciju meridijana, ali ne postoje povijesni dokazi da se ta činjenica koristila za orijentaciju na moru. U prvom stoljeću p.n.e. Hipal je preplovio Indijski ocean iz Arabije u Indiju direktnom plovidbom preko otvorenog mora, koristeći spoznaju o pravilnim izmjenama smjera monsunu.

Već u VIII. stoljeću p.n.e. razvijaju se prve mjere (stadij, 192 m ili 185 m), a 600. godina p.n.e. Tales iz Mileta napisao je udžbenik navigacije i upute za uporabu astronomije koji nije sačuvan. Nisu sačuvani ni periplusi i navigacijske karte kartografa Hekataja iz Tira (oko 100. godine p.n.e.), ali je poznata povijesna činjenica da je njih koristio aleksandrijski enciklopedist i kartograf Klaudije Ptolomej u drugom stoljeću nove ere.

480. godine p.n.e. napisan je prvi brodski dnevnik iz kojeg je rekonstruirana bitka kod Salamine. Prvi peljar datira u V. stoljeće p.n.e., zvao se *Periplus* a njegov je autor bio Scilax.

Već u IV. stoljeću p.n.e. pitagorejci i njihovi kasniji sljedbenici peripatetici definirali su Zemlju kao kuglu, a već u II. stoljeću p.n.e. Eratosten je izmjerio meridijalni opseg Zemlje. Prije njega (u IV. stoljeću p.n.e.) to je učinio Posejdonije, ali njegova mjerenja nisu bila točna. U III. stoljeću p.n.e. podignut je svjetionik Pharos, jedno od sedam svjetskih čuda, a i kolos sa Rodosa (takoder svjetsko čudo) vjerojatno je imao neku navigacijsku namjenu s obzirom da je premošćivao ulaz u luku Rodosa.

Tijekom srednjeg vijeka razvoju navigacije znatno su pridonijeli Arapi koji su sačuvali antička znanja te stekli neka nova, a u svojim plovidbama dolazili su u dodir s drugim civilizacijama (Kina, Indija) i njihova znanja prenosili na područje Mediterana. Sredinom petnaestog stoljeća Henrik Pomorac okupio je najpoznatije astronome, pomorce i kartografe i osnovao prvu pomorsku školu i opservatorij u Sargesu u Portugalu. Prve astronomske tablice nastale su 1080. godine (Toledske), a poboljšavaju se tijekom XIII. stoljeća (Alfonsove 1248. godine, Zadarske 1292. godine). Astronomske tablice s efemeridama nebeskih tijela koje su se mogle upotrijebiti u navigaciji izračunao je Johan Müller (Regiomontanus) za period od 1470. do 1507. i time omogućio buran razvoj geografskih otkrića. Početkom šesnaestog stoljeća pomorci su imali tablice za određivanje geografske širine iz visine polarne zvijezde i visine Sunca u meridijanu. Portugalski astronom i kartograf Ruy Faleiro izradio je upute za uporabu astrolaba i Jakovljeva štapa kojima se Magellan koristio na svojem putovanju. Početkom šesnaestog stoljeća nizozemski matematičar i astronom Rainer Gemma Frisius predložio je da se geografska dužina računa pomoću tocnog sata sa srednjim vremenom zajedničkog meridijana koji prolazi kroz Kanarsko otocje.

¹ Od *navis* (brod) i *agere* (kretanje).

Kompasno razdoblje

Po opisu u povijesnoj knjizi *Epistola de magnete* (1269.) prvi kompas (*kalamita*) na Sredozemlje su donijeli Arapi 1248. godine, ali je tek u XIV. stoljecu magnetska igla bila uprta i podijeljena na 12 vjetrova čime se dobila ruža vjetrova (*busola*). Godine 1551. busola se stavlja u kardanski sustav i nastaje magnetski kompas. Tek 1877. Thomson ispod ruže postavlja više magneta (4 - 8) povećavajući osjetljivost i stabilnost magnetskog kompasa. Današnji magnetski kompas (s likvidom i sustavom za kompenzaciju) izraden je krajem XIX. stoljeca.

Varijaciju su otkrili Kinezi u XI. stoljecu, a u Evropi Kolumbo u XV. stoljecu. U XVI. stoljecu Limehouse (Limhous) je otkrio sekularne magnetske promjene. Godine 1580. William Borrough (Borou) počeo je određivati vrijednost varijacije, a XVIII. stoljeca otkrivene su dnevne i godišnje promjene varijacije. Godine 1627. otkrivena je devijacija magnetskog kompasa, a 1802. Matthew Flinders pronašao je mogućnost kompenzacije dijela mekoželjezne devijacije. Airy (Ajri) i Thomson su tijekom XIX. stoljeca dopunili kompenzacijske metode.

Prvi ručni brzinomjer spominje se tek na Magelanovom putovanju (1521.). Prvi mehanicki brzinomjer u obliku camca s kotacima pojavio se neposredno nakon toga. Brzinomjer s propelerom i registratorom javlja se tek 1802. godine, a Walkerov 1846.

Sve do sredine osamnaestog stoljeca plovi se po paraleli jer se ne može dovoljno točno odrediti geografska dužina. Za udaljenosti se upotrebljavaju mediteranska milja (1230 m) i rimska mi (1480 m), a od 1730. i nauticka milja (1852 m).

Primjena navigacijskih karata počela je 1270. godine (*portolan karte*). Gerhard Kramer (Merkator) izradio svoju kartu 1569.

Prvi nauticki godišnjaci nastali su krajem XVII st. (francuski i engleski), a po nacrtima Isaaca Newtona Halley i Godfrey konstruirali su oktant i kvadrant (1730.), a dvadesetak godina kasnije nastao je sekstant.

Prvi brodovi svjetionici, plutace i signali za maglu postavljaju se tijekom XVIII. stoljeca, a svjetionicarska služba postoji od XVI. stoljeca (engleska *trinity house*).

Glavna obilježja tog perioda su buran razvoj navigacije, geografska otkrica, nastanak Merkatorove karte, otkrice varijacije, poboljšanje kompasa, nemogućnost izracuna geografske dužine.

Kronometarsko razdoblje

Kronometar je otkrio John Harrison 1764. godine. Time omogućen izracun geografske dužine, što je bilo od ogromnog značenja za daljnja geografska otkrica s obzirom da su se mogla vršiti mnogo preciznija geografska pozicioniranja novootkrivenih zemalja. Na zadnjem putovanju engleskog istraživaca Jamesa Cooka (1779) koristile su se metoda i instrumenti koji se nisu bitno razlikovali od današnjih (ako se izuzmu metode elektronske navigacije). Postojali su oktant (instrument koji je prethodio sekstantu), kronometar, astronomski godišnjak s efemeridama nebeskih tijela, a grinicki meridijan upotrebljavan je kao početni meridijan (ostali svijet prihvatio je grinicki meridijan kao nulti 1884. godine na konferenciji u Washingtonu, a Zemlja je na istoj konferenciji podijeljena u 24 vremenske zone). Nisu se koristile današnje metode, ali je to zapravo bila jedina razlika. Astronomsku stajnicu otkrio je Sumner 1837. godine, a uslijedile su dužinska (Bordeova) i širinska (Johnsonova). Metoda koja je široku primjenu našla u dvadesetom stoljecu (visinska metoda ili metoda Marcq de Saint Hillaire) otkrivena je 1875. a koristi se i danas.

Signal tocnog vremena prvi je put poslan 1865. preko telegrafa, a 1903. i preko radija. Od XVII. stoljeca razvija se hidrografija, a od XIX. stoljeca (pojavom parobroda) počinje plovidba po ortodromi. 1907. razvija se hidrodinamicki brzinomjer, a početkom XX. stoljeca ultrazvucni dubinomjer. Godine 1911. zbog priprema ekspedicije na sjeverni pol Anshutz je konstruirao žirokompas.

Elektronsko razdoblje

Ovo razdoblje u povijesti navigacije počinje otkricem radiogoniometra: 1921. godine postavljen je prvi radiofar. Elektronska navigacija intenzivno se razvija između dva svjetska rata, a naročito tijekom drugog svjetskog rata i nakon njega.

1935. godine konstruiran je prvi radar (Robert Page) koji se u komercijalne svrhe koristi od 1945. Od 1942. radi LORAN A, nešto kasnije njemacki ratni navigacijski sustavi GEE i SONNE odnosno

engleski CONSOL.

1957. konstruiran je Cezijev atomski sat, a naglim ra automatizacije uvode se i mnogobrojna nova poboljšanja, instaliraju globalni svjetski navigacijski sustavi (*OMEGA*) ili precizni sustavi srednjeg dometa (*LORAN C*, *DECCA*). U velikoj mjeri u navigaciju se uvode racunala i automatizacija najvišeg stupnja.

Satelitsko razdoblje

Navigacijski satelitski sustav *TRANSIT* u upotrebi je od 1964. u vojne svrhe, a od 1967. koristi se i u civilnoj navigaciji. *NAVSTAR/ GPS (Global Position System)* testiran je 1975. godine, a u radu je od 1981. godine Omogućava pozicioniranje broda s preciznostima unutar 100 metara, a jednako precizan je i sustav *GLONAS* koji nije našao tako široku primjenu. U svrhu pozicioniranja kod traganja i spašavanja danas se koriste i satelitski sustavi *COSPAS/SARSAT*, a kao značajan faktor sigurnosti plovidbe u upotrebi je i globalni svjetski satelitski komunikacijski sustav *INMARSAT*.

Zadatak i podjela navigacije

Zadatak navigacije je točno, sigurno i vremenski ograničeno vođenje broda, aviona ili svemirske letjelice s jedne na drugu točku unaprijed izabranim najpovoljnijim i najkracim putem. Navigacijske metode u uskim su korelativnim odnosima s matematikom, fizikom, geodezijom, astronomijom, oceanografijom, meteorologijom, elektrotehnikom i elektronikom. Metodika navigacije obuhvaća:

- izbor rute i njeno raščlanjivanje (karte, priručnici i td),
- upravljanje brodom po izabranoj ruti (održavanje kurso izbor vrste plovidbe, plovidba po ortodroma, plovidba po loksodroma, zanos i td),
- izmjene elemenata kretanja i kontrola ispravnosti uređaja,
- kontrolu točnosti i sigurnosti plovidbe (određivanje p ije)
- ostale mjere (utjecaji vanjskih faktora, održavanje instrumenata i uređaja, održavanje navigacijskih pomagala, plovidba u posebnim uvjetima, opažanja i mjerenja hidrometeorološkog okruženja, vođenje brodske i navigacijske dokumentacije i td).

Navigacija kao vještina vođenja broda ima dva jednako aspekta: teorijski i praktični. Ova dva aspekta međusobno se dopunjavaju, a za potpuno ovladavanje navigacijskim vještinama nakon teorijskog izučavanja nužan je i određeni period praktičnih vježbi tijekom plovidbe.

Ovisno o makroprostoru u kojem se navigacijske metode koriste navigacija se može podijeliti u tri grupe:

- pomorska navigacija
- zračna navigacija
- svemirska navigacija

Iako postoje mnogobrojne sličnosti između pomorske i zračne navigacije metode, modeli i instrumenti kod svake od tih vrsta bitno su i mnogostr o različiti.

Zadatak pomorske navigacije je točno, sigurno i vremenski ograničeno vođenje broda s jedne na drugu točku unaprijed izabranim najpovoljnijim i najkracim putem. U tu svrhu, u korelaciji s mnogobrojnim drugim znanstvenim disciplinama, pomorska navigacija izučava metode plovidbe (ortodroma, loksodroma, izokrona), metode orijentacije (određivanje pozicije) i metode kontrole ispravnosti instrumenata. U uskim korelativnim vezama s matematikom, geografijom (geografske koordinate), geodezijom i astronomijom (astronomske mjesne i astronomske nebeske koordinate), fizikom (geomagnetizam), hidrografijom, meteorologijom oceanografijom i td. Prema znanstvenim granama koje prevladavaju u navigacijskim metodama pomorska navigacija može se podijeliti u četiri globalne grupe:

- terestrička i zbrojena navigacija
- astronomska navigacija
- elektronska navigacija
- meteorološka navigacija

Prema područjima plovidbe pomorska navigacija može biti:

- obalna navigacija je plovidbe u blizini obala, najčešće se koriste metode navigacije i instrumenti elektronske navigacije, a plovidba se odvija po loksodromskim nacelima,

- oceanska navigacija s područjima plovidbe na otvorenom moru i najčešćim korištenjem metoda astronomske navigacije, satelitskim navigacijskim instrumentima, a plovidba se odvija po lortodromskim ili oksodromskim nacelima, odnosno po optimalnoj klimatološkoj ili optimalnoj meteorološkoj ruti,
- polarna navigacija s područjima plovidbe u visokim geografskim širinama iznad 60° N i 60° S, s najčešće meteorološki izabranim rutama i uporabom elektronskih instrumenata posebnih namjena.

Navigacijska sredstva

Pomorska navigacija koristi mnogobrojna navigacijska sredstva kao pribor (navigacijske karte, priručnici, mnogobrojna navigacijska pomagala i td), instrumente (radar, GPS, DECCA, dubinomjer i td) ili uređaji za mjerenja i određivanja kutova (kompasi, smjerni aparati, sekstanti i td). Sva navigacijska sredstva mogu se podijeliti na autonomna sredstva i navigacijski sustave. Autonomna navigacijska sredstva nisu ovisna o vanjskim elementima (radar, kompas, sekstant, inercijalni navigacijski sustav i td.). Navigacijski sustavi su globalna ili lokalna sredstva samostalna ili povezana u lance koji omogućavaju vrlo sigurnu orijentaciju, ali djeluju izvan broda i brod cine ovisnim o njihovom radu (svjetionici, satelitski sustavi, sustavi hiperbolicne navigacije i td).

Osnovne velicine koje se mjere su pravci koji se određuju mjerenjima kutova i udaljenosti koje se određuju neposrednim mjerenjima ili posrednim preračunavanjima analognih mjerenja.

Autonomna navigacijska sredstva su:

- instrumenti za određivanje kutova (kompasi),
- instrumenti za mjerenje kutova (smjerna ploča, smjerni aparat, radar),
- instrumenti za mjerenje brzine i prevaljenog puta (brzinomjeri),
- instrumenti za mjerenje udaljenosti (daljinomjeri, radari),
- instrumenti za mjerenje dubine (dubinomjeri),
- instrumenti za mjerenje vremena (satovi i kronometri),
- sredstva zbrojene navigacije (zbirni stol, inercijalni navigacijski sustav, racunala),
- pomagala za područja plovidbe (karte, priručnici),
- navigacijski pribor (trokuti, ravnala, šestari i td),
- hidrometeorološki pribor,

Navigacijski sustavi koje nadziru specijalizirane ustanove su:

- sustav optickog označavanja (pomorski svjetionici),
- radio-navigacijski sustav (radio goniometar),
- hiperbolicni navigacijski sustavi,
- satelitski navigacijski sustavi (*GPS*, *Transit*, *GLONAS*)

Specijalizirane ustanove kao što su hidrometeorološki hidrografski instituti, obalne radio stanice i td osiguravaju navigacijska sredstva i informacije. Za vodenje pomorske navigacije i za sigurnost plovidbe posebno su važni:

- navigacijske karte i priručnici
- pilotske karte
- informacije o izmjenama uvjeta plovidbe
- informacije o meteorološkim uvjetima plovidbe
- informacije o opasnostima
- službe bdijenja
- signali tocnog vremena
- meteorološke, klimatološke, optimalne ekonomske i optimalne vremenske rute (hodografi, izokrone).

Pomorska navigacija u najnovije vrijeme visoko je automatizirana i koristi najsofiscitarnije instrumente i uređaje. Može se reci da se moderan brod, u smislu tehnicke opremljenosti, može uspoređivati samo s velikim energetske postrojenjima, velikim komunikacijskim ili informatickim sustavima i tehnicki visoko razvijenim zrakoplovima i letjelicama, a trend razvoja u narednom periodu teži prema sve vecem stupnju automatizacije.

1. Geografske koordinate

Opcenito

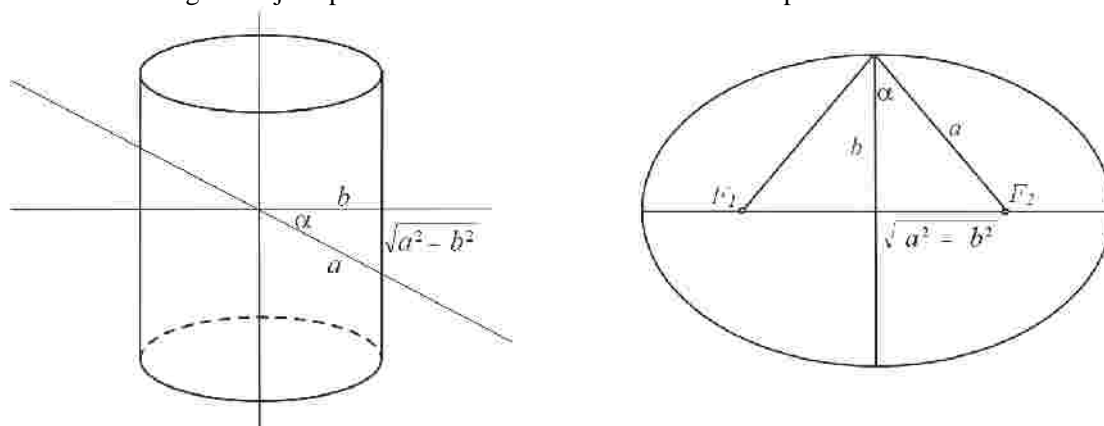
Da Zemlja ima oblik kugle spoznali su još pitagorejci, a na razmišljanje da je Zemlja kugla navodile su mnogobrojne pojave kao na primjer iščezavanje vrhova kopna na horizontu, pojava vrhova kopna pri približavanju, kružni horizont na otvorenom moru, promjene visina zvijezda pomakom po meridijanu ili oblik sjene Zemlje kod pomrcine Mjeseca. Tek u XVII. stoljecu radovima Newtona i preciznijim mjerenjima Zemlja se definirala kao rotacijski elipsoid.

Elipsoid je geometrijsko tijelo kojeg tvori elipsa koja rotira oko male osi u prostoru. Iz definicije elipsoida proizlazi da točke na površini Zemlje na različitim geografskim širinama imaju različite udaljenosti od središta Zemlje, te da su središtu Zemlje najbliži polovi a najudaljenije od središta su točke koje se nalaze na ekvatoru.

Elipsa je pravilna matematička krivulja čiji je zbroj udaljenosti točaka elipse od dvaju fokusa konstantan. Položaj određene točke elipse s koordinatama x i y u koordinatnoj ravnini izražen je matematičkim izrazom:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Elipsa je Euklidova krivulja ili cunjosjecica. Cunjosjecice su pravilne matematičke krivulje koje se dobiju ako se stožac presijeca ravninom: ako je ravnina okomita na os stošca dobit će se kružnica; ako je ravnina paralelna s osi stošca dobit će se parabola; ako ravnina koja presijeca stožac nije ni okomita ni paralelna s osi nego os siječe pod određenim kutom α dobit će se elipsa.



Slika 1.

Pravilna elipsa dobije se ako se ravninom presijeca stožac čiji se vrh nalazi u beskonacnosti (valjak). Takvu elipsu karakterizira kut nagiba ravnine nad okomicu osi valjka (slika 1). Sinus tog kuta naziva se *matematički ekscentricitet elipse*:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \sin \alpha$$

Matematička vrijednost gornjeg izraza razvidna je iz slike. Matematički ekscentricitet definira položaj fokusa (slika).

Numerički ekscentricitet elipse je razmjer razlike poluosi u odnosu prema velikoj poluosi:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

Mjerenja Zemljina elipsoida postupno su se poboljšavala. Kao međunarodni geodetski elipsoid 1924. je usvojen elipsoid Hayforda, a 1967. referentni geodetski elipsoid. U nekim navigacijskim računima, međutim uzimaju se vrijednosti Besselova elipsoida.

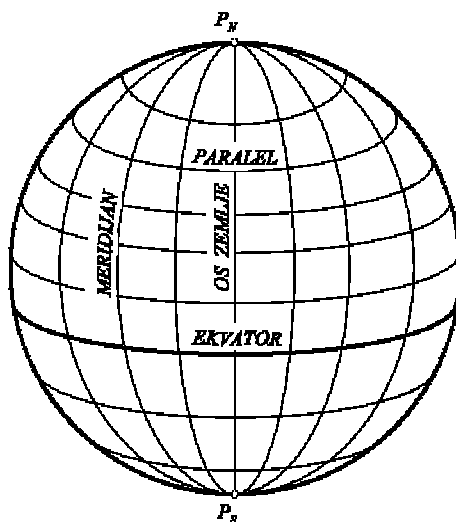
Velicine poznatih elipsoida:

| Elipsoid | Godina | a (m) | b (m) | f | e |
|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Delambre | 1800 | 6 375 653 | 6 356 564 | 1: 334,00 | 0,0773248 |
| Bessel | 1841 | 6 377 397 | 6 356 079 | 1: 299,20 | 0,0816964 |
| Clarke | 1880 | 6 378 249 | 6 356 515 | 1: 293,46 | 0,0824829 |
| Hayford | 1910 | 6 378 388 | 6 356 912 | 1: 297,00 | 0,0819918 |
| Krasovski | 1938 | 6 378 245 | 6 356 863 | 1: 298,30 | 0,0818337 |
| Geodetski | 1967 | 6 378 160 | 6 356 775 | 1: 298,25 | 0,0818196 |
| WGS – 72 | 1972 | 6 378 135 | 6 356 750 | 1: 298,26 | 0,0818198 |
| GRS - 80 | 1980 | 6 378 137 | 6 356 752 | 1: 298,26 | 0,0818198 |
| WGS – 84 | 1984 | 6 378 137 | 6 356 752 | 1: 298,26 | 0,0818198 |

Satelitskim mjerenjima ustanovljeno je da ni ekvator nije kružnica već da ima ispupčenja na $\lambda = 15^\circ \text{ W}$ i $\lambda = 165^\circ \text{ E}$. Ustanovljeno je također da postoji i razlika u ispupčenju sjevernog i južnog pola (od 30 m), pa je oblik Zemlje dobio još složeniji izgled (*apoid*), a s obzirom da postoje još i druga odstupanja konačno je za oblik Zemlje dogovoren izraz *geoid*, a taj oblik podrazumijeva sva odstupanja od pravilnog elipsoida i odnosi se na razinsku površinu Zemlje (površina oceana u potpuno mirnom stanju).

Elementi Zemlje kao kugle

Za rješavanje većine navigacijskih problema Zemlja se aproksimirati na oblik kugle, dakle tijela čije su sve točke jednako udaljene od središta. Zemlja lebdi u prostoru i pravilno rotira oko osovine koja spaja sjeverni (P_N) i južni (P_S) pol. Zemljin ekvator (polutnik) je velika kružnica okomita na os Zemlje, a meridijani su velike kružnice paralelne s Zemljinom osi. Male kružnice koje su paralelne s ravninom ekvatora nazivaju se paralele ili usporednici (slika 2).



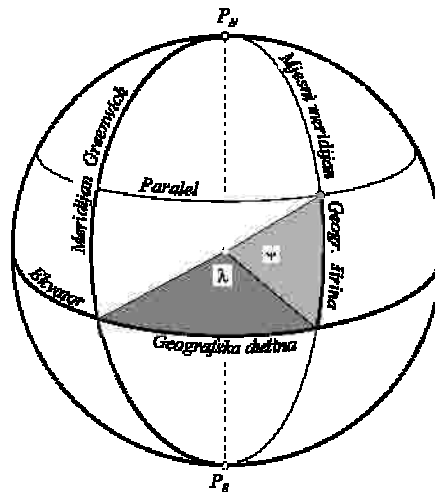
Slika 2.

Položaj opažaca ili određene točke na površini Zemlje je geografskim (zemljopisnim) koordinatama. Ishodište koordinatnog sustava Zemlje je sjecište ekvatora i meridijana koji prolazi kroz zvjezdarnicu Greenwich u Londonu². Geografske koordinate su (slika):

² Meridijan Greenwich prihvaćen je kao početni (nulti) 1884. godine na konferenciji u Washingtonu. Na istoj konferenciji Zemlja je podijeljena u 24 vremenske zone.

Geografska širina (j) je luk meridijana ili kut u središtu Zemlje od ekvatora do paralele opažaca ili određenog mjesta na površini Zemlje. Racuna se od 0° do 90° prema sjevernom ili južnom polu: pozitivnu geografsku širinu ima mjesto koje se nalazi sjevernije od ekvatora, a negativnu mjesto koje se nalazi južno od ekvatora. Osim predznakom označava se i oznakom hemisfere (N - Nord za sjevernu hemisferu i S - South za južnu hemisferu). Geografska širina sjevernog pola je $\varphi = +90^\circ$ (ili $\varphi = 90^\circ N$), a južnog $\varphi = -90^\circ$ (ili $\varphi = 90^\circ S$).

Geografska dužina (λ) je kraci luk ekvatora ili kut u središtu Zemlje od meridijana Greenwich do mjesnog meridijana. Racuna se od 0° do 180° prema istoku (oznaka E - East) ili zapadu (oznaka W - West). Pozitivnim predznakom označava se istocna, a negativnim zapadna geografska dužina (slika 3).



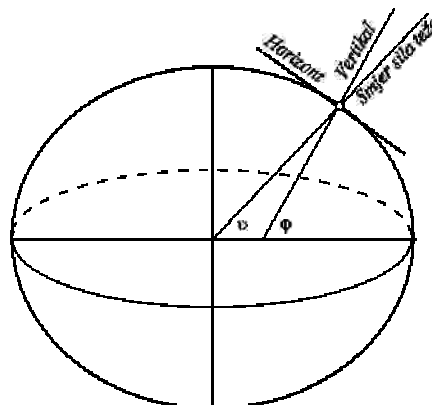
Slika 3.

U zračnoj navigaciji koristi se i nadmorska visina kao ordinata.

Geografska širina i geografska dužina su koordinate primjerene Zemlji kao kugli, tako da postoje razlike između geografskih i geocentričnih koordinata, a razlika je funkcija ekscentricnosti Zemaljskog elipsoida. Pritom se za geografsku širinu uzima kut kojeg s ravninom ekvatora tvori os vertikalna na ravninu mirnog horizonta određene točke na površini Zemlje, a za geocentričnu širinu kut kojeg u središtu Zemlje s ravninom ekvatora tvori u kojem djeluje sila teže (slika 4). Medusobni odnos između tih koordinata može se računati iz izraza:

$$\frac{\operatorname{tg} \vartheta}{\operatorname{tg} j} = 1 - e^2$$

U izrazu J predstavlja geocentričnu, a φ geografsku širinu, a e je ekscentricnost Zemlje kao elipsoida. Razlika između geografske i geocentrične širine najveća je na srednjim širinama, a nema je na ekvatoru i polovima.



Slika 4.

Relativne koordinate pokazuju međusobni odnos geografskih koordinata dvaju tocaka na površini zemlje. Relativne koordinate su razlika geografskih širina i razlika geografskih dužina.

Razlika geografskih širina (Δj) je luk meridijana između paralela polazne (φ_1) i dolazne (φ_2) pozicije:

$$\Delta j = j_2 - j_1$$

Pozitivna vrijednost razlike geografskih širina označava da se dolazna pozicija nalazi sjevernije od polazne, a negativna vrijednost razlike geografskih širina znači da se dolazna pozicija nalazi južnije od polazne. Ukupna vrijednost razlike geografskih širina može iznositi 180° (ako se polaznom i dolaznom pozicijom smatraju polovi).

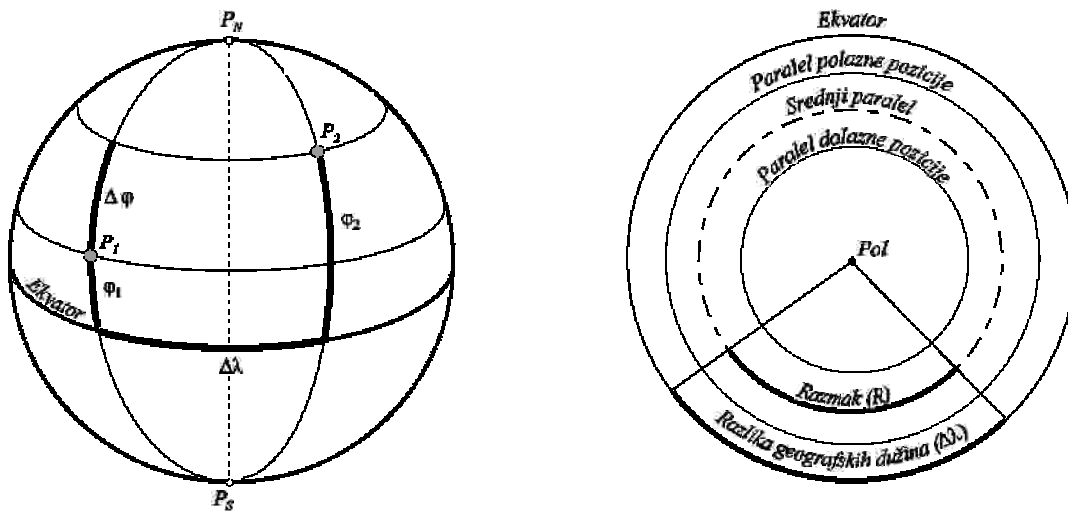
Razlika geografskih dužina (Δl) je kraci luk ekvatora između meridijana polazne (λ_1) i meridijana dolazne (λ_2) pozicije, ili kut u polu između ta dva meridijana:

$$\Delta l = l_2 - l_1$$

Pozitivna vrijednost razlike geografskih dužina ukazuje na to da se dolazna pozicija nalazi istočnije od polazne, a negativna vrijednost razlike geografskih dužina znači da se dolazna pozicija nalazi zapadno od polazne. Ukupna vrijednost razlike geografskih dužina može iznositi najviše 180° , a ako je matematički zbroj $\Delta \lambda$ veći od 180° potrebno ga je oduzeti od 360° i promijeniti predznak.

Relativne koordinate prikazane su na slici 5.

Predznaci relativnih koordinata definiraju smjer kretanja na površini Zemlje: ako su obje koordinate pozitivne plovidba će se odvijati u prvom kvadrantu; ako je $\Delta \varphi$ negativna a $\Delta \lambda$ pozitivna plovidba će se u drugom kvadrantu; ako su obje koordinate negativne plovidba će se u trećem kvadrantu; ako je $\Delta \varphi$ pozitivna a $\Delta \lambda$ negativna prema dolaznoj poziciji plovidba će se u četvrtom kvadrantu.



Slika 5.

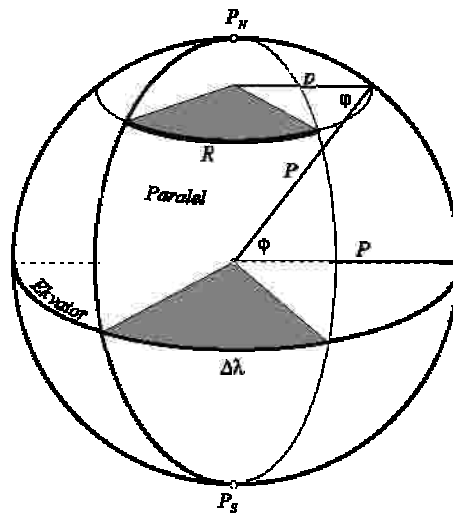
Razmak je kraci luk srednje paralele između meridijana polazne i meridijana dolazne pozicije (slika).

Srednja zemljopisna širina je aritmetička sredina geografskih širina:

$$j_s = \frac{j_1 + j_2}{2}$$

Luk ekvatora i luk paralele između dvaju meridijana jednaka je kosinusa geografske širine, a s obzirom na nelinearnu promjenu kosinusa srednji razmak se ne nalazi točno na srednjoj paraleli već na nešto većim geografskim širinama. Točna vrijednost srednje razmaka dobit će se kao aritmetička sredina luka paralele polazne pozicije između dva meridijana (R_1) i luka paralele dolazne pozicije između dva meridijana (R_2).

Kad bi geografske širine polazne i dolazne pozicije bile jednake (kad bi se točke polaska i dolaska nalazile na istoj paraleli) odnos razmaka i razlike geografskih širina mogao bi se dobiti iz slike 6.



Slika 6.

Razmak R na geografskoj širini φ (luk paralela) i razlika geografskih dužina $\Delta\lambda$ (luk ekvatora) međusobno se odnose kao polumjer paralele na geografskoj širini φ (p) prema ekvatorskom polumjeru Zemlje (P):

$$\frac{R}{\Delta l} = \frac{p}{P}$$

Iz slike također se može vidjeti da odnos polumjera paralele (p) i ekvatorskog polumjera Zemlje (P) odgovara kosinusu geografske širine:

$$\frac{p}{P} = \cos j$$

Prema tome:

$$\frac{R}{\Delta l} = \cos j$$

Tim izrazom međusobno su povezani razmak i razlika geografskih dužina. Budući da je $\cos \varphi$ uvijek pozitivna vrijednost (bez obzira na predznak φ), predznak razmaka definiran je predznakom geografske dužine. Raščlanjivanjem gornjeg izraza dobije se:

$$R = \Delta l \cos j$$

$$\Delta l = \frac{R}{\cos j}$$

Mnogo je češći slučaj da se polazna i dolazna pozicija nalaze na različitim geografskim širinama, pa je stvarni razmak između njih zapravo srednji razmak. U praksi se uzima da je to razmak na srednjoj geografskoj širini što, zbog nelinearne promjene kosinusa, nije potpuno točno. Tocan razmak između dviju pozicija na različitim geografskim širinama dobit će se kao aritmetička sredina razmaka na paralelu polazne pozicije (R_1) i razmaka na paralelu dolazne pozicije (R_2):

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{\Delta l \cos j_2 + \Delta l \cos j_1}{2} = \frac{\Delta l (\cos j_2 + \cos j_1)}{2}$$

Ako se uvede matematička zamjena:

$$\cos j_2 + \cos j_1 = 2 \cos \frac{j_2 + j_1}{2} \cos \frac{j_2 - j_1}{2}$$

Uvrštavanjem gornjeg izraza u prethodni može se dobiti:

$$R = \Delta l \cos \frac{j_2 + j_1}{2} \cos \frac{j_2 - j_1}{2}$$

Buduci da je:

$$\frac{j_2 + j_1}{2} = j_s \qquad \frac{j_2 - j_1}{2} = \frac{\Delta j}{2}$$

Dobije se:

$$R = \Delta l \cos j \cos \frac{\Delta j}{2}$$

Buduci da je $\cos (\Delta\varphi/2)$ uvijek manji od 1 srednji razmak je uvijek manji od razmaka koji se dobije kao umnožak razlike geografskih dužina i cosinusa srednje geografske širine.

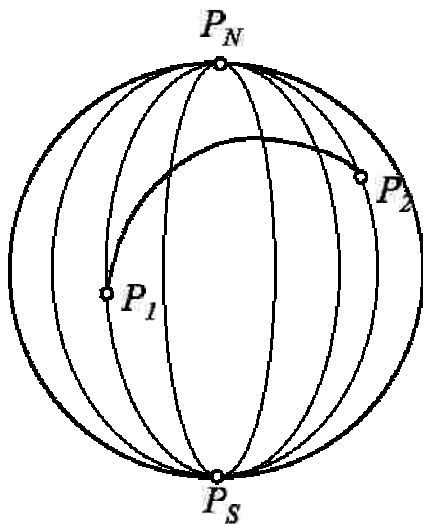
Pojam ortodrome i loksodrome

Osnovni navigacijski zadatak je plovidba između udaljenih točaka na površini Zemlje. S obzirom da Zemlja ima oblik blizak kugli plovidba se može odvijati na više načina od kojih su dva karakteristična:

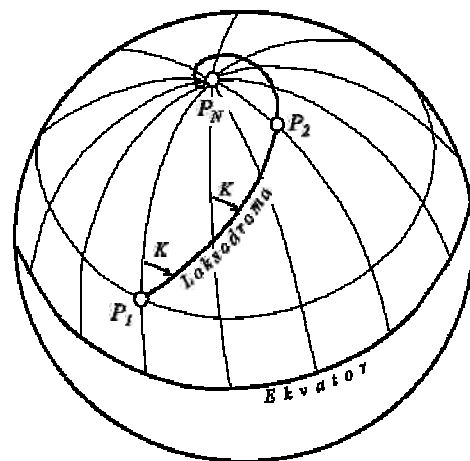
- plovidba najkracim putem (plovidba ortodromom),
- plovidba bez promjene kursa (plovidba loksodromom).

Ortodroma ili geodetska krivulja (slika 7) je luk velike kružnice između točaka polaska i dolaska. Najkraca je udaljenost između dvije pozicije, ali u navigacijskom smislu ima nekoliko nedostataka:

- presijeca meridijane pod različitim kutovima, što znači da se tijekom plovidbe u ortodromi mora često mijenjati kurs,
- plovidba ortodromom vodi u visoke geografske širine s , u pravilu, otežanim uvjetima plovidbe.



Slika 7.



Slika 8.

Za razliku od ortodrome loksodroma je krivulja na Zemlji koja se sastoji od lukova malih kružnica koje sijeku meridijane pod jednakim kutovima (slika 8).

S obzirom da sve meridijane sijeku pod istim kutom loksodroma je krivulja koja teži prema polu.

Na kracim udaljenostima ortodroma i loksodroma međusobno se preklapaju, ali na velikim udaljenostima razlike su znatne i ponekad mogu iznositi i više od 1000 M. Ove dvije krivulje preklapaju se i u onim posebnim slučajevima kad su i ortodroma i loksodroma dijelovi velike kružnice (plovidba po meridijanu ili ekvatoru).

Jedinice mjere u navigaciji

Osnovna jedinica za mjerenje udaljenosti u navigaciji je *nauticka milja*. To je duljina luka meridijana od jedne lucne minute ako se Zemlja smatra kuglom (s polumjerom kao srednjom vrijednošću velike i male osi elipsoida), ili duljina meridijana od jedne lucne minute na geografskoj širini 45° ako se za Zemlju uzima oblik elipsoida.

Nauticka milja dobije se ako se izjednače površine Zemlje kao kugle ($P = 4 r^2 \pi$) i Zemlje kao elipsoida ($P = 4 a b \pi$):

$$4 r^2 \pi = 4 a b \pi$$
$$r = \sqrt{a b}$$

Ako se uvrsti polumjer Besselovog elipsoida za a i b (tablica) može se izračunati opseg Zemlje (za 360°):

$$r = 6\,366\,729 \text{ m}$$

Za vrijednost jedne minute tada se dobije:

$$l' = 2 \pi r / (360 \times 60) = 1\,852,01 \text{ m}$$

Razne zemlje dugo su upotrebljavale različite vrijednosti milje (Portugal 1850 m, Italija, Nizozemska, Danska 1851,8 m i td). Medunarodna vrijednost nauticke milje je 1852 m.

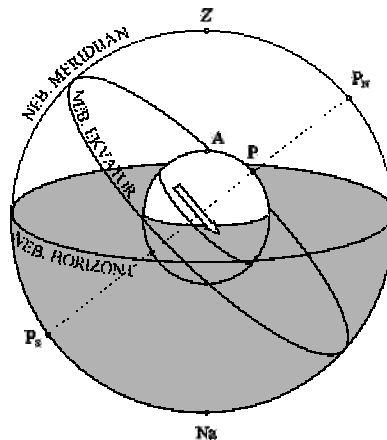
Kabel je manja jedinica za mjerenje udaljenosti. To je deseti dio nauticke milje i iznosi 185,2 metra.

Navigacijska jedinica za mjerenje brzine je *cvor*. To je brzina od jedne nauticke milje na sat. U navigaciji se koristi naziv cvor zbog nacina na koji se u prošlosti mjerila brzina broda: kod brzine 1 cv prevaljeni put za 30 sek je 15,4 m (zbog skliza 14,5), pa se kod mjerenja brzine na konopu koji se puštao u more na svakih 14,5 m zavezivao cvor, a brzina broda dobivala se brojenjem cvorova koji bi u periodu od 30 sekundi (vrijeme istjecanja pijeska iz pješcanog sata) protekli kroz ruku mjeraca.

2. Određivanje pravaca na moru

Osnovni elementi orijentacije

Orijentacija na otvorenom moru moguća je u odnosu prema točkama, ravninama i pravcima u odnosu prema opažacu. Krug morske površine koju opažac može obuhvatiti pogledom je *ravnina horizonta* i osnovna je ravnina za orijentaciju. Ako se zanemari razlika između geocentričnih i geografskih koordinata, smjer djelovanja sila teže definira pravac koji se zove *vertikalna* i koji prolazi kroz položaj opažaca i kroz središte Zemlje te iznad glave opažaca probada nebesku sferu u točki koja se zove *zenit (Z)*. Točka na suprotnoj strani nebeske sfere, u središtu njezina nevidljivog dijela zove se *nadir (Na)*. To je zenit opažaceva antipoda (slika 9).



Slika 9.

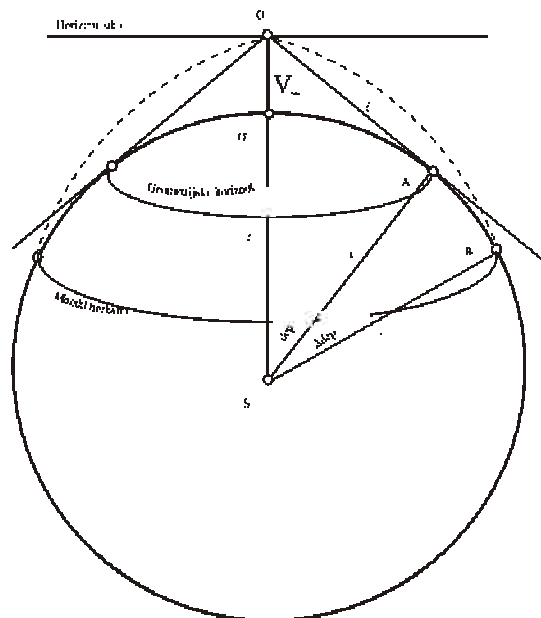
Opazac na nebeskoj sferi vidi ona nebeska tijela koja nalaze iznad ravnine *nebeskog horizonta*. Ako se glavna ravnina koja predstavlja meridijan opažaca na površini Zemlje produži do nebeske sfere formirat će na sferi glavnu kružnicu koja se zove *nebeski meridijan*.

Rotacija Zemlje oko vlastite osi definira dvije nepomicne točke na nebeskoj sferi: to su točke *sjeverog (PN)* i *južnog (PS) nebeskog pola*. Ravnina ekvatora Zemlje produžena do nebeske sfere definira na sferi glavnu ravninu koja se zove *nebeski ekvator*. Točke u sjecištu nebeskog ekvatora i nebeskog horizonta zovu se *istok* i *zapad*. Istok je točka na strani izlaza Sunca, a zapad na strani zalaza sunca.

Točke sjevernog i južnog pola, istoka i zapada definiraju *kardinalne smjerove* te dijele horizont na četiri *kvadranta*. *Sjever (N)* je strana horizonta prema sjevernom polu, *istok (E)* je strana horizonta prema točki istoka, *jug (S)* je strana horizonta okrenuta prema južnom polu, a *zapad (W)* je strana horizonta prema točki zapada. *Prvi kvadrant* je dio horizonta između sjevera i istoka, *drugi kvadrant* između istoka i juga, *treći kvadrant* između juga i zapada a *četvrti kvadrant* između zapada i sjevera.

Ovisno o različitim utjecajima u navigaciji se koriste nekoliko vrsta horizonata:

- *Pravi ili astronomski horizont* je horizont koji na nebeskoj sferi tvori ravnina o na vertikalu, a koja prolazi središtem Zemlje.
- *Horizont oka* je ravnina paralelna s ravninom astronomskog horizonta a koja prolazi kroz oko opažaca.
- *Geometrijski horizont* je površina koju bi na otvorenom mirnom moru vidio opažac kad ne bi bilo utjecaja atmosfere: to je tangenta iz opažaceva oka na površinu Zemlje.
- *Morski horizont* je površina mirnog mora koju opažac može vidjeti ubrajajući utjecaje atmosfere.
- *Radarski horizont* je ravnina koju na otvorenom moru doseže radarski impuls.
- *Obalni horizont* je površina mora koju zastire kopno ili otoci (slika 10).



Slika 10.

Udaljenost geometrijskog horizonta može se izračunati iz slike.

$$\begin{aligned}
 OA^2 &= OS^2 - AS^2 \\
 d^2 &= (r + Voka)^2 - r^2 \\
 d^2 &= r^2 + 2r Voka + Voka^2 - r^2 \\
 d &= \sqrt{2 r Voka}
 \end{aligned}$$

Ako se za r (polumjer Zemlje) uzme 6 366 729 m ili 6 366 729/1852 M:

$$d = \sqrt{\frac{2 \times 6\,366\,729}{1852} Voka} = 1,93 \sqrt{Voka} \quad M$$

Zbog loma svjetlosnih zraka pri prolazu kroz atmosferu (refrakcije) udaljenost morskog horizonta veća je za 0,08 d:

$$dh = d + 0,08 d = (1,93 + 0,08 \times 1,93) \sqrt{Voka} = 2,08 \sqrt{Voka}$$

Depresija je kut između ravnine horizonta oka i morskog horizonta. Zbog refrakcije kut depresije bit će za 8 % manji (slika):

$$dep = d - 0,08 d = (1,93 - 0,08 \times 1,93) \sqrt{Voka} = 1,77 \sqrt{Voka}$$

Radarski horizont je za 6% veći od morskog, a zavisen je o visini antene:

$$d_{ra} = 2,23 \sqrt{V_{ant}}$$

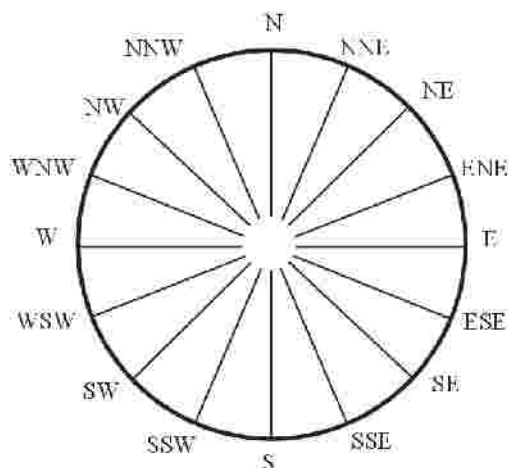
Osim udaljenosti radarskog horizonta do met radara ovisan je i o mnogobrojnim drugim faktorima (snaga emitiranog signala, osjetljivost prijemnika, valna dužina radarskog snopa i td).

Podjela horizonta i označavanje kutova

Sjever (N), jug (S), istok (E) i zapad (W) su kardinalni smjerovi horizonta koji dijele horizont na četiri kvadranta. Podjelom kardinalnih smjerova dobiju se interkardinalni: sjeveroistok (NE), jugoistok (SE), jugozapad (SW) i sjeverozapad (NW). Podjelom kardinalnih i interkardinalnih smjerova do sektori koji se nazivaju i trosložni vjetrovi, a njihove oznake su: sjever-sjeveroistok (NNE), istok-sjeveroistok (ENE), istok-jugoistok (ESE), jug-jugoistok (SSE), jug-jugozapad (SSW), zapad-jugozapad (WSW), zapad-sjeverozapad (WNW) i sjever-sjeverozapad (NNW). Ovi smjerovi

tradicionalno se nazivaju *vjetrovi*.³

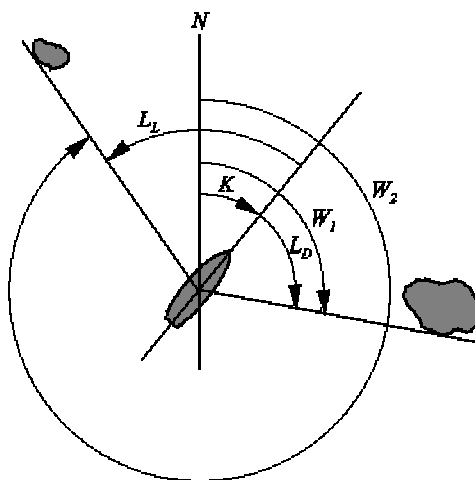
Daljnjom podjelom horizont je razdijeljen na ukupno još šesnaest sektora (*NNE za N, NNE za NE, ENE za NE, ENE za E, ESE za E, ESE za SE, SSE za SE, SSE za S, SSW za S, SSW za SW, WSW za SW, WSW za W, WNW za W, WNW za NW, NNW za NW i NNW za N*). Ukupno je horizont podijeljen na 32 vjetra s oznakama od *N* do *NNW za N*. Na slici 11 prikazani su kardinalni, interkardinalni i trosložni vjetrovi. Ovakva podjela horizonta naziva se *ruža vjetrova*.



Slika 11.

Sektor jednog vjetra iznosi $11,25^\circ$. Daljnjom podjelom horizont je podijeljen na 360° , dok se podjela na vjetrove, osim u nazivima osam glavnih vjetrova, više ne upotrebljava.

Osnovni smjerovi koji se koriste u navigaciji su *kurs*, *azimut* i *pramcani kut* (slika 12).



Slika 12.

Linija kursa je sjecište vertikalne ravnine koja prolazi kroz uzdužnicu broda i ravnine horizonta. *Kurs* je kut koji s meridijanom zatvara linija kursa. Racuna se u smjeru kazaljke na satu od sjevera preko istočne strane horizonta, a može postići vrijednosti od 0° do 360° . Ovisno o meridijanu u odnosu na kojeg se racuna kurs može biti *pravi* (*Kp*), *magnetski* (*Km*), *kompasni* (*Kk*) ili *žirokompasni* (*Kž*). Pravi kurs se racuna u odnosu na pravi meridijan, magnetski kurs u odnosu na magnetski

³ *Imena osam glavnih vjetrova su: tramontana (N), grego (NE), levante (E), široko (SE), oštro (S) lebic (SW), polente (W) i maestral (NW). Tradicionalna podjela horizonta na vjetrove i danas je u upotrebi, jedino se umjesto izraza grego koristi izraz bura te ponekad umjesto izraza oštro izraz jugo.*

meridijan, odnosno na meridijan kojeg pokazuje magnetski kompas na kopnu (daleko od utjecaja feromagnetskih materijala), kompasni kurs u odnosu na kompasni meridijan, odnosno meridijan kojeg pokazuje magnetski kompas montiran na brodu i pod utjecajem feromagnetskih masa broda, a žirokompasni kurs u odnosu na meridijan koji identificira žirokompas.

Linija azimuta je sjecište vertikalne ravnine položene kroz središte broda i promatrani objekt i ravnine horizonta. *Azimet* je kut između meridijana i linije azimuta. Racuna se sjevera preko istočne strane horizonta i to od 0° do 360° . Može biti *pravi* (Wp), *magnetski* (Wm), *kompasni* (Wk) ili *žirokompasni* ($Wž$).

Pramceni kut je kut između linije kursa i linije azimuta. Racuna se od linije kursa u smjeru kazaljke na satu do 180° (od pramcanog dijela uzdužnice broda do krmenog dijela uzdužnice broda) ili od linije kursa suprotno smjeru kazaljke na satu do 180° . Objekti koji se nalaze desno od linije kursa imaju desni pramceni kut i pozitivan predznak ($+L$), a oni koji se nalaze lijevo od linije kursa imaju lijevi pramceni kut i negativni predznak ($-L$).

Medusobni odnos kursa, pramcanog kuta i azimuta vidi se iz slike.

$$W = K + (\pm L)$$

Instrument kojim se na brodu identificira položaj meridijana je kompas.

3. Pomorske karte i priručnici

Pomorske karte

Pomorske karte osnovna su navigacijska pomagala. U navigaciji se koriste mnogobrojne karte, a u smislu upotrebe, sve se mogu podijeliti u tri osnovne grupe:

3. *Navigacijske karte* (opće i specijalne - Loran, Decca, Omega i td)
4. *Pomocne* (radarske, gnomonske, bijele karte)
5. *Informativne* (pilotske, zvjezdane i td)

Kartografija je znanost koja proučava metode preslikavanja površine Zemlje na ravnu i u izradu karata, a u korelaciji je s *geodezijom* i *topografijom*. Dijeli se na *teorijsku* (proučavanje vrsta projekcija i izrada matematičkih modela) i *praktičnu* (izrada karata za različite svrhe).

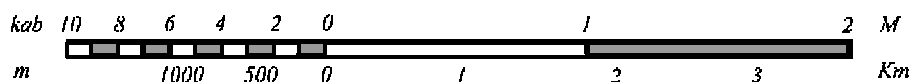
Hidrologija je nauka koja se bavi proučavanjem voda na površini i ispod površine.

Hidrografija je grana primijenjene znanosti koja se bavi mjerenjima i opisivanjem vodenih površina povoljnih za navigaciju, posebno u svrhu sigurnosti plovidbe. *Hidrografski instituti* su ustanove koje provode hidrografska mjerenja, izdaju i unificiraju navigacijske karte. Međunarodna organizacija *IHO (International Hydrographic Organization)* sa sjedištem u Monacu koordinira rad instituta i unificira pomorske karte s osnovnim zadatkom povećanja sigurnosti plovidbe.

Mjerilo karte

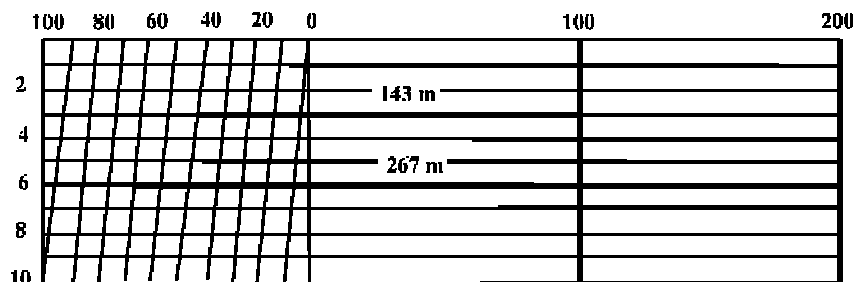
Mjerilo karte je matematički odnos dužina u prirodi i dužina na karti, odnosno to je podatak koliko puta su dužine na karti smanjene u odnosu prema dužinama u prirodi. *Krupno mjerilo* (na pr. 1 : 5000) znači manje smanjivanje dužina (karta krupnog mjerila prikazuje manja područja). *Sitno mjerilo* (na pr. 1 : 1000000) znači veće smanjivanje dužina (karta sitnog razmjera prikazuje veća područja). Mjerilo može biti izraženo na različite načine:

- *brojčano mjerilo* prikazuje brojčane odnose dužina (1:1000000);
- *linearno mjerilo* prikazuje linearne odnose dužina za mjerenja na karti (slika 13);



Slika 13.

- *dužinsko mjerilo* prikazuje koliko je dužina mjerne jedinice na karti (na pr. 1 cm = 2,5 M);
- *transverzalno mjerilo* je posebna vrst mjerila koja omogućava točna mjerenja dužina na planovima (slika 14).



Slika 14.

Krajnja granica točnosti je ona dužina u prirodi koja na karti određenog mjerila može prikazati veličinom od 0,1 mm, na primjer na karti mjerila 1 : 1 000 000 to je dužina od ± 100 m.

Kartografske projekcije

Matematička kartografija je znanost koja se bavi izradom karata, a njezin osnovni zadatak je izbor najpovoljnijeg načina kojim se slika Zemlje može prenijeti na ravnu površinu s obzirom na potrebne uvjete, te iznalaženje matematičkih međuovisnosti velicina na površini Zemlje i na karti. Za različite namjene karata koriste se i različiti načini projekcija. Navigacijska karta mora omogućavati:

- crtanje loksodrome kao pravca,
- mogućnost mjerenja kutova,
- mogućnost mjerenja udaljenosti.

Na nekim pomoćnim kartama traži se prikazivanje ortodrome kao pravca, ili pak realno prikazivanje površina. Sve kartografske projekcije pritom se mogu podijeliti s obzirom na više kriterija. Po kriteriju uvjeta koje moraju ispunjavati projekcije se dijele na:

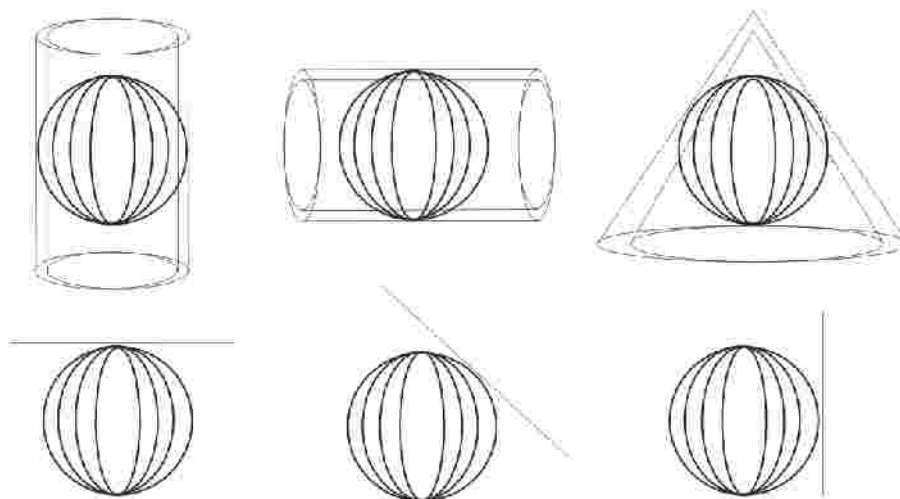
- *konformne* (na ravnoj površini realno prikazuju kutove),
- *ekvidistantne* (na ravnoj površini realno prikazuju udaljenosti),
- *ekvivalentne* (na ravnoj površini realno prikazuju površine),
- *proizvoljne* (nemaju niti jednog od navedenih svojstava, ali su razlike u odnosu na stvarno stanje u prirodi najmanje).

S obzirom na oblik površine na koju se slika Zemlje prenosi projekcije se mogu podijeliti na:

- *valjkaste* (slika Zemlje prenosi se na valjak),
- *stožaste* (slika Zemlje prenosi se na stožac)
- *azimutalne* ili *zenitne* (slika Zemlje projicira se na ravnu površinu, a azimutalne su zato jer je kod takvih projekcija azimut od točke dodira ravnine na bilo koju točku horizonta realan).

S obzirom na mjesto u kojem ploha na koju se preslikava slika Zemlje dodiruje (tangira) površinu Zemlje projekcije se mogu podijeliti na:

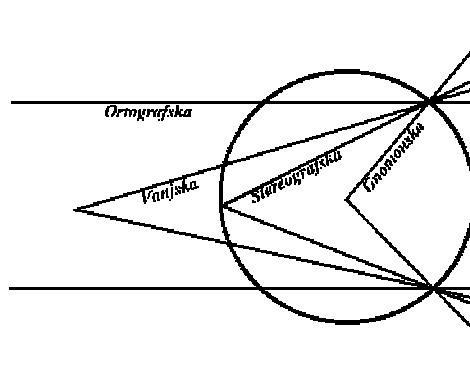
- *ekvatorske* (ploha projekcije dodiruje površinu Zemlje na ekvatoru)
- *horizontske* (ploha na koju se projicira dodiruje površinu Zemlje između pola i ekvatora)
- *polarne* (ploha projekcije dodiruje površinu Zemlje na polu ili polovima – slika 15).



Slika 15.

S obzirom na zamišljenu točku u kojoj se nalazi oko projekcije se dijele na:

- *gnomonske* (točka projekcije nalazi se u središtu Zemlje)
- *stereografske* (točka projekcije je na suprotnoj strani točke u kojoj ravnina tangira površinu Zemlje)
- *vanjske* (točka projekcije smještena je izvan površine Zemlje),
- *ortografske* (točka projekcije nalazi se u beskonacnosti – slika 16).



Slika 16.

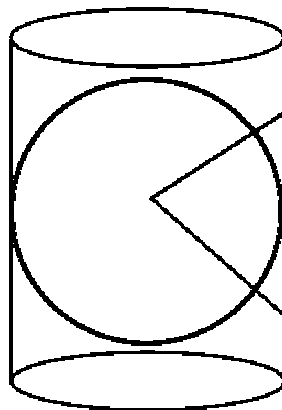
S obzirom na velicinu površinu Zemlje koja se preslikava navigacijske karte dijele se na:

- *planisferne* (prikazuju ili citavu površinu Zemlje ili polovinu po hemisferu),
- *opće (generalne)* s mjerilom manjim od 1 : 600 000 koje prikazuju veće površine Zemlje
- *pregledne* s mjerilom većim od 1 : 600 000, a koje prikazuju manju površinu Zemlje s više pojedinosti (kursne, obalne, planovi),
- *specijalne* s različitim mjerilima koje se koriste za različite svrhe.

U navigaciji se najviše koriste dvije vrste projekcija: valjkasta projekcija koja tangira Zemlju na ekvatoru ili je probada na konstrukcijskim geografskim širinama, a s točkom projekcije u središtu Zemlje, te gnomonske azimutalne projekcije. Iz prve projekcije dobije se kvadratna karta na kojoj su i ortodroma i loksodroma prikazane kao krivulje, tako da nije povoljna za upotrebu u navigaciju, ali se dodatnim izjednačavanjem deformacija po meridijanu i paraleli dobije konformna Merkatorova karta kod koje je loksodroma prikazana kao pravac, tako da se ta vrst projekcije koristi u navigacijskoj praksi. Posebnost gnomonskih azimutalnih projekcija je u tome što je velika kružnica (ortodroma) prikazana kao pravac iz razloga što se ravnina velike kružnice (ortodrome) siječe s ravninom na koju se projicira, a sjecište dvaju ravnina može biti samo pravac.

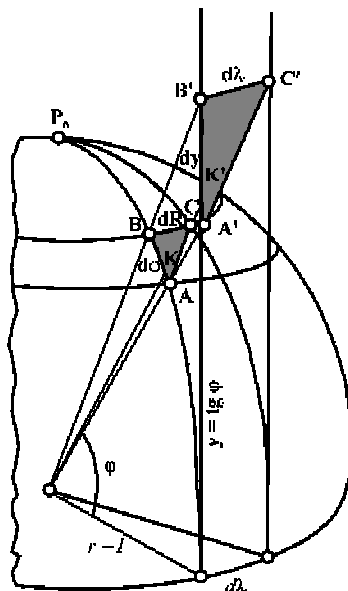
Merkatorova karta

Merkatorova karta nastala je od cilindricne ekvatorske projekcije i najviše je korištena u navigacijskoj praksi. Oko projiciranja kod ove projekcije nalazi se u središtu Zemlje (slika 17).



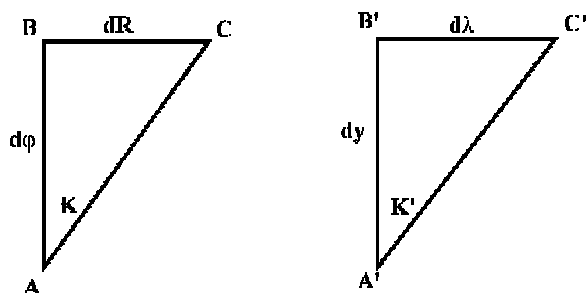
Slika 17.

Ovako dobivena karta nije komforna i zbog toga nije pogodna za navigaciju. Uzrok nekomfortnosti je nejednako rastezanje po meridijanu i po paraleli, tako da ni ortodroma ni loksodroma nisu ravne linije. Da bi karta zadovoljavala uvjete komfornosti n je izjednačiti deformacije. Gerhard Kramer (Merkator) to je radio prenošenjem koordinata točaka s globusa na ravnu plohu prilagodavajući loksodromu ravnoj crti.



Slika 18.

Na slici 18 diferencijalni trokut sa površine Zemlje (ABC) projiciran je na valjak u obliku A'B'C'. Diferencijalne vrijednosti kateta trokuta na globusu su: dR (diferencijalna promjena razmaka) i dφ (diferencijalna promjena geografske širine). Projicirane na valjak te vrijednosti su dλ i dy. Kut K na globusu je pravi kurs između pozicija A i C, dok je na valjku ta vrijednost iskazana kutom K' (slika 19).



Slika 19.

Beskonечно mali trokut ABC na površini Zemlje može se smatrati ravnim trokutom. Usporedbom trokuta ABC s projekcijom tog trokuta na valjak (trokut A'B'C') iz trokuta ABC dobije se:

$$\operatorname{tg} K = \frac{dR}{d\varphi} = \frac{dl \cos j}{dj}$$

Iz beskonечно malog trokuta na valjku (A'B'C') dobije se:

$$\operatorname{tg} K' = \frac{dl}{dy} = \frac{dl}{\frac{dl \cos^2 j}{dj}} = \frac{dl \cos^2 j}{dj} = \frac{dl \cos j}{dj} \cos j$$

Vidi se da kutovi K (na Zemlji) i K' (na valjku) nisu jednaki, pa prema tome karta koja bi se dobila takvom projekcijom ne bi bila konformna. Da bi karta postala konformna razvlačenje po paraleli mora biti jednako razvlačenju po meridijanu. Merkator (Gerhard Kramer) to je uradio prenoseći koordinate točaka loksodrome s globusa na ravnu kartu ucrtavajući pritom loksodromu kao pravac.

Razvlačenja se mogu izračunati za beskonечно mnogo pojedinačnih razvlačenja paralela na udaljenosti r od središta Zemlje od kojih se svako mijenja kao funkcija (1/cos φ):

$$\varphi_M = \int \frac{1}{\cos \varphi} d\varphi$$

Zamjenom vrijednosti kosinusa kuta tangensom može se dobiti:

$$\cos j = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{j}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{j}{2}}$$

Ako se izvrši zamjena:

$$\operatorname{tg} \frac{j}{2} = t$$

Deriviranjem se može dobiti:

$$\frac{dj}{dt} = \frac{2}{1+t^2} \Rightarrow dj = \frac{2 dt}{1+t^2}$$

Ako se to uvrsti u integral:

$$\begin{aligned} \varphi_M &= \int \frac{d\varphi}{\cos \varphi} = \int \frac{2 dt (1+t^2)}{(1+t^2)(1-t^2)} = 2r \int \frac{dt}{1-t^2} \\ 2r \frac{1}{2} \ln \frac{1+t}{1-t} &= r \ln \frac{1 + \operatorname{tg} \frac{j}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{j}{2}} = r \ln \frac{\operatorname{tg} 45^\circ + \operatorname{tg} \frac{j}{2}}{1 - \operatorname{tg} 45^\circ \operatorname{tg} \frac{j}{2}} \\ j_M &= r \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{j}{2} \right) \end{aligned}$$

Ako se opseg Zemlje izrazi u radijanima [$O = 2\pi r \Rightarrow 360^\circ = 2\pi r \Rightarrow r = 360/(2\pi) = 57^\circ 17' 45'' = 3\,437,746\,771'$] formula se pretvori:

$$j_M = 3437,746771 \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{j}{2} \right)$$

Da bi se prirodni logaritam (baza $e = 2,718\,281\,829$) pretvorio u Brigsov (dekadni) logaritam potrebno je formulu podijeliti s modulom dekadskih logaritama M ($M = \log e = \log 2,718\,281\,829 = 0,434\,294\,482$):

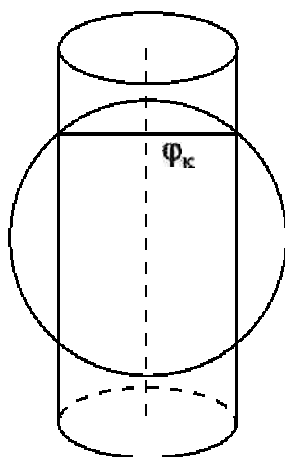
$$j_M = \frac{3\,437,746\,771}{0,434\,294\,482} \log \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{j}{2} \right) = 7\,915,704\,47 \log \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{j}{2} \right)$$

Paralele se na Merkatorovoj karti razvlace po gornjoj formuli. U visokim širinama razvlecenje je veliko, a na samim polovima beskonacno. Mnogo je manje ako cilindar ne tangira Zemlju vec je probada u nekim tockama:

Geografska širina na kojoj cilindar presijeca površinu Zemlje zove se *konstrukcijska geografska širina* (j_K). Sve se karte osim karte svijeta konstruiraju tako da konstrukcijska geografska širina prolazi sredinom karte.

Konstrukcija Merkatorove karte

Konstrukcija mreže Merkatorove karte prakticno se svodi na proračun rasporeda meridijana i paralela za neku konstrukcijsku geografsku širinu, to jest širinu u kojoj valjak na koji se projicira presijeca Zemlju (slika 20).



Slika 20.

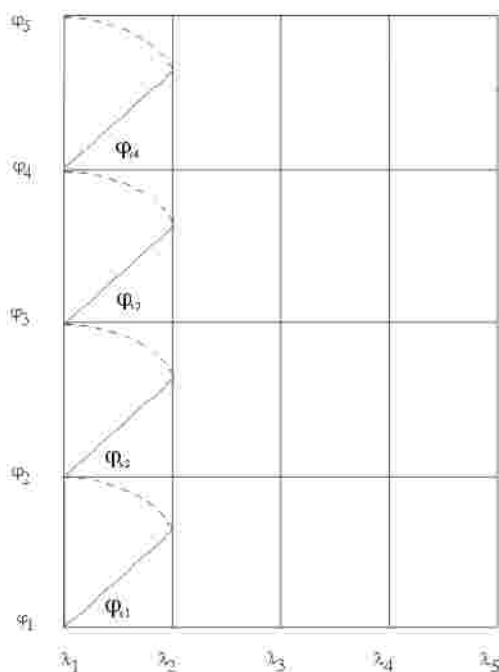
Jedna milja na karti (na ekvatoru) ima dužinu:

$$\Delta l' = \frac{1852}{M} \text{ m} = \frac{1852 \times 1\,000}{M} \text{ mm}$$

Na konstrukcijskoj širini (φ_K) jedna minuta ima dužinu:

$$\Delta l' = \frac{1852 \times 1\,000}{M} \cos j_K$$

Graficka metoda dovoljno je točna, a mnogo je jednostavnija tako da se u praksi znatno češće upotrebljava. U određenom mjerilu na konstrukcijskoj geografskoj širini iscrtaju se meridijani koji su paralelni i međusobno jednako udaljeni. Paralele se konstruiraju kao vrijednosti recipročne kosinusu srednjih geografskih širina između paralela (slika 21.)



Slika 21.

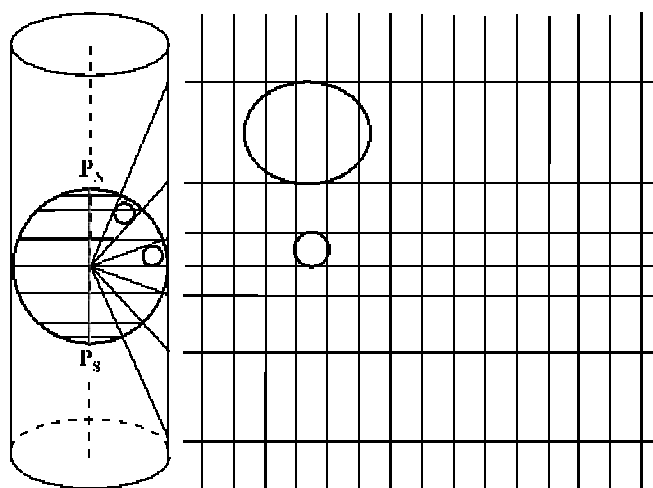
Kod računске metode vrijednosti se računaju iz gornjih formula ili se vade iz posebnih Uvećane Merkatorove širine računaju se s parametrima elipsoida ili kugle sa srednjim polumjerom. Nautičke tablice broj 5 daju vrijednosti za Zemlju kao elipsoid po mjerenjima Bessela, a vrijednosti su izračunate za svaki minut geografske širine.

Shema racuna:

| λ | Udaljenost od lijevog ruba karte | φ | φ_M | Udaljenost od dna karte |
|-------------|--|-------------|----------------|--|
| λ_1 | - | φ_1 | φ_{M1} | - |
| λ_2 | $(\lambda_2 - \lambda_1) \Delta\lambda_1'$ | φ_2 | φ_{M2} | $(\varphi_{M2} - \varphi_{M1}) \Delta\lambda_1'$ |
| λ_3 | $(\lambda_3 - \lambda_1) \Delta\lambda_1'$ | φ_3 | φ_{M3} | $(\varphi_{M3} - \varphi_{M1}) \Delta\lambda_1'$ |
| λ_4 | $(\lambda_4 - \lambda_1) \Delta\lambda_1'$ | φ_4 | φ_{M4} | $(\varphi_{M4} - \varphi_{M1}) \Delta\lambda_1'$ |

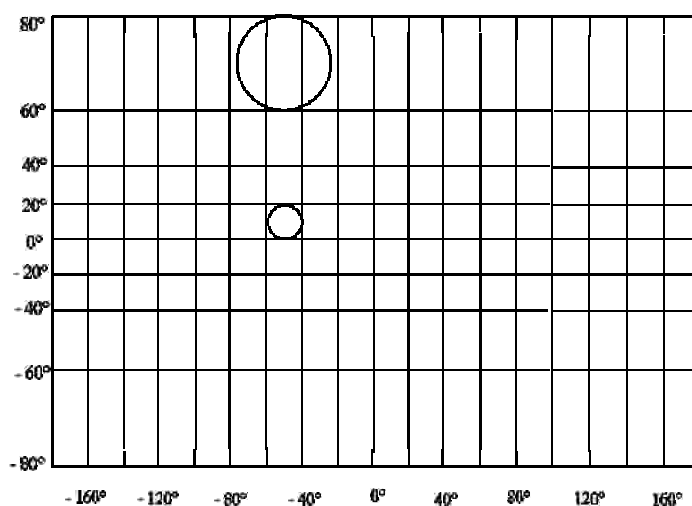
Prema tome Merkatorova karta dobila se matematičkom prilagodbom kvadratne karte, i to tako da se izjednače deformacije po paraleli s deformacijama po meridijanu.

Kvadratna karta nije komforna, nije ekvivalentna i nije ekvidistantna. Površine na različitim geografskim širinama prikazane su različito (slika 22).



Slika 22.

Za razliku od kvadratne karte Merkatorova je komforna, nije ekvivalentna, ali oblici kopna na različitim geografskim širinama se ne mijenjaju (slika 23).



Slika 23.

Da je Merkatorova karta komforna može se dokazati iz prethodnih matematičkih analiza. Vrijednost kuta na kugli može se pisati:

$$\operatorname{tg} K = \frac{dR}{dj}$$

Vrijednost tog kuta na Merkatorovoj karti je:

$$\operatorname{tg} K' = \frac{dl}{dj_M} = \frac{\frac{dR}{\cos j}}{\frac{dj}{\cos j}} = \frac{dR}{dj}$$

Proizlazi da je kut na Zemlji kao kugli jednak kao i njegova projekcija na valjku.

Konstrukcija Merkatorove karte za elipsoid

Uzimajući u obzir oblik Zemlje kao elipsoida u izračun Merkatorovih širina kod konstrukcije karte potrebno je uračunavati i numeričku ekscentricnost za kojeg se konstruira merkatorova karta.

Ako se vrijednost izrazi dekadskim logaritmom:

$$\varphi_M = 7915,70447 \log \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left[\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right]^{\frac{e}{2}}$$

Ako se vrijednost izrazi prirodnim logaritmom:

$$\varphi_M = 3437,746771 \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left[\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right]^{\frac{e}{2}}$$

Dio jednadžbe kojim se uračunava ekscentricnost elipsoida Zemlje zove se popravak Krasovskog. Jednadžbe se mogu upotrijebiti za bilo koji elipsoid koji se karakterizira numeričkim ekscentricitetom:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

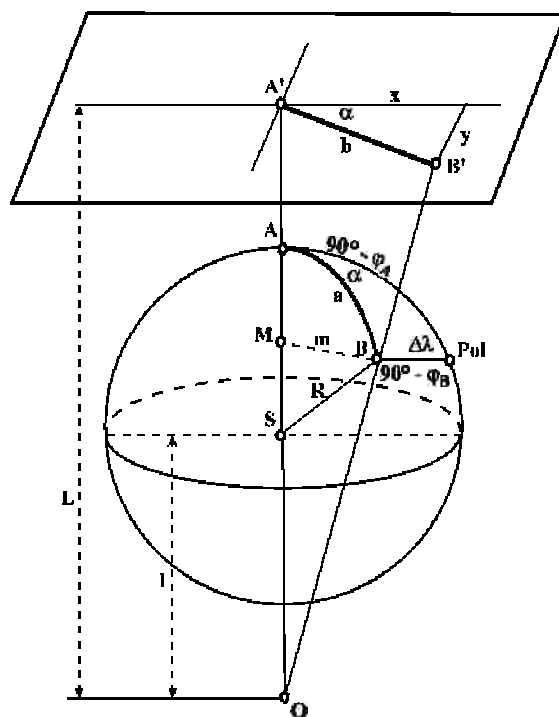
Vrijednost luka od 1' za izračun $\Delta\lambda$ tada dobije oblik:

$$\Delta l \text{ 1' } = \frac{2 \rho}{21\,600} \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 j_k}} \cos j_k \frac{1\,000}{M}$$

Perspektivne projekcije

Karakteristika ovih projekcija je da se Zemlja smatra kuglom te da se projicira na ravnu plohu koja može Zemlju tangirati na ekvatoru (ekvatorska), na polu (polarna) ili na nekoj geografskoj širini (horizontska). Budući da se projicira na ravninu a da sjecište dvaju ravnina pravac, ako se projicira velika kružnica njezino sjecište s ravninom projiciranja uvijek će biti pravac. S obzirom da je ortodroma dio velike kružnice proizlazi da će na perspektivnim projekcijama ortodroma uvijek biti pravac što je, s aspekta navigacije, od velikog značaja.

Matematički modeli rješavanja perspektivnih projekcija proizlaze iz slike 24.



Slika 24.

Na slici oko projekcije nalazi se na suprotnoj strani izvan površine Zemlje, a ravnina na koju se projicira također se nalazi iznad površine Zemlje. Ortodroma između točke tangiranja A i točke B na ravnini je projicirana kao dužina $A'B'$, a kut α na površini Zemlje istovjetan je vlastitoj projekciji na ravnini i označen je istim simbolom. Oko projekcije nalazi se na udaljenosti l od središta Zemlje (S) i za $(l - R)$ iznad površine Zemlje (R je polumjer Zemlje). Ravnina projekcije za vrijednost L je udaljena od oka projekcije i za $(L - l - R)$ iznad površine Zemlje. Potrebno je izračunati pravokutne koordinate na ravnini projekcije prikazane kao x i y . Iz slike se može vidjeti:

$$\begin{aligned} x &= b \cos \alpha \\ y &= b \sin \alpha \end{aligned}$$

Na slici se također mogu sagledati i slijedeći razmjeri:

$$b : m = L : \overline{OM} \quad \Rightarrow \quad b = \frac{mL}{OM}$$

$$m = R \sin \alpha$$

$$\overline{OM} = l + \overline{SM} = l + R \cos \alpha$$

Odnosno:

$$b = \frac{LR \sin \alpha}{l + R \cos \alpha}$$

Unašanjem vrijednosti b u izraze za x i y dobije se:

$$x = \frac{LR \sin \alpha \cos \alpha}{l + R \cos \alpha}$$

$$y = \frac{LR \sin \alpha \sin \alpha}{l + R \cos \alpha}$$

Iz sfernog trokuta na površini Zemlje može se izračunati:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta \\ \sin \alpha \cos \alpha &= \cos j_A \sin j_B - \sin j_A \cos j_B \cos \Delta \end{aligned}$$

$$\sin a \sin a = \cos j_B \cos \Delta l$$

Uvrštenjem tih izraza u prethodne dobije se:

$$x = \frac{LR (\cos j_A \sin j_B - \sin j_A \cos j_B \cos \Delta l)}{l + R (\sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l)}$$

$$y = \frac{LR \cos j_B \sin \Delta l}{l + R (\sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l)}$$

Gornji izrazi mogu se koristiti za sve vrste perspektivnih projekcija. Ako je projekcija gnomonska oko projekcije nalazi se u središtu Zemlje a ravnina tangira površinu Zemlje tako da je $l = 0$ a $L = R$. Time se gornji izrazi za sve gnomonske perspektivne projekcije pretvore u oblike:

$$x = \frac{R (\cos j_A \sin j_B - \sin j_A \cos j_B \cos \Delta l)}{\sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l}$$

$$y = \frac{R \cos j_B \sin \Delta l}{\sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l}$$

Kod stereografskih projekcija oko se nalazi u točki koja je antipodna točki tangiranja. U tom slučaju $l = R$ a $L = 2R$, pa ce se izrazi pretvoriti u:

$$x = \frac{2R (\cos j_A \sin j_B - \sin j_A \cos j_B \cos \Delta l)}{1 + \sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l}$$

$$y = \frac{2R \cos j_B \sin \Delta l}{1 + \sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l}$$

U ortografskim projekcijama matematički modeli izracuna razlikuju se od gornjih, međutim te se vrste projekcija ne koriste u navigaciji.

Kao što se vidi iz prethodnih matematičkih modela kod karata perspektivnih projekcija u izracune je potrebno uvrštavati i vrijednost polumjera Zemlje. Njegova vrijednost na karti, shodno prethodnim razmatranjima, dobit ce se iz izraza:

$$R = 1000 r \frac{1852}{M} \quad mm.$$

Odnosno, ako je zadan omjer polumjera Zemlje (r) i njegova velicina kao faktora izrade karte perspektivne projekcije (R), može se izracunati mjerilo karte:

$$M = 1000 r \frac{1852}{R}$$

U navigacijskoj praksi mogu se koristiti: gnomonska ekvatorska projekcija, gnomonska polarna projekcija, gnomonska horizontska projekcija, stereografska ekvatorska projekcija, stereografska polarna projekcija i stereografska horizontska projekcija.

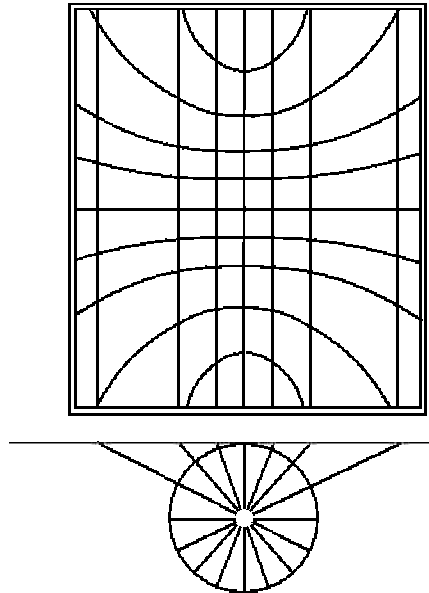
Gnomonska ekvatorska projekcija

Na gnomonskoj ekvatorskoj projekciji meridijani su prikazani kao pravci koji su međusobno paralelni i nejednako međusobno udaljeni, šire se s funkcijom tangensa razlike geografskih dužina. Ekvator je pravac, a sjecište ekvatora i središnjeg meridijana je točka dodira. Paralele su hiperbole čiju simetralu predstavlja ekvator, a glavnu os središnji meridijan (slika 25).

Koordinate se računaju tako da se u osnovne jednadžbe unese vrijednost $\varphi_A = 0^\circ$, $L = R$, $l = 0$, tako da se, nakon matematičkog preoblikovanja, može dobiti:

$$x = R \operatorname{tg} j \frac{l}{\cos \Delta l}$$

$$y = R \operatorname{tg} \Delta l$$



Slika 25.

U navigaciji gnomonska ekvatorska projekcija koristi se za prikazivanje karte neba, s obzirom da se najlakše mogu pratiti zamišljene crte koje formiraju zvijezda (alignamenti).

Gnomonska polarna projekcija

Na gnomonskoj polarnoj projekciji meridijani su prikazani kao radijalni pravci s polazištem u polu, pri čemu kutovi između meridijana odgovaraju razlikama geografskih dužina. Ekvator se ne može prikazati, a paralele su kružnice čije je središte u polu, dok polumjeri rastu s funkcijom $1/\operatorname{tg} \varphi$ (slika 26).

Koordinate x i y računaju se tako da se u osnovne jednadžbe unesu vrijednosti za $\varphi_A = 90^\circ$, $L = R$, $l = 0$, tako da se, nakon matematičkog preoblikovanja, može dobiti:

$$x = -R \cos \Delta l \frac{l}{\operatorname{tg} j}$$

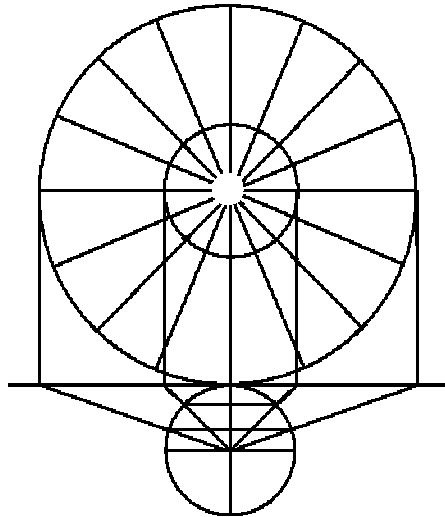
$$y = R \sin \Delta l \frac{l}{\operatorname{tg} j}$$

S obzirom da su paralele kružnice sa središtem u polu ogo je jednostavnija konstrukcija ako se izračuna polumjer svake pojedine paralele:

$$r_p = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Unošenjem vrijednost za x i y i matematičkim preoblikovanjem dobije se:

$$r_p = \frac{R}{\operatorname{tg} j}$$

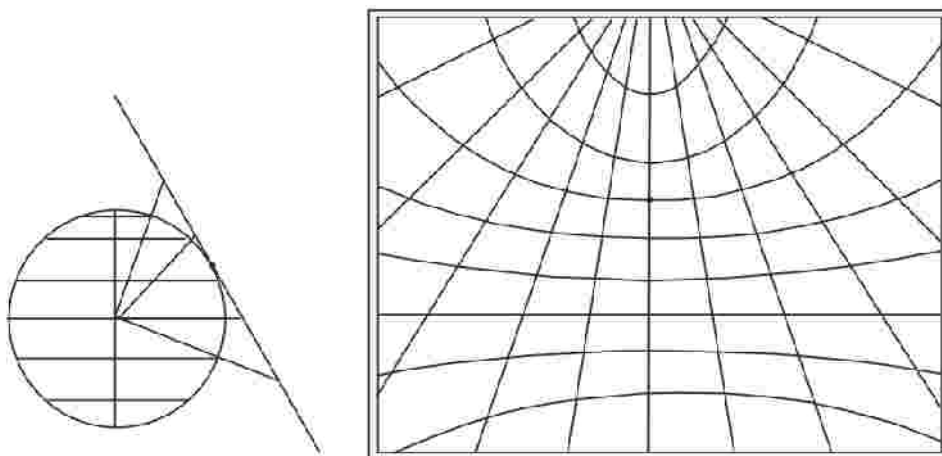


Slika 26.

U navigaciji gnomonska polarna projekcija koristi se za prikazivanje karte neba, ali i za prikaz stanja u polarnim područjima, posebno stanje leda u od godišnjim razdobljima. Najčešće prikazuje područja od pola do $\varphi = \pm 40^\circ$. Posebno su u upotrebi *Ice of Northern Hemisphere* i *Ice of Southern Hemisphere*, gnomonske polarne projekcije koje prikazuju stanje leda na sjevernoj i južnoj hemisferi.

Gnomonska horizontska projekcija

Na gnomonskoj horizontskoj (meridijalnoj) projekciji meridijani su prikazani kao konvergentni pravci s točkom sjecišta u polu, a meridijan tangentne točke okomit je na ekvator koji je također prikazan kao pravac. Paralele su prikazane u obliku krivulja koje su svojim izbočenim stranom okrenute ekvatoru. Paralela koja predstavlja komplement geografske širine točke dodira ($\varphi = 90^\circ - \varphi_A$) je parabola, paralele koje su manje od komplementa geografske širine dodirne točke ($\varphi < 90^\circ - \varphi_A$) su hiperbole, a paralele koje su veće od komplementa geografske širine dodirne točke ($\varphi > 90^\circ - \varphi_A$) su elipse (slika 27).



Slika 27.

Koordinate x i y računaju se tako da se u osnovne jednadžbe unesu vrijednosti za $L = R, l = 0$, tako da se može dobiti:

$$x = \frac{R (\cos j_A \sin j_B - \sin j_A \cos j_B \cos \Delta l)}{\sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l}$$

$$y = \frac{R \cos j_B \sin \Delta l}{\sin j_A \sin j_B + \cos j_A \cos j_B \cos \Delta l}$$

U navigaciji gnomonska horizontska projekcija se koristi za grafičko rješavanje ortometrike. Najviše je u uporabi karta s geografskom širinom točke dodira od 30°, za sjevernu i južnu hemisferu. Najčešće korištene su američke *Great Circle Sailing Charts* i britanske *Charts for facilitating Great Sailing*.

Stereografska polarna projekcija

Kod stereografskih projekcija oko projiciranja je u antipodnoj točki točke dodira, pa u osnovnim matematičkim izrazima $L = 2R$, a $l = R$. Ako ravnina dodiruje Zemlju u polu geografska širina točke dodira je 90°. Kad se to unese u osnovne matematičke izraze dobije se:

$$x = - \frac{R \cos j \cos \Delta l}{1 + \sin j}$$

$$y = \frac{R \cos j \sin \Delta l}{1 + \sin j}$$

Kao i kod gnomonske polarne projekcije, kartu je mnogo lakše konstruirati i matematički definirati ako se izračunaju polumjeri kružnica koje predstavljaju paralele. Shodno ranijem izlaganju može se dobiti:

$$r_p = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Unošenjem vrijednost za x i y i matematičkim preoblikovanjem dobije se:

$$r_p = R \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{j}{2} \right)$$

Meridijani su radijalni pravci koji se sijeku u polu, a paralele su kružnice čije je središte u polu.

U navigaciji se stereografske polarne projekcije koriste za prikazivanje zvijezda. U tu svrhu više se koriste nego gnomonske polarne projekcije jer prikazuju veći dio neba s manjim deformacijama.

Od ostalih vrsta projekcija u navigaciji se ponekad koristi stereografska ekvatorska projekcija koja služi za prikazivanje zvjezdanog neba i identifikaciju zvijezda, a u zrakoplovstvu česta je upotreba stereografske stožaste projekcije (Lambertova projekcija).

Lambertova projekcija

To je stereografska projekcija čije su deformacije zanemarive. Karta je komforna jer su meridijani su konvergentni pravci, paralele kružnice sa središtem u polu. Meridijani i paralele sijeku se pod pravim kutom. Kurs i udaljenosti posebnim se postupkom mogu direktno mjeriti. Često se upotrebljava kao *bijela karta (Plotting Sheet)*, označene su geografske širine a geografske dužine se upisuju proizvoljno. Ortodoma je bliska pravcu, ali nije pravac.

Udaljenosti se mogu mjeriti na posebnoj skali na meridijanu, a kursovi se mogu vaditi i unositi navigacijskim trokutom.

Podjela i sadržaj pomorskih karata

Pomorske karte mogu se podijeliti na informativne, navigacijske i pomoćne. Informativne se upotrebljavaju kao izvor najrazlicitijih podataka važnih za plovidbu, na primjer za klimatološke uvjete plovidbe, struje, geomagnetske uvjete, luke sadržaje i td. Posebno su u upotrebi pilotske karte koje prikazuju velik broj podataka o uvjetima plovidbe u svim plovnim područjima.

Navigacijske karte koriste se za vođenje navigacije. Najčešće su to Merkatorove karte razlicitog mjerila, ali mogu biti i gnomonske. Podijeljene su prema mjerilu na:

- generalne (mjerilo ispod 1 : 600 000)
- kursne (1 : 600 000 do 1 : 200 000)
- obalne (1:200 000 do 1: 50 000)
- planovi (1: 50 000 do 1:5 000), prakticno su bez deformacija.

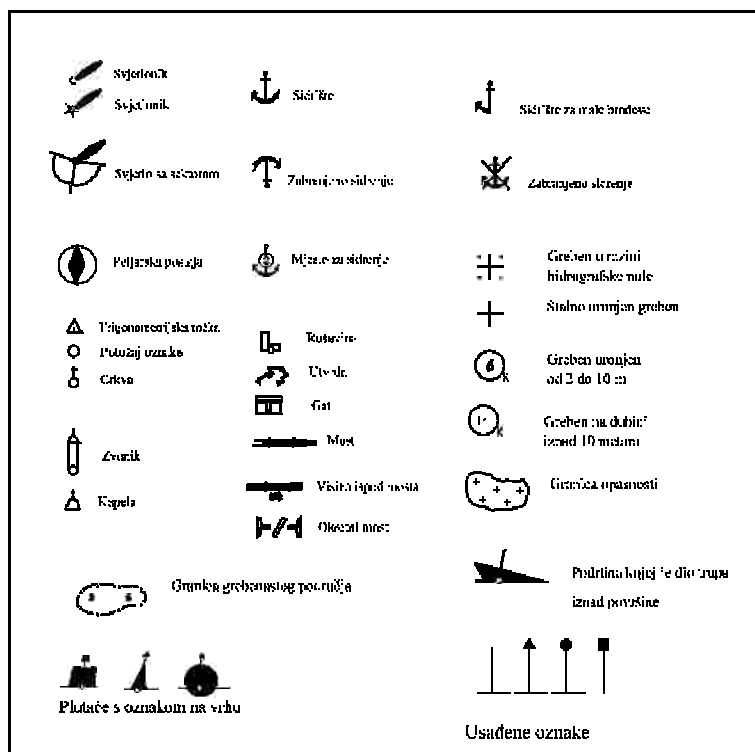
Pomoćne karte su razlicite vrste karata koje se koriste u hiperbolicnim navigacijskim sustavima *DECCA*, *LORAN* i *OMEGA*, a u ovu vrst karata spadaju i atlasi s radarskim pan za lakšu identifikaciju objekata na obali. Posebna vrst pomoćnih karata su *bijele* ili *radne karte* (*Plotting Sheets*). To su kursne Merkatorove karte koje služe za plovid po otvorenom moru. Setovi tih karata prikazuju odredena područja geografskih širina dok se ke dužine unose po potrebi. Bijelu kartu nerijetko konstruira i sam navigator, na način kako je opisano u prethodnim poglavljima.

Navigacijske Merkatorove karte sadrže mnogo podataka. Na rubovima tih karata oznacene su vrijednosti geografske širine, a na skali širine mogu se citati i udaljenosti. Na vrhu i na dnu Merkatorove karte oznacene su vrijednosti geografskih dužina. *Legenda karte* prikazuje mjerilo i razlicite važne napomene i komentare (kako su oznacene visine i dubine, koje su mjerne jedinice i td).

Izohipse su linije koje spajaju mjesta jednakih nadmorskih visina. Nadmorske visine odnose se na srednju razinu mora, a međusobna visinska udaljenost između izohipsi je *ekvidistancija*.

Izobate su linije koje spajaju mjesta s jednakim dubinama mora. Dubine mora na većini navigacijskih karata odnose se na srednju razinu niskih voda za vrijeme uštapa ili mlada kad su amplitude između niskih i visokih voda najviše (takozvane *žive morske mijene*).

Topografske oznake (neke važnije prikazane su na slici 28) uglavnom su unificirane i simbolima pokazuju odredene važne objekte.



Slika 28.

Nazivi objekata dani su punim imenom ili dogovorenim kraticama (Gr = greben, Hr = hrid, L = luka, O = otok, k = kamen i td). Sve oznake i skracenice na pomorskim kartama prikazani su u posebnim katalogima, kod nas je to publikacija *Znaci i skracenice na pomorskim kartama* Hidrografskog instituta u Splitu.

Varijacija u navigacijskim kartama prikazana je vrijednošću u trenutku kad je karta izdana. Promjene magnetske varijacije oznacene su godišnjim padom ili godišnjim porastom.

Održavanje i ispravljanje

Područja koja prikazuju navigacijske karte stalno se mijenjaju. Sve promjene koje su važne za navigaciju ili mijenjaju sadržaj pomorskih karata donose se u posebnim publikacijama. Kod nas se takva publikacija zove *Oglasi za pomorce*, a izdaje je Hidrografski institut. Najvažnija međunarodna publikacija je *Admiralty Notice to Mariners* koju izdaje britanski admiraltet.

Oglasi mogu imati privremeni, informativni ili trajni Ako imaju privremeni karakter ispravke na navigacijskim kartama obavljaju se grafitnom olovkom, a na margini karte ispiše se broj oglasa i godina izdanja. Ako su oglasi informativnog karaktera karta se u nacelu ne ispravlja. Ako su oglasi trajnog karaktera karta se mora ispraviti posebnim ljubicastim tušem, a u donjem lijevom kutu karte mora se unijeti napomena s godinom i brojem publikacije temeljem koje je ispravka izvršena. Takve se ispravke zovu *male korekture*.

Danas su sve više u upotrebi elektronske karte čije se ispravke vrše na mnogo jednostavniji način: umjesto publikacije brodu se dostavlja disketa na kojoj su izvršene sve ispravke, a karte se ispravljaju jednostavnim umetanjem diskete u disketnu jedinicu i njezinim aktiviranjem.

U sustavu GMDSS nekoliko je podsustava namijenjeno sigurnosti plovidbe, između ostalog na više različitih načina emitiraju se i oglasi koji se odnose na izmijenjeno stanje u nekom plovnom području. Koriste se:

NAVTEX je podsustav GMDSS-a koji putem posebnog uređaja omogućuje na frekvenciji 518 kHz stalno primanje obavijesti važnih za sigurnost plovidbe od stanice u čijem se dometu uređaj nalazi. Neke tipove emisija može se isključiti. Primljene obavijesti tiskaju se na posebnoj papirnoj traci ili se arhiviraju na disketi i citaju po vlastitom izboru.

EGC Safety Net je podsustav u sklopu GMDSS-a koji omogućava prijem važnih obavijesti preko satelita sustava *INMARSAT*. EGC prijemnik radi u sklopu komunikacijskog uređaja *SATCOM C*. Poruke se razlikuju po prioritetu, a one koje se odnose na sigurnost plovidbe arhiviraju se na disketnoj jedinici i citaju po vlastitom izboru, ili se tiskaju na printeru koji je priključen uređaju. Inspeksijske službe u lukama inzistiraju na ispisivanju tih obavijesti. Kao i od *NAVTEXA* i kod ovog uređaja omogućen je izbor stanica i tipova emisija.

HF MSI (Maritime Safety Informations) koristi uskopojasne direktnotiskajuće radiotelegrafske frekvencije (*NBDP - Narrow Band Direct Printing*) na frekventnim područjima 2 MHz, 4 MHz, 6 MHz, 8 MHz, 12 MHz i 16 MHz. Poruke prima u takozvanom FEC modu (*Forward Error Correction*) s digitalnom modulacijom. Kao i kod prethodnih uređaja poruke se ispisuju na printeru ili se arhiviraju na disketi. Na VHF području obalne radiostanice emitiraju obavijesti važne za sigurnost plovidbe u sklopu svojih redovnih emisija. U sustavu GMDSS u tu svrhu pred VHF kanal 13.

Pribor za rad, planiranje plovidbe i plovidba

Za rad s pomorskim kartama koriste se navigacijski trokuti, navigacijski šestar, protaktor (dvokutomjer), paralelno ravnalo, olovka, gumica i povecalo. Trokuti i paralelna ravnala služe za unašanje i vadenje kurseva i azimuta, šestar za unašanje i vadenje udaljenosti i koordinata a protaktor za unašanje horizontalnih kutova.

Prije početka plovidbe nužno je unaprijed proučiti rutu uzduž cijelog puta, izdvojiti potrebne karte i unaprijed ucrtavati kursove. Potrebno je posebno obraditi svaku točku promjene kursa, unaprijed provjeravati dubine i ostale navigacijske opasnosti. Linije kursova ucrtavaju se lagano da bi se nakon upotrebe karte mogli lakše izbrisati. Znakove i skracenice potrebno je proučiti unaprijed, jednako kao i karakteristike pojedinih svjetionika koji će se koristiti pri vodenju navigacije. Također unaprijed treba

izracunavati kompasne kursove.

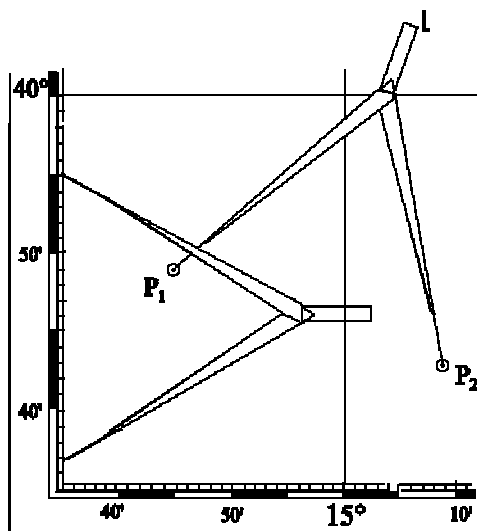
Kad god je to moguće potrebno je koristiti karte krupnijeg mjerila. tijekom plovidbi kroz arhipelage s velikim brojem otoka, otocica i hridi (šere) koristiti se planovima, te unaprijed pripremiti obalne karte i planove i na njima iscrtati planirane linije kursova sa svim potrebnim podacima.

Za vrijeme plovidbe redovito je na kartu potrebno ucrtavati zbrojene i prave pozicije. Azimuti i ostale stajnice također se moraju ucrtavati grafitnom vjetrovom i to pažljivo. Pored oznake pozicije nužno se mora nalaziti i vrijeme kad je pozicija ucrtana, bez obzira radi li se o pravoj ili zbrojenoj poziciji. Tijekom plovidbe po otvorenom moru dovoljno je određivati poziciju (pravu ili zbrojenu) svaki sat, ali pri plovidbi u blizinama obale određivanje pozicije mora biti znatno češće. Tijekom plovidbi u šerama zbrojenu ili pravu poziciju potrebno je određivati svakih deset minuta, pa i češće. Posebno je važna pravilna identifikacija otoka i navigacijskih oznaka, tako da je vrlo važno pratiti karakteristike pojedinih svjetionika nocu.

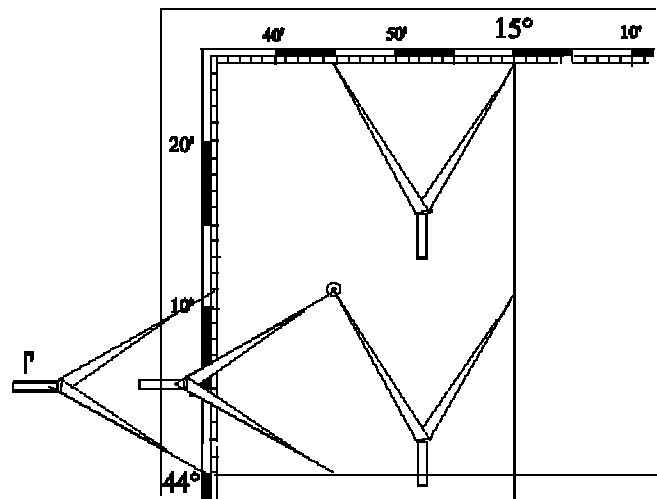
Radovi na pomorskoj navigacijskoj karti

Osnovni radovi su: unašanje i vadenje udaljenosti, unošenje i vadenje geografskih koordinata, unošenje i vadenje kursova i unošenje i vadenje azimuta.

Za unošenje i vadenje udaljenosti koristi se navigacijski šestar (slika 29). U šestar se uzme dužina između pozicija čija se međusobna udaljenost namjerava izmjeriti, zatim se šestar prenese na skalu širine i to na onoj geografskoj širini na kojoj se mjesta nalaze. Broj izmjerenih minuta geografske širine označava broj nautičkih milja.



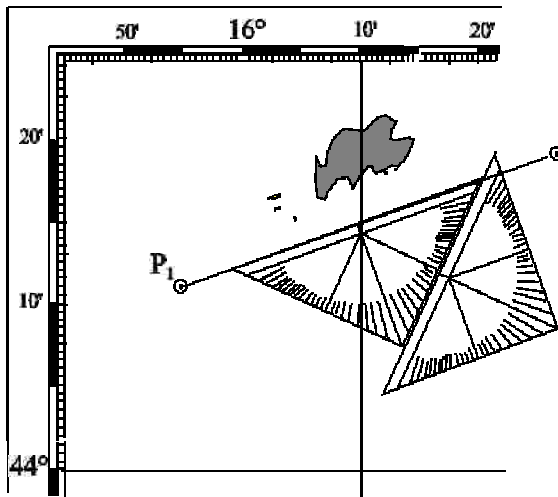
Slika 29.



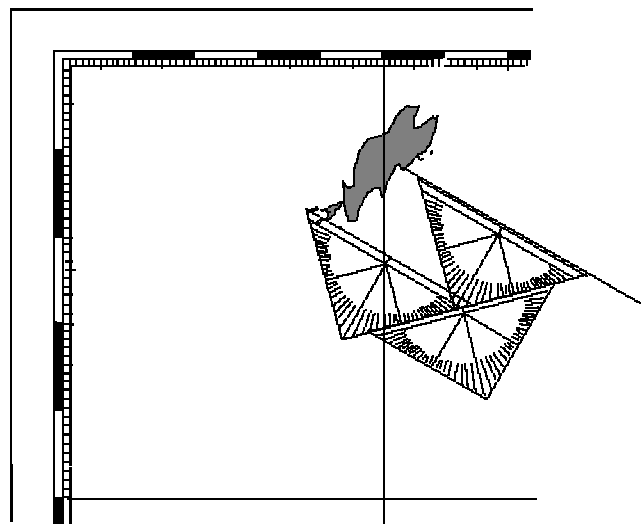
Slika 30.

Za vadenje ili unošenje koordinata pojedinih tocaka (slika 30) također se koristi navigacijski šestar. Kod vadenja geografske širine u otvor šestara uzima se udaljenost do najbliže paralele i zatim od te paralele na oznaci geografske širine očita se njezina vrijednost. Kod vadenja geografske dužine isto se radi u odnosu prema najbližem meridijanu. Kod unošenja koordinata postupak je obratan.

Kod unašanja i mjerenja kursova koriste se ili dvostruko ravnalo ili navigacijski trokuti. Ako se vrijednost kursa mjeri pomoću dvostrukog ravnala, pozicije između kojih se namjerava izmjeriti kurs spoje se ravnom linijom (linija kursa). Zatim se paralelnim ravnalom ta linija paralelno prenosi do najbliže ruže vjetrova (koja je ucrtana na karti) i očita vrijednost kursa, vodeći pritom računa o kvadrantima plovidbe. Kod unošenja kursa paralelnim ravnalom postupak je obratan. Ako se kurs mjeri navigacijskim trokutima na ucrtanu liniju kursa postavi se hipotenuza jednog navigacijskog trokuta, a koristeći drugi trokut linija kursa prenosi se paralelno do najbližeg meridijana te se na trokutu očita vrijednost kursa (slika 31). Kod unašanja kursa postupak je obratan. Kod vadenja i unašanja kursova linija kursa redovito se povlači od polazne prema dolaznoj poziciji. I kod vadenja i kod unašanja kursova važno je paziti na kvadrante plovidbe.



Slika 31.



Slika 32.

Kod mjerenja i ucrtavanja azimuta također se koriste ili paralelno ravnalo ili navigacijski trokuti. Ako se vadi azimut od nekog objekta ucrtava se crta od vlastite pozicije do objekta čiji se azimut vadi (linija azimuta), zatim se na tu liniju prisloni paralelno ravnalo i naizmjeničnim otvaranjem i zatvaranjem prenosi se do ruže vjetrova te čita vrijednost azimuta, pazeci na kvadrant. Pritom se azimut redovito čita od otvorenog mora prema objektu. Kod unašanja azimuta, što je najčešći slučaj kod određivanja pozicije, postupak je obratan. Ako se azimuti vade ili unose pomoću navigacijskih trokuta na liniju azimuta postavi se hipotenuza jednog trokuta, a zatim se ta hipotenuza paralelno povlači prema najbližem meridijanu te se na trokutu čita vrijednost azimuta. Za paralelni prijenos linije azimuta koristi se drugi navigacijski trokut (slika 32). Kod unošenja azimuta navigacijski se trokut postavi na potrebnu vrijednost na najbližem meridijanu, te se paralelno povlači prema objektu prema kojem je izmjeren azimut.

Osim navedenih postupaka iz navigacijske karte mogu se vaditi i drugi podaci, na primjer o uzvisina pomoću izohipsi, oblici podvodnih plicina pomoću izobata, dužine obala pojedinih otoka ili kopna, mjerenje brzine broda pomoću logaritamskog mjerila (nomograma) i td.

Pomocne karte

Razvojem posebnih navigacijskih sustava paralelno su se razvijale i posebne pomocne karte kojima su se ti sustavi jedino i mogli koristiti. Najstariji navigacijski sustavi bili su hiperbolici sustavi velikog dometa (Consol, Loran A i Loran C, još je u upotrebi jedino Loran C), globalni hiperbolici sustav Omega (više ne radi), te hiperbolici sustavi srednjeg dometa (Decca, Lorac, Raydist, u pomorskoj navigaciji koristi se samo Decca). S obzirom da se posredstvom tih sustava pozicija određuje mjerenjem vremenske razlike istovremeno emitiranih signala s različitih stanica ili signala koji se emitiraju s programiranim međusobnim zakašnjenjem (impulsni sustavi) ili mjerenjem faznih razlika istovremeno emitiranih signala s različitih stanica, karte koje su se koristile ili se još koriste (Loran C, Decca) imaju iscrtane hiperbole koje predstavljaju vremenske ili fazne razlike emitiranih signala. Najčešće su hiperbole za različite stanice označavane različitim bojama, na primjer za Omega na omega kartama iscrtane su zelene, crvene i ljubicaste hiperbole. Te pomocne karte zapravo su Merkatorove karte različitih mjerila koje se mogu upotrebljavati jedino za korištenje hiperbolinih navigacijskih sustava.

Posebno korisna pomagala u navigaciji su *pilotske karte* (*Pilot Charts*) koje izdaje *Defense Mapping Agency Hydrographic Center* iz SAD. Prikazuju velika područja oceana tako da im odgovara generalnim kartama, a izdaju se za svaki mjesec. Sadrže iscrp.n.e. podatke o navigacijskim uvjetima za različite mjesece, temeljene na statističkim klimatskim podacima (statistički obrađene brzine i smjerovi vjetrova, izobare, izoterme, područja magli, područja tišina i td) oceanografskim

podacima o kretanjima morskih struja, granicama leda, preporučene rute, ortodrome. Nužno su pomagalo tijekom oceanskih plovidbi i važan izvor informacija kod planiranja ruta.

Katalozi pomorskih karata su atlas na kojima su iscertani brojevi izdanih navigacijskih karata i područja koja one prikazuju. Osim našeg kataloga (*Katalog pomorskih karata i navigacijskih publikacija*) koriste se i mnogobrojni drugi katalozi, na primjer američki *Index of Nautical Charts, Catalog of Nautical Charts and Related Publications* ili britanski *Catalog of Admiralty Charts and other Hydrographic publications*.

Priručnici za plovidbu

U pomorskoj navigacijskoj praksi koristi se velik broj različitih priručnika za razne namjene. Najviše korišteni su peljari, popisi svjetionika, različiti priručnici za terestričku plovidbu, velik broj posebnih tablica za skraćena rješavanja navigacijskih zadataka, popisi radiosignala, astronomski godišnjaci, tablice plima, oseka i struja i td. Bez nekih od tih priručnika ne može se zamisliti plovidba. Zbog njihove važnosti nužno je njihovo održavanje u ažurnom stanju, tako da postoje i najrazlicitije publikacije koje služe za unašanje onih podataka koji su u međuvremenu izmijenjeni.

Peljar je najvažniji priručnik za plovidbu. Osim iscrpnog opisa stanja na određenom području izvor je i mnogobrojnih korisnih informacija o meteorološkim, oceanografskim, klimatološkim i ostalim uvjetima, daje iscrpne podatke o lukama, privezištima, sidrištima, dubinama strujama, svjetlima i td. Vrlo je bogata dopuna podacima koji su ucrtani na navigacijskim kartama. Na brodu se uglavnom koriste peljari britanskog admiralteta koji iscrpno opisuju sva plov područja na svijetu, a sačinjava ga sveukupno 75 knjiga (*Admiralty Sailing Directions*) te američki *Sailing Directions* u 43 knjige. Kod nas se koriste tri knjige peljara (*Jadransko more - istocna obala, Jadransko more - zapadna obala* i *Peljar Jonskog mora i Malteških otoka*).

Popis svjetionika pruža iscrpne podatke o svjetionicima i svim ostalim orskih svjetala (obalna i lueka svjetla, brodovi svjetionici, svjetlece plutace). Podaci su iscrpni, uz točne karakteristike, smještaj, nadmorsku visinu prikazan je i izgled svakog svjetla. Kod nas se upotrebljava *Popis svjetionika*, a od stranih najviše su u upotrebi *The Admiralty List of Lights, Fog signals and Visual Time signals* britanskog admiralteta u 12 knjiga.

Nauticke tablice sadrže velik broj različitih tablica za upotrebu u terestričkoj, astronomskoj i elektronskoj navigaciji. Danas su ih istisnuli različiti softverski paketi.

Astronomski godišnjaci donose ekvatorske koordinate nebeskih tijela koja se koriste u astronomskoj navigaciji (efemeride). Izdaju se svake godine. Kod nas se koristi *Nauticki godišnjak*, a najviše je u upotrebi *Brown's Nautical Almanac*. Danas se uglavnom koriste kao alternativa raznim softverskim rješenjima, najviše paketima *Sight* i *Sightmaster* u različitim varijantama.

Tablice morskih mijena koriste se za redukcije dubina izracun struja morskih mijena. Njihova upotreba danas je znatno reducirana mnogobrojnim softverskim programima od kojih je najviše u upotrebi *SHM* britanskog admiralteta u različitim varijantama. Inace se najčešće koriste britanske *The Admiralty Tide Tables* i američke *Tide Tables*.

Popisi radiosignala su knjige s podacima o različitim emisija koje se koriste u pomorskoj praksi (popis radio farova, obalnih radiostanica, radiogoniometarske stanice, signali tocnog vremena, navigacijski radio oglasi, sanitarne radio službe, meteorološke radio službe, sustavi hiperbolicne navigacije i td). Najviše se koristi britanski *The Admiralty List of Radio Signals* u 6 knjiga od kojih su za navigaciju najvažnije druga i peta (*Vol 1* - obalne stanice i peljarski brodovi; *Vol 2* - radio farovi i radarske stanice; *Vol 3* - meteorološki izvještaji i kodovi te faksimil; *Vol 4* - meteorološke stanice; *Vol 5* - time signal, radiooglas, izvještaji o ledu, sustavi hiperbolicne navigacije; *Vol 6* - nastavak popisa iz *Vol 1*). Uporabom novih sustava komunikacija u sklopu *Svjetskog pomorskog sustava za uzbuñjivanje* i sigurnost (*GMDSS - Global Maritime Distress and Safety System*) koriste se *ITU List of Coast Stations, ITU List of Ships Stations* (osam knjiga), *Radio Regulations* (3 knjige) i *Radio Map*.

Oglasi za pomorce

Oglasi za pomorce je mjesečna publikacija koja donosi obavijesti o izmjenama stanja na pomorskim kartama i priručnicima za plovidbu, te ostale obavijesti važne za si plovidbe.

Sadrži tri vrste obavijesti: *oglas*e kojim se ispravljaju navigacijske karte te ostale važnije informacije; *navigacijske radio oglase* i *NAVAREA oglas*e koji su trenutno na snazi (inace se ti oglasi svakodnevno primaju radioemisijama i u sklopu GMDSS-a te posebno ažuriraju u knjigama radio oglasa); *ispravke publikacija* koji se uvezuju u *Zbir dopuna* ili se dopunjuju *Peljari*, *Popis svjetionika* odnosno *Katalog pomorskih karata i publikacija*. Na brodovima je češće u upotrebi britanski *Admiralty Notice to Mariners* identičnog sadržaja.

S obzirom na veliku važnost pomorskih karata, priručnika i ostalih publikacija vrlo je važno njihovo ažuriranje i ispravljanje. Inspekcijske službe nadležne za sigurnost plovidbe u svim važnijim lukama svijeta nadziru brodove u smislu redovitog i urednog održavanja tih sredstava. Sve navigacijske karte moraju redovito biti ispravljene, knjige i dokumentacija važna za sigurnost plovidbe uredno vodena, primljeni radiooglas i uredno evidentirani, a NAVTEX obavijesti, EGC y Nett obavijesti i HF MSI obavijesti uredno arhivirani na disketu ili ispisani na printeru. Prekršaji se vrlo strogo sankcioniraju.

Elektronske karte

Upotreba elektronskih karata rapidno raste u navigacijskoj praksi, a razlozi su razumljivi i mnogobrojni: prije svega arhiviranje, aktiviranje i ispravljanje mnogo je jednostavnije, a uz to elektronske karte se mogu upotrebljavati u kombinaciji sa praktično svim instrumentima za navigaciju: GPS prijemnikom, radarom, žirokompasom, dubinomjerom i td. U nekom obliku već su prisutne na velikoj većini brodova, najčešće kao ploteri koji omogućavaju točno pozicioniranje uporabom GPS prijemnika ili radara. Upotrebom elektronskih karata u svakom trenutku je poznata prava pozicija, mogu se iz memorije plotera vaditi podaci o poziciji u bilo koje vrijeme, može se planirati plovidba i unaprijed određivati točke promjene kursa (waypoints). One najkvalitetnije prikazuju i mnogo više detalja (Navionics, Furuno), a mjerilo karte jednostavno se mijenja zumiranjem.

Uglavnom se koriste dvije bitno različite vrste elektronskih karata: *rasterske elektronske karte* i *vektorske elektronske karte*.

Rasterske elektronske karte zapravo su elektronska reprodukcija klasičnih navigacijskih karata. Na monitoru računala izgledaju jednako kao i klasična navigacijska karta, a sadrži i iste podatke. Dobije se skeniranjem izradenih karata, a takav način izrade u znatnijoj mjeri pojeftinjuje izradu i time cijenu koštanja. Međutim ta okolnost ograničava preciznost i broj informacija koje su određene upravo brojem informacija koje se nalaze na navigacijskoj karti. Zumiranjem (povećavanjem) rasterske elektronske karte ne povećava se broj detalja, već se samo izrazitije vide one pojedinosti koje su inače na kartu ucrtane. Zbog bolje preglednosti u praksi se skeniraju navigacijske karte većeg mjerila koje se onda međusobno povezuju. Nerijetko su na takvim kartama prikazani i planovi.

Najpoznatije svjetske firme za izradu rasterskih navigacijskih karata (Navionics, Furuno, Maptech, Chart Kit, Laser Plot, NDI-CHS, ARCS) skeniraju pomorske navigacijske karte koje su izradile američka agencija NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Agency) i britanski Admirality.

Vektorske elektronske karte značajno se razlikuju od rasterskih: prikaz određenog područja vrši se izvršavanjem programa koji matematičkom (vektorskom) analizom grafički ispituje konture obala i sve sadržaje na području koje karta prikazuje. I izgled vektorske elektronske karte bitno je drugačiji od izgleda rasterske elektronske karte: dok su obrisi obala kod rasterske elektronske karte jednaki neovisno o mjerilu, kod vektorske elektronske karte konture obala mijenjaju se promjenom mjerila. Budući da koriste svega stotinu dio memorije u odnosu na rastersku kartu vektorske elektronske karte mnogo se lakše i brže mogu zumirati, sadrže mnogo veći broj podataka, a broj detalja povećava se povećavanjem mjerila. Podaci koje karte sadrže mogu se naknadno dograđivati, a ispravljanje je vrlo jednostavno: umetanjem diskete s ispravicama u disketnu jedinicu i njezinim aktiviranjem.

Uglavnom sve elektronske karte koriste matematičke modele kojima se konstruira Merkatorova karta. Pritom neki proizvođači kod izrade karata Zemlju smatraju kuglom, dok neki uračunavaju elemente Zemlje kao elipsoida. Pritom se koriste različita mjerenja elipsoida. Najčešće upotrebljavane elektronske rasterske karte firme Navionics (skenirane navigacijske karte agencije NOAA) koriste US standard NAD 27 (North American Datum), dok vektorske elektronske karte istog proizvođača koriste međunarodni standard WGS 84 (World Geographical Standard) poglavito iz razloga što i GPS

sustav koristi isti standard. Ukoliko GPS ploter koristi elektronsku kartu standarda NAD 27 razlika u poziciji može iznositi i do 40 metara. Kod nekih rasterskih elektronskih karata evropskih proizvođača korišten je i standard WGS 72.

Kod ispisa na displeju koriste se dva modela: preklopni (Chart By Chart) ili dodirni (Seamless). Kod preklopnog svaka karta ima svoj broj i svoju datoteku, i na monitoru se prikazuje samostalno, a neko drugo područje prikazat će se otvaranjem druge datoteke. Određena područja prikazana su istovjetno kao i na klasičnoj navigacijskoj karti, a mjerila karata međusobno su potpuno neovisna. Dodirna tehnologija izrade elektronskih karata podrazumijeva međusobno spajanje globalnih područja, tako da ne postoji rub, vrh ili dno karte. Mjerilo se određuje za svaki dio karte. Na primjer, elektronska karta dodirne tehnologije proizvođača Navionics koja pokriva cijeli svijet radena je 13 godina, a uzimani su podaci sa čak 15 000 navigacijskih karata. Kod rasterskih elektronskih karata koristi se preklopni model, a kod vektorskih češće preklopni nego dodirni.

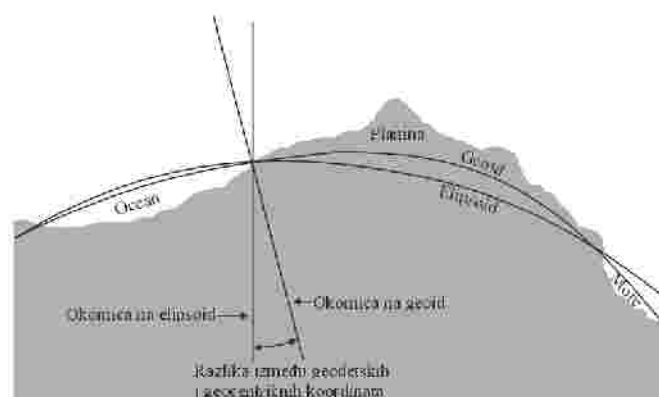
Elektronske karte prilagodene su upotrebi zajedno s različitim drugim navigacijskim sredstvima i sustavima: s GPS-om i DGPS-om, radarom, žirokompasom, dubinomjerom, brzinomjerom, Loranom C i td. Na primjer, Navionicsove elektronske karte prilagodene su radarskom dometu u rasponu od 1/8 M (s mjerilom 1:10000) do 64 M. Pritom je radarsku sliku i elektronsku kartu potrebno uskladiti samo jednom, a nakon toga slike se uskladjuju automatski izmjenom radarskog dometa.

Najviše su u upotrebi elektronske karte Navionics, Furuno, ARCS (rasterske elektronske karte), GMT (Generic Mapping Tools), Laser Plot i td.

Svjetski geodetski sustavi (WGS – World Geodetic System) i elektronske karte

Za izradu elektronskih karata nužno je definirati vrst kartografske projekcije na kojoj će se karta temeljiti. Većina navigacijskih karata koristi Merkatorovu projekciju u kojoj su paralele usporedni pravci koji se šire prema polovima s funkcijom $1/\cos f$, a meridijani usporedni pravci koji se prema polovima šire također s funkcijom $1/\cos f$. Zemlja je elipsoid kojemu je ekvatorska poluos veća od polarne, a tijekom stoljeća nos velike i male poluosi više je puta mjerena. U dvadesetom stoljeću standardi su unificirani na svjetskoj razini.

S obzirom na različite (aproksimirane) oblike Zemlje kao geometrijskog tijela postoje i različite koordinate: geodetske, zasnovane na Zemlji kao geoidu i geocentrične, zasnovane na Zemlji kao elipsoidu (slika 33). Kod izrade karata (papirnih ili elektronskih) javlja se razlika između tih koordinata.



Slika 33.

Za izradu navigacijskih karata koriste se standardi (datumi) zasnovani na nekom od geodetskih sustava.

Pod pojmom geodetskog datuma podrazumijeva se skup parametara kojima se definira položaj ishodišta, mjerilo i orijentacija koordinatnog sustava s obzirom na Zemlju. U pravilu uključuje i definiciju elipsoida kao matematičkog oblika Zemlje. Uz pomoć datuma se

referentni koordinatni sustav definira u odnosu na stvarni svijet. U geodetskoj praksi susreću se lokalni i globalni datum.

Lokalni geodetski datum omogućava da se matematičkim modelom (referentnim elipsoidom) što je moguće bolje na mjerеноm području aproksimira oblik Zemlje (geoid), a karakterističan je za dosadašnje klasično definirane geodetske referentne sustave, najčešće uz pomoć astronomije i geodezije (astrogeodetska metoda).

Globalni (svjetski) geodetski datum omogućava da se matematičkim modelom – globalnim elipsoidom što je bolje moguće globalno (cijeli svijet) aproksimira geoid. On je u pravilu geocentrički (ishodište koordinatnog sustava smješteno je u centar Zemlje).

Geodetski datumi koji su najviše zastupljeni u izradi pomorskih navigacijskih karata su:

Sjevernoamerički datum (*Nord American Datum 1927 – NAD 27*) temeljen na geodetskom sustavu i elipsoidu Clarka iz 1866. koristio se 50 godina, do zamjene navigacijskih karata WGS sustavom. Standard je određen triangulacijskim mjerenjima s referentnom točkom na Mead's ranchu u Kansasu.

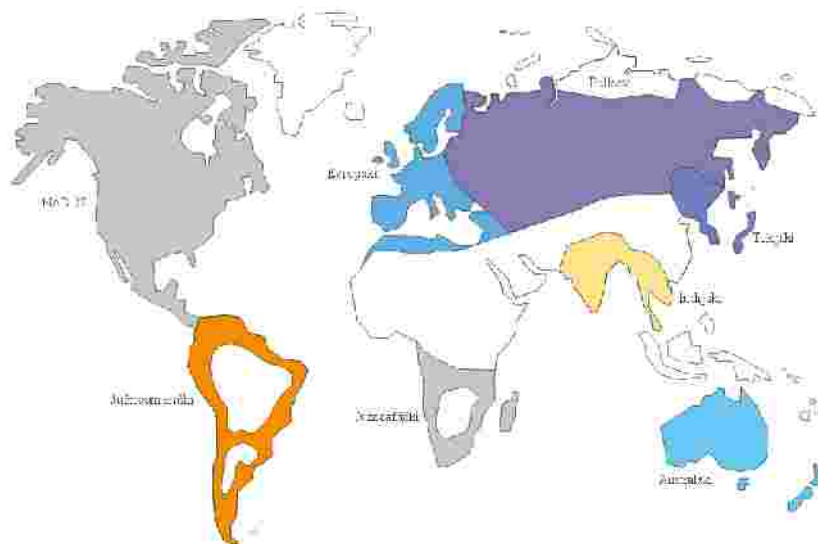
Izvorište triangulacijskih mjerenja europskog datuma (*European Datum*) je referentna točka u Potsdamu u Njemačkoj, a korišteni matematički modeli odnosili su se na sustav mjerenja koji je određen 1924. (*International Standard*). Evropski, Afrički i Azijski triangulacijski lanac međusobno su povezani, tako da su mjerenja u Africi (od Kaira do Capetowna) prilagođena europskom standardu. Taj je standard primijenjen i na mjerenja u Aziji, a 1932. prilagođen mu je i sustav Pulkov koji je koristio SSSR.

Britanski datum 1936. (*OSGB36 – Ordinance Survey of Great Britain 1936 Datum*) koristi najbolje rezultate svih mjerenja između 1783. i 1853. godine. Po ovom standardu radene su navigacijske karte britanskog Admiriteta. Pogodan je standard za područja koja imaju male razlike geografskih dužina (na primjer Čile ili područje Velike Britanije).

Tokijski datum koristio je podatke Besselovog elipsoida. Mjerenja su obuhvatila teritorij Japana, Koreje i Mandžurije. Od 31. ožujka 2002. sve karte koje su se temeljile na ovom standardu proglašene su nevažećima.

Indijski datum koriste Indija, ali i druge države Jugoistočne Azije. Prihvaćen je 1880. a zasnovan je na elipsoidu Everesta (*George Everest 1790.-1866.* poznat najviše po Mont Everestu koji je po njemu dobio ime), s referentnom točkom u Kalianpuru u središnjoj Indiji.

Osim opisanih navigacijske karte koriste i ostale standarde: južnoamerički, australski, centralnoazijski, južnoafrički. Gruba podjela svjetskih regija koje koriste neke od spomenutih standarda prikazana je na slici 34.



Slika 34.

Navigacijske karte koje izrađuje Hidrografski institut u Splitu bazirane su na elipsoidu Bessela (iz 1842.) i referentnom meridijanu Beca. Pogreške u odnosu na WGS 84 postaju veće na geografskim dužinama koje se udaljavaju od tog meridijana (meridijan Beca prolazi sredinom otoka Kaprije u blizini Šibenika). Za izradu seta vektorskih elektronskih navigacijskih karata (*NavPro*) korišten je standard WGS 84. Sjedinjene Američke Države razvijale su vlastite standarde od prihvaćenog NAD 27 (*North American Datum 1927*) do najnovijeg WGS 84 (*World Geodetic System 1984*). Razlika između ova dva standarda iznosi između 40 metara u Floridi do 150 metara u državi Maine. Ostale države navigacijske su karte izradivale na temelju istih ili drugacijih standarda, a neke su temeljene na WGS 72.

U novije vrijeme svi se standardi prilagodavaju sustavu WGS 84, a neki su već proglašeni nevažećima (Tokijski, NAD 27 i td.). Republika Hrvatska prihvatila je Evropski terestrički referentni sustav ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) Odlukom o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske 2004. godine. Datum se temelji na podacima za elipsoid GRS80 (*Geodetic Reference System 1980.*) koji je identičan WGS84.

Kvalitetnu vektorsku navigacijsku kartu za područje Jadranskog mora i obale Hrvatske, Slovenije, Crne Gore, Albanije i istočne obale Italije izradila je zagrebacka firma *CV Sistemi*. Izradene su četiri verzije: *NavPro* namijenjena velikim brodovima i profesionalnim nautičarima, *NavAdria* prilagodena potrebama nautičkog turizma, *NavMini* namijenjena ribarskim brodovima i *NavTrack* namijenjena pracenju plovila.

NavPro je visokokvalitetna vektorska elektronska navigacijska karta jednostavne uporabe koja omogućava povezivanje na sve brodske navigacijske sustave (žirokompas, radar, GPS, brzinomjer, dubinomjer), s ugrađenim automatskim alarmiranjem, bogatim navigacijskim uputama i ostalim informacijama (peljar, turističke informacije, 3000 fotografija). Omogućeno je planiranje plovidbe (ucrtavanje kursova, točki okretišta, račun vremena i td.), redovno ažuriranje karte i navigacijskih podataka i još velik broj mogućnosti. Mjerilo karte moguće je mijenjati zumiranjem od 1:5.000 do 1:4.000.000.

Rasterske elektronske karte Jadranskog mora mnogobrojne su, a najčešće se koriste verzije Navichart, Farevela, Fugawi i td.

Vektorska elektronska navigacijska karta *Navionics* razvijena je iz 15000 papirnatih karata, ispravljenih za pogreške koje proizlaze iz standarda karata. Kad je god to bilo moguće kao standard koristio se WGS 84 koji je kompatibilan sa sustavom GPS a ako je primijenjen drugi standard veličina pogreške označena je kao upozorenje. Prilagodena je radarskom prikazu s dometom od 1/8 M (pritom se koristi mjerilo karte 1:10 000) do 64 M.

Vektorska elektronska navigacijska karta *Furuno* dizajnirana je u više verzija za uporabu na svim vrstama brodova. Omogućeno je priključivanje osam vanjskih senzora istovremeno. S obzirom na mogućnost priključivanja prijemnika GPS razvijene su verzije *GP80* i *GP80D*. *GP80D* omogućava priključak prijemnika *DGPS*, što jamči pozicioniranje do najviše razine točnosti. Verzija *NMEA 0183* razvijena je s obzirom na mogućnosti priključka ostalih navigacijskih instrumenata.