

Autor
© Anton-Toni Simović, 2000.

Urednik
Neven Elezović

Recenzenti
Pavle Komadina
Josip Sušanj
Gordan Papeš

Nikola Poduje

Lektorica
Jelena Pranjić-Brajdčić

Nakladnik
ELEMENT, Zagreb, Republike Austrije 11
tel. 01/37-777-37, 01/37-777-44, fax 01/37-736-41
<http://www.element.hr/>
e-mail: element@element.hr

Za nakladnika
Silva Elezović

Računalni slog i prijelom
GEADATA d.o.o., Zagreb
Božidar Feldbauer

Design ovitka
Julija Vojković

Tisak i uvez
KIKA – GRAF, Zagreb

Anton-Toni Simović

ELEKTRONIČKA NAVIGACIJA

Treće prerađeno izdanje

ELEMENT
Zagreb, 2000.

SADRŽAJ

PREDGOVOR	1
UVOD	1
SUSTAV ZBROJENE NAVIGACIJE	3
1. Temeljni uređaji	3
1.1. Girokompas	3
1.1.1. Teorijska načela girokompasa	3
1.1.2. Girooskop – osjetilo kompasa	5
1.1.3. Moment povratka gira	8
1.1.4. Pogreška girokompasa	9
Pitanja	12
1.2. Girokompas Sperry	12
1.2.1. Glavni dijelovi	12
1.2.2. Prateći sustav kompasa	18
1.2.3. Prijenosni sustav kompasa	18
1.2.4. Tipovi girokompasa Sperry	20
Pitanja	22
1.3. Girokompas Anschütz	22
1.3.1. Glavni dijelovi	22
1.3.2. Načelo rada matičnog kompasa	29
1.3.3. Ostali tipovi girokompasa	30
Pitanja	32
1.4. Ostali uređaji zbrojene navigacije	32
1.4.1. Elektronički kompas	32
1.4.2. Giromagnetski kompas	33
1.4.3. Ultrazvučni Dipplerov brzinomjer	33
1.4.4. Kursograf	34
1.4.5. Zbirni stol	35
Pitanja	36
1.5. Inercijalni navigacijski uređaj	38
1.5.1. Opća načela	38
1.5.2. Ustroj i rad sustava	38
1.5.3. Uporaba uređaja	41
Pitanja	41
1.6. Digitalna kartografija–elektronska navigacijska karta	41
1.6.1. Temeljna načela	41
1.6.2. Posebnosti elektronske karte	42
1.6.3. Sustavi uporabe navigacijskih elektronskih karata	46
Pitanja	46
RADIONAVIGACIJSKI SUSTAVI	47
2. Terestrički azimutni radiosustav	47
2.1. Radiofar	47
2.1.1. Opća načela	47
2.1.2. Kružni radiofar	47
2.2.3. Usmjereni radiofar	49

Intelektualno je vlasništvo, poput svakog drugog vlasništva, neotuđivo, zakonom zaštićeno i mora se poštivati. Nijedan dio knjige ne smije se preslikavati niti umnažati na bilo koji način, bez suglasnosti autora i pismenog dopuštenja nakladnika.

Uporaba udžbenika odobrena je rješenjem
Ministarstva prosvjete i športa Republike Hrvatske
(Klasa: UP/1°-602-09/00-01/307, Urbroj 532/1-00-1 od 1. lipnja 2000.)

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb

UDK 372.862.139 (075.3)

621.39:656.05>(035)

SIMOVIĆ, Anton-Toni
Elektronička navigacija / Anton-Toni Simović. – Za-
greb : ELEMENT, 2000.

ISBN 953-197-131-5

401016110

ISBN 953-197-131-5

2.1.4.	Radiofar s okretnom antenom	50	4.4.	Globalni radionavigacijski sustav	83
	Pitanja	50	4.4.1.	Načela i ustroj sustava	83
2.2.	Radiogonimetar	51		Pitanja	84
2.2.1.	Načelo radio smjeranja	51		RADARSKI I INTEGRIRANI NAVIGACIJSKI SUSTAV	85
2.2.2.	Radiogonimetar Bellini-Tosi	52	5.	Radar	85
2.2.3.	Suvremeni radiogoniometri	53	5.1.	Teorijski temelj i glavni dijelovi radara	85
2.2.4.	Radioazimut	54	5.1.1.	Načelo rada	85
2.2.5.	Radiopozicija brod	57	5.1.2.	Svojstva radarskih valova	86
2.2.6.	Radiogonimatarska obalna postaja	58	5.1.3.	Dijelovi radara	86
	Pitanja	59	5.1.4.	Katodna cijev	89
	Zadaci	60	5.1.5.	Mjerno područje	95
3.	Terestrički hiperbolni radiosustavi	61	5.2.	Prostiranje radarskih valova	96
3.1.	Temeljna načela i podjela	61	5.2.1.	Opće značajke	96
3.2.	Consol	61	5.2.2.	Radarski snop	96
3.2.1.	Načelo sustava	61	5.2.3.	Utjecaj refrakcije	97
3.2.2.	Određivanje azimuta i pozicije broda	62	5.2.4.	Vođenje radarskih valova	98
3.3.	Loran	62	5.2.5.	Utjecaj morske površine	98
3.3.1.	Načelo sustava	62	5.2.6.	Meteorološki uvjeti	99
3.3.2.	Loran-A sustav	63	5.2.7.	Radarski domet	100
3.3.3.	Loran-C sustav	64	5.2.8.	Najmanja radarska udaljenost	102
3.3.4.	Lorna-C karta	65	5.2.9.	Točnost radarske udaljenosti	104
3.3.5.	Prijamnik loran-C	65	5.2.10.	Razlikovanje udaljenosti	105
3.3.6.	Određivanje pozicije broda	66	5.2.11.	Pouzdanost radarskog azimuta	106
3.4.	Decca	67	5.2.12.	Razlikovanje azimuta	106
3.4.1.	Načelo sustava	67	5.3.	Radarska slika	108
3.4.2.	Decca karte	68	5.3.1.	Opća podjela	108
3.4.3.	Decca prijamnik-pozicija broda	69	5.3.2.	Relativna radarska slika	108
3.5.	Omega	71	5.3.3.	Prava radarska slika	110
3.5.1.	Načelo sustava	71	5.4.	Analiza radarske slike	113
3.5.2.	Omega karte i tablice	71	5.4.1.	Opća načela	113
3.5.3.	Omega prijamnik-pozicija broda	71	5.4.2.	Odslikavanje plovila na videozaslonu	114
	Pitanja	72	5.4.3.	Odslikavanje kopna na videozaslonu	115
4.	Satelitski radionavigacijski sustavi	73	5.4.4.	Jasnoća radarske slike	116
4.1.	Vrste i načela sustava	73		Pitanje	118
4.1.1.	Razvitak sustava	73	6.	Plovidba s pomoću radara	120
4.1.2.	Načela sustava	73	6.1.	Radarske oznake	120
4.1.3.	Izvori pogrešaka	75	6.1.1.	Radarski farovi	120
4.2.	Navsat ili Transit	76	6.1.2.	Kutni radarski reflektori	121
4.2.1.	Načelo sustava	76	6.2.	Određivanje pozicije broda	122
4.2.2.	Određivanje pozicije broda	77	6.2.1.	Načela plovidbe	122
4.3.	Navstar GPS sustav	77	6.2.2.	Mjerenje azimuta	122
4.3.1.	Načelo rada	77	6.2.3.	Mjerenje udaljenosti	125
4.3.2.	Radiomreža sustava GPS	77	6.2.4.	Pomagala za plotiranje	129
4.3.3.	Diferencijalna GPS postaja	79	6.2.5.	Pozicija broda mjerenjem azimuta i udaljenost	135
4.3.4.	Izvori pogrešaka i točnost GPS sustava	80	6.2.6.	Pozicija broda mjerenjem dvaju ili više azimuta	135
4.3.5.	Brodski prijamnik GPS i njegova uporaba	80	6.2.7.	Pozicija broda određena mjerenjem vodoravnih kutova	136
			6.2.8.	Pozicija broda istodobnim mjerenjem više udaljenosti	136

6.3.	Pomoćne navigacijske metode	138
6.3.1.	Pozicija na temelju radarskih obrisa obale	138
6.3.2.	Radarski pokrivni smjerovi	139
6.3.3.	Sigurna radarska udaljenost	140
6.3.4.	Uplovljivanje na sidrište	140
6.3.5.	Provjera puta preko dna uporabom kursor-ploče	142
6.3.6.	Identificiranje nepoznatog objekta	143
6.3.7.	Lučka i obalna radioradarska postaja	143
	Pitanja	145
	Zadaci	146
7.	Primjena radara u izbjegavanju sudara na moru	147
7.1.	Rizik sudara	147
7.1.1.	Opća načela	147
7.1.2.	Analiza rizika sudara	147
7.2.	Grafičko plotiranje	149
7.2.1.	Pravo plotiranje	149
7.2.2.	Relativno plotiranje	152
7.2.3.	Trokut vektora	155
7.2.4.	Provjera da li se promatrani objekt kreće	156
7.2.5.	Određivanje kursa i brzine promatranog broda	158
7.2.6.	Najbliža točka mimoilaženja	159
7.2.7.	Mimoilaženje brodova na određenu udaljenost	161
7.3.	Automatsko radarsko plotiranje - ARPA/RADAR	167
7.3.1.	Opća načela	167
7.3.2.	Sustav ARPA/RADAR DECCA	170
7.3.3.	Sustav ARPA/RADAR SPERRY	171
7.3.4.	Sustav ARPA/RADAR NORCONTROL	174
7.3.5.	Sustav ARPA/RADAR DIGILOT	176
	Pitanja	177
	Zadaci	177
8.	Integrirani navigacijski ustav i automatizacija	180
8.1.	Načela i uporaba integriranog sustava	180
8.1.1.	Načela sustava	180
8.1.2.	Ustroj integriranog sustava	181
8.1.3.	Uporaba integriranog navigacijskog sustava	184
8.2.	Automatizacija na trgovačkom brodu	186
8.2.1.	Opća načela	186
8.2.2.	Automatsko kormiliranje	187
8.2.3.	Elektronički autopilot	191
8.3.	Navigacijska vježbaonica ARPA	196
8.3.1.	Opća načela	196
8.3.2.	Radarski navigacijski simulator	196
	Pitanja	198
	LITERATURA	199

PREDGOVOR

Udžbenik "Elektronička navigacija" obrađuje građu u skladu sa ciljem i programom izučavanja istoimenog nastavnog predmeta u pomorskim školama. Temeljita teorijska izlaganja s brojnim zaključcima, praktičnim uputama, odabir i način obrade elektroničkih navigacijskih uređaja, knjizi daje i obilježje neophodnog priručnika za pomorce koji kao časnici brodske posade obavljaju dužnosti u sastavu plovidbene straže. Tako stručno i metodički obrađena građa u skladu je i s najnovijom IMO-ovom *Konvencijom o izobrazbi kadrova u pomorskom prometu*, tzv. *STW Code* (eng. *Seafares Training, Certification and Watchkeeping Code*). Različitosti u tisku, brojna pitanja i primjeri na kraju pojedinog poglavlja upućuju korisnika na ono što mora znati, a što služi za bolje razumijevanje odnosno šire izučavanje temeljne građe.

Primjenom elektroničkih uređaja u navigaciji, teorijski je ukinuta granica između obalne i oceanske navigacije. Utemeljen je jedan globalni navigacijski sustav u kojemu klasična podjela navigacije postaje beznačajna. To znači da tzv. elektroničku navigaciju valja izučavati kao komplementaran, a ne kao isključivi dio tog sustava.

Zahvaljujem nakladniku "Element" iz Zagreba, kolegama recenzentima i nastavnicima, koji su dali korisne prijedloge i time doprinijeli kvaliteti udžbenika.

Posebno dužno poštovanje iskazujem kap. Nikoli Poduji, profesoru Srednje škole Ambroza Haračića u Malom Lošinj, koji nažalost ovo izdanje nije doživio.

A U T O R

U Zagrebu, 3. travnja 2000.

UVOD

Elektronička navigacija obuhvaća sve one sustave u kojima se pozicija broda, odnosno crta pozicija i drugi navigacijski elementi koji pridonose sigurnosti plovidbe, određuju uporabom elektroničkih uređaja. Mjerenja ne ovise o stanju atmosfere, ali odstupanja meteoroloških elemenata od standardne atmosfere u određenim uvjetima mogu utjecati na širenje elektromagnetnih valova, a time i na točnost rezultata.

Odašiljačke i prijamne postaje čine složeni elektronički uređaji na kopnu i brodu. *Podjela sustava* može se obaviti s različitim stajališta: *prema obliku crte pozicija* (azimutni, kružni ili daljinomjerni, hiperbolni), *prema uređaju* (kompasni, inercijalni, hidroakustički, radio, radarski), *prema složenosti* (jednostavni – uređaji čine jednu navigacijsku jedinicu (sklop); složeni – više elektroničkih uređaja ili sklopova; integrirani – sklop nekoliko elektroničkih navigacijskih jedinica, posebnih uređaja i osjetila u sprezi s matičnim elektroničkim računalom, redovito smještenih na mjestu za upravljanje brodom), *prema području primjene* (lučki ili obalni – do 150 M dometa; oceanski – dometa manjeg od 600 M i više od 600 M; globalni sustav – obuhvaća cijelu zemaljsku površinu, odnosno sve svjetske plovidbene putove).

Metode određivanja pozicije broda, bez obzira na sustav, područje i uvjete plovidbe, temelje se na crti pozicija. *Pravac pozicija* daju azimutni elektronički sustavi (radiofar, radiogoniometar, consol i radar; u hidroakustičkoj navigaciji sonar). *Kružnicu pozicija* daju elektronički sustavi koji omogućuju mjerenje udaljenosti (radioakustički far i radar, te sonar). *Hiperbolu pozicija* daju radionavigacijski sustavi koji se temelje na mjerenju razlika udaljenosti između brodskog radioprijamnika i para odašiljača kopnenih radiopostaja točno poznatih pozicija; impulsni prijamnik na brodu mjeri razlike udaljenosti na osnovi vremenske razlike prijama radiosignala istodobno odaslana s dva odašiljača (loran); fazni prijamnik mjeri faznu razliku radiosignala primljenih s dva odašiljača različitih, ali međusobno usklađenih, frekvencija (Decca, omega); Dopplerov prijamnik mjeri razliku udaljenosti između dvije točke na stazi gibanja radioodašiljača integriranjem Dopplerovih pomaka frekvencija za proteklo vrijeme (satelitski sustav) ili promjenu frekvencija hidroakustičnog signala zbog gibanja broda.

Zbrojena navigacija ostaje i dalje temelj svim navigacijskim sustavima. Inercijalni uređaj (zasad redovito za ratne brodove), suvremeni girokompas ili elektromagnetski (elektronički) kompas, ultrazvučni (Dopplerov) brzinomjer i giropilot omogućili su da se ona razvije u tzv. *sustav zbrojene navigacije*.

Hidroakustični navigacijski sustav dopuna je sustavu terestričke navigacije, pogotovu pri plovidbi opasnim obalnim područjima i u uvjetima ograničene vidljivosti. Njega čine hidroakustičke plutače, odnosno odašiljači postavljeni pod vodom na točkama plovidbenog puta, koji odašilju signale određenih karakteristika; na brodu se nalaze ultrazvučni dubinomjer, sonar (podvodni ultrazvučni lokator) i Dopplerov sonar.

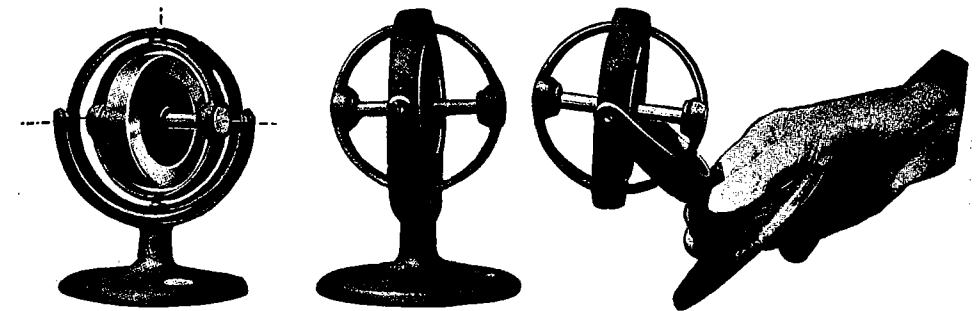
Očekivati je daljnji razvoj programirane (automatizirane) navigacije koja se temelji na sustavu zbrojene (inercijalne, zasad za ratne brodove) navigacije i satelitskom radiosustavu (*Navstar GPS*). Takav razvoj navigacije i meteorologije (prognoze vremena i valovlja, usmjeravanje brodova na optimalne rute) mijenja klasično shvaćanje uloge "pomoračkog oka" i vještine upravljanja brodom. Zato su za obrazovanje kadrova u pomorskom prometu posebice važni suvremeni školski kabineti i vježbaonice opremljene simulatorima za određene programe. Na to upućuje i najnovija IMO-a *Konvencija o izobrazbi kadrova u pomorskom prometu*, tzv. *STCW Code (Seafares Training*,

SUSTAV ZBROJENE NAVIGACIJE

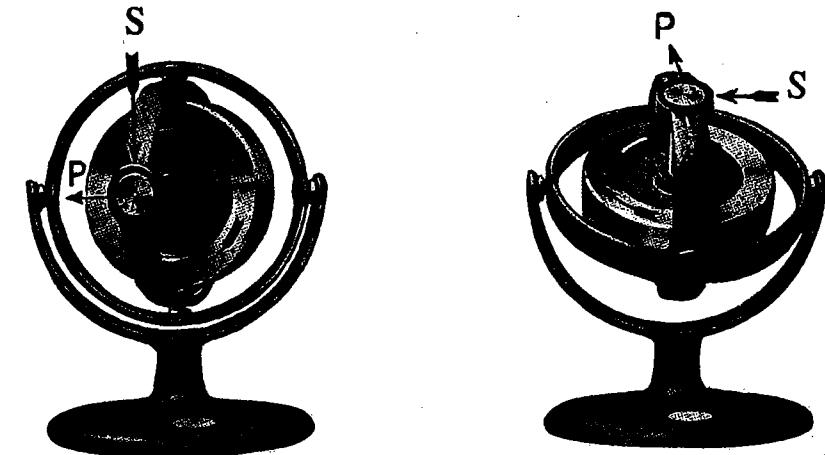
1. Temeljni uređaji

1.1. Girokompas

1.1.1. Teorijska načela girokompasa. Girokompas je vrsta kompasa u kojega je osjetilo obješeni giroskop (s brzrotirajućim girom), koji 0° (N) kompasne vjetrovlje stalno drži u smjeru meridijana. Giro je kruto tijelo jednakomjerno raspoređene mase oko rotacijske osi, u kojoj leži i njegovo težište. Takav giro obješen u kardanskom sustavu s težištem u sjecištu triju osi (giro s tri slobodne osi) naziva se *slobodni giro*, odnosno *giroskop* (sl. 1.1.). Njegova se rotacijska os može postaviti u bilo koji položaj pa se i giro može vrtjeti istodobno oko sve tri osi.



Sl. 1.1. Giroskop – smjer rotacijske osi gira ostaje nepromijenjen



Sl. 1.2. Precesiranje osi slobodnog gira
S - djelujuća sila; P - smjer precesije

Giroskop je glavni dio girokompasa. Osim dviju stalnih *prirodnih pojava*, rotacije Zemlje i sile teže, uz tehničku konstrukciju girokompasa, važne su i *dvije fizikalne osobine giroskopa*: girokopska ustrajnost i pravilna girokopska precesija.

Rezultat je tih osobina to što rotacijska os leži vodoravno u ravnini obzora i automatski se postavlja u ravninu meridijana bez obzira na trenutačno stanje broda.

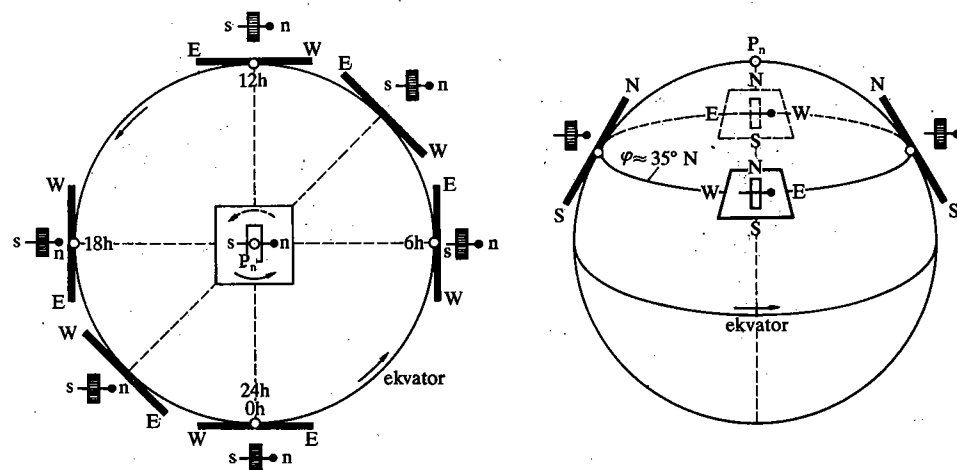
Zakon giroskopske ustrajnosti. Rotirajući giro s tri stupnja slobode, ako se zanemari trenje, nastoji zadržati smjer rotacijske osi u prostoru. Što je ustrajnost veća, jače se odupire svakoj sili koja ga nastoji otkloniti iz položaja mirovanja. Ustrajnost rotacije gira ovisi o momentu ustrajnosti (I) i brzini okretanja gira, odnosno o broju okretanja u minuti (n). Umnožak momenta inercije i kutne brzine gira (ω) naziva se *kinetičkim momentom gira*. Takav giro nije uporabljiv za osjetilni element girokompasa. Prema zakonu giroskopske ustrajnosti, njegova rotacijska os samo će na geografskom ekvatoru stalno pokazivati smjer meridijana, i to ako je njezin početni položaj u meridijanu i u ravnini obzora.

Moment giroskopske ustrajnosti (I) jednak je zbroju masa (m) svih čestica tijela gira pomnoženih s kvadratom polumjera (r) računatih od osi rotacije gira. On se može povećati izborom većeg polumjera gira, a pri zadanom polumjeru povećanjem mase gira, odnosno pomicanjem mase prema obodu. Zbog toga girokompas *Anschütz*, koji ima malu masu gira, ali giro ima velik broj okretanja (oko 20 000 u min), a girokompas *Sperry*, gira s velikom masom, ima manji broj okretanja (oko 6000 u min).

$$I = m \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2}{2} [\text{kg/m}]; \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \text{s}^{-1}$$

Brzina okretanja gira izražava se kutnom brzinom (ω), tj. kutom što ga u jedinici vremena prijeđe svaka točka tijela gira. Predstavlja se vektorom koji leži u smjeru rotacijske osi i mjeri se u radijanima u sekundi [rad^{-1}]. Ako se gleda u smjeru vektora, giro se okreće u smjeru gibanja kazaljke na satu.

Zakon pravilne giroskopske precesije (sl. 1.2.). Ako vanjska sila (T) pokuša promijeniti položaj (smjer) rotacijske osi gira koji se okreće velikom kutnom brzinom (ω), os gira odupire se djelovanju i istodobno izmiče u smjeru precesiranja koji odstupa za 90° od smjera okretanja gira (P). Drugim riječima, giro će se uvijek zakretati oko one osi koja je paralelna sa smjerom djelovanja vanjske sile: ako zakretni moment djeluje oko vodoravne osi, rotacijska os gira precesira oko vertikalne osi, i obratno. Zakretanje rotacijske osi gira zbog utjecaja vanjske sile naziva se *pravilna precesija*, a cjelokupna pojava *giroskopski efekt*. Ona je upravo razmjerna jačini te sile, a obratno razmjerno težini i broju okretanja gira. Čim vanjska sila prestane djelovati, rotacijska os gira zaustavlja se u trenutačnom položaju i ne vraća se više u prvotni položaj.

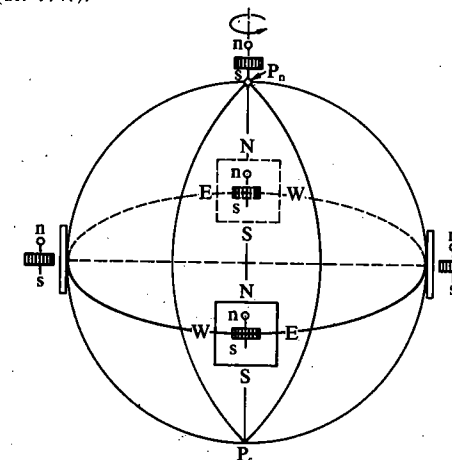


Sl. 1.3. Prividno gibanje osi slobodnog gira na ekvatoru, polu i u geografskoj širini 35°N , s početnim položajem rotacijske osi u E – W smjeru i u ravnini obzora

Ako vanjska sila samo paralelno pomiče rotacijsku os gira, os zadržava svoj smjer u prostoru. Ta pojava javlja se u girokompasu tipa *Sperry* pri lujanju broda.

Razmotrimo ponašanje gira u giroskopa s tri stupnja slobode u različitim geografskim širinama.

Giro na *geografskom ekvatoru* u početnom položaju rotacijske osi u smjeru E–W zbog svoje ustrajnosti zadržat će nepromijenjen položaj osi u prostoru, a zbog rotacije Zemlje ravnina obzora ispod njega neposredno se okreće (spušta). Posljedica je toga da će se rotacijska os gira prividno izdizati i spuštati tijekom dana. Tek nakon 24 sata zvjezdanog vremena vratit će se giro u prvotni položaj prema Zemlji. Giro postavljen na *geografskom polu* s rotacijskom osi u smjeru meridijana neće se nagibati oko vodoravne osi; prividno će se okretati oko svoje vertikalne osi i u jednom danu okrenut će se za 360° (sl. 1.3.). U bilo kojoj geografskoj širini giro će se zbog rotacije Zemlje prividno okretati oko vodoravne i oko vertikalne osi (sl. 1.4.).



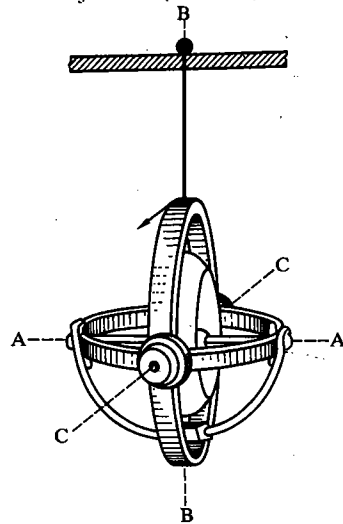
Sl. 1.4. Prividno gibanje osi slobodnog gira na ekvatoru i polu s početnim položajem rotacijske osi u ravnini meridijana i obzora

Dakle, rotacijska os gira će se neprestano izmicati iz obzora i geografskog meridijana. Takav giro s tri stupnja slobode nije uporabljiv kao kompas; prema zakonu giroskopske ustrajnosti njegova rotacijska os samo će na ekvatoru stalno pokazivati smjer meridijana, i to onda ako je njezin početni položaj bio u meridijanu i obzoru (sl. 1.3.).

1.1.2. Giroskop – osjetilo kompas. Ako se giroskop želi upotrijebiti kao osjetilo kompas, nije dovoljno da njegova rotacijska os samo zadržava određeni smjer u prostoru. Potrebno je da giro odgovarajućom precesijom rotacijsku os postavi u meridijan i da taj smjer zadrži, odnosno ako iz njega skrene, da se u nj ponovno vrati. Ta se precesija izaziva djelovanjem sile teže i rotacije Zemlje te prigušivanjem oscilacija gira (oko meridijana) prikladnom konstrukcijom kompas. Za to se rabi obješen brzorotirajući giro s dvije slobodne osi i jednom djelomično ograničenom. Giro se slobodno okreće oko svoje rotacijske osi, ta se os gira slobodno giba u vodoravnoj ravnini, a njezino gibanje u vertikalnoj ravnini donekle je ograničeno utjecajem vanjskih momenata. U kompasu *Sperry* povremeno je i drugi stupanj slobode ograničen radi prigušivanja oscilacija osi gira, jer u gira s tri slobodne osi težište sustava leži u sjecištu tih osi (hvatištu) i na njega sila teže nema nikakva utjecaja. Da bi se to postignulo, težište sustava valja pomaknuti ispod ili iznad sjecišta glavnih osi gira. Izvedba kompas može biti takva da težište (pri mirovanju) bude stalno spušteno (kompasi *Anschütz* i *Plath*) ili samo onda kad njegova rotacijska os izide iz ravnine motriteljeva obzora (kompas *Sperry*).

Sustav obješenog giroskopa sa spuštenim težištem vlada se kao njihalo (sl. 1.5.). Na rotirajući giro koji se nalazi na ekvatoru, sa svojom rotacijskom osi u meridijanu i geografskom obzoru, i pored rotacije Zemlje sila teža neće prouzročiti nikakvu spregu

sila, tj. on će se ponašati kao giro s tri slobodne osi, pa neće doći do precesiranja. Za bilo koji drugi položaj osi gira, bez obzira na to nalazi li se on na ekvatoru ili u nekoj drugoj geografskoj širini, vladanje gira bit će drukčije. Na primjer pri upućivanju kompasa, os gira je u ravnini, ali ne i u meridijanu; zbog rotacije Zemlje os gira postupno se izdiže od obzora (težište sustava izlazi iz vertikale) jer giro zbog ustrajnosti zadržava svoj smjer u prostoru. Sila teže djeluje na donji dio sustava i njegovo težište nastoji vratiti u vertikalu, a preko ležaja kućišta tlači i na osovinu gira. Posljedica je toga sprega sila na osovinu gira (vodoravnu os), koji zakretnim momentom izaziva precesiju giroskopa oko vertikalne osi. Ako se giro okreće u smjeru Zemljine rotacije, na sjevernoj polutki precesiranje n-kraja rotacijske osi gira bit će prema sjevernom dijelu meridijana.



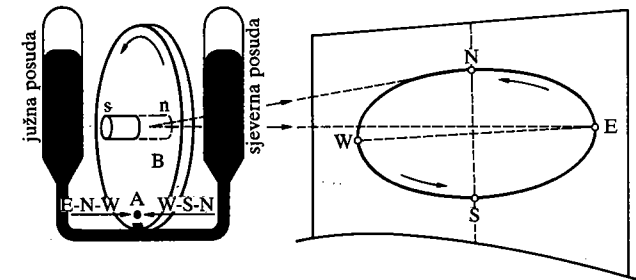
Sl. 1.5. Obješeni giroskop s dvije slobodne osi (AA, CC) i jednom ograničenom (BB)

Ako bi sprega sila stalno djelovala samo na vodoravnu os gira, ona bi stalno precesirala oko meridijana po elipsi (sl. 1.6.) i u njemu se ne bi zaustavila jer nema značajnijega mehaničkog gušenja (trenja na osovinu praktički nema) koje bi rotacijsku os gira postavilo vodoravno prije nego što ona prođe meridijan. Da bi se ograničilo vrijeme precesiranja te osi i ona pokazivala smjer meridijana, potrebno je umjetno prigušiti njezinu prirodnu oscilaciju tako da konačan položaj rotacijske osi gira bude vodoravan i u meridijanu. Objasniti ćemo dvije metode koje se najčešće primjenjuju za prigušivanje prirodne precesije rotacijske osi gira.

U kompasu sa stalno spuštenim težištem gira (tipovi Anschütz i Plath) prirodnu precesiju pod utjecajem sile teže izaziva sprega sila sa zakretnim momentom oko vodoravne osi, što ga kućište, koje djeluje kao njihalo, stvara na rotacijsku os gira. Oscilacije se prigušuju primjenom prstenaste posude punjene uljem i postavljene vodoravno iznad gira. Polaganim pretakanjem ulja s više strane prema nižoj postupno se podiže težište sustava i smanjuje zakretni moment oko vodoravne osi. Smanjuje se precesija, tj. vodoravno izbijanje n-kraja osovine gira od meridijana, a time i amplituda oscilacija po vertikali.

U kompasu kojima težište sustava pri mirovanju leži u sjecištu triju osi gira (tipovi Sperry) prirodne oscilacije prigušuju se spregom sila koje stvara zakretni moment oko vertikalne osi. Time se izaziva protuprecesija koja rotacijsku os gira tjera prema obzoru. To se postiže balističkom polugom (sustavom) s ekscentričnim spojem. Posude sa živom smještene su uz sjevernu i južnu stranu osi gira i međusobno su spojene tankom

cijevi. Balistički sustav počinje djelovati čim rotacijska os gira nije vodoravna. Pretakanje žive iz jedne posude u drugu djeluje kao da se težište sustava uzdiglo iznad sjecišta triju osi gira. Ako je smjer rotacijske osovine gira obratan od smjera rotacije Zemlje, nastaje precesiranje rotacijske osi gira oko vertikalne osi i skretanje n-kraja te osi prema sjevernom dijelu meridijana. Neki tipovi kompasa imaju uteg na zapadnoj strani kućišta gira, a u kompasu za neke vrste specijalnih brodova zakretni moment oko vertikalne osi izaziva se s pomoću servomotora.



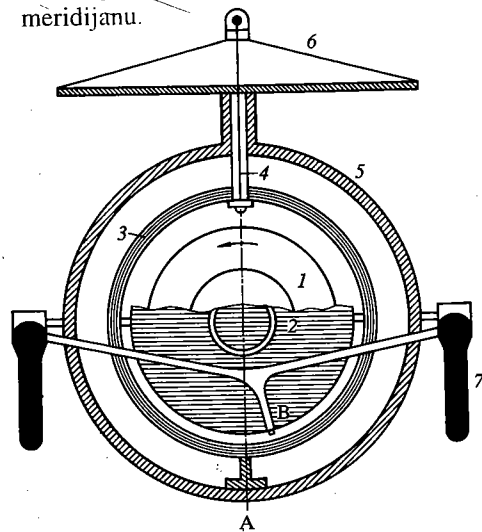
Sl. 1.6. Precesiranje rotacijske osi gira u giroskopa sa živinom balističkom polugom bez ekscentričnosti

Balistički sustav. Zamislimo (sl. 1.6.) da je u početnom položaju rotacijska os gira vodoravna (u ravnini obzora) i da je njezin n-kraj usmjeren prema njegovoj istočnoj točki (E). Zemlja rotira od zapada (W) prema istoku (E), a sjeverna se posuda uzdiže i živa iz nje pretječe u južnu posudu. Južna posuda postaje teža i tlači određenom silom na kućište gira u točki A. Zbog toga nastaje sprega sila oko vodoravne osi koja izaziva precesiranje. Ako se giro okreće kako je naznačeno na slici, n-kraj rotacijske osi gira počinje polako precesirati oko njegove vertikalne osi, tj. prema meridijanu u točki W, kako je to prikazano strelicom na gornjem dijelu elipse (sl. 1.6.). Najviše je uzdignut n-kraj osi gira u meridijanu (točka N), a sve manje prema zapadu (W), odnosno prema istoku (E). Kad je n-kraj rotacijske osi gira usmjeren prema točki W, živa se već vratila u sjevernu posudu, os je vodoravna i precesiranje je prestalo. Budući da Zemlja nastavlja rotaciju, živa počinje pretjecati iz južne u sjevernu posudu i precesija se nastavlja, ali u protivnom smjeru, tj. prema točki E. Staza n-kraja rotacijske osi gira jest elipsa kojoj je mala os NS, a velika EW (slika 1.6.). Cijeli period od točke E preko točaka N, W i S traje 85 minuta.

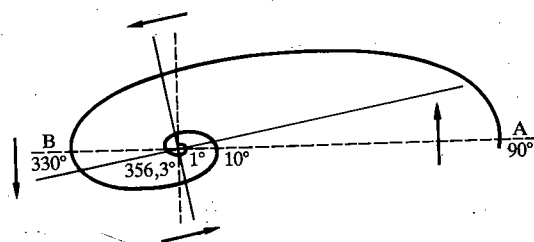
Tako konstruirane posude sa živom stvaraju spregu sila samo oko vodoravne osi, a ne i oko vertikalne, pa nema sile koja će rotacijsku os gira precesirati i prema obzoru. Ako se balistički sustav objesi o vanjski prsten i ekscentrično spoji s okućjem gira (u točki B – sl. 1.7.), javit će se sprega sila i oko vertikalne osi. Ta će sprega sila uzrokovati precesiju prema obzoru sve dok rotacijska os gira ne dođe u vodoravni položaj – suprotno njezinoj prirodnoj tendenciji da izbija iz vodoravna položaja.

Balistički sustav može prigušivati oscilacije rotacijske osi gira jedino ako se upotrijebi i odgovarajući prateći element. Faktor gušenja uglavnom ovisi o veličini ekscentričnog raspona balističke poluge. Girokompasi Sperry imaju toliki faktor gušenja da je svaki idući poluperiod oscilacije oko meridijana 2/3 manji od prethodnoga. To znači da se amplituda smanjuje 66% u svakoj oscilaciji. Ako se npr. kompas uputi s n-krajem rotacijske osi 90° od meridijana, prva će je oscilacija dovesti na 30° W, iduća na 10° E, zatim na 3.33° W, pa na 1° E i u meridijan. Oko 45 minuta

potrebno je da n-kraj gira prijeđe put od točke A do točke B, tj. jedan poluperiod oscilacije. Dakle, za ukupno približno 4 sata umirit će se n-kraj rotacijske osi gira u meridijanu.



Sl. 1.7. Shematski prikaz girokompasa Sperry
1 – rotor gira; 2 – kućište gira; 3 – vertikalni prsten kućišta; 4 – nosiva nit osjetilnog elementa; 5 – prateći element; 6 – kompasna vjetrulja; 7 – balistička poluga sa živinim posudama; B – ekscentrični spoj balističke poluge



Sl. 1.8. Spiralno prigušena staza n-kraja rotacijske osi gira

Iz izloženoga se može zaključiti da rotacijska os gira miruje (ne precesira) kad ona leži u ravnini meridijana i ravnini obzora.

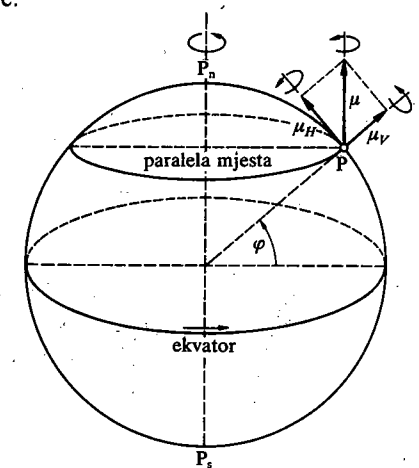
1.1.3. Moment povratka gira. Budući da se sjeverni kraj rotacijske osi gira sam vraća u meridijan, ako iz njega izađe, i u njega postoji moment povratka kao i u magnetnog kompasa. Za vjetrulju magnetnog kompasa položaj je mirovanja magnetni meridijan, a moment povratka izražen je formulom $F = H \cdot M \sin \beta$, gdje je H vodoravna komponenta Zemljina magnetnog polja, $M = m \cdot l$ (magnetni moment igala kompasne vjetrulje), a β kut odklona osi magnetnog sustava iz meridijana. Vjetrulja girokompasa miruje jedino kad rotacijska os gira leži u ravnini pravog (geografskog) meridijana i u ravnini obzora. Čim os gira zbog bilo kojeg razloga izide iz tog položaja i iz meridijana skrene za kut β , javlja se zakretni moment M koji je želi vratiti u prvotni položaj:

$M = \mu_H \cdot I \cdot \omega \sin \beta$, gdje je μ_H vodoravna komponenta kutne brzine Zemljine rotacije, I moment ustrajnosti rotacije gira, ω kutna brzina rotirajućeg gira, a β kut odklona iz meridijana; $I \cdot \omega$ jest kinetički moment gira. Kad je $\beta = 90^\circ$, nastaje najveći zakretni moment nazvan *moment povratka* (F), a on ujedno prikazuje i vrijednost smjerne sile girokompasa (sl. 1.9.):

$$F = \mu_H \cdot I \cdot \omega.$$

Na geografskom ekvatoru je μ_H najveća, prema polovima se smanjuje, a na polo-

vima je nula. Da bi moment povratka bio što veći, treba da izraz $I \cdot \omega$ bude što veći, jer je μ_H relativno mala i ne može se mijenjati. To se postiže povećanjem momenta inercije ili/i broja okretaja gira. Ako je jedan od tih faktora ništica ili vrlo mali, rotacijska os gira ne postavlja se u meridijan. Zbog toga se klasični girokompas u polarnim područjima ($\varphi > 70^\circ$) ne može upotrijebiti u navigacijske svrhe.



Sl. 1.9.a. Komponente kutne brzine rotacije Zemlje
 μ - kutna brzina točke P

$$\mu_H = \mu \cos \varphi - \text{vodoravna komponenta } \mu$$

$$\mu_V = \mu \sin \beta - \text{vertikalna komponenta } \mu$$

1.1.4. Pogreške girokompasa. Plovidbena pogreška i pogreška geografske širine ovise o tehničkoj izvedbi kompasa, a balistička je pogreška teorijske naravi i nedostatak je svih girokompasa; moguće su još i kvadrantalna pogreška te tehnička pogreška ovisna o ugradnji kompasa.

Plovidbena pogreška. Nastaje zbog utjecaja meridionalne komponente vektora plovidbe (gibanja broda), kojemu je smjer određen kursom broda, a njegova jačina brzinom broda (sl. 1.10.). Kako je poznato, rotacijska os gira postavlja se okomito na smjer rotacije Zemlje. Kad brod plovi, na giro djeluje gibanje broda, pa će giro nastojati da se sa rotacijskom osi postavi okomito na smjer gibanja broda. To se jače očituje što je brzina broda veća. Zbog toga će se os gira postaviti okomito na rezultantu dviju komponentata: komponentu Zemljine rotacije i meridionalnu komponentu gibanja broda (u smjeru kursa), tj. otklonit će se iz meridijana za neki kut. *Vrijednost kuta odklona n-kraja osi gira od pravog meridijana naziva se plovidbena pogreška.* Veličina meridionalne komponente ovisi od vrijednosti kursa i brzine broda, a komponente Zemljine rotacije od vrijednosti geografske širine (φ), jer se njezinom promjenom mijenja i njezina obodna brzina:

$$900 \cdot \cos \varphi [M].$$

Ako brod plovi u kursu N ili S, komponenta Zemljine rotacije odstupat će od komponente gibanja broda za 90° i zbog toga će n-kraj osi gira najviše odstupati od pravog meridijana. Što se kurs broda više udaljuje od meridijana, odstupanje sjevernog kraja rotacijske osi gira od meridijana bit će manje. Pri plovidbi u kursu E ili W ta pogreška ne postoji jer se smjer vektora plovidbe i smjer rotacije Zemlje oko svoje osi poklapaju ili odstupaju za 180° .

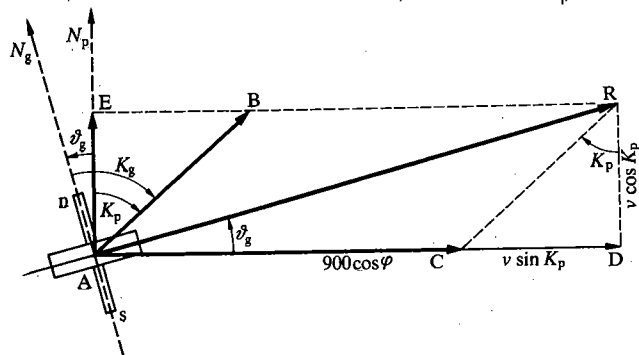
Iz trokuta ADR (sl. 1.9.b.) može se izračunati vrijednost ove pogreške:

$$\overline{DR} = v \cdot \cos K_p; \overline{AD} = 900 \cdot \cos \varphi + v \sin K_p; \tan \vartheta_g = \frac{\overline{DR}}{\overline{AD}}$$

Ako u izraz uvrstimo $\tan \delta_g \approx \tan 1^\circ$ i zanemarimo vrijednost $v \cdot \sin K_p$, imamo:

$$\delta_v = \frac{v \cdot \cos K_p}{900 \tan 1^\circ \cdot \cos \varphi} = \frac{v \cdot \cos K_p}{900 \cdot 0,0175 \cos \varphi} = \frac{v \cdot \cos K_p}{15,75 \cdot \cos \varphi};$$

$$\vartheta = 0,0635 \cdot v \cdot \cos K_p \cdot \sec \varphi.$$



Sl. 1.9.b. Plovidbena pogreška
 K_p – pravi kurs;
 K_g – girokompasni kurs;
 v – brzina broda; $v \sin K_p$
 $v \cos K_p$ – komponente vektora
 plovidbe;
 \vec{AR} – vektor plovidbe;
 ϑ_g – devijacija girokompasa

Analiza gornje formule pokazuje da vrijednost plovidbene pogreške (δ_g) ovisi o brzini (v) i kursu broda (K) i geografskoj širini (φ). Popravlja se posebnim korektorom na koji se ručno postavljaju elementi v i φ , a dio pogreške u funkciji kursa popravlja se automatski. U luci se na korektor postavlja brzina nula. Kad brod isplovi, valja na korektor plovidbene pogreške postaviti brzinu kojom brod doista plovi. U protivnome, kompas neće pokazivati točan kurs. Suvremeni kompasi imaju neposrednu vezu s brzinomjerom i pogreška se popravlja automatski. Ako kompas nema odgovarajući korektor, plovidbena pogreška popravlja se pomoću posebnih tablica (npr. *Nautičke tablice*, izd. HHI - Split, *Delta Tables* i sl.). Kompas *Sperry* ima i posebno računalo. Posebni su kompasi za brze brodove (hidrokrilce i lebdjelice), koji daju zadovoljavajuću točnost i pri brzinama do 60 čv.

Pogreška geografske širine. Javlja se bez obzira na stanje broda. Zbog rotacije Zemlje ravnina obzora na ekvatoru okreće se oko vodoravne osi koja se podudara s dijelom meridijana te točke i na taj način zadržava smjer meridijana nepomičnim. Na polu je rotacija obzora oko vertikalne osi istovjetna rotaciji Zemlje. U nekoj će se točki između pola i ekvatora obzor kombinirano prividno okretati oko meridijana i vertikalne osi nepromijenjivom kutnom brzinom, tj. 15° na sat, a njezin je smjer suprotan gibanju kazaljke na satu. Vektor kutne brzine Zemlje (μ) u nekoj geografskoj širini može se rastaviti na dvije komponente: vodoravnu (meridionalnu) i vertikalnu (sl. 1.9.a.). Budući da na ekvatoru postoji samo vodoravna (μ_H), a na polu samo vertikalna (μ_V) komponenta kutne brzine Zemlje, okretanje ravnine obzora oko meridijana (istočna strana ponire) ovisi o vrijednosti vodoravne komponente (μ_H), a okretanje oko vertikale ovisi o vertikalnoj komponenti kutne brzine rotacije Zemlje (μ_V).

Na geografskom ekvatoru, gdje je giro izložen samo djelovanju vodoravne komponente kutne brzine Zemlje, n_s – os gira paralelna je sa Zemljinom osi i leži vodoravno. Znači, čim se na ekvatoru rotacijska os gira postavi u meridijan, na nju neće djelovati nikakva vanjska sila (balistička će poluga mirovati). Ako se promijeni geografska širina, na rotacijsku će os gira, pored vodoravne, djelovati i vertikalna komponenta: sjeverni kraj osovine gira, koja nastoji zadržati svoj položaj u prostoru, na sjevernoj

polutki prividno zaostaje iz meridijana, tj. skreće na istok (utjecaj vertikalne komponente) i izdiže se iznad obzora (utjecaj vodoravne komponente). S porastom geografske širine vodoravna komponenta slabi, s njom slabi i povratni moment, a vertikalna komponenta raste. Dakle, sjeverni kraj rotacijske osi gira mora polagano precesirati k zapadu (prema meridijanu), i to tako dugo dok na nj djeluje vertikalna komponenta. Ako ne dođe do uravnoteženja u promjenama tih komponenata, pojavljuje se odstupanje n-kraja rotacijske osi iz meridijana. Mali kut za koji se n-kraj osi gira postavlja izvan meridijana, zbog slabljenja vodoravne i jačanja vertikalne komponente kutne brzine Zemlje, naziva se pogreška geografske širine. U sjevernim širinama ona je pozitivna (istočna), a u južnim negativna (zapadna), a njezina vrijednost mijenja se s $\tan \varphi$. Zbog toga se mora upotrijebiti poseban korektor koji će ispravljati ovu pogrešku za bilo koju geografsku širinu.

Sila koja uzrokuje precesiranje n-kraja osi gira prema meridijanu kod girokompasa *Sperry* izazvana je naginjanjem balističkog sustava (poluge). Što je kompas bliže polu, sjeverni se kraj osi gira okreće brže prema istoku i jače se diže od obzora, pa jače i precesira prema meridijanu. Na južnoj je polutki izbijanje osi gira suprotno: južni kraj rotacije osi gira nastoji se uzdignuti i skrenuti prema istoku. Da bi se prigušile oscilacije n-kraja osi gira, spoj balističke poluge s kućištem osjetilnog elementa ekscentričan je, i to prema istoku (ϵ°). Ta ekscentričnost izaziva spregu sila oko vertikalne osi koja uzrokuje stalno precesiranje n-kraja osi gira prema obzoru. Zato se npr. u sjevernim širinama n-kraj osi gira konačno usmjerava istočno od meridijana – u položaju gdje se sila precesije izjednačuje s vodoravnom komponentom kutne brzine Zemljine rotacije.

Pogreška geografske širine ispravlja se pomoćnim korektorom geografske širine. Na korektor se ručno postavlja vrijednost φ nakon svakih 5° njezine promjene, a korektor dalje djeluje automatski. U girokompasa *Sperry* zajedno s tom pogreškom ispravlja se i pogreška zbog načina prigušivanja ($\epsilon^\circ \tan \varphi$). U suvremenih kompasa ta se pogreška automatski kompenzira i kompas pokazuje zadovoljavajuću točnost kursa unutar geografskog pojasa od $80^\circ N$ do $80^\circ S$.

Neki su girokompasi (npr. *Anshütz*) konstruirani za određenu geografsku širinu, pa je pogreška širine praktički poništena.

Balistička pogreška. Brza deflekcija osjetilnog elementa izazvana akceleracijom zbog promjene kursa ili brzine broda zove se balistička deflekcija, a pogreška prouzročena tom deflekcijom *balistička pogreška*. Prema predznaku suprotna je plovidbenoj pogrešci. Kod nekih kompasa *Sperry* poništava se pomicanjem živinih posuda balističkog sustava bliže k središtu gravitacije cijelog sustava ili dalje od njega. U girokompasa *Anshütz* ta se pogreška ispravlja podešavanjem broja okretaja gira i time mijenja kutni moment, toliko da točno drži u ravnoteži promjenu u plovidbenoj pogrešci i balističku pogrešku.

Promjena kursa ili brzine broda uzrokuje neku akcelerirajuću ili decelerirajuću silu koja remeti ravnotežu tekućine za prigušivanje i tako uzrokuje *balističku pogrešku prigušivanja* (precesiju oko vertikalne osi). Najveći učinak dosegne približno nakon 20 min od promjene kursa ili brzine. U nekih girokompasa tipa *Sperry* ta se pogreška automatski eliminira pokretanjem ekscentrične balističke poluge u vertikalni položaj. U kompasa tipa *Anshütz* ta se pogreška poništava podešavanjem ventila u uljnom cjevovodu. U oba slučaja poseban elektromagnetski uređaj, tzv. eliminator prigušivanja, aktivira uređaj korektora kad brod skrene više od 15° , a pritom je kutna brzina promjene kursa veća od 40° u minuti.

Kvadrantalna pogreška. Akceleracijske i centrifugalne sile djeluju na osjetilni element kompasa i uzrokuju kvadrantalnu pogrešku kad brod posrće ili se ljulja. Katkad se ta pogreška zove *interkardinalna pogreška kompasa*, jer je najveća u interkardinalnim kursevima. U girokompasa *Sperry* ona se poništava kompenzacijskim utezima, a u girokompasa *Anshütz* primjenom osjetilnog elementa (kugle) u sustavu dvaju gira, kojih osi rotacije međusobno zatvaraju kut 90°. Time se osjetilnom elementu osigurava postojanost u E - W i u N - S ravnini.

Ljuljanje broda uzrokuje i uzdizanje prstena kardanskog sustava u kojemu je matični kompas montiran, što uzrokuje novu malu devijaciju. Konstrukcijom i montiranjem kompasa ta se pogreška svodi na minimum pa je praktički zanemariva. Da bi pogreške uzrokovane ljuljanjem i posrtanjem broda bile što manje, poželjno je da se matični kompas montira što bliže sustavnom težištu broda, tj. što niže.

Pogreška u gradnje kompasa (koeficijent A°). Ta se pogreška javlja ako pramčanica kompasa nije u uzdužnici broda ili s njom paralelna. To je stalna pogreška i ispravlja se zakretanjem pramčanice (*Sperry*) ili stalka kompasa (*Anshütz*). To se radi samo kada smo sigurni da pogreška kompasa potječe otuda.

Na točnost kompasa utječu i neispravnosti u radu uređaja, npr.: promjena napona u električnoj brodskoj mreži, povećanje temperature u osjetilnom elementu, ljuljanje broda i sl.

Rezultat svih naznačenih utjecaja jest *devijacija girokompasa*. U plovidbi kurs se kontrolira metodama sličnim kao i u magnetskog kompasa, ali kao razlika između pravoga (ω_p) i girokompasnog (ω_g) azimuta:

$$\delta_g = \omega_p - \omega_g.$$

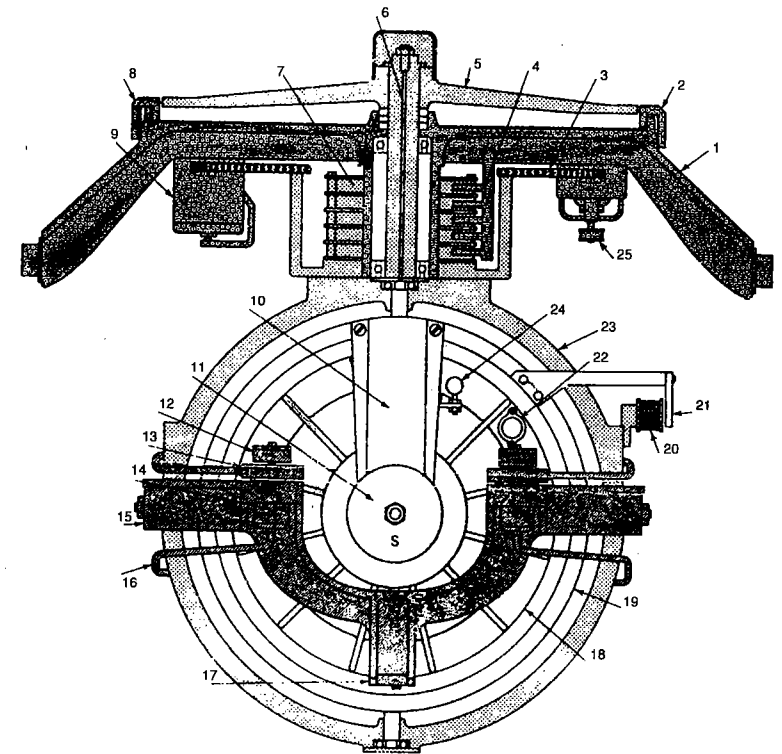
Preporučuje se da se povremeno uspoređuje kurs po girokompasu s kursom po magnetnom kompasu, kako bi se izbjegle moguće grube pogreške.

PITANJA:

- Objasnite fizikalne zakone na kojima počiva giroskop s tri slobodne osi.
- Objasnite ponašanje giroskopa s tri stupnja slobode na Zemlji u raznim geografskim širinama.
- Na koji se način giroskop usmjerava u meridijan?
- Opišite sustav prigušivanja oscilacija giroskopa i načelo njegova djelovanja.
- Objasnite međusobnu povezanost glavnih dijelova girokompasa i načelo rada girokompasa.
- Objasnite moment povratka girokompasa uspoređujući ga s momentom povratka magnetskog kompasa.
- Zašto nastaje plovidbena pogreška i na koji se način ispravlja?
- Zašto nastaje pogreška geografske širine i na koji se način ispravlja?
- Koje se pogreške u girokompasa pojavljuju u plovidbi, zašto nastaju i kako se tehnički poništavaju, odnosno uračunavaju pri popravku girokompasnog kursa (azimuta)?

1.2. Girokompas Sperry

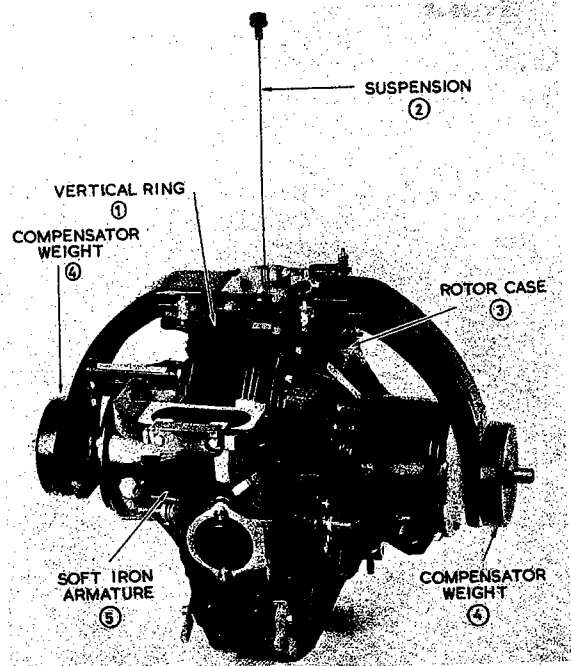
1.2.1. Glavni dijelovi. Girokompas engleske tvrtke *Sperry* sastoji se od matičnog kompasa, kompasnih ponavljača i pomoćnih dijelova. *Matični kompas* ima osjetilni element, prateći element, balistički element (upravljajući sustav) sa živom, pauk (noseći element) i stalak kompasa.



Sl.1.10. Sklop matičnog girokompasa *Sperry*

- 1 – noseći element (pauk), 2 – prsten pramčanice, 3 – azimut – ploča, 4 – četkice za napajanje, 5 – kompasna ruža, 6 – noseća nit, 7 – prsteni za napajanje, 8 – prsten pramčanice, 9 – koračni davač, 10 – poluga kompenzacijskih utega, 11 – kompenzacijski utezi, 12 – utezi, 13 – kapica, 14 – uljne posude, 15 – balistička poluga, 16 – spojne cijevi, 17 – ekscentrična poluga, 18 – kućište gira, 19 – vertikalni prsten, 20 – transformatori, 21 – kotva prateća transformatora, 22 – prozorčić, 23 – prateći prsten, 24 – libela kućišta gire, 25 – azimut – motor

Osjetilni element (engl. *sensitive element*). Glavni je dio matičnog kompasa, (sl. 1.11. i 1.15.). To je, zapravo, giroskop, a njega čine *giro* (engl. *gyro*), *kućište gira* (engl. *rotor case*) i *vertikalni prsten* (engl. *vertical ring*). Rotor gira težine 24 kg smješten je u kućištu i okreće se oko svoje osi brzinom 6000 okretaja u minuti u smjeru gibanja kazaljke na satu (gledan sa sjeverne strane). Pokreće ga izmjenična struja iz brodske mreže, koju daje motor-generator. Osovina gira naslanja se na kuglične ležajeve smještene u unutarnjoj strani kućišta (u smjeru N-S). Kućište s girom preko vodoravne osovine (u smjeru E - W) smješteno je u vertikalnom prstenu. Vertikalni prsten obješen je o noseću nit. Takvim rješenjem giro se može istodobno gibati oko sve tri osi: vlastite rotacijske osi (N - S), vodoravne osi kućišta (E - W), tj. uzdizati ili spuštati, te vertikalne osi kućišta. Kad je kompas u pogonu, osjetilni se element samostalno postavlja s n-krajem rotacijske osi gira u pravi meridijan, ili sasvim blizu njega, i na taj način pokazuje njegov smjer.



Sl. 1.11. Osjetilni element Sperry
 1 – vertikalni prsten;
 2 – noseća nit;
 3 – kućište rotora;
 4 – kompenzacijski utezi;
 5 – kotva pratećeg transformatora

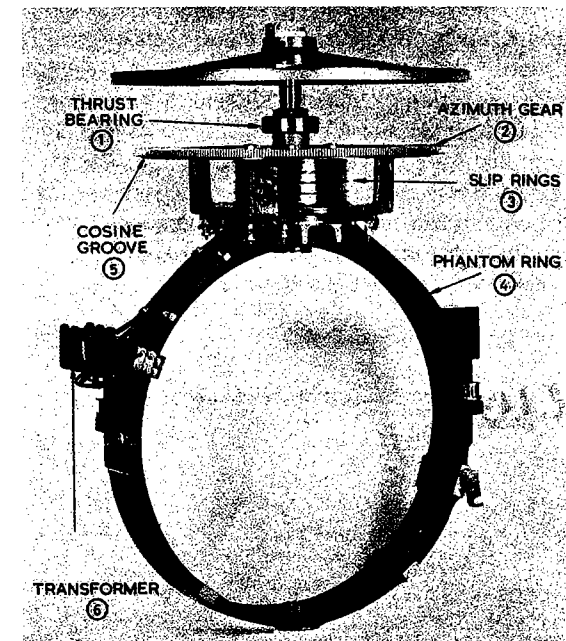
Položaj rotacijske osi ostaje nepromijenjen samo ako ona leži u vodoravnoj ravnini i u ravnini meridijana. Vodoravni se položaj osi gira kontrolira alkoholnom libelom koja se nalazi u kućištu gira. Da bi se giro mogao sam postavljati sa svojom rotacijskom osi u meridijan, mora biti tako smješten da se može praktički bez trenja okretati i oko svoje vertikalne osi. Zbog toga je vertikalni prsten kućišta gira, tj. cijeli osjetilni element (giroskop), obješen o fleksibilnu nesavitljivu čeličnu nit (pletenu od devet čeličnih žica) koja se naziva *noseća nit* (engl. *suspension*). Nit je pričvršćena na maticu i protumaticu, koje se nalaze na osnacu vrha tuljka pratećeg elementa (iznad kompasne vjetrulje). Tim se maticama po visini centrira osjetilni element giroskopa u prstenu pratećeg elementa.

Obješen, giroskop pri djelovanju sila nastalih zbog ljuľanja odnosno posrtanja broda ima tendenciju njihanja u smjeru duže osi. To se sprećava posebnim kompenzacijskim utezima, koji se nalaze na nosaćima vertikalnog sustava.

Prateći element (engl. *phantom element*). Nosi i prati, bez trenja, u azimutu osjetilni element girokompasa. Glavni dijelovi pratećeg elementa jesu (sl. 1.12.): *vertikalni prsten* (engl. *phantom ring*), *tuljak* (engl. *suspension cap*), nazubljena azimutna ploća (engl. *azimut gear*) i kompasna vjetrulja (engl. *compass card*). Šuplji tuljak s kliznim prstenovima spaja i vertikalni prsten s kompasnom vjetruljom, a njime prolazi i noseća nit osjetilnog elementa. Na dijelu tuljka između vjetrulje i prstena koncentrično su navučeni nazubljena azimutna (protupokretna) ploća i odzivni ležaj preko kojega se prateći element naslanja na pauk. Vrh tuljka vertikalnog prstena nosi kapicu noseće niti. Kapica ima rupice za namještanje učvrstnog zavrtnja te za podmazivanje tuljka pratećeg prstena i gornjih vodećih ležaja vertikalnog prstena.

S istočne strane vertikalnog prstena pričvršćen je prateći transformator. Šest kliznih prstenova ukopćano je u strujne krugove za napajanje gira i pratećeg transformatora. Isto toliko četkica, svaka s dvije kontaktne poluge koje klizju po prstenima, učvršćeno je

nosućem na pauku. Četkice su spojene provodnicima koji dolaze sa stezaljki stremena pauka.



Sl. 1.12. Prateći element Sperry
 1 – odzivni ležaj;
 2 – azimut-ploća;
 3 – prsteni za napajanje;
 4 – prateći prsten;
 5 – kosinus-žlijeb;
 6 – transformator

Graničnik na vertikalnom prstenu sprećava, kad je kompas u pogonu, da se taj prsten otklanja iz pokrića s prstenom osjetilnog elementa više od određenog kuta. Posebnim zaporom kočii se vertikalni prsten osjetilnog elementa kad kompas nije u pogonu ili kad se na njemu obavljaju radovi.

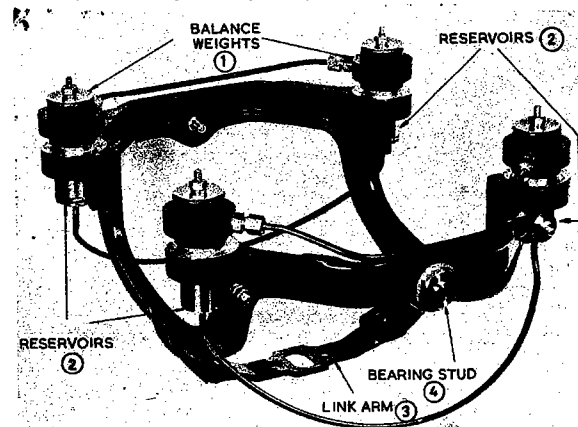
Azimutna ploća ima dvostruku ulogu. Pokreće se azimutnim (protupokretnim) motorom i tako drži u pokriću vertikalne prstenove osjetilnog i pratećeg elementa. Zupčanik azimutne ploće istodobno pokreće koraćni odašiljać, koji daje struju kompasnim ponavljaićima preko svojih kontaktnih prstenova i tako prenosi pokazivanje matičnog kompasa na ponavljaiće. Ploća s donje strane ima tzv. *kosinus-žlijeb*. Taj žlijeb vodi kolutiće kosinus-poluge; njome se popravljia dio plovidbene pogreške kompasa koja ovisi o promjeni kursa ($v \cdot \cos K$).

Kompasna vjetrulja, koncentrićno navučena na gornji dio tuljka vertikalnog prstena, ima stupanjsku podjelu od 0° do 360°. Svaki je stupanj oznaćen crticom, a svaki deseti stupanj i brojkom. Nulta toćka (N) vjetrulje odstupa 90° od ravnine vertikalnog prstena. Budući da vertikalni prsten pratećeg elementa stalno prati vertikalni prsten osjetilnog elementa, 0° podjele kompasne vjetrulje stalno će se nalaziti iznad n-kraja rotacijske osi gira.

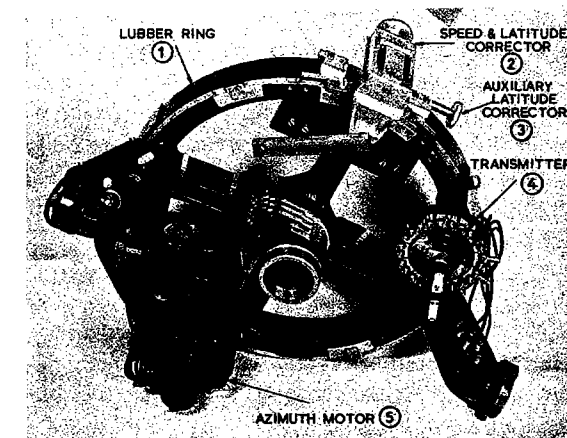
Balistićki element (engl. *ballistic* ili *control element*). Poznat je i kao *upravljaićki sustav* jer upravlja osjetilnim elementom i usmjerava ga prema meridijanu (sl. 1.13.). Sastoji se od nosaća u obliku košare koja nosi četiri posude sa živom (engl. *mercury reservoirs*). Dvije i dvije posude međusobno su spojene cjevćicama (engl. *mercury tube*) toćno određenog promjera i tako čine istoćni i zapadni par spojnih posuda. Na poklopcima posuda pričvršćeni su utezi za odrćavanje ravnoteže.

Ćitav sustav leži na kuglićnim ležajevima vertikalnog prstena pratećeg elementa,

po jedan na istočnoj i zapadnoj unutarnjoj strani. Precesiranje rotacijske osi gira k meridijanu obavlja moment koji stvara sprega sila oko vodoravne osi gira; nastaje poremećajem ravnoteže balističkog sustava zbog rotacije Zemlje (živa prelazi u niže posude). Ako bi balistički sustav bio simetričan prema vertikalnoj osi kompasa (giroskopa), precesiranje oko meridijana ne bi bilo prigušeno, rotacijska os gira stalno bi opisivala elipsu oko meridijana. *Ekscentričnom polugom* (engl. *ling arm*) sustav je spojen s dnom kućišta gira. Hvatište poluge na kućištu pomaknuto je približno $1,5^\circ$ istočno od vertikalne ravnine položene kroz rotacijsku os gira. Zbog takva položaja hvatišta poluge stvara se sprega sila ne samo oko vodoravne nego i oko vertikalne osi gira; prigušuju se amplitude prirodnih oscilacija rotacijske osi gira i smiruje njezin n-kraj tako da u vodoravnoj ravnini pokazuje smjer meridijana.



Sl. 1.13. Balistički element
1 – balansirani utezi;
2 – živine posude;
3 – ekscentrična poluga;
4 – vodeći osnac



Sl. 1.14. Pauk
1 – prsten pramčanice;
2 – korektor brzine i geografske širine;
3 – pomoćni korektor širine;
4 – koračni odašiljač;
5 – azimutni motor

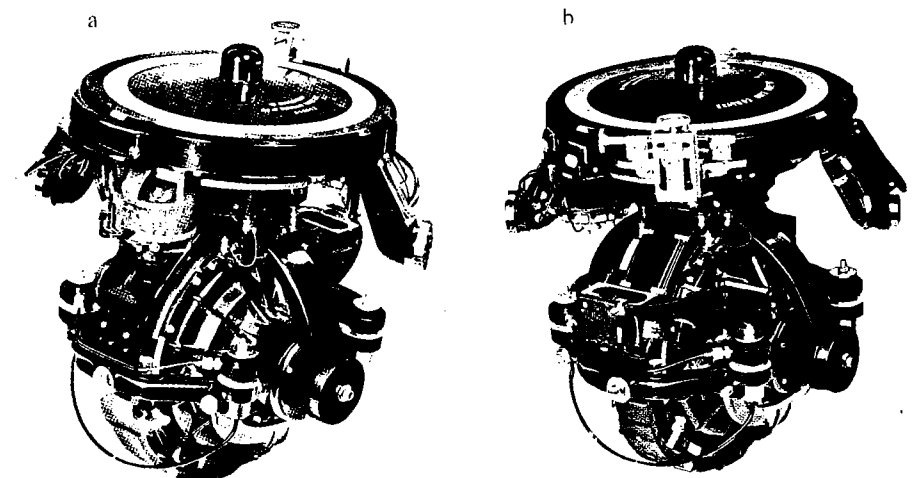
P a u k (engl. *spider element*). Sastoji se od prstenastog okvira koji spaja i nosi sve ostale dijelove girokompasa (sl. 1.14.). Smješten je u kardanskom sustavu, a njegovi ležaji stoje u poprečnoj osi broda. Na rubu paukova glavnog okvira smješten je prsten na koji je urezana *pramčanica* (engl. *lubber's line*). Pauk nosi *azimutni (protupokretni) motor* i *koračni davač*, zatim *korektor brzine i pomoćni korektor geografske širine* (engl. *speed and latitude corrector*). Korektor se naslanja na pauk, ali je s prstenom pramčanice spojen pomičnim zglobovima i vretenom pa se ona pomiče automatski. Pramčanica se pomiče razmjerno s vrijednostima geografske širine i brzine postavljenim na ko-

rektor te tako popravljaju vrijednost odnosne pogreške. Matični girokompas i kompasni ponavljači morali bi pokazivati pravi kurs, ali u praksi uvijek postoji manja pogreška (devijacija) girokompasa, pa oni pokazuju girokompasni kurs.

Kad je kompas u pogonu, korektor brzine valja postaviti na vrijednost brzine broda i geografske širine. To postavljanje nije potrebno mijenjati ako je promjena brzine manja od 3 čv, a promjena geografske širine manja od 3° . To se čini okretanjem dugmeta na njegovoj vertikalnoj osovini dok odgovarajuća oznaka na pokretnoj poluzi geografske širine ne presječe krivulju brzine urezanu na posebnoj pločici. Pogreška izazvana promjenom kursa ispravlja se automatski, kosinus-polugom. Vrijednost se na pomoćnom korektoru geografske širine postavlja okretanjem dugmeta na vodoravnoj osi korektora tako dugo dok se urezana oznaka na prstenu pramčanice približno ne podudara s vrijednošću označenom na pomičnom bloku korektora.

S t a l a k (engl. *binnacle*). Valjkasta je oblika, s gornje strane nosi kapu. Kardanski sustav u kojemu je obješen matični kompas održava kompasnu vjetrulju u vodoravnom položaju (pri ljuljanju broda do 60° i posrtanju do 25°). Specijalni prigušivač koji se može regulirati sprečava da se kompas njiše i pri vrlo uzburkanom moru. Da bi se smanjio utjecaj vibracija broda i drugih mehaničkih udara na kompas, kardanski je sustav u stalku elastično obješen o opruge. Stalak ima vrata za prilaz matičnom dijelu kompasa. S unutarnje strane stalka nalaze se i dvije preklapke za osvjetljenje matičnog kompasa.

Ploča za upućivanje kompasa sadrži preklapke i tipke kojima se upućuju odnosno isključuju kompas i indikatori koji pokazuju ispravnost rada girokompasa. Nalazi se u ormariću koji se vješa o stijenku. Među ostalim dijelovima na prednjoj strani ormarića nalazi se preklapka kojom se uključuju i pojačalo i prateći sustav, zatim preklapka azimutnog motora i regulator ulaznog napona iz pratećeg transformatora u pojačalo. Pojačalo pojačava signal odaslan kad brod skreće s kursa i predaje ga pratećem sustavu, a ovaj uspostavlja ravnotežno stanje koje odgovara novom kursu.



Sl. 1.15. Sklop girokompasa Sperry
a – pogled sprijeda; b – pogled straga

Uređaj za uzbunjivanje upozorava na nestanak struje za napajanje ili na nedopušteno odstupanje napona od normale. Indikator toga uređaja redovito se nalazi u za-

vjedničkom mostu. Slab napon u brodskoj mreži uzrokuje pad kotve releja, zatvori se strujni krug zujala i preklopka postavi u položaj "isključeno". Pošto je pogreška odstranjena a kompas normalno radi, zujalo će zujati dok se preklopka ručno ne postavi na "uključeno".

1.2.2. Prateći sustav kompasa (engl. *follow up system*). Osnovni dijelovi pratećeg sustava jesu: prateći transformator i azimutni (protupokretni) motor. Omogućuje da se prateći i osjetljivi element stalno prate pa se ne savija noseća nit osjetilnog elementa. Time se postiže točnije pokazivanje kursa.

Načelo rada sustava: Pri plovidbi ustaljenim kursom rotacijska os gira leži u meridijanu i obzoru, a vertikalni prsten osjetilnog elementa pokriva se s vertikalnim prstenom pratećeg elementa. Kad se okreće brod, okreće se i prateći element, a njegov vertikalni prsten zbog toga izlazi iz pokrića s vertikalnim prstenom osjetilnog elementa (sl. 1.15.). U pratećem transformatoru inducira se signalni napon koji, pojačan u pojačalu, preko izlaznog transformatora odlazi u drugu zavojnicu azimutnog motora, dok se prva zavojnica stalno napaja trofaznom izmjeničnom strujom. Smjer obrtanja azimutnog motora ovisi o faznom pomaku struje u izlaznom transformatoru. To omogućuje da se motor u svakom trenutku može pokrenuti i preko azimutne ploče okretati prateći element tako da slijedi osjetilni element. Time se 0° kompasne vjetrulje stalno održava u meridijanu.

1.2.3. Prijenosni sustav kompasa. Taj sustav prenosi stanje s matičnog kompasa na kompasne ponavljače i na ostale uređaje koji rade u vezi s girokompasom. Sastavni dijelovi sustava jesu: razvodna ploča, koračni odašiljač (na pauku) i kompasni ponavljači (primači kursa).

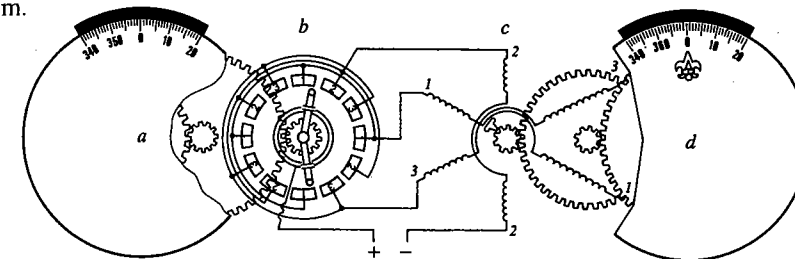
Razvodna ploča sadrži preklopke (tipke) za ukopčavanje i iskopčavanje struje između koračnog davača i kompasnih ponavljača. Svaki kompasni ponavljač ima posebni prekidač.

Koračni odašiljač kursa pričvršćen je na prstenu pramčanice matičnog kompasa. Sastoji se od komutatora i nosača s ugljenim kontaktnim valjcima. Komutator ima devet bakrenih segmenata učvršćenih na osovinu koja se slobodno okreće u davaču. Osovina davača mehaničkim je prijenosom spojena sa zupčanicom azimutne ploče. Nosač ugljenih kontaktnih valjaka učini sto i dvadeset obrtaja, dok zupčanicom azimutne ploče učini samo jedan.

Girokompasni ponavljač sastoji se od primača kursa, prijenosnih zupčanika, vjetrulje, žarulje za rasvjetu i kabela. Vjetrulja se redovito izrađuje od tanke aluminijske ploče s prozirnim prstenom od plastične mase; prsten je podijeljen u stupnjeve, od 0° do 360°. Svi su dijelovi smješteni u nepromočivom kotliću s poklopcem od dvostrukog stakla. Primač kursa pokreće vjetrulju ponavljača s pomoću zupčanih prijenosa. Dok vjetrulja načini jedan okret, kotva primača okrene se 180 puta. Kompasni ponavljač za radar, radiogoniometar i dr. sastavni su dijelovi uređaja. Smjerni kompasni ponavljač smješten je redovito sa strane zapovjedničkog mosta. Njegov je kotlić smješten na stalku u kardanskom sustavu; vjetrulja ima posebnu podjelu za odčitavanje azimuta. Smjera se s pomoću prizmatičnog smjerala kao i u magnetskog kompasa. Kormilarski kompasni ponavljač, kao i ostali ponavljači, smješten je na okretljivoj viljušci koja se može učvrstiti u odgovarajući položaj i ima samo jednu stupanjsku podjelu s povećanim brojkama.

Girokompasni kormilarski ponavljač (pokazivač kursa) može biti i s vrpcom na koju su ispisane brojčane vrijednosti kursa. Vrpca okreće motor-ponavljač preko zupčanih prijenosa, a on je u vezi s motorom-davačem na matičnom kompasu.

Sinkronizacija je pokazivanja automatska. Posebna je pogodnost toga tipa ponavljača: omogućuje da se kurs čita i s veće daljine. Na obodu je poklopca prozor kroz koji se očitava kurs i vidi stupanjaska podjela u širini od 30°. Osvjetljenje se regulira posebnom tipkom.



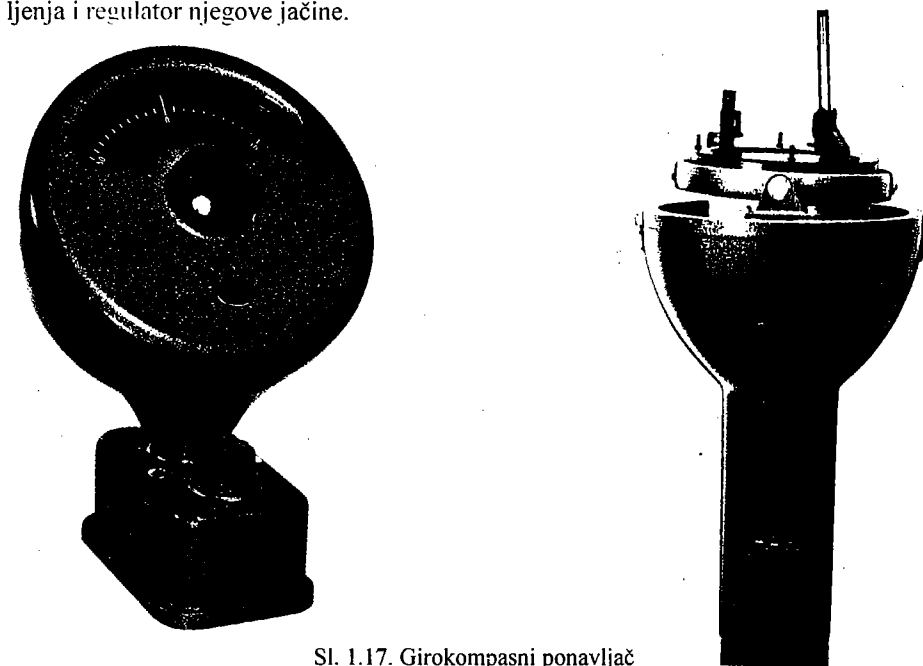
Sl. 1.16. Prijenosni sustav girokompasa Sperry

a – matični kompas s prijenosom na odašiljač

b – koračni odašiljač; c – motor ponavljač; d – girokompasni ponavljač

Najnoviji girokompasni ponavljač jest *digitalnog tipa*, redovito u sastavu integriranog elektroničkog navigacijskog sustava. Omogućuje da se s videozaslona može očitati s više strana i s veće udaljenosti.

Uključivanjem girokompasa osjetilni element matičnog kompasa nakon određenog vremena zauzima smjer meridijana i vjetrulja pokazuje kurs broda, što nije slučaj u kompasnog ponavljača. Zbog toga se na kotliću kompasnog ponavljača nalazi kotačić za sinkronizaciju vjetrulje ponavljača s pokazivanjem matičnog kompasa. Na samom ponavljaču ili blizu njegova podnožja nalaze se sklopka za uključivanje/isključivanje osvjetljenja i regulator njegove jačine.



Sl. 1.17. Girokompasni ponavljač
lijevo – kormilarski; desno – smjerni

Prijenosni sustav kompasa radi na istosmjernu struju prema načelu indukcije. Kotva primača kursa (kompasnog ponavljača) spojena je s vjetruljom preko zupčanika.

Primač ima tri para magnetskih polova koji su spojeni sa segmentima koračnog odašiljača na matičnom kompasu. Nosač ugljenih kontaktnih valjaka koračnog odašiljača okreće se preko zupčanika azimut-ploča (protupokretne). Kad brod skrene s kursa, valjci na nosaču koračnog odašiljača klize po segmentima komutatora i usporeno predaju struju svakom od tri para polova azimutnog motora. Kotva od mekog željeza u azimut-motoru, zbog pobuđenog magnetizma u zavojnicama, postavi se između jednog para polova, zatim na pola puta do idućeg para, onda između idućeg para itd., pa vjetrulja kompasnog ponavljača slijedi vjetrulju matičnog kompasu. Svaki korak vjetrulje odgovara 10' ili 1/6 stupnja vjetrulje matičnog kompasu.

Umjesto indukcijskog prijenosa kursa sve se više primjenjuje sinkroni prijenos.

1.2.3. Tipovi girokompasa Sperry. Tvrtka *Sperry* (od 1912.) proizvela je više tipova girokompasa. Načelo rada tih tipova kompasu slično je opisanome, a razlikuje se samo u tehničkoj izvedbi.

Girokompas MARK XVIII (TIP MINOR) sličan je opisanom kompasu *Mark XIV*, a konstruiran je za male brodove. Motor-generator, pojačalo i ploča pogona ugrađeni su u kućište matičnog kompasu. Giro i prateći sustav rade s pomoću izmjenične struje; motor-generator i sustav prijenosa napajaju se istosmjernom strujom iz brodske mreže, a može se napajati i iz akumulatorske baterije. Prekopčavanje je automatsko, u slučaju nestanka struje u brodskoj mreži.

Prateći sustav ne radi na skokove, giba se ključuci, jednoliko, a prenosi se na ponavljače vrlo točno.

Girokompas MARK XX tip je malog kompasu (sl. 1.18.). Ima sve kvalitete prijašnjih kompasu *Sperry*, a s obzirom na veličinu može se istodobno upotrijebiti kao matični i kormilarski kompas pa je prikladan za sve vrste brodova. U njegovoj izradi primijenjena su tranzistorska pojačala i precizne metode oblikovanja, pa je praktičniji za uporabu.

Girokompasni se sustav sastoji od matičnog kompasu (smještenog u stalku), od motor-generatora i potrebnog broja kompasnih ponavljača, a prema zahtjevu može se instalirati i poseban uređaj za uzbuđivanje. Matični kompas ima uglavnom sve glavne dijelove kao i drugi kompasu toga tipa, ali nema vodoravnu kompasnu vjetrulju, nego vertikalnu, sličnu kompasnom ponavljaču. Sustav prijenosa i prekidači ponavljača smješteni su u stalku matičnog kompasu. Na prednjoj strani donjeg dijela stalka smještena je kontrolna ploča s dugmadima, preklopkama i sklopkama. U gornjem dijelu stalka, ispod samog kompasnog sustava, nalaze se preklopke korektora plovibne pogreške i korektora pogreške geografske širine.

Ako se kormilari neposredno prema girokompasu, kurs se očitava na vjetrulji postavljenoj iznad samog matičnog kompasu. Ako se takav kompas rabi kao matični (s prijenosom na ponavljače), nema kompasne vjetrulje.

Girokompas Mark XXX tip je malog kompasu, ali je njegova smjerna sila deset puta veća od ostalih sličnih tipova (sl. 1.19.). Primjenjuje se na svim vrstama i veličinama trgovačkih brodova, ponajviše ako je prostor ograničen, ili pak kao kormilarski kompas (posebno za ugradnju u zapovjednički most). Pri normalnom radu točnost je pokazivanja $\pm 0,5^\circ$, ali ni u najnepovoljnijem slučaju, pri jakom lujanju, ne prelazi $\pm 3^\circ$. Masa rotora gira je oko 1,6 kg, a brzina je 12 000 obrtaja u minuti.

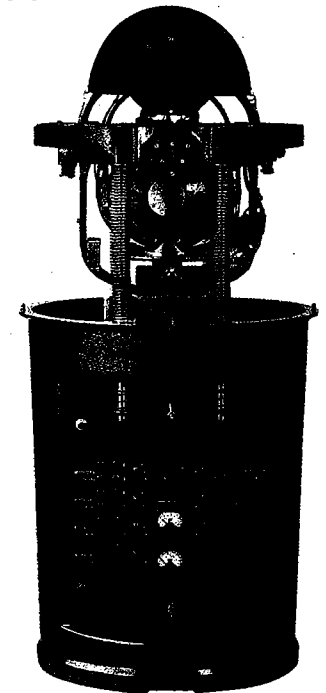
Sustav kompasu postavljen je u stalku. Unutar stalka je kuglasta komora, napunjena mineralnim uljem specifične gustoće koja osigurava lebdećoj kugli (u kojoj je smješten girokopski osjetljivi element) neutralni položaj i ublažuje trenje u nosećem ležaju. Ekspanzijska komora omogućuje promjenu obujma ulju zbog promjene temperature. Takva suspenzija osjetilnog elementa, umjesto čiste mehaničke ili likvidne, ima više prednosti: omogućuje primjenu manjih rotora pa se smanjuje promjer lebdeće kugle; napajanje strujom girorotora neposredno je, umjesto posrednoga kroz elektrolitični likvid u drugih kompasu; nisu potrebni temperaturni stabilizatori (grijači i ventilator) noseće tekućine zbog fizički stabilnog položaja lebdeće kugle.

Girokompas Sperry Mark XXX izrađuje se u više tipova prikladnih za razne vrste brodova; može imati do 12 girokompasnih ponavljača koji se mogu pojedinačno uključiti odnosno

isključiti. U najnovijim tipovima kompasu ugrađena je tranzistorska tehnika. Sve tipke i preklopke za rukovanje kompasom na gornjem su dijelu stalka. Korektor plovibne pogreške i pogreške geografske širine odvojen je od matičnog kompasu i može se postaviti na najpogodnijem mjestu (u navigacijsku kabinu), što omogućuje daljinski unos popravaka.



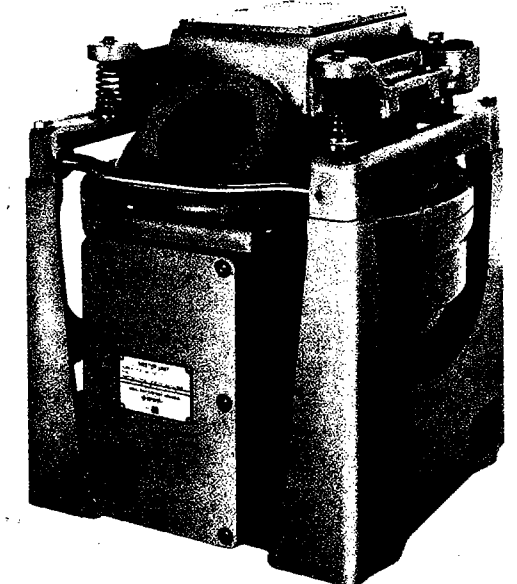
Sl. 1.18. Kormilarski kompas *Sperry - Mark XX*



Sl. 1.19. Girokompas *Sperry Mark - XXX*



Sl. 1.20. Girokompas *Sperry Mk 37*



Sl. 1.21. Girokompas *Sperry SR 120*

Girokompas Mark 37 predviđen je kao matični kompas za sve vrste trgovačkih brodova. Malih je dimenzija (400 mm × 280 mm × 280 mm) i lagan (30 kg). Po sustavu "korak po korak" može pokretati do 12 kompasnih ponavljača, kao i sve ostale uređaje koji rade u vezi s njim. Bez posebnih dijelova, može se prilagoditi svakoj brodskoj mreži (sl. 1.20.).

Matični kompas ima likvidnu suspenziju osjetilnog elementa, kao i Mark XXX. Može biti smješten samostalno ili u zapovjedničkom pultu. Kad kompas nije u uporabi, osjetilni se element može ukočiti pa se tako mogu izbjeći mehanička oštećenja.

Girokompas Sperry SR 120 namijenjen je manjim brodovima (sl. 1.21.). Valjkastog je oblika, s kompasnom vjetrovljom na poklopcu (promjer 300 mm × 480 mm). Redovito se matični kompas upotrebljava i kao kormilarski; na nj se mogu priključiti i ostali uređaji (kompasni ponavljači, kompasna vjetrovlja oko radarskog videozaslona, autokormilo i dr.). Ima korektor pogreške geografske širine, a popravak za plovidbenu pogrešku dobiva se iz posebnih tablica. *Girokompas Mark 100* sličan je prethodnome, ali ima manju prijenosnu snagu pa nema kompasnih ponavljača.

PITANJA:

1. Navedite glavne dijelove girokompasa *Sperry* i objasnite njihovu povezanost u radu.
2. Objasnite sustav i načelo na kojem počiva osjetilni element girokompasa *Sperry*.
3. Objasnite sustav, ulogu i rad pratećeg elementa girokompasa *Sperry*.
4. Opišite balistički sustav girokompasa *Sperry* i objasnite kako on djeluje.
5. Koji zadatak na girokompasu *Sperry* ima pauk i koji se dijelovi na njemu zbog toga nalaze?
6. Koje korektore ima girokompas *Sperry*, kako rade i kako se s njima rukuje?
7. Objasnite kako radi prijenosni sustav girokompasa *Sperry*.
8. Objasnite kako radi girokompas *Sperry* pri promjeni kursa broda.
9. Objasnite postupke kojih se valja pridržavati pri rukovanju girokompasom *Sperry*:
a) pri upućivanju kompasu; b) za vrijeme rada kompasu; c) pri zaustavljanju kompasu; d) pri sinkronizaciji kompasnih ponavljača.
10. Koje se značajke novijih tipova girokompasa *Sperry*?
11. Koje su prednosti, a koji nedostaci girokompasa *Sperry*?

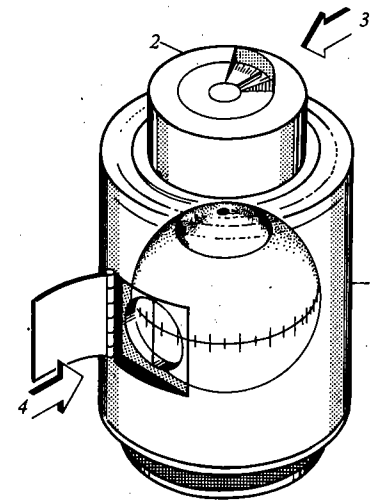
1.3. Girokompas Anschütz

1.3.1. Glavni dijelovi. Girokompas njemačke tvrtke *Anschütz* (Kiel) sastoji se od *matičnog kompasu*, *kompasnih ponavljača* i *motor-generatora s pomoćnim dijelovima*. Matični kompas ima ove glavne dijelove (sl. 1.23.): osjetilni element (lebdeća kugla), prateći element (viseća kugla), kotlić i stalak (kućište).

O s j e t i l n i e l e m e n t (njem. *Kreiselkugel*). To je lebdeća kugla izrađena od lima ili mjedi, a radi izolacije obložena je izolirajućom masom (plastikom ili tvrdom gumom). U kretkastom nosaču nalaze se: *sustav od dva gira*, svaki u zasebnom okretnom kućištu, *odbojna zavojnica* napajana izmjeničnom strujom i *uređaj za prigušivanje precesije*. Vodiči su struje elektrode: *polarne strujovodljive kalote* (od grafitne gume) i *polukružne ekvatorske strujovodljive vrpce*. Duž ekvatorskog pojasa lebdeće kugle urezana je *stupanjska podjela* od 0° do 360° (sl. 1.22.), a vidi se kroz stakleni pojas viseće kugle. Kugla je napunjena vodikom, hermetički je zatvorena, a lebdi u posebnoj tekućini unutar viseće kugle pa se naziva i *lebdeća kugla*. U donjoj kaloti lebdeće kugle nalazi se ulje za podmazivanje ležaja gira. Ulje nema dodira sa zrakom pa može trajati i do 20 godina.

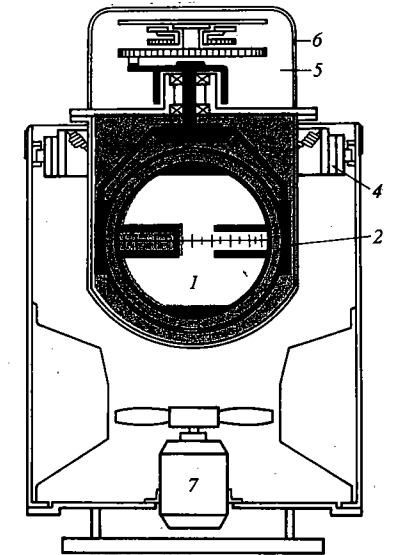
Oba su gira mehanički spojena sustavom poluga, a osovinske opruge drže ih pod kutom od 90° (sl. 1.25.). Sustav je stabilan u svim smjerovima, a spriječena je i interkardinalna pogreška kompasu. Kada se lebdeća kugla smiri u meridijanu, simetrala osovina pokazuje smjer girokompasnog meridijana. Oba gira pokreće trofazna izmjenična

struja (3 × 110 V, 333 Hz). Zbog većeg momenta inercije, rotor elektromotora gira nalazi se s vanjske strane, a sklop statora je u sredini. Statori su motora paralelno spojeni tako da je jedna faza priključena na gornju kalotu, druga na donju, a treća faza na ekvatorske vrpce lebdeće kugle. Giro u pogonu ima oko 20 000 okretaja u minuti.



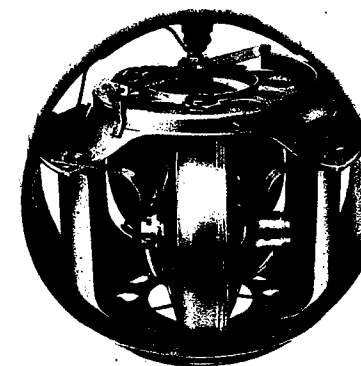
Sl. 1.22. Stalak kompasu *Anschütz*

1 – stalak; 2 – poklopac; 3 – stupanjska podjela na stupanjskoj vjetrovlji; 4 – stupanjska podjela na ekvatoru lebdeće kugle



Sl. 1.23. Ustroj matičnog kompasu *Anschütz*

1 – lebdeća kugla; 2 – prateća kugla; 3 – kotlić s tekućinom; 4 – kardanski sustav; 5 – zupčani prijenosi na kompasne vjetrovlje; 6 – poklopac; 7 – rashladni ventilator



Sl. 1.24. Girokompas *Anschütz* – lebdeća kugla

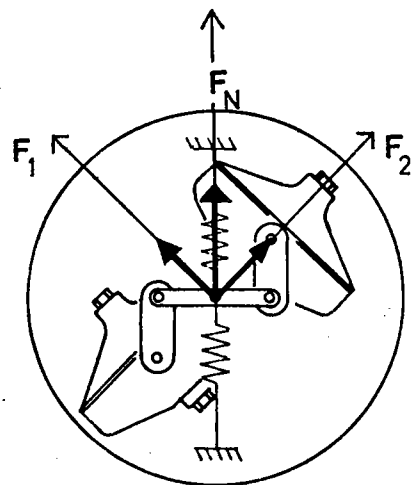
1 – polarne strujovodljive kalote; 2 – dva gira; 3 – ekvatorske strujovodljive vrpce; 4 – odbojna zavojnica

U donjem dijelu lebdeće kugle (osjetilnog elementa) nalaze se odbojna zavojnica (kuglu održava u lebdećem položaju) i posuda s uljem za podmazivanje. Zbog rotacije Zemlje vertikalna os lebdeće kugle izbija iz vertikale. Kad bi težište kugle bilo u ravnini

težišta gira, lebdeća bi kugla u 24 sata načinila puni okret oko vodoravne osi. Međutim, to nije slučaj; čim se simetrala sustava gira uzdigne, masa lebdeće kugle zakretnim momentom djeluje na osovinu gira i vraća je prema meridijanu. Svaki pojedini giro svojim momentom povratka izvodi isti kut odklona, ali u suprotnom smjeru. Budući da su rotacijske osi oba gira međusobno okomite, njihova simetrala pokazuje smjer meridijana (sjeverojužnice) ili teži da se precesiranjem postavi u meridijan.

Odbojna zavojnica smještena je u donjem dijelu lebdeće kugle iznad posude s uljem i priključena na gornju i donju kalotu. Napaja se izmjeničnom strujom i stvara magnetno polje s donje strane lebdeće kugle, koje je vertikalno orijentirano u obliku stošca. U obješenj kugli indukcijom se stvaraju Foucaultove (vrtložne) struje, a one izazivaju magnetno polje kojemu je smjer protivan primarnom polju. Tako izazvane odbojne sile centriraju lebdeću kuglu na propisanoj udaljenosti od viseće kugle: vertikalna komponenta tih sila daje lebdećoj kugli malen uzgon, a vodoravna komponenta provodi centriranje kugle.

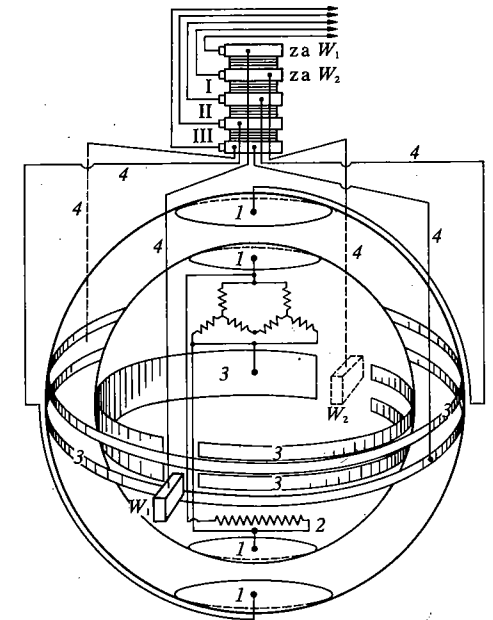
Sustav prigušivanja radi na načelu tzv. Frahmova tanka. To je prstenasta posuda napunjena uljem i podijeljena na osam komora koje su međusobno spojene tankim cjevčicama. Smještena je s unutarnje strane gornje kalote lebdeće kugle, paralelno s ekvatorskim vrpcama. Prigušivanje je regulirano polaganim prelaženjem ulja iz posuda na uzdignutoj strani k posudama na nižoj strani (iz sjeverne posude prema južnoj i obratno); time se pomiče točka težišta lebdeće kugle te uzrokuje novi moment koji stvara protuprecesiju osi gira. Moment protuprecesije u početku je najveći, a kasnije sve manji, jer je veličinom rupica (cjevčica) vrijeme protjecanja tekućine usklađeno s poluperiodom oscilacija gira. Budući da je svaka iduća precesija i protuprecesija razmjerno reducirana, i oscilacije sjeverojužnice (0° ekvatorske podjele) u meridijanu smirivat će se postupno, a kugla će dobivati uspravan položaj. U protivnome, budući da je trenje lebdeće kugle u tekućini pri njezinu precesiranju vrlo malo, sjeverojužnica osjetilnog elementa vrlo bi dugo oscilirala oko meridijana. Ovaj sustav prigušivanja nema vlastite pogreške, koja postoji u girokompasnom *Sperry*.



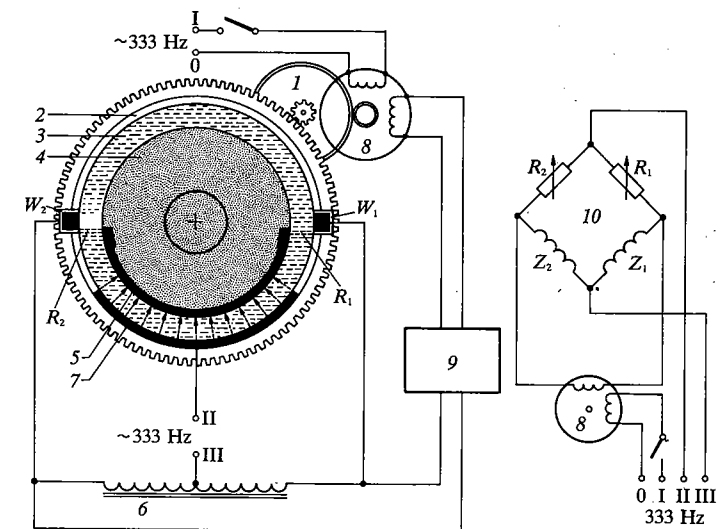
Sl. 1.25. Girokompas *Anschütz* – sklop gira u lebdećoj kugli, pogled odozgo
 F_1 i F_2 – smjerna sila pojedinog gira;
 F_N – rezultatirajuća smjerna sila prema N_p

Prateći element (njem. *Hüllkugel*). Sastoji se od prateće kugle, osjetila pomaka, pojačala, protupokretnog servomotora i zupčastog prijenosa. Svrha mu je da preko prateće kugle slijedi lebdeću kuglu pri svakoj promjeni kursa i tako stalno orijentira 0° kompasne vjetrovlje prema meridijanu. Prateća kugla sastoji se od dvije

mjedene polukugle obložene tvrdom gumom (sl. 1.26. i 1.27.). Na polovima su strujovodljive kalote, a na ekvatoru dvije neprekidne strujovodljive vrpce.



Sl. 1.26. Međusobni odnos lebdeće i viseće (prateće) kugle
 1 – polarne strujovodne kalote;
 2 – odbojna zavojnica;
 3 – ekvatorske strujovodljive vrpce;
 4 – paukove noge viseće kugle;
 I, II, III – prsteni pojedinih faza;
 w_1 i w_2 – prekretni umeci (elektrode)

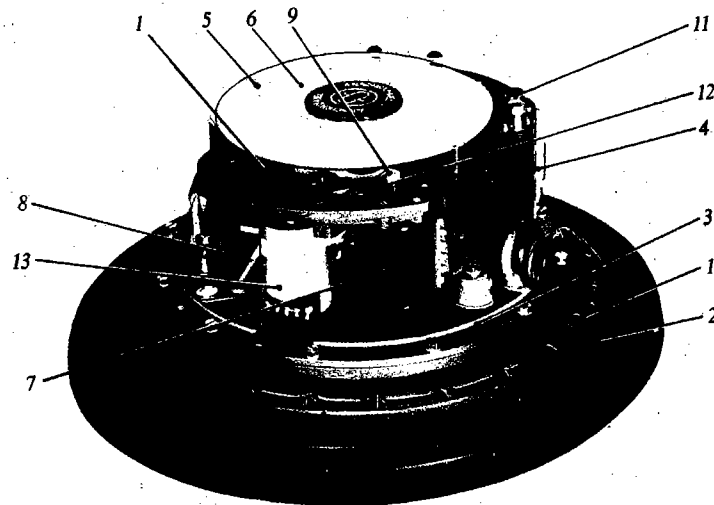


Sl. 1.27. Prateći sustav *Anschütz* – Wheatstoneov most
 1 – azimutni prigoni; 2 – viseća (prateća) kugla; 3 – uzgonska tekućina; 4 – lebdeća kugla;
 5 – ekvatorska elektroda; 6 – simetrična prigušnica; 7 – prstenasta elektroda na visećoj kugli;
 8 – protupokretni servo-motor; 9 – pojačalo; 10 – Wheatstoneov most; W_1 i W_2 – pokretni umeci (elektrode) na visećoj kugli; Z_1 i Z_2 – elektrode simetrične prigušnice (6); R_1 i R_2 – promjenjivi otpori

Između vrpca nalazi se stakleni pojas s dva ili tri strujovodljiva prekretna umetka (dijametralno smještene), a obavljaju prijenos prekretnih faza. Kugla visi o šest paukovih nogu. Noge su pričvršćene o okretljiv osnac koji je smješten u kugličnom ležaju na poklopcu kotla. One su vodiči trofazne struje na kalote, ekvatorske vrpce i strujovodljive umetke. Na obrtnom osnacu prateće kugle nalaze se klizni prsteni za prijenos struje, protupokretna azimut-ploča, kompasna vjetrulja sa stupanjskom podjelom od 0° do 360° i pramčanica (njem. *Steuerstrich*). S protupokretnom azimut-pločom u omjeru 1:18 povezana je vjetrulja s podjelom od 20° (2 × 10°) za očitavanje kursa s točnošću od 0,1°.

Osjetilo pomaka prateće kugle (iz osnovnog položaja) radi prema načelu Wheatstoneova mosta. Grane toga mosta čine simetrične prigušnice (Z_1 i Z_2) koje su ujedno primarni namotaji ulaznog transformatora pojačala; tekućina između prekretnih umetaka (elektroda) prateće kugle i polukružnih ekvatorskih vrpca na lebdećoj kugli s promjenljivim otporima R_1 i R_2 čini drugi dio mosta. Veza između Wheatstoneova mosta i elemenata prateće kugle prikazana je na sl. 1.27. desno.

Protupokretni je motor (njem. *Nachdrehmotor*) asikroni dvofazni s dvije zavojnice. Jedna je priključena između nule i jedne faze sustava trofazne struje i stalno je pod strujom; druga, nazvana prekretna faza, spojena je s kliznim prstenovima koji su u vezi sa strujovodnim (prekretnim) umecima, a napaja se zavisno od promjene kursa.



Sl. 1.28. Gornji dio kotlića s dijelovima girokompasa *Anschütz*

1 – unutarnji prsten kardana; 2 – vanjski prsten kardana; 3 – poklopac kotlića; 4 – utikačka kutija; 5 – vjetrulja sa stupanjskom podjelom od 0° do 360°; 6 – vjetrulja sa desetinkama stupnja; 7 – protupokretni motor; 8 – živin termometar; 9 – osovina na trenje; 10 – prijenosno kolo na trenje; 11 – rasvjetna žaruljica; 12 – ploča prijenosnika; 13 – sinkroni odašiljač

Kompasni kotlić (njem. *Kompasskessel*). Redovito je od bakrenog lima. Ima oblik valjka s polukuglastim dnom, a iznutra je obložen grafitnom gumom. S gornje je strane kotla poklopac u kojemu se, uz ostalo, nalaze protupokretni motor sa zupčanim prijenosima na sinkroni davač, regulatori za ventilator i grijač (ugrađen u koto), davač za kompasne ponavljače, kontakt uređaja za uzbunjivanje koji se aktivira ako temperatura tekućine prijeđe dopuštene granice, termometar kojim se nadzire temperatura tekućine, selsinski odašiljač za napajanje kompasnih ponavljača, libela,

korektor za brzinu plovidbe, priključnica za struju i sl. (sl. 1.28.). Kotlić i prostor između obiju kugla ispunjen je tekućinom koja prolazi kroz otvore viseće kugle, hladi uređaj i daje uzgon lebdećoj kugli. Tekućina je mješavina destilirane vode, glicerina i benzokiseline. Glicerina daje odgovarajuću gustoću i sprečava smrzavanje, a kiselina osigurava struji potrebnu vodljivost. Kotlić je elastično obješen o kardan i smješten u stalku kom-pasa.

Stalak ili kućište (njem. *Kompasshaus*). Oblika je valjka i u njemu su smješteni svi dijelovi kompasa. Podloga mu je obično od suhog drva (hrastovine), a dno pričvršćeno na podnožje posebnim vijcima na način koji omogućuje da se ispravi koeficijent A° . Vrata omogućuju pristup kompasnim dijelovima s više strana. Na donjem dijelu kućišta je priključak za brodsku električnu mrežu. Na poklopcu je stakleni prozorčić za očitavanje kompasne vjetrulje. Kurs se može čitati i na ekvatorskoj podjeli, kroz prozorčić na stalku (sl. 1.22.).

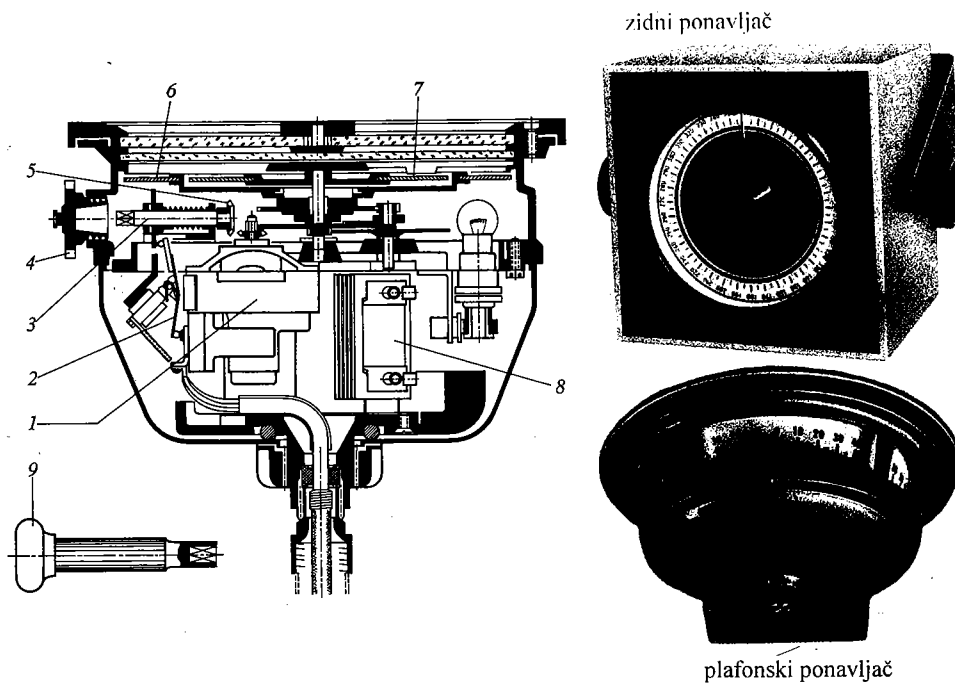
Kompasi *STANDARD I* i *II* imaju hlađenje vodom, a *STANDARD III* i drugi tipovi strujanjem zraka (s pomoću ventilatora). Uređaj za rashlađivanje automatski regulira radnu temperaturu kompasa, odnosno automatski ga isključuje kad temperatura prijeđe dopuštenu granicu. Poseban uređaj upozorava ako se kompas neispravno hladi. Signalni svjetlosno zvučni uređaj pokazuje radi li kompas ispravno ili je negdje nastao kvar. Signalni ormarići smješteni su na prikladnome mjestu - blizu kormilara ili osoblja na plovidbenoj straži.

Kompasni ponavljač. Objasnit će se načelo rada jednog klasičnog pokazivača. Sastoji se od dvije vjetrulje: glavna, s podjelom 0°–360° za očitavanja cijelih stupnjeva, i manja, koncentrično smještena, za očitavanje desetinke stupnja (kao i na matičnom kompasu). Podaci s matičnog kompasa prenose se na ponavljače putem servosustava. Odašiljač matičnog kompasa mehanički je spojen (tarni pogon) sa sustavom viseće kugle tako da potpuni obrtaj viseće kugle okrene davač tristo i šezdeset puta. Odašiljač matičnog kompasa stavlja u pogon prijamni motor kompasnog ponavljača. Taj motor prijenosnim zupčanicima okreće vjetrulju s podjelom na desetinke stupnja (6 minuta), koja preko prijenosa 1:36 pokreće i glavnu vjetrulju ponavljača. S obje vjetrulje koje međusobno koincidiraju očitava se kurs u stupnjevima i desetinkama stupnja. Noviji tipovi ponavljača imaju samo jednu kompasnu vjetrulju (sl. 1.29.).

Kompasni ponavljač s mehaničkim prijenosom sinkronizira se s matičnim kompasom ovako: s kotla ponavljača otkloni se poklopac i u utor uvuče četverobridni ključ. Ručnim okretanjem ključa (pod pritiskom) pokreće se motor-primač, a preko njega i vjetrulja, dok kompasni ponavljač ne pokaže istu vrijednost kursa kao i matični kompas. Transformator transformira postojeću struju na napon žaruljice za osvjetljenje ponavljača.

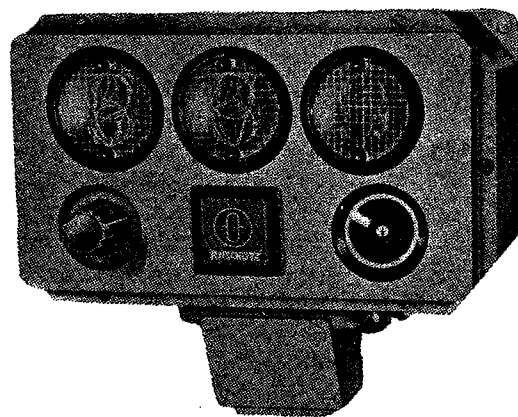
Sve više su u upotrebi kompasni ponavljači digitalnog tipa (zidni, plafonski), slični kao i u girokompasu *Sperry* (sl. 1.29. desno).

Sl. 1.30. pokazuje vrstu *digitalnog kompasnog ponavljača* koji omogućuje da se kurs očitava i s veće udaljenosti. Videozasloni triju katodnih cijevi pokazuju kurs broda brojen od 0° do 360°. S pomoću jednog konvertera, koji se nalazi u donjem dijelu kućišta, signali kursa primljeni od sinkronog davača kao rotacijske vrijednosti pretvaraju se u impulse koji kontroliraju pokazivanje na digitalnim videozaslonima. Na kućištu (desno dolje) nalazi se rotirajući pokazivač strane na koju brod mijenja kurs. U drugom tipu pokazivača (desno) sinkronizirani signal kursa (s matičnog kompasa) pretvara se, s pomoću električnog konvertera, u binarni digitalni signal, koji se poslije podešavanja prikazuje kao brojana vrijednost kursa na točnost od 0,5°.



Sl. 1.29. Girokomпасni ponavljača Anschütz

1 – motor-ponavljač; 2 – kontaktno pero; 3 – osovina ključa s oprugom; 4 – poklopac utora za ključ; 5 – zupčanik osovine ključa; 6 – glavna stupanjska vjetrovlja; 7 – minutna vjetrovlja (točnost $\pm 0,1^\circ$); 8 – pretvarač struje za osvjetljenje ponavljača; 9 – ključ



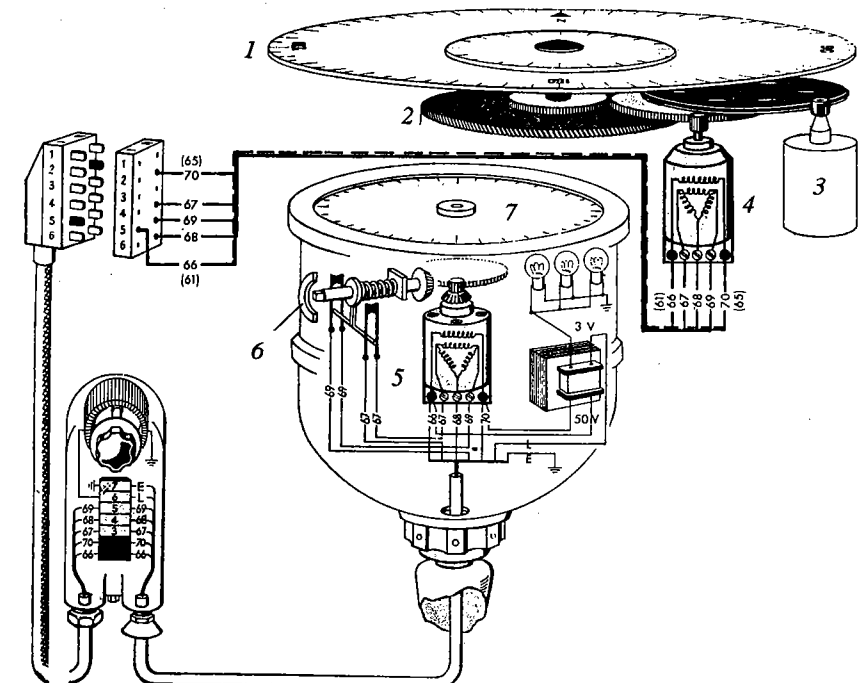
Sl. 30. Digitalni girokomпасni ponavljač Anschütz

Pogreška geografske širine. Redovito je nemaju kompas Anschütz, jer su konstruirani za određeno plovibeno geografsko područje. Neki tipovi kompasu imaju poseban korektor. To je, zapravo, reostat s ljestvicom podijeljenom na stupnjeve, kojim se pri promjeni geografske širine mijenja kutna brzina gira. Time se mijenja jakost smjerne sile i precizijom stvara odgovarajuća balistička pogreška, suprotno pogreški geografske širine.

Plovibena pogreška. Popravlja se posebnim korektorom, slično

kao i u girokompasu tipa Sperry, tj. postavljanjem geografske širine i brzine broda. Taj je korektor poznat i pod nazivom *delta-sprava* (njem. *Delta-Gerättes*); za kompas koji ga nemaju, plovibene pogreške (δ_g) dobiva se iz tablica (*Nautičke tablice* u izd. HHI).

1.3.2. Načelo rada matičnog kompasu. Iz generatora (3×110 V, 333 Hz) preko spojnih stezaljki na stalku struja se dovodi na klizne prstenove, a zatim paukovim nogama na polarne kalote, ekvatorske vrpce i prekretnne umetke (elektrode) viseće kugle. S tih dijelova viseće kugle pojedina faza struje prelazi kroz tekućinu na odgovarajuće suprotne dijelove lebdeće kugle, a odatle se vodi do rotora i jednog i drugog gira te odbojne zavojnice (sl. 1.31.). Zbog blizine kugli i dobre provodljivosti tekućine, pad je napona struje vrlo mali. Dok je brod ustaljen u kursu, provodljivi su umetci prateće kugle u neutralnom položaju, nasuprot krajevima široke ekvatorske vrpce lebdeće kugle.



Sl. 1.31. Prijenosni sustav Anschütz

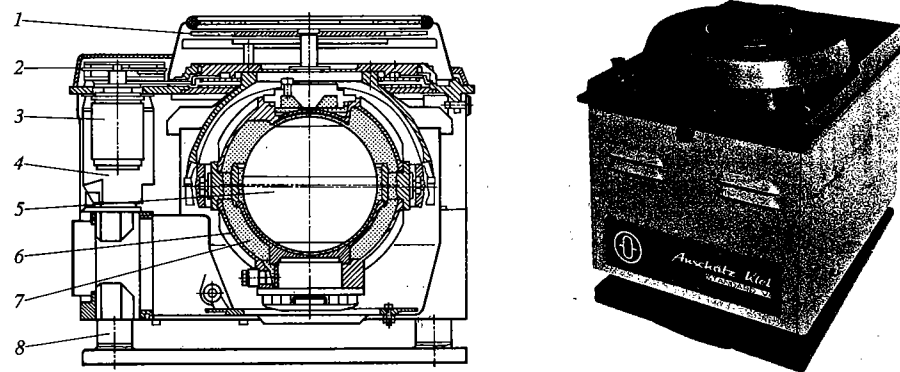
1 – vjetrovlja matičnog kompasu (glavna i središnja za očitavanje $0,1^\circ$); 2 – azimutna (protupokretna) ploča; 3 – protupokretni motor; 4 – sinkroni odašiljač (kursa); 5 – sinkroni primač (kursa); 6 – osovina ključa za sinkroniziranje kompasnog ponavljača; 7 – vjetrovlja kompasnog ponavljača

Otporom tekućine između krajeva vrpca s jedne strane, i provodljivih (prekretnih) umetaka i simetrične zavojnice s druge, stvoren je tzv. *Wheatstoneov most*. S tih umetaka struja kroz paukove noge prolazi na klizne prstenove, a s njih na ulazni transformator pojačala. Kad su prekretni umetci elektrode simetrični (neutralni) prema krajevima ekvatorske vrpce lebdeće kugle, izjednačeni su i prijelazni otpori od ovih umetaka preko tekućine k vrpcama lebdeće kugle. Struje koje tada prolaze kroz svitke transformatora jednake su, poništavaju se u djelovanju i nema električnog napona. Lebdeća je kugla stalno nepomična sa 0° ekvatorske podjele u girokompasnom meridijanu. Čim brod i

najmanje skrene iz kursa okrenu se stalak kompasa i viseća kugla, prekretni se umeci pomaknu iz neutralnog položaja i promijene se otpori u tekućini između vrpca i provodljivih umetaka. Dok jedan otpor postaje veći, drugi se smanjuje. Budući da je jakost struje obrnuto razmjerna otporu, na umecima i na svicima ulaznog transformatora javlja se napon. Faza se toga napona, ovisno o smjeru okretanja, mijena za 180° i određuje smjer promjene kursa. Tako nastala slaba struja pojačava se i vodi na protupokretni motor koji putem prijenosa na trenje i zupčanih prijenosa zakreće (vraća) viseću kuglu i sinkroni davač dok se otpori ponovno ne izjednače. Na taj način viseća kugla stalno prati lebdeću kuglu i 0° podjele vjetrulje matičnog kompasa ostaje nepomična prema meridianu. Broj stupnja kod pramčanice kompasa pokazuje girokompasni kurs. Motor-odašiljač preko sinkronog prijenosa pokreće sinkrone motore-primache u kompasnim ponavljačima i tako njihove vjetrulje pokazuju kurs prema matičnom kompasu. Takvim sustavom postiže se miran hod kompasne vjetrulje, što je osobito pogodno pri smjeranju objekata. Da bi se kurs što točnije pokazivao, u strujni krug protupokretnog motora i Whetstonova mosta ugrađeno je pojačalo koje osigurava točnost pokazivanja od 0,1°.

1.3.3. Ostali tipovi girokompasa. Stariji *Anschütz* kompasi (*Standard I i II*) razlikuju se od novijih (*Standard III i IV*) prema matici, kutiji s preklopkama i rashladnom uređaju. Noviji su tipovi manji (tip *Junior*), mogu služiti kao kormilarski kompasi. Redovito su smješteni u pultu zapovjedničkog mosta; ako nisu tako smješteni moraju imati posebnu prostoriju i na mostu izdvojeni signalni uređaj i glavnu uklopku. Osim motor-generatora (pretvarača) i glavne uklopke, svi se dijelovi kompasa nalaze u stalku. Imaju isključivo zračno hlađenje, a oblog kotla od valovitog lima i plašt za vođenje zraka pomažu hlađenju koje provodi ventilator. U oblogu su električni grijači oblika U.

Najjednostavniju opremu ima kompas tipa *Standard III i IV* (matični kompas, motor-generator i glavnu uklopku). Njime se opremaju obalni brodovi. Srednji i veći brodovi opremaju se kompasom *Standard IV*, jer im je potrebno više kompasnih ponavljača (za smjeranje, radar, radiogoniometar, giropilot, kursograf i dr.). On se ugrađuje na isti način kao i *Standard III*. Među novijim je kompasima tip *Standard VI i Standard 14*.



Sl. 1.32. Girokompas *Anschütz-Standard VI*

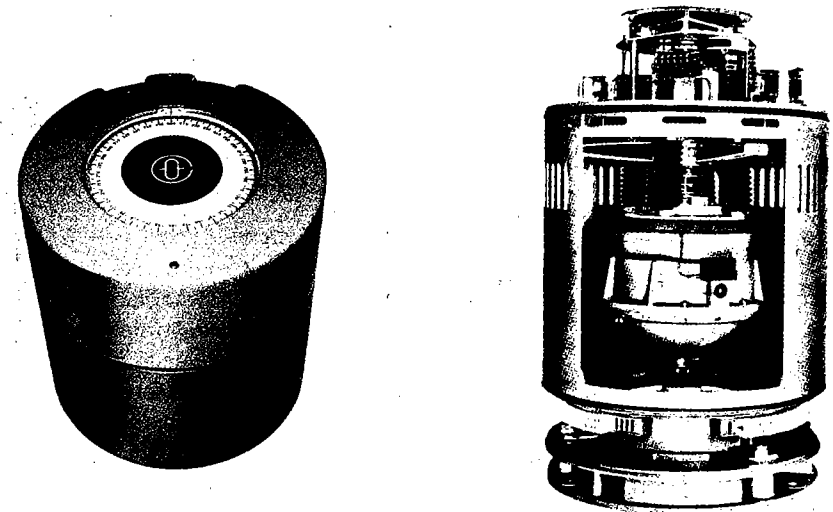
1 – kompasna vjetrulja (Ø 180 mm); 2 – kućište (stalak); 3 – protupokretni motor;
4 – motor-davač (kursa); 5 – osjetilni element (lebdeća kugla, Ø 115 mm); 6 – prateći element (viseća kugla); 7 – nosiva tekućina; 8 – protuudarni element

Njemačka tvrtka *C. Plath*, Hamburg, izradila je poseban tip kompasa, sličan *Anschützovu* girokompasu, a može se također upotrijebiti kao kormilarski kompas. Na vrhu kompasa dvije su koncentrične vjetrulje: glavna s podjelom od 0° do 360° i mala s podjelom od 0° do 10°. U

kompas je ugrađena elastična kardanska suspenzija viseće i lebdeće kugle, pa je izbjegnuta balistička pogreška (sl. 1.33.).

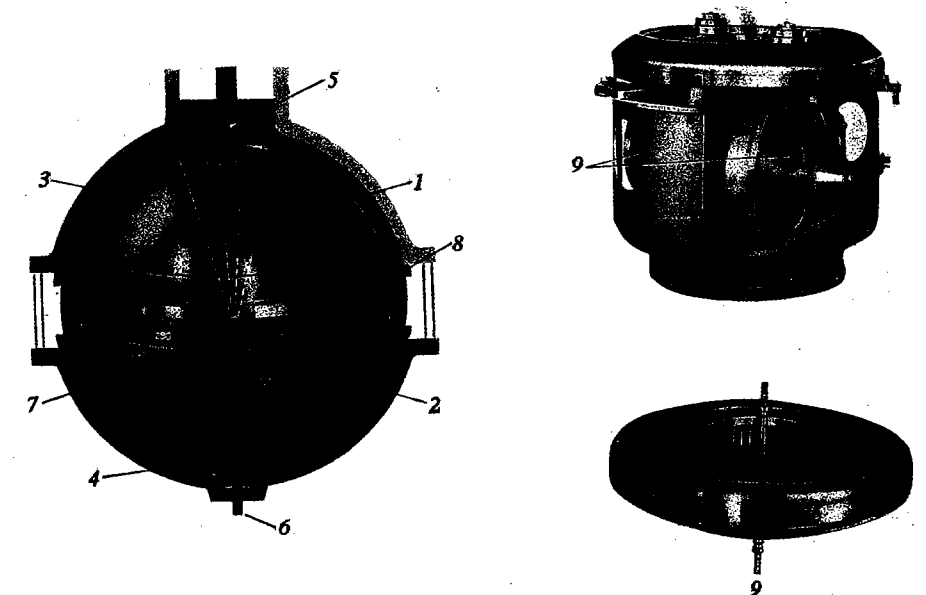
Tomu je girokompas sličan japanski tip *Hokushin-Plath*.

Girokompas talijanske tvrtke *Microtecnica* zapravo je malo promijenjen *Anschütz* kompas. Konstruiran je za određenu geografsku širinu, pa nema korektor geografske širine.



Sl. 1.33. Girokompas *Anschütz-Standard*

Sl. 1.34.a. Girokompas *Plath* - matična jedinica



Sl. 1.34. b. Girokompas *PLATH*

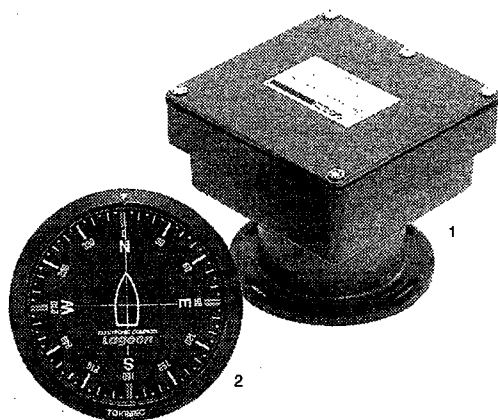
1 – lebdeća kugla; 2 – viseća kugla; 3 – tekućina; 4 – živa; 5 – gornja elektroda;
6 – donja elektroda; 7 – strujovodljivi umeci; 8 – ekvatorske strujovodljive vrpce; 9 – giro

PITANJA:

1. Objasnite glavne dijelove girokompasa *Anschütz*, njihovu ulogu i međusobnu povezanost.
2. Objasnite sustav i načelo lebdeće kugle (osjetilnog sustava) girokompasa *Anschütz*.
3. Objasnite sastav, ulogu i rad viseće kugle (pratećeg sustava) girokompasa *Anschütz*.
4. Opišite uređaj za prigušivanje girokompasa *Anschütz* i objasnite kako radi.
5. Navedite specifičnosti girokompasa *Anschütz*, za razliku girokompasa *Sperry*.
6. Koje korektore ima girokompas *Anschütz*, njihovo načelo rada i kako se s njima rukuje?
7. Objasnite prijenosni sustav i rad kompasnog ponavljača u girokompasu *Anschütz*.
8. Kako radi matični girokompas *Anschütz* pri promjeni kursa?
9. Koje su značajke novijih tipova girokompasa *Anschütz*?
10. Koje su prednosti a koji nedostaci girokompasa *Anschütz*?
11. Navedite glavne značajke drugih tipova girokompasa sličnih girokompasu *Anschütz*.

1.4. Ostali uređaji zbrojene navigacije

1.4.1. Elektronički kompas. Ovaj tip kompasa preinaka je indukcijskog (*Flux Gate*) kompasa, a kasnije je nazvan i elektromagnetički kompas. Radi na načelu elektromagnetske indukcije, a ne na temelju usmjeravanja magnetne igle djelovanjem silnica Zemljina magnetnog polja. Glavni su mu dijelovi: osjetilni element, matični pokazivač kursa, kompasni ponavljač (prema potrebi), upravljačka jedinica, servopojačalo (daje struju za predmagnetiziranje svitaka za pogon servomotora) i motorgenerator (za napajanje uređaja). Osjetilni element s kompenzacijskim magnetima (elektromagneti) B° i C° smješten je u posebnom kućištu. Sastoji se od tri nepokretne (prema uzdužnici broda) željezne vodoravne jezgre visokog permeabiliteta u trokutnom (zvjezdastom) spoju; na svakoj jezgri nalazi se i uzbudna zavojnica za predmagnetiziranje jezgre. Kućište s osjetilnim elementom postavlja se na magnetski najpovoljnijem mjestu. Kurs se očitava na matičnom pokazivaču ili na kompasnim ponavljačima.



Sl. 1.35. Elektromagneti kompas *EMC/2 TOKIMEC*
1 – elektronički dio (osjetilo/procesor);
2 – kompasna vjetrulja

Inducirani naponi u svitcima ovise o kursu broda i točno reproduciraju jačinu vodoravne komponente Zemljina magnetnog polja (smjernu silu), o kojoj ovisi i osjetljivost kompasa. Spojne točke indukcijskih svitaka spojene su za trofazni svitak selsinskog transformatora koji se nalazi u matičnom pokazivaču. Pod utjecajem električnih napona induciranih u svitcima osjetilnog elementa, kroz stator selsinskog transformatora protječe struja i time formira jedno rezultantno izmjenično magnetno polje koje u

statoru ima smjer Zemljina magnetnog polja. U rotoru selsinskog transformatora reproducirano izmjenično strujno polje inducira napon koji po jačini i fazi ovisi o položaju rotora prema rezultantnom magnetnom polju. Stoga rotor selsinskog transformatora i popratni servomotor uvijek zauzimaju određen položaj u skladu s vodoravnom komponentom Zemljina magnetnog polja. Ako se 0° kompasne vjetrulje drži u smjeru silnica Zemljina magnetnog polja (magnetnog meridijana), tada stupanjka vrijednost ispod pramčanice pokazivača označuje magnetni kurs broda.

S pomoću električnih kompenzatora (u osjetilnom elementu) automatski se kompenzira devijacija kompasa u $K_m=90^{\circ}$, odnosno u $K_m=270^{\circ}$ (koeficijent B°), i u $K_m 0^{\circ}$, odnosno $K_m=180^{\circ}$ (koeficijent C°). U sklopu glavnog pokazivača kompasa nalazi se korektor za popravak magnetske deklinacije (varijacije) Zemljina magnetnog polja. Poništavanjem devijacije kompasa i varijacije glavni pokazivač neposredno pokazuje pravi kurs broda.

Ovaj kompas posebice je pogodan za manja plovila. Trenutačno je spreman za uporabu, ali je poželjno da ga se pokrene makar pola sata prije otplovljenja. Ima bolje osobine (posebice mirnoću) od običnoga magnetnog kompasa, a koristi i dobre osobine girokompasa. Zbog tih osobina česta je njegova primjena i u sustavima automatskog kormilarjenja.

1.4.2. Giromagnetni kompas. To je kompas kojemu je osjetilni element slobodni giro. Odstupanje rotacijske osi gira iz meridijana popravljiva magnetski, odnosno indukcijski kompas, ili posebna elektromagnetna jedinica (na osovini gira stalno prenosi zakretni moment koji izaziva precesiju prema meridijanu). Odstupanje iz ravnine obzora popravljiva se djelovanjem sile teže ili gravitacijskim osjetilom; prijenosi su redovito fotočelijski, a mogu biti i kontaktni. Matični kompas (*Gyro Flux Gate* ili *Girosin*) i kućište s indukcijskim svitcima, sličnima kao i u indukcijskog kompasa; pokreće i određeni broj kompasnih ponavljača. Ovaj tip kompasa točniji je od magnetskoga: nema plovidbene pogreške, ni pogreške geografske širine ni balističke pogreške, koje su prisutne u girokompasu. Posebno je pogodan za manje brze brodove, a na većim brodovima ugrađuje se kao pričuvni kompas.

1.4.3. Ultrazvučni Dopplerov brzinomjer. Ova vrsta brzinomjera mjeri brzinu (prevaljeni put) broda na načelu Dopplerova pomaka frekvencija koji se javlja pri širenju ultrazvučnih valova kroz vodu, kao prividno povećanje frekvencije kad se odašiljač ultrazvučnih valova i mjesto refleksije približavaju (impuls odaslan u smjeru kursa), a kao smanjenje frekvencije kad se udaljuju (impuls odaslan u protukursu). Umjesto radne frekvencije odašiljača (f_0), u prijammniku se javlja nova frekvencija: $f=f_0 (1 \pm v/c)$; v je relativna brzina približavanja odašiljača mjestu refleksije (preznak +), odnosno udaljavanja od mjesta refleksije (preznak -), a c brzina širenja ultrazvučnih valova kroz vodu*.

Odaslani snop ultrazvučnih impulsa prema morskom dnu usmjeren je koso ispod kobilice broda, u smjeru pramca i krme. Od morskog dna reflektirani ultrazvučni signali vraćaju se prema brodskim prijammnicima. Iz razlike dviju frekvencija (f i f_0) diferencijalnom metodom elektroničko računalo izračunava ukupni Dopplerov pomak frekvencija, koji je razmjern kursnom (uzdužnom) vektoru brzine; na digitalnom pokazivaču prijammnika očitava se brzina broda preko dna (čv). Da bi se poništili štetni učinci zbog posrtanja i ljuljanja broda, odašiljač ima dva vibratora. Automatski se popravljiva

* Vidjeti: A. Simović: *Terestrička navigacija*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.

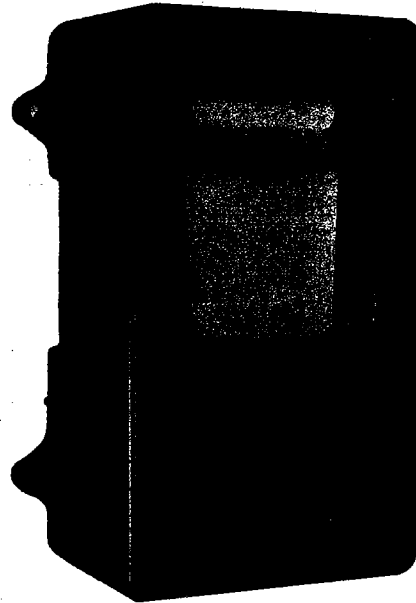
pogreška u brzini širenja ultrazvučnih signala zbog promjene gustoće (slanosti i temperature) mora.

Brzinomjer mjeri brzinu preko dna do 200 m dubine mora. Ako se plovi iznad većih dubina, uređaj se automatski prekopčava na odraz od gušćeg morskog sloja (lebdeći planktoni), koji se od svih mora javlja u određenoj dubini; tada brzinomjer mjeri brzinu kroz vodu.

Na sličnom načelu radi *Dopplerov ultrazvučni navigacijski manevarski sustav* (Doppler Sonar Docking Navigation System). Osim u uzdužnici, ultrazvučne snopove odašilje i u poprečnici broda, što omogućuje i praćenje pomaka broda u smjeru uzdužnice (odvojeno za pramac i odvojeno za krmu) s obzirom na morsko dno. To je posebno značajno pri manevriranju velikim brodovima (tankerima).

Dopplerov ultrazvučni brzinomjer redovito je jedno od osjetila (senzora) zbirnog stola, odnosno video (kartografskog) risača u sklopu satelitskog navigacijskog sustava GPS, posebice elektroničkog integriranog navigacijskog sustava i sustava ARPA; može biti i posebna navigacijska jedinica s priključcima na druga navigacijska osjetila (pogl.9.).

1.4.4. Kursograf. To je uređaj koji na papirnoj vrpici (s podjelom na stupnjeve i kvadrante) ucrtava put (kurseve) broda kroz vodu, a neke vrste kursografa imaju i poseban dio za bilježenje kuta kormila. Radi na sličnom načelu kao i girokompasni ponavljač.



Sl. 1.36. Kursograf Sperry

Glavni dijelovi kursografa (*course recorder*) jesu: uređaj za bilježenje kursa i satni mehanizam s prijenosnim valjcima.

Uređaj za bilježenje kursa sadrži prijamni motor (sličan kompasnom ponavljaču), pokazivač kursa s pisaljkom kvadranta, nosač pisaljke kursa i mehanizma za prematanje papirne vrpce.

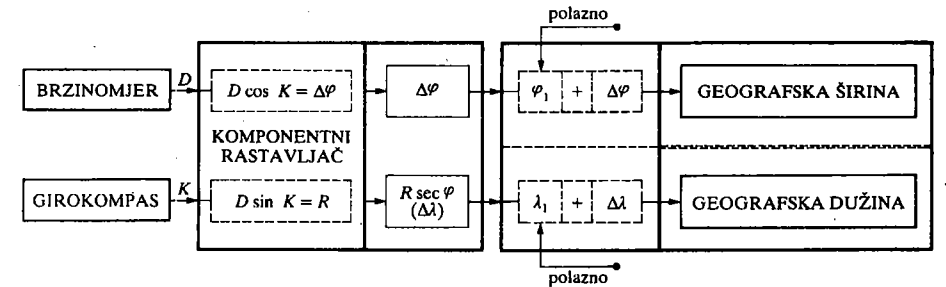
Satni mehanizam obrće valjak na kojemu je namotana papirna vrpca, koja može poslužiti za trideset dana plovidbe. Mehanizam se periodički navija (redovito svaka tri dana).

Papirna je vrpca kursografa podijeljena na dva dijela. Na užoj, lijevoj strani nalaze se četiri okomita stupca s podjelom kvadranta na stupnjeve, a na široj, desnoj strani stupanjska je podjela po kojoj piše pisaljka kursa. Vrpca je podijeljena vodoravnim crtama s vremenskim razmakom od deset minuta. Satovi su označeni na lijevoj strani vrpce.

Ako se promijeni kurs, motor-odašiljač matičnog girokompasa pokreće prijamni nosač pisaljke kursa. S lijeve strane koluta prislonjen je kraći krak pisaljke kvadranta. Obodnica koluta, da bi mogla bilježiti kvadrant, nepravilnog je oblika (poput četiriju stepenica). Ako se promijeni kurs, obrće se i kolut pokazivača kursa. Svaki put kad kraći krak poluge pisaljke kvadranta preskoči odnosnu stepenicu, pero preskače iz jednog vertikalnog stupca vrpce u drugi i tako bilježi kvadrant kursa plovidbe. Pužnim prijenosom osovina prijamnog motora obrće se valjkasti nosač pisaljke kursa. Obrtanje valjka preko kosog žlijeba uzrokuje vodoravno pomicanje nosača pisaljke kursa dok pisaljka ne dođe u rubriku dijagrama koja odgovara vrijednosti kursa. Kad se brod ustali u kursu, pisaljka kvadranta zauzima stalni položaj i bilježi crtu kompasnog kursa.

Pri uključivanju kursografa potrebno je njegovo pokazivanje sinkronizirati s točnim vremenom i matičnim kompasom, pisaljku kvadranta valja dovesti i u odgovarajući stupac kvadranta, a pisaljku kursa na crtu odgovarajućeg kursa. Papir se postavi na zonsko vrijeme tako da odgovarajuća crta vremena na papiru bude ispod pisaljke kursa. Uputi se satni mehanizam, a zatim uključi kursograf. Na papirnoj vrpici, u visini odgovarajućeg vremena, valja upisati rutu i nadnevak otplovljenja, a pri dolasku u luku nadnevak uplovljenja. Pri plovidbi valja povremeno provjeriti točnost registriranja kursa i njegovu podudarnost s vremenom, a ako je potrebno, valja ponovno obaviti i sinkronizaciju. Preporučuje se da se na vrpici upišu vremenske prilike, kut zanošenja, pogreške u registriranju i vrijeme provjere. Kad se rabi autokormilo, uz upisane crte valja naznačiti podatke o jačini vjetrova i stanju mora te o položaju regulatora kormila za vremenske prilike. Na završetku plovidbe, odnosno nakon trideset dana plovidbe, ispisani se papir skida s kursografa i redovito čuva uz *Brodski dnevnik*.

1.4.5. Zbirni stol. Navigacijski uređaj koji automatski bilježi put broda i trenutnu zbrojenu poziciju na navigacijskoj karti i na digitalnom pokazivaču. Omogućuje planiranje rute, a ispis podataka je plovidbeni dokument. Dva su tipa: elektromehanički (stariji) i elektroničkomehanički (suvremeni).



Sl. 1.37. Ustroj zbirnog stola

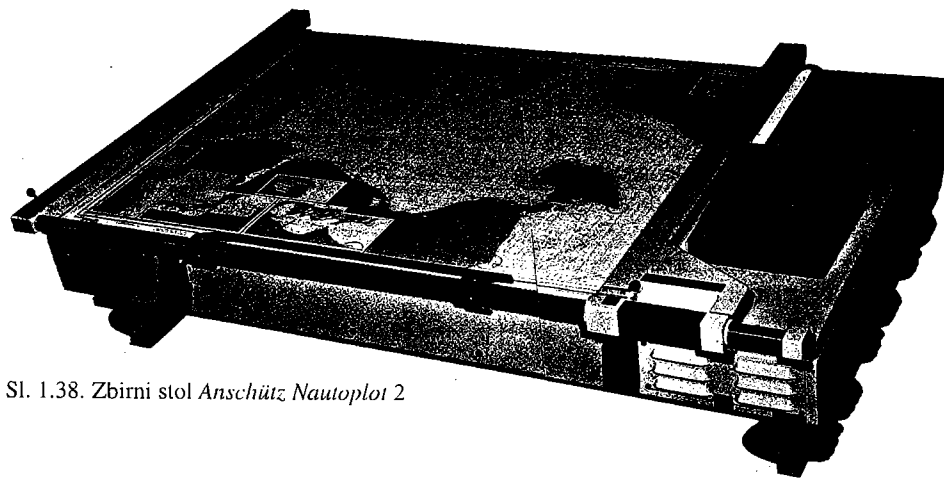
D – prevaljeni put; K – girokompasni kurs; φ – geografska širina;

λ – geografska dužina; $\Delta\varphi$ – razlika geografske širine; $\Delta\lambda$ – razlika geografske dužine

Elektromehanički zbirni stol (engl. *electromechanical plotter*) primljene podatke s girokompasa i brzinomjera preko rastavljača kursa pretvara u prevaljeni put broda na N-S (razlika geografske širine $-\Delta\varphi$) i E-W (razlika geografske dužine $-\Delta\lambda$) komponentu,

a zatim ih na načelu zbrajanja kursova ($\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi$; $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$) prenosi na situacijski stol. Primači odnosnih komponenti preko prijenosnih mehanizama pokreću sustav pokazivača geografske širine (φ) i geografske dužine (λ) te sustav pogonskih osovin s pisaljkom koja na navigacijskoj karti ucrtava pravi kurs broda kroz vodu (vrh pisaljke označuje trenutnu poziciju broda). Na projiciranom manevarskom dijagramu oko pozicije broda mogu se plotiranjem rješavati zadaci izbjegavanja sudara na moru (pogl. 6.4.).

Elektroničkomehanički zbirni stol (engl. *electronicmechanical table*), osim mehaničkog sustava, ima i elektroničke sklopove s mikroprocesorima. Sastoji se od crtačkog dijela (*chart-plotter*), tipkovnice (za unošenje početnih podataka) i videozaslona (ispis podataka). Prije upućivanja uređaja potrebno je unijeti: nadnevak i vrijeme, konstrukcijsku geografsku širinu i mjerilo karte, geografske koordinate polazne (opažene) pozicije broda, smjer i brzinu morske struje odnosno kut zanošenja. Pozicije na proteklom plovnom putu se memoriraju, a putem tipkovnice mogu se tražiti unutar jednog sata kao i za jedan sat unaprijed, ako brod ne mijenja kurs.



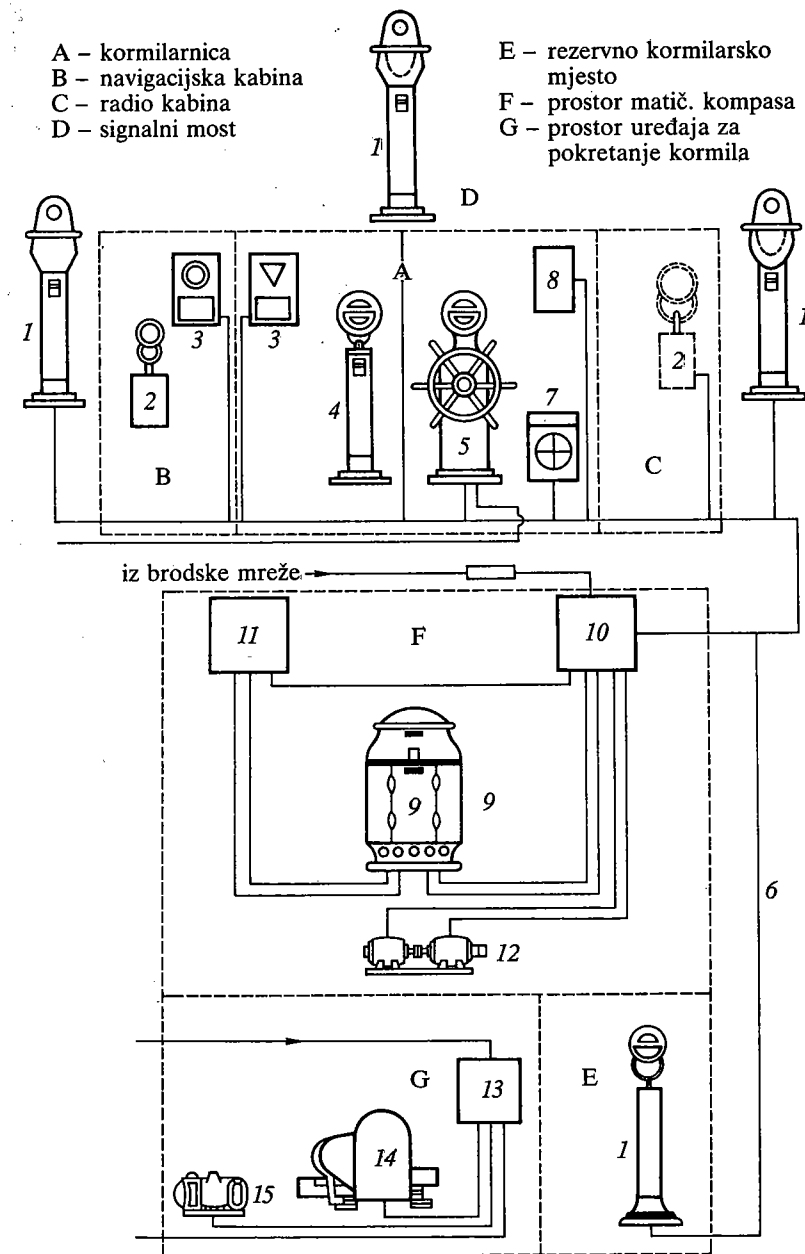
Sl. 1.38. Zbirni stol Anschütz Nautoplot 2

Navigacijski zbirni stol redovito je dio integriranoga navigacijskog sustava. Međutim, sve više je u uporabi kartografski videorisač kursa (*cartographic video plotter*; sl. 6.13.b.).

Sustav automatskog kormilarenja i upravljanja brodom, s osloncem na girokompas, odnosno elektronički kompas, obrađen je u poglavlju 8.5.

PITANJA:

1. Objasnite načelo rada elektroničkog kompasa.
2. Usporedite elektronički kompas prema magnetnom kompasu i girokompasu: a) prednosti, b) nedostaci.
3. Objasnite načelo rada ultrazvučnog brzinomjera i usporedite ga prema ostalim vrstama brzinomjera: a) prednosti, b) nedostaci.
4. Objasnite načelo rada i uporabu kursografa.
5. Objasnite načelo rada zbirnog navigacijskog stola i njegovu uporabu u zbrojenoj navigaciji.
6. Usporedite navigacijski zbirni stol i videokartografski risač (ploter) kao jedinice navigacijskog sklopa.



Sl. 1.39. Navigacijski uređaji u vezi s girokompasom

- 1 - smjerni girokompasni ponavljač ili obični; 2 - girokompasni ponavljač; 3 - kursograf; 4 - kormilarski girokompasni ponavljač; 5 - giropilot; 6 - spojni kabeli; 7 - zbirni stol; 8 - radar; 9 - matični girokompas; 10 - glavna razvodna ploča; 11 - pojačalo; 12 - električni pretvarač girokompasa; 13 - razvodna ploča za giropilot; 14 - kormilarski stroj; 15 - motor-generator giropilota

1.5. Inercijalni navigacijski uređaj

1.5.1. Opća načela. Inercijski navigacijski uređaj (SINS - *Ship's Inertial Navigation System*) temelji se na načelu mjerenja sile inercije nastale akceleracijom (ubrzanjem) zbog gibanja plovidbe broda. Kao navigacijski uređaj, mjeri i pokazuje brzinu broda preko dna, kurs preko dna i prevaljeni put preko dna, a na temelju tih elemenata i geografske koordinate pozicije broda. Osim toga, primjenjuje se i pri automatskom kormilarenju (upravljanju brodom) s pomoću giropilota; brod slijedi kurs preko dna (ucrtan na karti) koji odgovara kutu zanošenju broda zbog eventualnog vjetera, valova i struje*.

Pri loksomdromskoj plovidbi navigator poznaje geografske koordinate pozicije odlaska $P_1(\varphi_1, \lambda_1)$, kormilar s pomoću kompasa održava kurs broda, a brzinomjer mjeri brzinu i registrira prevaljeni put broda; grafički ili rješavanjem formula $\Delta\varphi = D \cos K$ i $\Delta\lambda = D \sin K \sec \varphi$ dobiva se pozicija $P_2(\varphi_1 + \Delta\varphi; \lambda_1 + \Delta\lambda)$. Pri uporabi inercijalnog navigacijskog uređaja moraju se poznavati geografske koordinate pozicije odlaska, odnosno opažene pozicije; giroskop održava kurs, akcelerometar mjeri prevaljeni put, a elektroničko računalo rješava navedene formule i neprekidno prikazuje geografske koordinate pozicije broda.

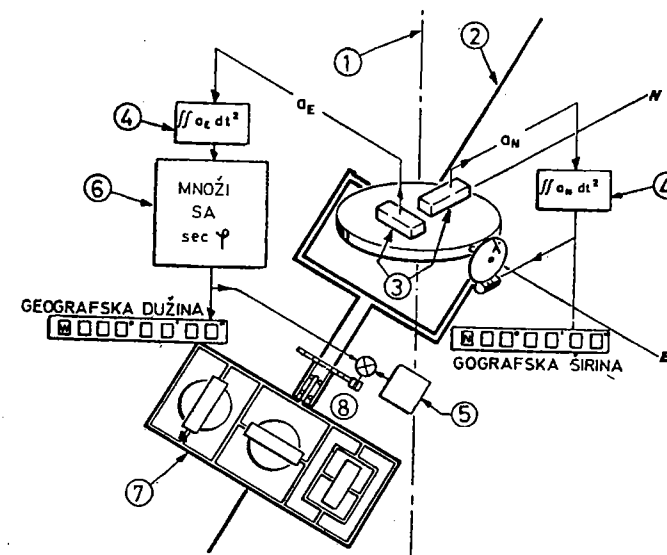
1.5.2. Ustroj i rad sustava. Na brodovima (zrakoplovima) primjenjuje se samo inercijski gravitacijski uređaj koji po veličini približno odgovara girokompasu. Sastoji se od osjetilnog elementa, giroskopima stabilizirane platforme, protupokretnog sustava (podloge) akcelerometra prema smjeru gravitacije (smjeru viska koji taj pravac kontrolira), jer se samo na taj način isključuje mjerenje druge akceleracije, osim one koja pripada vodoravnom gibanju broda.

Osjetilni se element sastoji od dva akcelerometara i dva do četiri integratora. Jedan akcelerometar leži u smjeru meridijana i mjeri akceleraciju u smjeru N-S (α_N); drugi je akcelerometar postavljen u smjeru paralele i mjeri akceleraciju u smjeru E-W (α_E). Izmjerene akceleracije električki se prenose u elektronički integrator koji ih zbraja kao funkcije vremena i tako mjeri prevaljeni put broda.

Akcelerometar se može prikazati jednostavno na ovaj način. Ima masu učvršćenu dvjema valjkastim oprugama te pokazuje vrijednosti pomaka mase. Kad neka sila djeluje na masu, ona se svojom inercijom mirovanja odupire i vrijednost njezina otpora upravno je razmjerna djelujućoj sili. Opruge moraju izmjeriti i najmanje vrijednosti akceleracije (0,001 g) i trenutno se vratiti u početni položaj. U brodskom uređaju akcelerometar nema mehaničku nego električnu oprugu, sastavljenu od tankih pločica električnog kondenzatora, pa se zato i naziva električni akcelerometar. Takav akcelerometar pretvara promjenu brzine (akceleracije) u promjenu električnog napona (napon ubrzanja), odnosno zbraja napone koje uzrokuje akceleracija. To se očituje u obliku izlaznog električnog signala koji je razmjernan akceleraciji nastaloj zbog gibanja broda (plovidbe). Signal prima integrator, u njemu se dva puta integrira u funkciji vremena (množi vremenskim intervalom) te je, nakon izlaska iz integratora, razmjernan prevaljenom putu. Prvo integriranje pretvara napon ubrzanja u napon brzine, a drugo tu vrijednost pretvara u napon prevaljenog puta – njegove N-S i E-W komponente. Tako dobiveni komponentni naponi prenose se u elektroničko računalo (kompjutor), gdje se komponentne vrijednosti prevaljenih putova pretvaraju u vrijednosti $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$, a zatim automatski dodaju koordinatama polazne pozicije (P_1) i na pokazivaču pokazuju kao geografske koordinate zbrojene pozicije (φ, λ).

Stabilizirana platforma (sl. 1.40.) osigurava osjetilnom elementu podlogu putem koje se akcelerometri s prijenosnim elementima drže u vodoravnom položaju i orijentiraju u smjeru N-S odnosno E-W, bez obzira na rotaciju Zemlje i gibanje broda oko bilo kojih osi. To je potrebno jer

pri mjerenju akcelerometri ne mogu razlikovati vodoravne akceleracije prouzročene plovidbom (koje treba mjeriti) od akceleracije prouzročene gravitacijom (koju valja izbjeći ili zanemariti), zbog izbijanja platforme iz vodoravnog položaja i smjera N-S i E-W pri lujanju, posrtanju i promjeni kursa broda. Stabiliziranu platformu, koja se nalazi u kardanskom sustavu, u tom položaju održavaju tri brzinska giroskopa, osi kojih leže u tri međusobno okomite ravnine, a os jednoga giroskopa paralelna je sa zemaljskom osi. Tako giroskopi, koji nastoje svoje osi zadržati u nepromijenjenom položaju, kontroliraju i otkrivaju reagiranja sustava platforme u prostoru oko njezine sve tri osi (uzdužnoj, poprečnoj i vertikalnoj).



Sl. 1.40. Ustroj inercijalnog uređaja za navigaciju

1 – vertikala (težnica); 2 – smjer zemaljske osi; 3 – akcelerometri osjetilnog elementa; 4 – integratori; 5 – elektronička ura (protupokretni motor); 6 – elektroničko računalo (množi $R \sec \varphi$); 7 – stabilizirana platforma; 8 – φ -motor

Gibanje broda oko bilo koje osi prenosi se preko kardanskog sustava na platformu. Kad platforma izađe iz svoga osnovnog položaja, giroskopi osjetilnog elementa aktiviraju servomotor na osovini prstena kardanskog sustava koja je paralelna s odnosnom osi giroskopa. Servomotor zakreće dotično kardansko vratilo u suprotnu stranu od gibanja broda. Tako u svim prilikama položaji triju osi platforme ostaju nepromijenjeni u prostoru.

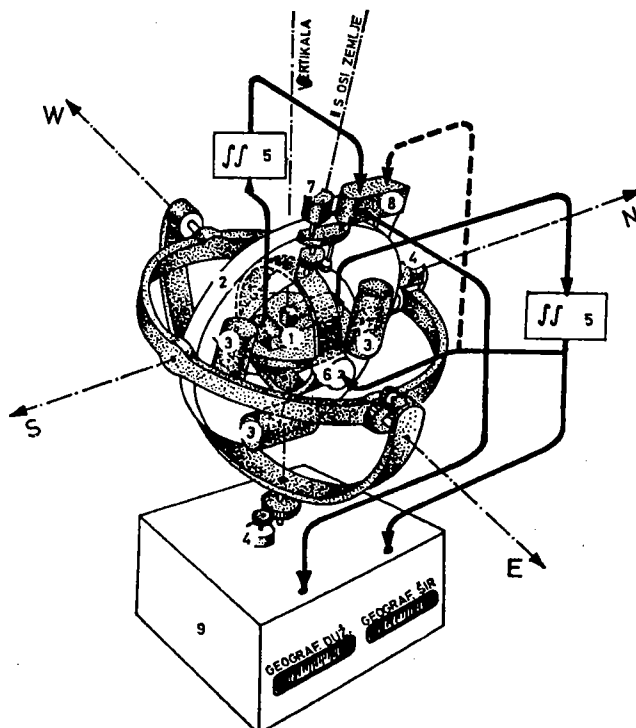
Gravitacijski sustav može mjeriti promjene akceleracije prema Zemlji i njezinim koordinatama, a ne prema nekoj apsolutnoj točki u prostoru. Stoga se osjetilnom elementu dodaje gibanje koje prema stabiliziranoj platformi odgovara rotaciji Zemlje u prostoru, tj. koje ga točno usmjerava prema meridijanu i održava vodoravnim. Takvo gibanje obavlja proturotacijski motor, elektroničko računalo ($R \sec \varphi$) i φ -motor.

Proturotacijski motor, koji se katkad zove i *elektronički sat* jer radi prema istom načelu, okreće osjetilni element prema stabiliziranoj platformi kutnom brzinom rotacije Zemlje (15° na sat), ali u suprotnom smjeru. Time se osjetilni element stalno održava vodoravnim i usmjerenim u meridijanu. Na primjer, ako je brod nepokretan, za šest sati određena točka na zemaljskoj površini (pozicija broda) prevalit će luk koji odgovara središnjem kutu $\omega = 90^\circ$. Budući da giroskopi stabiliziranoj platformi osiguravaju tri stupnja slobode, ona će nakon šest sati biti okomita na obzor dotadašnjeg stajališta, ako je u prethodnoj točki bila vodoravna. Međutim, proturotacijski će motor postupnim obrtanjem zakrenuti i stabiliziranu platformu za istu tu vrijednost (90°), ali u smjeru suprotnom rotaciji Zemlje, pa će ona i u toj točki biti u meridijanu i obzoru akcelerometara.

* U pomorskoj navigaciji primijenjen 1958. g. na američkoj podmornici na atomski pogon *Nautilus*.

smjeru suprotnom rotaciji Zemlje, pa će ona i u toj točki biti u meridijanu i obzoru akcelerometara.

Zamislimo da brod plovi po ekvatoru brzinom od 60 čvorova. Za jedan sat proći će put od 60 M i promijeniti geografsku dužinu za 60' luka ekvatora, a za šest sati 360 M odnosno $\Delta\lambda = 6^\circ$ luka ekvatora. U tom će slučaju nakon šest sati plovidbe platforma osjetilnog elementa biti nagnuta od obzora za 6° ili općenito za vrijednost razlike geografske dužine. Da bi akcelerometri mjerili samo akceleraciju nastalu plovidbom broda, potrebno je platformu zakrenuti oko N-S osi za kut koji iznosi $\omega \pm \Delta\lambda W/E$. Formula $\Delta\lambda = R \sec \varphi$ pokazuje da kut $\Delta\lambda$ u minutama luka samo na ekvatoru odgovara prevaljenom putu u nautičkim miljama ($\Delta\lambda = D$) pa se registrirani put po paraleli prenosi u računalo R sec φ koji utječe na proturotacijski motor da platformu osjetilnog elementa okrene za točno odgovarajući kut.



Sl.1.41. Matični inercijalni uređaj

1 – osjetilni element; 2 – stabilizirana platforma; 3 – giroskop; 4 – servo-motor; 5 – integratori; 6 – φ -motor; 7 – elektronički sat (proturotacijski motor); 8 – kompjuter Rsec φ ; 9 – pokazivači geografskih koordinata

Ako brod plovi po meridijanu (mijenja geografsku širinu), vodoravna se platforma (obzor) osjetilnog elementa zakreće oko osi E-W (ponire ako je $K_p = 180^\circ$, a uzdiže se ako je $K_p = 0^\circ$) za kut $\Delta\varphi$ koji u lučnim min. odgovara prevaljenom putu u nautičkim miljama ($\Delta\varphi = D$). Analogno dosad navedenome, potrebno je platformu osjetilnog elementa i u tom slučaju održavati u vodoravnom položaju. Tu ulogu obavlja tzv. φ -motor.

Radi bolje točnosti i trajnosti, u navigacijskim inercijalnim sustavima sve se više primjenjuje laserski giroskop uz dodatak akcelerometara i elektroničkog računala. To je, zapravo, osjetilo koje mjeri samo kutne brzine objekta u koji je ugrađen; ako je u svakoj koordinatnoj osi ugrađen po jedan laserski giroskop, kutne se brzine mjere duž svake osi. Podaci se uvode u

elektroničko računalo koje integrira nastale promjene N-S i E-W komponente u ukupnu plovidbenu pogrešku, odnosno popravak.

1.5.3. Uporaba uređaja. Pri upućivanju uređaja potrebno je platformu osjetilnog elementa postaviti vodoravno, N-S akcelerometar postaviti u smjeru meridijana, E-W akcelerometar u smjeru geografske paralele, oba akcelerometra na nulu, a na pokazivače geografskih koordinata postaviti vrijednosti φ i λ pozicije odlaska, odnosno trenutne opažene pozicije broda. Za vrijeme plovidbe uređaj automatski pokazuje geografske koordinate zbrojene pozicije broda.

Inercijalni uređaj može, osim geografskih koordinata, pokazivati kurs i udaljenost do pozicije dolaska, trenutni kurs, brzinu i prevaljeni put broda, kut zanošenja i sl.

Uređaj ima svoju tehničku pogrešku, tj. pogrešku N-S akcelerometra (konstruiran je za Zemlju kao kuglu-geografsku širinu, a ne kao elipsoid-geocentričnu širinu) te Coriolisovu pogrešku koja se javlja zbog rotacije Zemlje ($D=2\omega v \sin\varphi$).

Konstrukcijom uređaja izaziva se takvo djelovanje na stabiliziranu platformu, a time i na osjetilni element, proturotacijski motor, integrator i dr., što blokira izazivanje tehničke pogreške. Pogrešku u N-S akcelerometru kompenzira posebno elektroničko računalo, a pogrešku zbog rotacije Zemlje otklanja Coriolisovo računalo.

Točnost pokazivanja uređaja jest ± 1 do $\pm 3\%$ prevaljenog puta. Za točnije pokazivanje potrebno je na pokazivač geografskih koordinata povremeno postavljati nove geografske koordinate pozicije dobivene drugim opažanjima. Tako dobivena pozicija broda točnija je od astronomske pozicije pri normalnim uvjetima opažanja. Zbog toga je taj uređaj ponajviše namijenjen oceanskoj plovidbi, zasad uglavnom na ratnim brodovima.

PITANJA:

1. Od kojih se glavnih dijelova sastoji navigacijski inercijalni uređaj i koja je uloga pojedinog dijela?
2. Objasnite načelo rada inercijalnog uređaja i njegovu uporabu.
3. Navedite prednosti inercijalnog navigacijskog uređaja u sustavu zbrojene navigacije.

1.6. Digitalna kartografija – elektronska navigacijska karta

1.6.1. Temeljna načela. Karta nastala primjenom elektroničke tehnologije, umjesto klasične kartografije, u kojoj se kartografski proces odvija u digitalnom obliku, nazvana je *digitalnom kartom* (*Digital Chart – DC*). Proizvod digitalne kartografije je *elektronska (elektronička) karta* (*Elektronic Chart – EC*).

Elektronske karte dio su geoinformacijskog, odnosno geografsko-informacijskog sustava (GIS), u kojemu su svi podaci geokodirani, tj. određeni koordinatama (geografska širina, geografska dužina).

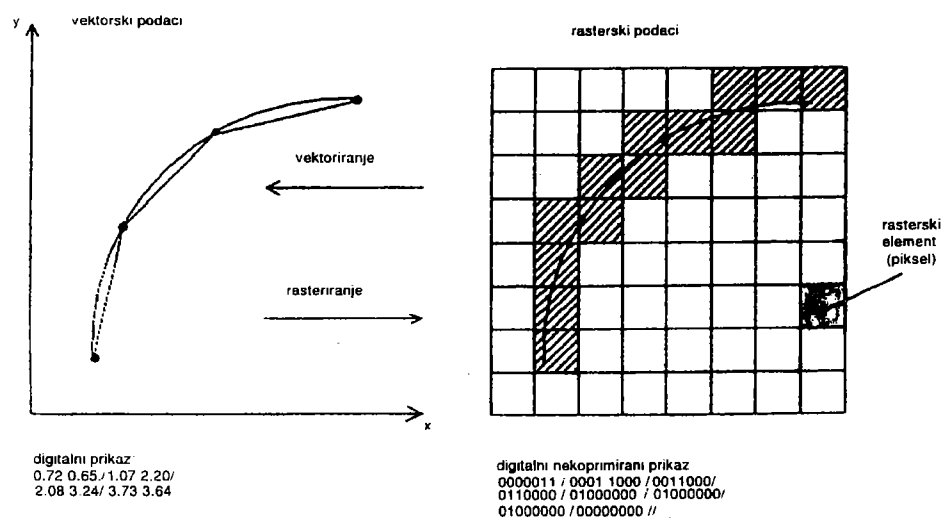
Kartografski elementi redovito se na elektronskim navigacijskim kartama (*Elektronic Nautical Charts – ENS*) prikazuju u tri oblika: geometrijskom, grafičkom i opisnom.

Geometrijsko oblikovanje karte može biti vektorsko ili raster-sko. U *vektorskom oblikovanju karte* točka je nositelj geometrijskih podataka karte. Crte

* Podatak ima analogni prikaz ako je oblikovan neprekidnim signalom, npr. crtom. Međutim, crta se ne može unijeti u elektroničko digitalno računalo, pa je valja aproksimirati koordinatama niza točaka i tako prikazati u digitalnom (numeričkom) obliku.

** Naziv službeno nije usvojen, a u stručnoj literaturi susreću se oba naziva.

dobivene spajanjem niza karakterističnih (odabranih) točaka pravcima predstavljaju vektore, odnosno vektorske elemente karte. Međutim, luk dobiven spajanjem niza točaka nositelj je topoloških podataka karte. *Rastersko oblikovanje karte* temelji se isključivo na površinama pa se na takvom prikazu karte ne uočavaju vektorski podaci; element u tzv. slikovnoj matrici je *piksel* (*pixel; picture element*), a njegov je sadržaj jednoznačan, određuje fizičko svojstvo prikazane površine, npr. kopno ili more (vode).



Sl. 1.42. Prikaz crte u vektorskom i rasterskom obliku

Grafičko oblikovanje elemenata karte postiže se tonom sive boje ili određenim bojama, šrafama, simbolima, izocrtama i sl. Redovito je sastavni dio geometrijskog oblikovanja karte.

Karta u koje se oblikovanje njezinih elemenata temelji na tzv. vektorskoj grafici (redovito dopunjena elementima rasterske grafike) naziva se *elektronskom vektorskom kartom* (EVC). Izrada kartografskog originala zahtijeva dulju pripremu i složeniju kartografsku tehnologiju pa je zato i karta skuplja.

Karta u koje se oblikovanje elemenata njezina sadržaja temelji na tzv. rasterskoj grafici naziva se *elektronskom rasterskom kartom* (ERC). Jednostavnija je tehnologija izrade kartografskog originala pa je i karta jeftinija. Gotovo je preslika klasične (papirne) karte i kao takva bliža pomorcu.

Opisni ili tematski elementi karte jesu oni koji ne idu u elemente geometrijskog oblikovanja karte, npr. nazivi, brojke, (kote, dubine mora), kartografske kratice i opisni simboli.

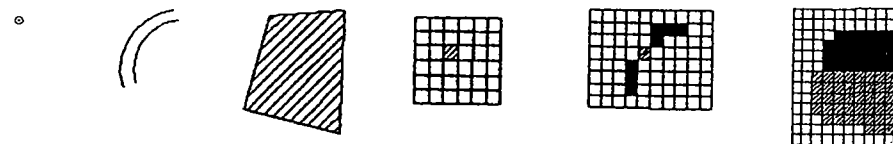
1.6.2. Posebnosti elektronske karte. Elektronske navigacijske karte standardizirane su po formatu i sadržaju, redovito u izdanju nacionalnih hidrografskih instituta. Sadrže podatke kao i sadašnje (papirne) navigacijske karte, ali mogu sadržavati i dopunske informativne podatke (slične onima koje donose priručnici za plovidbu, npr. *Pilot, Tide Tables*) te pokretne i nepokretne slike, posebice zvuk. Takve elektronske

karte čine bazu navigacijskih podataka, a izdaju se u kompletima kao optički diskovi. Zbog obrade velikog broja podataka, njihov je optimalni kapacitet vrlo važan činilac za njihovu uporabu. Glavne tehničke značajke optičkih diskova jesu: velika gustoća (kapacitet) podataka (1 GB=500 000 stranica formata A1) i trajnost zapisa (10 – 20 godina).

a – geometrijski podaci

element	vektorski		rasterski	
	digitalni	analogni	digitalni	analogni
točka	koordinate (x, y)	.	piksel	
crta	niz koordinata (x, y)		piksel	
površina	zatvoreni niz koordinata (x, y)		piksel	

b – grafički podaci



Sl. 1.43. Geometrijski podaci i njihovo grafičko oblikovanje

Ovisno o mogućnosti upisa i brisanja, odnosno promjene upisanih podataka, optički diskovi razvrstani su u četiri skupine.

CD-ROM (*Compact Disc Read Only Memory*) – upisani podaci mogu se čitati, ne mogu se mijenjati ni brisati.

CD-R (*Compact Disc Recordable*) – podaci se mogu samo jednom upisati, ne mogu se više mijenjati ni brisati.

CD-RW (*Compact Disc Rewritable*) – podaci se mogu upisivati i brisati.

DVD (*Digital Versatile Disc*) – diskovi najvećeg kapaciteta.

U navigacijskoj jedinici (sklopu) za uporabu elektronskih karata temeljno je elektroničko računalo kojemu je "mozak" središnja jedinica (*Central Processing Unit*–

CPU), a njezin je glavni dio mikroprocesor*. Kapacitet CPU ovisi o količini podataka koje može obraditi u jedinici vremena. Drugi je važan podatak količina bita koju odjednom može obraditi CPU; u računalima za navigacijsku uporabu važna je i kvaliteta slike na videozaslonu pokazivača (monitora), a ona ovisi o broju piksela koji čine elektronsku sliku karte; određena je tzv. rezolucijom točaka u prikazanoj slici na videozaslonu, a izražava se umnoškom vodoravne i uspravne rezolucije (npr. $600 \times 500 = 300\,000$ točaka). Pokazivač (monitor) s računalom je povezan kabelom i to preko tzv. *grafičke kartice*, kojom se digitalni signali iz računala pretvaraju u oblik prihvatljiv za prikaz slike na videozaslonu. Slika može biti prikazano jednobojno ili višebojno. Broj boja ovisi o vrsti uređaja (hardvera) i ugrađenoj kartici, a redovito se kombiniraju tri temeljne boje aditivne sinteze: crvena, zelena i plava.

1.6.3. Sustavi uporabe navigacijskih elektronskih karata. Suвременa elektronička telekomunikacijska i računalna tehnologija nije samo promijenila oblikovanje navigacijskih karata nego je uvjetovala i način njihove uporabe. Postoji više načina prikaza, odnosno uporabe elektronskih karata (*Elektronic Charts-EC*) na brodu.

ECDIS (Elektronic Chart Display and Information System), informativni sustav koji prikaz elektronske navigacijske karte (*Elektronic Nautical Charts-ENC*) temelji se na karti u vektorskoj izvedbi (*Vector Nautical Charts-VNC*).

RCDS (Raster Charts Display System), informativni sustav koji se temelji na prikazu slike elektronske karte u rasterskoj izvedbi (*Raster Nautical Charts-RNC*), koja je gotovo preslika klasične (papirnat) karte i kao takva bliža praktičnoj primjeni.

ECDIS / RCDS elektronički sustav dvojne namjene (*Elektronic Charts Display Dual System - ECDDS*); omogućuje istodobni prikaz slike vektorske i rasterske karte, a zatim se odabirom vizualizira optimalna elektronska karta. U nekim uređajima moguć je na istom videozaslonu istodobni i podudarni prikaz slike karte vektorske i rasterske izvedbe. Prednost je takva prikaz što omogućuje odabir optimalnih podataka za danu situaciju, uzimajući u obzir obje elektronske karte prikazane na videozaslonu.

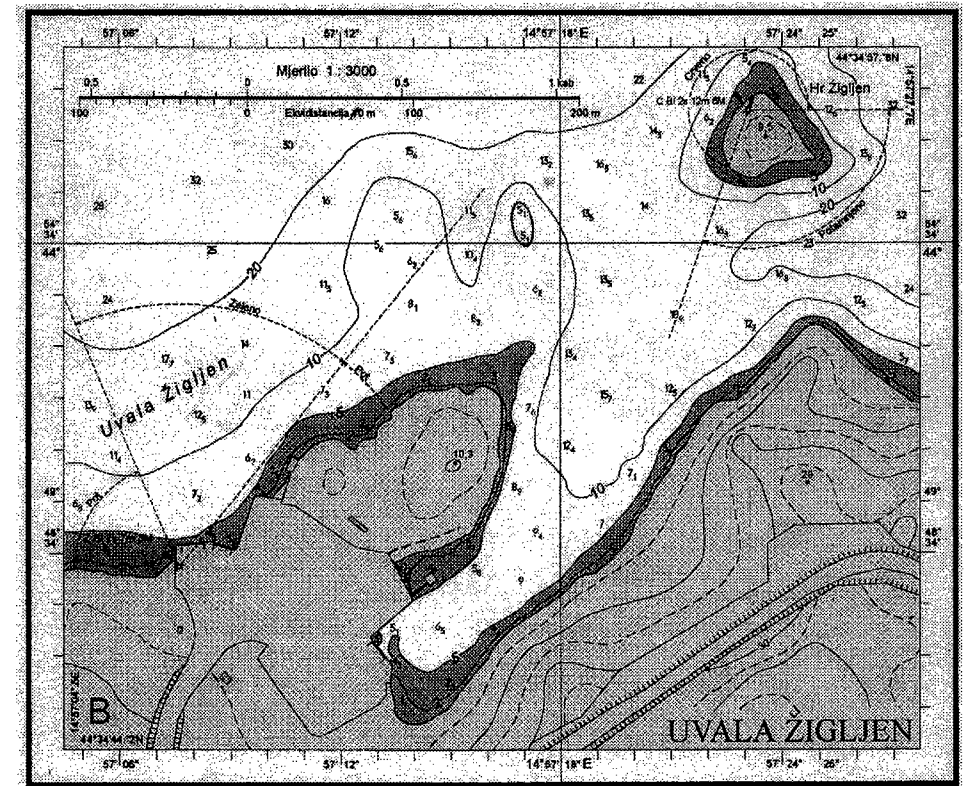
Na temelju analize elektronskih karata prema njihovoj uporabi, može se zaključiti sljedeće.

ECDIS je cjelovitiji sustav temeljen na vektorskoj karti, uglavnom namijenjen velikim brodovima. Skupina elektronskih karata, koje osim kartografskih podataka: sadrže i druge elemente važnim uz sigurnost plovidbe, čini glavnu bazu podataka: pojedinačno (slojevito) su pohranjene u memoriji baze podataka i svaka se od njih može izdvojeno prikazati na videozaslonu pokazivača. Suvišni se podaci mogu brisati, a pojedini podaci i integrirati s podacima dobivenim od drugih navigacijskih osjetila. Kontinuirano se na videozaslonu pokazuje pozicija broda, kao i drugi navigacijski parametri (posebice u vezi s izbjegavanjem sudara i nasukavanjem broda); moguće je zumirati pojedine dijelove (sadržaje) odslikane karte u krupnijem mjerilu i s određenom orijentacijom. Sve to časniku na plovidbenoj straži omogućuje bolju orijentaciju i odabir optimalnog manevra.

RCDS sustav ima manje funkcija od sustava *ECDIS*, a temelji se na rasterskoj karti; namijenjen je srednjim i većim brodovima. Podaci su dostupni isključivo vizualno, na temelju sadržaja baze podataka; nije moguć selektivni odabir podataka, kao ni isključivanje suvišnih podataka, što otežava realnu procjenu postojeće situacije. Karte nemaju vektorsku obalnu crtu, a dubina mora za danu poziciju broda može se samo pro-

* Poluvodički element u kojem se na jednoj njegovoj ploči smješteni bitni dijelovi CPU-a.

cijeniti prema okolnim dubinama upisanim na slici elektronske karte. Prednost *RCDS* sustava jest sličnost s klasičnim (papirnatim) navigacijskim kartama na koje su pomorci navikli.

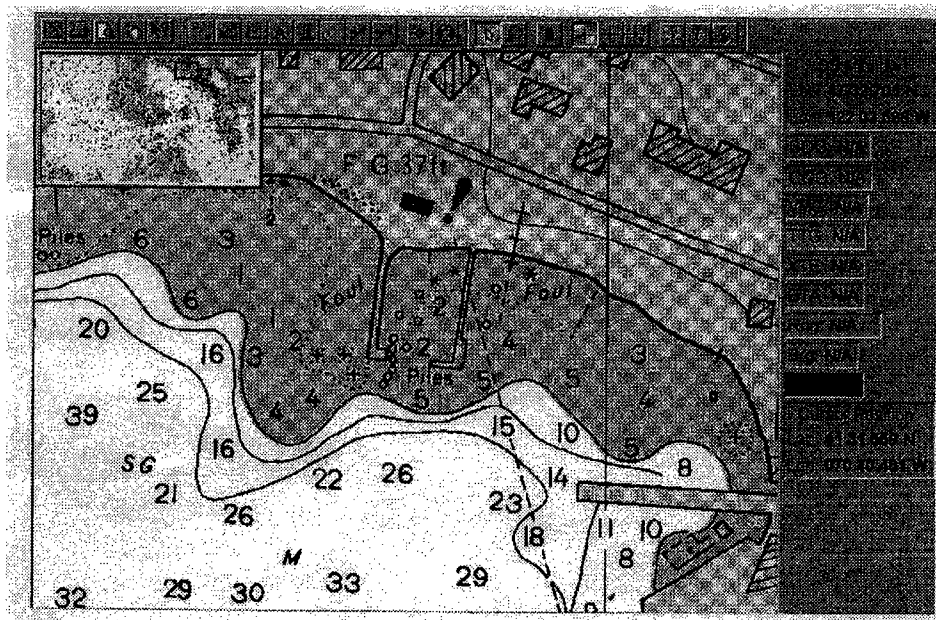


Sl. 1.44. ECDIS – vektorska elektronska karta (izd. HHI)

Pozicija broda na videozaslonu pokazivača elektroničke navigacijske jedinice može biti prikazana u njegovu središtu, dok se slika karte pomiče u pozadini. Na videozaslonu sa centriranom slikom karte, označena pozicija broda giba se preko predočene slike karte; označena pozicija broda i karta automatski se iznova centriraju čim se pozicija broda približi rubu odslikane karte, odnosno rubu videozaslona. Prelaskom u novo područje plovidbe automatski se iz baze podataka na videozaslonu pojavljuje odgovarajuća nova slika karte.

Posebnu primjenu sustavi elektronskih karata imaju u integriranom elektroničkom navigacijskom sustavu (v. pogl. 7.). U njemu je elektroničko mikroprocesno računalo u sklopu s radarskim prijamnikom i/ili radiosatelitskim prijamnikom GPS (DGPS). Na radarskom videozaslonu moguće je istodobno promatrati radarsku sliku i podudarni dio elektronske karte područja plovidbe, što pridonosi sigurnosti plovidbe (sl. 1.45.).

Tekuće izmjene i dopune sadržaja elektronskih navigacijskih karata obavljaju se prema uputama nakladnika, odnosno nadležnih (nacionalnih) hidrografskih institucija. Održavanje elektronskih karata u izdanju *UK Hydrographic Office* je tjedno i obavlja se automatski putem posebnog elektroničkog servisa (*Electronic Chart Service - ESC*).



Sl.1.45. RCDS videozaslon s rasterskom elektronskom kartom (BSB)

PITANJA:

1. Definirajte i opišite elektronsku kartu i usporedite je s klasičnom (papirnatom) kartom.
2. Koje su posebnosti u oblikovanju kartografskih elemenata elektronskih karata: a) u vektorskoj izvedbi; b) u rasterskoj izvedbi; c) prema klasičnoj (papirnat) karti?
3. Objasnite pojedinačno i međusobnom usporedbom sustave ECDIS i RCDS.
4. Objasnite sastav i uporabu navigacijske jedinice u kojoj bazu podataka čine elektronske karte.
5. Na temelju kojih podataka i na koji način se elektronske navigacijske karte održavaju u tekuće stanje?

RADIONAVIGACIJSKI SUSTAVI

2. Terestrički azimutni radiosustav

2.1. Radiofar

2.1.1. Opća načela. Radiopostaja posebne izvedbe koja u pravilnim vremenskim razmacima odašilje određene radiosignale za potrebe plovidbe zove se *radiofar*. Prema namjeni dijele se na pomorske (*marine radio-beacon*) i aeronautičke (*aeronautical radio-beacon*), a prema tehničkoj konstrukciji na kružne, radiozvučne (daljinomjerne), usmjerene i s rotirajućom antenom. Praktički, na udaljenostima većim od 25 M i radiosustav *Consol* može se smatrati azimutnim. Osim radiofarova postoje i druge radio-oznake, npr. radioplutače, radiogoniometarske obalne postaje i sl. Najviše pomorskih radiofarova ima domet od 50 do 100 M, a neki i 300 M. Prema dometu razvrstavaju se u tri skupine: bliskog dometa do 50 M, srednjeg dometa od 50 do 150 M i dalekog dometa od 150 do 300 M. U SAD radiofarovi se razvrstavaju prema dometu na: A klasu 200 M, B klasu 100 M, C klasu 20 M i u D klasu 10 M. Oznaka dometa navigatoru služi samo kao orijentacijski podatak prema kojemu se može procijeniti na kojoj se približnoj udaljenosti mogu očekivati signali pojedinog radiofara.

Frekvencijska područja radiofarova određena su međunarodnim konvencijama. Unutar tih područja svakom radiofaru dodijeljena je radna frekvencija. Radiofarovi za pomorsku navigaciju rade na frekvencijama od 285 do 325 kHz i ovim vrstama valova: A1A neprigušeni i nemodulirani valovi, A2A neprigušeni i modulirani valovi na čujnu frekvenciju i A3E neprigušeni valovi ali modulirani na radiotelefoniju.

Neki radiofarovi rade neovisno o vremenskim prilikama, drugi rade po lijepom vremenu u određene sate (ponajviše radi kalibriranja brodskih radiogoniometara), a ako je vidljivost slaba i ograničena, rade neprekidno.

U nedostatku pomorskih radiofarova, odnosno zbog njihova nepovoljna položaja, za pomorsku navigaciju mogu se rabiti i aeronautički farovi (AERO RBn odnosno AERO RC). Ti radiofarovi rade slično pomorskim. Međutim, što su udaljeniji od obale ili su od nje odvojeni prirodnim preprekama, njihova je pouzdanost sve manja, posebice zbog pogreške u obalnoj refrakciji. Zbog toga valja takve radiofarove smjerati za dobre vidljivosti te provjeravati vrijednost pogreške, odnosno pouzdanost azimuta u pojedinim sektorima.

Svi potrebni podaci i upute nalaze se u *Popisima radiosignala* koje kao priručnike izdaju hidrografski instituti pomorskih država (npr. *The Admiral List of Radio Signals, Radio Navigational Aids* i sl.). *Radioslužba* u izdanju *Hrvatskog hidrografskog instituta (HHI)* u Splitu slična je inozemnim priručnicima*.

2.1.2. Kružni radiofar. To je najopćenitiji tip radiofara koji se rabi u pomorskoj navigaciji (RBn – *radio-beacon* ili RC – *circular radio-beacon*). U određenim vremenskim intervalima kružno odašilje radiosignale određene karakteristike, istom jakošću u svim smjerovima. Signale mogu primati svi brodovi koji se nalaze unutar kružnice dometa radiofara, ako se radioprijamnik podese na njegovu radnu frekvenciju. Azimut radiofara određuje se smjeranjem s pomoću radiogoniometra (t. 2.2.2).

Ustroj radiofara sadrži: glavni i pričuvni radioodašiljač, antenu (rešetkastu ili žičanu T-antenu), upravljačku jedinicu i uređaj za napajanje. Snaga je odašiljača 80 do 350 W. Upravljačka jedinica, putem precizne ure, upravlja odašiljačem ovisno o karak-

* Vidjeti: A. Simović, *Terestrička navigacija*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.

teristici radiofara.

Karakteristiku fara čini: radna frekvencija, domet, signal raspoznavanja (skupina Morseovih znakova), dugi zvučni znak za smjerenje i tišina.

Karakteristika radiofara *Capo St. Maria di Leuca* ($\varphi=38^{\circ}11,3'N$, $\lambda=12^{\circ}44,0'E$; Otrantska vrata): radiofrekvencija 287,5 kHz, vrsta emisije A1A; domet 100 M; snaga radiodašiljača 1,2 kW; sekvencija: 1,2; *radiosignali*:

RT (• — • —) 4 puta	20 s
Dugi zvučni znak (—)	25 s
RT (• — • —) 6 puta	30 s
Dugi zvučni znak (—)	25 s
RT (• — • —) 2 puta	10 s
Tišina	250 s
Period (ciklus):	360 s

Radioemisije traju neprekidno (H24). Emisije za kalibriranje radiogoniometara odašilju se na zahtjev.

Radiofarovi mogu biti združeni u skupine. Na nekim kartama uz određeni znak označeni su i rimskim brojevima, ovisno o redosljedu rada. U skupini se nalaze po dva ili tri radiofara. Svaki radiofar skupne postaje ima svoju radnu karakteristiku (*characteristic code*), ali svi rade na istoj radiofrekvenciji, što pojednostavljuje određivanje pozicije broda radiosmjerenjem.

Za ograničene vidljivosti rade neprekidno u trominutnom intervalu; svaki je radiofar po jednu minutu uključen (*on*) i odašilje radiosignale svoje karakteristike, a iduće je dvije minute isključen (*off*) i tada slijede signali ostalih dvaju radiofarova. Smjerenjem pojedinih radiofarova preko brodskog radiogoniometra dobivaju se radioazimuti, a na osnovi njih i radiopozicija broda.

Oceanski brodovi—postaje (ocean vessel-stations) mogu služiti i kao pomoćni radiofarovi. Oni ostaju na određenim geografskim pozicijama, a ako se s te pozicije udalje, to označuju posebnim signalima opisanim u priručniku *The Admiralty List of Radio Signals*.

Radiofar opremljen za sinkrono davanje radiosignala i zvučnih signala naziva se *daljinomjerni radiofar (DFS - distance finding station; RAR - radio acoustic ranging)*. Zvučni signali mogu se odašiljati zrakom ili podvodno. Prijam podvodnih zvučnih signala omogućuje pouzdanije računanje udaljenosti. Azimut se mjeri s pomoću *radiogoniometra*.

Za ograničene vidljivosti (*reduced visibility*), kad je vidljivost manja od 5 M, kroz period od dva puta po jedna minuta periodično se odašilju zvučni signali bez radiosignala (*off*), a u trećoj minuti (*on*) odašilju se zvučni i radiosignali koji su zadnjih nekoliko sekundi sinkronizirani s jednosekundnim ili trosekundnim, odnosno jednosekundnim ili petosekundnim zvučnim signalom. Za smanjenje vidljivosti (*haze*), između 6 i 10 M, postaja radi samo kao radiofar i ne odašilje sinkronizirane zvučne signale. Za plovidbe pri dobroj vidljivosti (*clear visibility*), kad je veća ona od 10 M, odašilju se samo radiosignali u trajanju od jedne ili dvije minute unutar desetominutnog intervala.

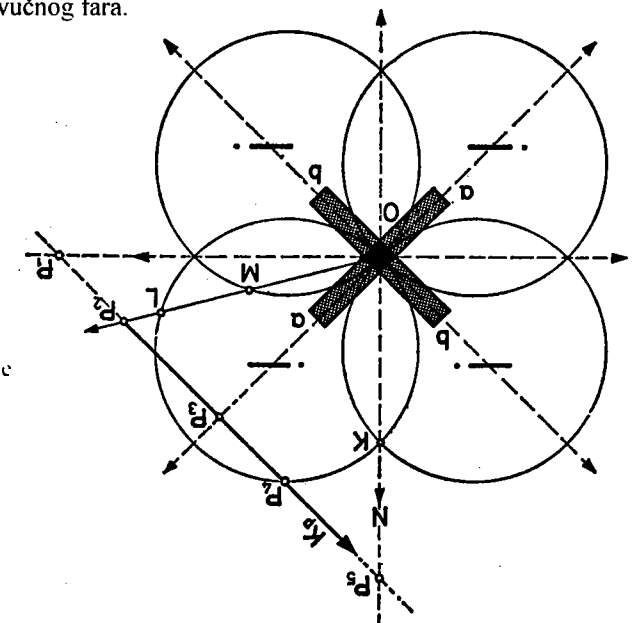
Udaljenost se određuje na temelju vremena koje prođe između prijama radio-signala ili karakterističnog dijela radiosignala i odgovarajućeg zvučnog signala. Broj proteklih sekundâ do prijama podvodnog zvučnog signala pomnožen sa 0,8 (podijeljen sa 1,25) daje udaljenost u nautičkim miljama; za zračni signal taj se broj sekundi množi sa 0,18 (dijeli sa 5,5). Neki radiofarovi imaju i takvu karakteristiku da poslije odaslanog

zvučnog signala odašilju i posebne radiosignale (točke) nakon svake 1 M ili 0,5 M prevaljenog puta zvuka kroz vodu (zrak). Brojenjem točaka određuje se udaljenost, a ako brod ima radiogoniometar, može se odrediti i pozicija broda (azimut i udaljenost). Za prosječne uvjete točnost je izmjerene udaljenosti $\pm 10\%$. Pogreške nastaju zbog neustaljene brzine širenja zvuka za postojeće uvjete.

2.1.3. Usmjereni radiofar. Radiofar odašilje usmjerene radiosignale samo u jednom ili više određenih smjerova, odnosno sektora obzora (RD – *directional radio-beacon*). Prijamom radiosignala utvrđuje se nalazi li se brod na azimutu, odnosno u sektoru što ga označuje radiofar. Glavni dijelovi srednje frekvencijskih radiouređaja isti su kao i u kružnog radiofara; neki rade na visokim i najvišim frekvencijama. Različiti radiosignali, po modulaciji i različitosti slova, odašilju se preko dvije veće ukržižene okvirne radioantene ili *Adcock antene*, koje naizmjenično uključuje–isključuje odašiljač. Svaka od te dvije antene zrači radiovalove prema svojem dijagramu zračenja, koji ima oblik *osmi-ce*, pa su tako i različite jačine prijama u raznim smjerovima: najjače su u smjeru ravnine antenskog okvira, a najslabije u smjeru okomitim na ravninu okvira. Ako su npr. okviri orijentirani u interkardinalnim smjerovima, brod će u NE i SW kvadrantu čuti jače signal okvirne antene *aa*, a u kvadrantu SE i NW jače signal antene *bb*. Ako su dijagrami zračenja obiju antena potpuno izjednačeni, dobit će se dva međusmjera u kojima će se signali čuti istom jakošću, a razmjerno vektoru \overline{OK} . Za slučaj prikazan na sl. 2.1., to su aksijalni smjerovi N-S i E-W u sektoru širine oko 3° . Usmjereni radiofar može biti i u kombinaciji radiozvučnog fara.

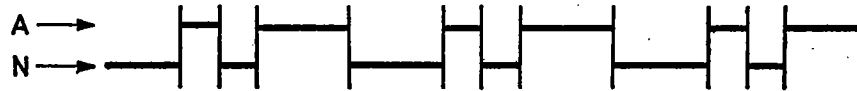
Sl. 2.1. Usmjereni radiofar – antenski sustav s okvirima orijentiranim u interkardinalnim smjerovima

aa i *bb* – okvirne antene;
 P_2 i P_4 – pozicije u kojima se signal A čuje jače od signala N;
 P_1 i P_5 – pozicije u kojima se čuje neprekidni zvuk; P_3 – pozicija u kojoj se čuje samo signal A



Neka okvir antene *aa* odašilje radiosignal karakteristike A (• —), a okvir antene *bb* komplementarni signal N (— •); emisije signala podešene su na istu jačinu, istu valnu dužinu, istu akustičnu frekvenciju, ali se u međuintervalu znakova jednog slova odašilju znaci drugog slova, tj. točke slova N između točke i crte slova A, a crta slova N između crte slova A i točke idućeg slova A. U takvim uvjetima, brod koji se npr. nađe u točki P_1 i P_5 od oba okvira primat će zvučne signale istog intenziteta, tj. čut će neprekidan zvuk; na putu između točaka P_1 i P_5 čut će jače zna-

kove Morseova slova A od znakova slova N, osim u točki P_3 , gdje će čuti samo zvučne znakove slova A. Ako bismo brodom željeli ploviti u $K_p=N$ ili $K_p=S$, odnosno $K_p=E$ ili $K_p=W$, koji vode na radiofar. morali bismo ploviti tako da uvijek čujemo zvuk iste jačine (sl. 2.1.).



Sl. 2.2. Shema emisije komplementarnih signala (A i N) usmjerenog radiofara

Postoji i posebna vrsta usmjerenih radiofarova, koji odašilju znak raspoznavanja, signale odnosno sektora obzora (N, E, S, W), oznaku skupine (A ili U) i niz točaka u svakoj skupini. Azimut se određuje iz posebne tabele prema broju točaka od završetka signala skupine do točke najnižeg tona ili tišine. Ako se pojavi period tišine, srednja proračunata točka uzima se za određivanje azimuta.

Neke svjetske luke opremljene su posebnom vrstom lučkog radiofara sa centimetarskim radiovalovima koje usmjereno odašilje sustav antena s procjepima. Peljar s pomoću slušalice prijenosnog radioprijemnika ili preko brodskog radiozvučnika sluša signale i vodi brod unutar sigurnog sektora.

2.1.4. Radiofar s okretnom antenom. Radiofar (*RW - rotating radio-beacon*) preko okvirne (usmjeravajuće) antene, koja se okreće oko vertikalne osi stalnom brzinom (redovito 360 okretaja u minuti), odašilje radiosignale u vrlo uskom sektoru (smjeru). Okretanjem antene okreće se i usmjereno zračenje snop radiovalova, pa će motritelj za jednog punog okretaja primiti dva maksimuma i dva minimuma navigacijskog radiosignala. To omogućuje određivanje azimuta običnim radioprijemnikom.

Svaka emisija radiofara ima dva dijela: signal za identifikaciju i navigacijski signal.

Signal za identifikaciju odašilje se u prvoj minuti, kad je minimum antene u smjeru E-W; potom slijedi dugi signal koji traje 12 s.

Navigacijski signal počinje kad je minimum antene u smjeru meridijana, a sastoji se od:

- signala sjevera, npr.: $\cdot \cdot \cdot \text{---} \cdot \cdot$ (VI) i dugog signala koji traje 12 s
- signala istoka, npr.: $\text{---} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$ (BI) i dugog signala koji traje 42 s.

Kut za koji se okrenula antena od trenutka prolaska minimuma kroz pravi sjever do trenutka prijama minimuma stalnog dugog signala u poziciji broda P jest *azimut radiofara*. Ako je propušten signal sjevera ili se brod nalazi točno na meridijanu radiofara, mjerenje počinje od signala istoka, ali tom azimutu treba dodati 90° .

Azimut se određuje posredno mjerenjem proteklog vremena (t) u sekundama: $\omega_{ra} = t \cdot 6^\circ$. Postoje posebne zaporne ure (kronografi), baždarene u stupnjevima, koje omogućuju neposredno očitavanje vrijednosti azimuta.

Takvi radiofarovi pouzdani su do 60 M udaljenosti; točnost azimuta do $\pm 3^\circ$. Mogu se koristiti i do 300 M. Danas su sve rjeđi.

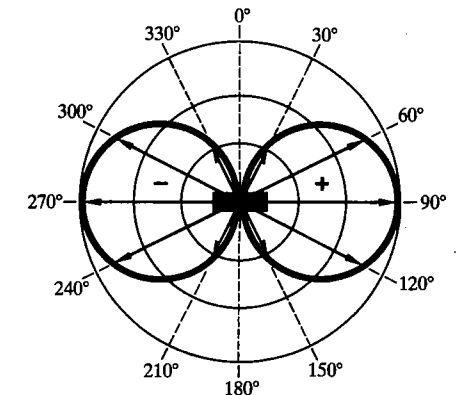
U tu vrstu radiofarova ide i azimutni hiperbolni sustav *consol* (pogl. 3.2.).

PITANJA:

1. Kako se dijele radiofarovi i koje su njihove značajke?
2. Kako radi kružni radiofar i kako se on primjenjuje u navigaciji?
3. Kako radi radiozvučni far i kako se s pomoću njega određuje udaljenost?
4. Kako radi usmjereni radiofar i kako se s pomoću njega određuje radioazimut?
5. Kako radi radiofar s okretnom antenom i kako se određuje radioazimut?

2.2. Radiogoniometar

2.2.1. Načelo radiosmjernja. Radiogoniometrom (*radio direction finder - RDF*) određuje se smjer prostiranja radiovalova odaslanih od nekog radiofara ili bilo kojeg radioodašiljača. Zračenjem vertikalne radioantene, u polju radioodašiljača javljaju se silnice električnog i magnetnog polja koje tvore zajedničko elektromagnetno polje. Elektromagnetni valovi toga polja šire se (brzinom svjetlosti) na sve strane i do antene brodskog radiogoniometra dolaze najkraćim putem, tj. po ortodromi. Načelo radiosmjernja zasniiva se na prijamnim značajkama okvirne antene (sl. 2.3.). Mjeri se radioazimut, odnosno radiopramčani kut.



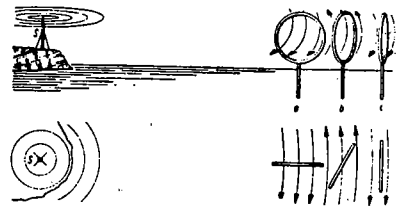
Sl. 2.3. Prijamni dijagram okvirne radiogoniometarske antene

Radiovalovi odaslani iz radioodašiljača sijeku namotaje okvirne antene radiogoniometra i u njima induciraju električne napone ovisno o kosinusu upadnog kuta. Ako okvirnu antenu, koja se nalazi u polju odašiljača, priključimo na radioprijemnik i okrećemo je oko njezine vertikalne osi, primijetit ćemo promjenu u tonu primljenog radiosignala. Dijagram usmjerenosti prijamne okvirne antene ima oblik osmice. On pokazuje da su električni naponi najveći (maksimum) kada ravnina okvirne antene leži u smjeru antene radioodašiljača, a napon je nula (minimum) kada je ta ravnina od istoga smjera otklonjena za 90° ; u području maksimuma i pri većoj promjeni upadnog kuta inducirani se napon slabo mijenja a pri prijemu minimuma i najmanja promjena upadnog kuta u antenskim okvirima izaziva velike promjene induciranih napona.

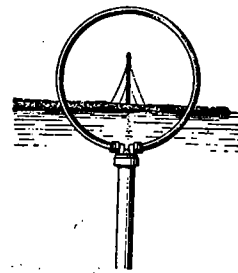
Zbog toga se pri određivanju radioazimuta primjenjuje isključivo prijam minimum, koji je oštiji i lakše se identificira.

Dakle, pri radiosmjernju ne određuje se smjer prema radioodašiljaču, nego položaj ravnine u kojoj se nalazi radioodašiljač, pa se zbog toga dobivaju dvije vrijednosti pramčanog kuta (azimuta) koje se razlikuju za 180° ; nije poznata strana na kojoj se nalazi radioodašiljač. No, budući da je u plovidbi uvijek poznata zbrojena pozicija broda, ne može biti dvojbe o kvadrantu u kojemu se nalazi radioodašiljač. Pri određivanju pozicije s više azimuta, oni se moraju izvlačiti tako da se sijeku (u jednoj točki odnosno u malom trokutu) u području zbrojene pozicije. Ako se radiogoniometar rabi za radijsko izvidanje, npr. pri smjernju broda koji traži pomoć, strana (kvadrant) radioodašiljača određuje se posebnim postupkom, ukopčavanjem pomoćne vertikalne antene koja ima kružni prijamni dijagram; napone valja podesiti tako da inducirani napon u vertikalnoj anteni bude po jačini jednak naponu u okvirnoj anteni. Zbrajanjem električnih napona tih antena dijagram usmjerenosti prijama dobiva scroliki oblik - tzv. *kardioida* (sl. 2.6.), jer se naponi na jednoj strani oduzimaju, a na drugoj zbrajaju. Tako se dobiva samo po jedan minimum i po jedan maksimum prijama, pa je riješena moguća zabuna o strani ra-

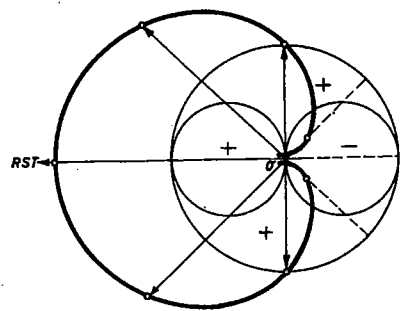
diodašiljača. Valja napomenuti da naponi u obje antene moraju biti u fazi ili protufazi, jer inače minimum prijma ne bi bio izoštren, a ostali štetni utjecaji (npr. antenski efekt, utjecaj brodskog trupa, opreme i sl.) djelovali bi na oštrinu minimuma (naročito u interkardinalnim kusevima). Znači, pomoćna antena služi i za izoštravanje minimuma.



Sl. 2.4. Okvirna antena u različitim položajima prema radioodašiljaču (radiofaru)



Sl. 2.5. Okvirna antena u položaju minimuma



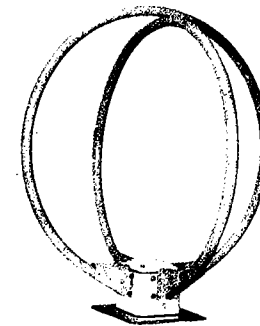
Sl. 2.6. Prijamni dijagram radiogoniometra – kardioida

Radiogoniometrijski uređaj redovito ima ove dijelove: antenski sustav s dijagramom usmjerenog prijma, radioprijamnik za vrstu rada A1A, A2A i A3E, dijelove za određivanje radioazimuta i uređaj za napajanje. Rade u frekventijskom opsegu 175 do 3800 kHz, ali isključuju pojas radiodifuzije 525 do 1605 kHz. Dije se na brodske i obalne.

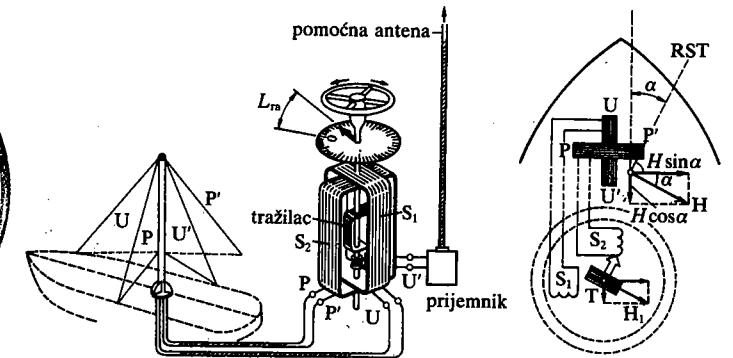
Inducirani naponi u antenama mogu biti vrlo slabi pa je prijamnik radiogoniometra superheterodinskog tipa.

Prije smjerenja prijamnik se postavi na određenu frekvenciju i vrstu rada (A1A, A2A, A3E), a zatim podese za rad; signali se dovode slušalicama, zvučniku ili optičkom pokazivaču. Okretanjem antene traži se minimum prijama, nakon izoštravanja minimuma čita se radioazimut, a ako je potrebno određuje i strana.

2.2.2. Radiogoniometar Bellini-Tosi. Danas se na brodovima većinom upotrebljavaju radiogoniometri s nepokretnom antenom sustava Bellini-Tosi (Bellini Ettore-Tosi Alessandro, 1906.). Glavni dijelovi radiogoniometra za indicaciju radioazimuta sluhom jesu *antena, goniometar i radioprijamnik*. Prednosti su te antene: jači prijam i oštriji minimum; veća daljina prijama i točnost smjerenja (oko $\pm 10^\circ$); antenski sustav može biti smješten na najpovoljnijem mjestu broda, a prijamnik goniometra u navigacijskoj kabini.



Sl. 2.7. Radiogoniometrijska antena Bellini-Tosi



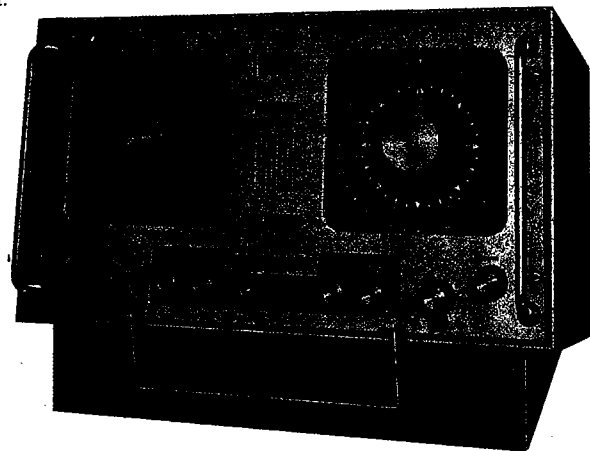
Sl. 2.8. Sprega radiogoniometrijskog sustava s antenom Bellini-Tosi

Jedan okvir antene radiogoniometra stoji u uzdužnici broda ($\overline{UU'}$), a drugi ($\overline{PP'}$) okomit je na nju (sl. 2.8.). Uzdužni je okvir spojen s uzdužnim svitkom (S_1) u goniometru, a poprečni s poprečnim svitkom (S_2), također u goniometru. Oba svitka položajem odgovaraju položajima nepokretnih antenskih okvira i čine poseban mali goniometar; a svicima teče struja jačine ovisno o veličini induciranog napona u antenskim okvirima. Rezultanta magnetnih polja u goniometru ima isti smjer kao i vanjsko elektromagnetno polje odašiljača. U svitku goniometra smješten je poseban mali svitak oblika okvira, nazvan *tražilac* (zamjenjuje okretnu okvirnu antenu), a spojen je s radioprijamnikom. Na osovini tražioca postavljena je kazaljka radiopramčanog kuta ili radioazimuta. Postavljanjem tražioca u položaj minimuma prijama, okomica na ravninu tražioca daje smjer prema radioodašiljaču. Prijam se obavlja naglavnim slušalicama ili/ zvučnikom. Pokaznim instrumentom ili optičkim indikatorom u nekih uređajima točnije se podešava prijamnik i pokazuje strana smjerenja. Praktičan postupak određivanja smjera i strane radiofara opisan je u posebnim uputama koje su redovito dio tehničke dokumentacije za određeni tip radiogoniometra. Prije svakog smjerenja antena brodske radiopostaje, a i sama postaja, moraju biti isključene. Pomične željezne mase moraju biti u svom osnovnom položaju i što dalje od okvirne antene. Prije rada provjerava se ispravnost radiouređaja i iz radiopriručnika *The Admiralty List of Radio Signals* izvade radni podaci i znak raspoznavanja radiofara. Prijamnik se radiogoniometra postavi na određenu frekvenciju i vrstu rada. Nakon identifikacije postaje počinje radiosmjerenje. Preporučuje se da se mjeri nekoliko radioazimuta (pramčanih kutova) i uzme njihova srednja vrijednost.

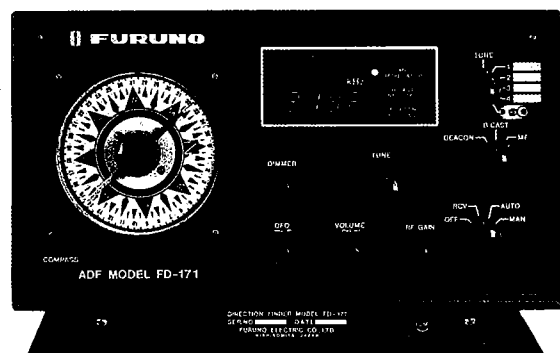
Ako pokazivač prijamnika ima girokompasni ponavljač, neposredno se očitava radioazimut. Ako pokazivač radiogoniometra nije stabiliziran s girokompasom, na mjestu girokompasnog ponavljača nalazi se prsten sa stupanjskom podjelom, tzv. prava vjetrulja. Vjetrulja se može ručno orijentirati prema meridijanu, slično kao i smjerna ploča pri neposrednom mjerenju pravih azimuta, pa se mjeri radioazimut umjesto radiopramčanog kuta.

2.2.3. Suvremeni radiogoniometri. Danas su to redovito *automatski goniometri*, tj. radiogoniometri bez ručnog traženja minimuma prijama. Poslužitelj postavlja frekvenciju na kojoj radi odabrani radiofar, elektromotor servosustava preko mehaničkog prenosnika dovodi zavojnicu-tražilac u položaj minimuma prema radiofaru, a pokazivač

radiogoniometra kontinuirano pokazuje vrijednost radioazimuta. Radioprijamnik najčešće je trokanalni; trećim se kanalom automatski određuje smjer i otklanja dvojba o strani radiofara.



Sl. 2.9. Automatski goniometarski radioprijamnik *MARCONI LODESTAR II*
1 – biralac frekvencije; 2 – kružna ljestvica azimut/pramčani kut; 3 – preklopke za rukovanje



Sl. 2.10. Automatski digitalni VHF radiogoniometarski prijamnik *FURUNO*

Tražilac smjera okreće se i automatski odabire položaj minimuma prema radiofaru. Pri automatskom smjeranju skupine radiofarova koji rade na zajedničkoj frekvenciji, točan radioazimut pojedinog radiofara dan je u trenutku njegove emisije. Uređaj se može prekopčati i na ručno mjerenje, što omogućuje mjerenje azimuta i od vrlo slabih radiosignala, i ako u istom području rade radiofarovi sličnih radiofrekvencija. To je posebice važno u pogibelji, pri pružanju pomoći i potrazi. Točnost radioazimuta pri automatskom smjeranju jest $\pm 1^\circ$.

Dva automatska prijamnika radiogoniometra prikazana su na sl. 2.9. i 2.10. Pokrivaju frekvenciju u opsegu od 250 kHz do 550 kHz (posebice 500 kHz) i 2165 kHz do 2500 kHz.

2.2.4. Radioazimut. Radioazimut je kut između sjevernog dijela pravog meridijana i smjera dolaska (prijama minimuma) radiovalova u okvirnu antenu radiogoniometra; redovito je otklonjen od pravog ortodromskog azimuta. Ispravljen radioazimut ucrtan na kartu daje radioazimutnu crtu pozicija.

Uzroci zbog kojih radioazimut odstupa od ortodrome u samom su uređaju radiogoniometra, u predmetima koji ga okružuju te u uvjetima širenja elektromagnetnih valova između radiodašiljača i broda. Objasniti ćemo važnije uzročnike tih pogrešaka.

Antenski efekt. On uzrokuje slabo izražen minimum i deformaciju prijamnog dijagrama okvirne antene. Zbog toga je i minimum prijama pomaknut od svoga pravog položaja za nekoliko stupnjeva. Taj efekt posljedica je nesimetrično raspoređena kapaciteta okvirne antene s obzirom na brodski trup i uzemljenje brodske feromagnet-ske dijelove oko nje, pa se između namotaja u okvirima vodiča i broda stvara odgovarajuća razlika potencijala.

Obalna refrakcija ili obalni efekt. Elektromagnetni valovi na putu od radiofara do broda skreću s pravocrtnog puta zbog različite električne provodnosti površina iznad kojih prolaze (kopno–more–kopno). Takva je pojava nalik svjetlosnoj refrakciji pa se zato i zove *obalna refrakcija*.

Otklon elektromagnetnih valova ovisi o frekvenciji i kutu pod kojim val siječe obalni rub. Višoj frekvenciji odgovara i veći otklon. Ako val siječe obalni rub pod kutom od 70° do 90° otklona nema, a što je taj kut manji, azimut je nesigurniji. Valja izbjegavati one radiofarove kojih smjer širenja radiovalova zatvara s obalnim rubom kut manji od 20° ili ako prolaze različitim sredinama (kopno–more–kopno), jer pogreška može biti i do 5° . Na kartama i u priručnicima nepouzdaniji sektori za radiosmjeranje posebno su označeni.

Notni efekt. Javlja se jedan sat prije zalaska Sunca i traje do jedan sat nakon njegova izlaska kao posljedica promjene visine E- i F-sloja ionosfere. Ta se pogreška očituje u neizrazitim minimumima, a mijenja se i jakost prijama te azimut nije točan. U posebno nepovoljnim uvjetima pogreška može biti znatna, pa i neodređena. Zbog toga se preporučuje da se smjeraju što bliži radiofarovi, da se mjeri nekoliko radioazimuta i uzme njihova srednja vrijednost. U obalnih radiogoniometara s Adcock antenom ta je pogreška vrlo mala.

Radio devijacija. Razni metalni dijelovi broda koji djeluju kao sekundarni odašiljači (reradijacija nadgrađa, jarbola, leta, pripona, tovarica, osobito vertikalnih antena), stvaraju na brodu dodatno elektromagnetno polje koje uzrokuje pogrešku u radioazimutu (sl. 2.11.). Kutna vrijednost te pogreške zove se *radiodevijacija* (δ_{ra}); ona je kut između pravog (optičkog) azimuta (pramčanog kuta) i radioazimuta (radiopramčanog kuta) izmjenjenog radiogoniometrom:

$$\delta_{ra} = \alpha_p - \alpha_{ra}; \delta_{ra} = L_p - L_{ra}.$$

Vertikalno istaknuti feromagnetni dijelovi broda (antene, jarboli, leta i dr.) izazivaju polukružnu devijaciju (*koeficijent B° i C°*).

Zatvoreni električni krugovi (spojevi leta s jarbolom, spoj jarbola s priponama i sl.) izazivaju nepravilnu kvadrantalnu devijaciju (*koeficijent E°*).

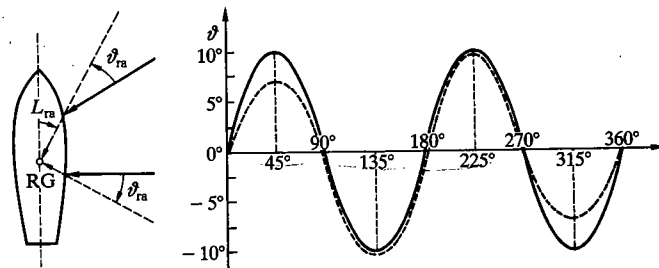
Brodski trup izaziva kvadrantalnu devijaciju (*koeficijent D°*). Da bi koeficijent D° bio što manji a prijam što bolji, okvirna antena radiogoniometra mora biti smještena u uzdužnici broda i što više nad brodskim trupom.

Uz promjenjive pogreške, moguća je i stalna tehnička pogreška (*koeficijent A°*) zbog netočna položaja 0° kompasne vjetrovlje na pokazivaču radiogoniometra, ili zato što se goniometarska i elektromagnetna os simetrije broda ne podudaraju.

Približna formula devijacija radiogoniometra slična je općoj formuli devijacija magnetnog kompasa, s razlikom što je devijacija radiogoniometra u funkciji pramčanog kuta, a ne kursa. Pritom valja imati na umu da su radiodevijacije ovisne i o valnoj dužini

* Vidjeti A. Simović, *Terestrička navigacija*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.

ni radiovalova i o gazu broda (veće su što je valna dužina veća). Praktički se može smatrati da su one konstantne za dužine valova veće od pet dužina broda. Zbog toga se radiodevijacija određuje za tu valnu dužinu i za dvije do tri niže valne duljine pri kojima će se radiogoniometar najviše upotrebljavati.



Sl. 2.11. Dijagram radiodevijacija

— radiogoniometar u sredini broda; --- radiogoniometar više prema pramcu

Radiodevijacije se redovito određuju ovako: vlastiti se brod polagano okreće, odnosno plovi u izlomljenim kursovima i smjera dobro vidljiv nepokretni radioodašiljač. Udaljenost između broda i radioodašiljača mora biti veća od 5 valnih dužina na kojima radi radiogoniometar. Radiodevijacija (δ_{ra}) računa se tako da se za svakih 15° promjene pramčanog kuta istodobno optički i radiogoniometrom smjera radioodašiljač (radiofar). Razlika između pravog (optičkog) pramčanog kuta (L_p) i radiopramčanog kuta (L_{ra}) daje radiodevijaciju za taj pramčani kut:

$$\delta_{ra} = L_p - L_{ra}, L_p = L_{ra} + \delta_{ra}; \omega_p = K_p + L_p, \omega_p = \omega_{ra} + \delta_{ra}$$

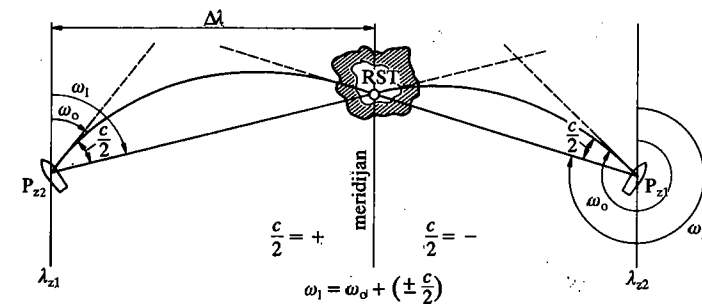
Na osnovi tako dobivenih radiodevijacija crta se *dijagram radiodevijacija* (sl. 2.10.), a prema njemu se potom izrađuje *tablica radiodevijacija* za određeni radiogoniometar. Krivulja radiodevijacija najbliža je krivulji kvadrantalne devijacije. Teoretski, najveća je devijacija pri pramčanom kutu od 45° , a pri pramčanom kutu od 0° do 90° devijacije nema ili je mala. Za velike radiodevijacije analiziraju se uzroci, a ako je potrebno obavlja se kompenzacija (samo u ograničenom opsegu). U antenskog sustava Bellini-Tosi kompenzacija se izvodi tako da se okvirima paralelno ili u seriji dodaju induktiviteti. U nekih se radiogoniometara ta pogreška može eliminirati i mehanički.

Ortodromski popravak ili *polukonvergencija meridijana*. Budući da se radiovalovi šire po velikoj kružnici, svaki s broda izmjereni radioazimut popravljen za pogrešku radiodevijacije daje ortodromski azimut (ω_0). Ako azimute treba ucrtati na Merkatorovu kartu, valja ih pretvoriti u loksodromske (ω_1), uzimajući u obzir i polukonvergenciju meridijana ($c/2$). Predznak $c/2$ objašnjen je na slici 2.12., a odnosi se na radiosmjernje s broda. Ako se smjera s obalne radiogoniometrijske postaje, $c/2$ ima suprotan predznak. Vrijednost polukonvergencije meridijana daju *Nautičke tablice* ili se približno računa formulom: $c/2 = \Delta\lambda \tan \varphi_s$. Za udaljenosti manje od 50 M do radiofara popravak $c/2$ praktički može se zanemariti*.

Konačna formula za popravak radioazimuta bit će:

$$\omega_1 = \omega_{ra} + c/2; \Delta\lambda = \lambda_{sr} - \lambda_z; \varphi_s = \frac{\varphi_{ST} + \varphi_Z}{2}$$

* Vidjeti: A. Simović, *Terestrička navigacija*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.



Sl.2.12. Predznak popravka radioazimuta za polukonvergenciju meridijana RST- radiofar; P_z - pozicija broda

Primjer: U 10h 00min P_z ($\varphi = 34^\circ 12'N$, $\lambda = 22^\circ 07'E$) smjera se radiofar Capo St. Maria di Leuca ($\varphi = 39^\circ 48'N$, $\lambda = 18^\circ 22'E$) i dobije se radioazimut $\omega_{ra} = 330^\circ$; $\delta_{ra} = +6,0^\circ$.

Traži se loksodromski azimut.

Rješenje:

$\varphi_{ST} = +39^\circ 48'$	$\lambda_{ST} = +18^\circ 22'$	$\omega_{ra} = 330,0^\circ$
$+ \varphi_Z = +34^\circ 12'$	$-\lambda_Z = \pm 22^\circ 07'$	$+ \delta_{ra} = +6,0^\circ$
$2\varphi = 74^\circ 00'$	$\Delta\lambda = -3^\circ 45'$	$\omega_0 = 336,0^\circ$
$\varphi_s = 37,0^\circ N$	$\Delta\lambda \approx 3,8^\circ W$	$+c/2 = -1,2^\circ$
		$\omega_1 = 334,8^\circ$

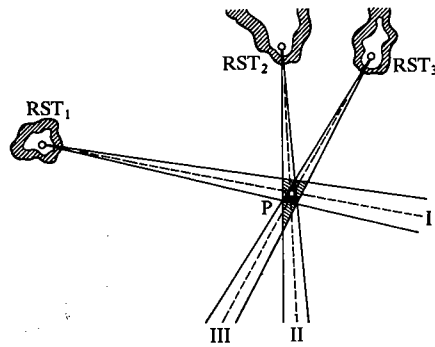
2.2.5. Radiopozicija broda. Pozicija broda obično se određuje smjerenjem dvaju ili triju radiofara. Postupak je sličan kao i pri određivanju pozicije optičkim azimutima u obalnoj navigaciji, ali uvijek valja uzeti u obzir uvjete u kojima su izmjereni radioazimuti. Svaki azimut radiogoniometra (ω_{ra}) prije ucrtavanja na Merkatorovu kartu valja popraviti za devijaciju radiogoniometra (δ_{ra}) i polukonvergenciju meridijana ($c/2$). Na nekim kartama oko pozicije radiofara ucrtan je pomoćni dijagram koji omogućuje neposredno ucrtavanje ortodromskih azimuta. Postoje i *karte izoazimutala*, tj. karte na kojima su za pojedini radiofar ucrtane crte jednakih vrijednosti azimutâ. Te azimutne crte omogućuju plovidbu u azimutu na dotični radiofar. Sjecište radioazimutnih crta pozicija dvaju ili triju radiofara, koje odgovaraju izmjerenim azimutima, daje radiopoziciju broda.

Ako brod posjeduje gnomonsku kartu dotičnog područja na kojoj su ucrtane pozicije radiofara, praktično je da se na njoj neposredno ucrtaju ortodromski azimuti. S gnomonske karte izvade se geografske koordinate tako dobivene radiopozicije i unesu na navigacijsku kartu. Tu poziciju valja analizirati prema drugim opaženim pozicijama.

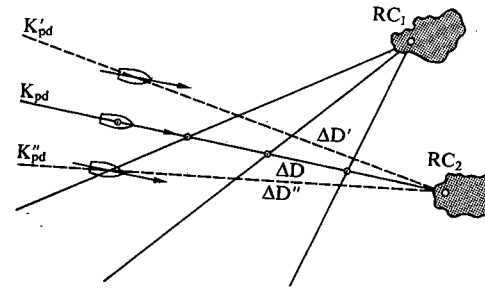
Kad god postoji mogućnost, poželjno je *poziciju određivati s tri azimuta*, a ne s dva, jer radioazimuti nisu uvijek dovoljno točni, pa ni pozicija nije uvijek pouzdana. Često se u praksi postupa tako da se na karti ucrtaju i granični azimuti dobiveni prema procijenjenoj vjerojnoj pogreški u radioazimutima. Tamni trokut na sl. 2.13. daje najvjerojatniju površinu u kojoj se brod nalazi, a iscrtkani trokut sljedeću vjerojatnu površinu pozicija. Svaku radiopoziciju valja analizirati prema najbližoj opaženoj ili zbrojenoj poziciji, jer katkad je dobra zbrojena pozicija bolja od slabe radiopozicije.

Ako se smjera samo jedan kružni radiofar, dobiveni se *radioazimut može kombinirati s nekom drugom crtom pozicije (stajnicom)*: optičkim ili radarskim azimutom,

izobatom, astronomskom crtom pozicija, hiperbolnom crtom pozicija i dr. Ako se smjera radioakustički far, pozicija se određuje na temelju radioazimuta i udaljenosti.



Sl. 2.13. Radiopozicija s tri azimuta
RST – radiopostaje (farovi); P – pozicija broda,
I, II i III – radioazimuti



Sl. 2.14. Uporaba dvaju radiofarova pri približavanju obali
RC – radiopostaja
 K_{pd} – kursna crta preko dna ako nema zanošenja;
 K'_{pd} – zanošenje prema RC_1 ;
 K''_{pd} – zanošenje od RC_1

U plovidbi blizu obale pri ograničenoj vidljivosti, ako na obali postoji samo jedan radiofar, pozicija broda može se odrediti ako se on dvokratno smjera, ali takva pozicija može biti nepouzdana. Radioazimute nije potrebno ispravljati za polukonvergenciju meridijana ($c/2$).

Slika 2.14. pokazuje približavanje obali s otvorenog mora smjeranjem dvaju radiofarova: U takvoj situaciji pogodnije je da radiofar RC_2 bude usmjereni. Bočnim smjeranjem RC_1 , ako je moguće u istim vremenskim intervalima, mogu se kontrolirati prevaljeni put i brzina broda. Ako se to ne može obaviti, radiogoniometar se orijentira da minimum prijama bude točno po pramcu, a plovidbom u radioazimutu (stalnom minimumu) održava se točan kurs po ortodromi koja vodi ravno na radiofar (tzv. *homing*). Zbog relativno malih udaljenosti (manjih od 200 M) može se držati da se ortodroma podudara s loksodromom.

2.2.6. Radiogoniometarska obalna postaja. Takve su postaje (RG ili RDF – *Radio Direction Finder Stations*) smještene na istaknutim točkama za navigaciju važnim područjima. One mogu biti pojedinačne – za dobivanje azimuta, i skupne (*group sequence*) – za dobivanje pozicije broda. Služe brodovima bez radiogoniometra ili pak kad se s broda ne mogu pouzdano obavljati radiosmjernja. Značajne su i za lociranje pozicija brodova u pogibelji, u potrazi i njihovu spašavanju.

Skupine radiofarova u međusobnoj su vezi s matičnom radiopostajom. Rabe Adcock antene (velikih dimenzija, neprikladne za brod) pa je točnost dobivene pozicije veća od one koja bi se dobila smjeranjem s broda.

Q T G s l u ž b a. Ako je smjernje s broda nepouzdan zbog nepovoljnog položaja broda prema radiofaru ili ako se želi smjerati neka obalna radiopostaja (ucrtana na navigacijskoj karti), na zahtjev broda postaja odašilje posebne radiosignale da bi je brod mogao smjerati. Način obavljanja takve službe objašnjen je u *The Admiralty List of Radio Signals*, Vol. I.

Na određenoj radnoj radiofrekvenciji postaji se upućuje pozivni signal, a kad se ona javi brod daje upitni signal QTG koji znači: "Hoćete li odaslati vaš pozivni signal u trajanju 50 s i dugi signal u trajanju 10 s na radiofrekvenciji... da bih mogao mjeriti radioazimut". Odgovor postaje sa QTG znači da postupa prema želji tražitelja, tj. da počinje odašiljati tražene signale.

Q T E i Q T F s l u ž b a. Brod bez radiogoniometra, ili ako pak zbog bilo kojeg drugog razloga ne može obavljati radiosmjernje, može dobiti radioazimute odnosno svoju radiopoziciju od obalnih radiogoniometarskih postaja. Postupak je objašnjen u priručniku *The Admiralty List of Radio Signals* (Vol. I ili II).

Brod poziva postaju na pozivnoj radiofrekvenciji. Pozvana postaja odgovara i određuje radnu frekvenciju. Ako brod želi samo radioazimute, to označuje signalom QTE. Pošto je s broda i postaje potvrđena spremnost za rad, s broda se odašilju dva duga signala (crte) trajanja po 10 s, a zatim signal raspoznavanja. To se ponavlja dok postaja ne završi radiosmjernje. Nakon toga postaja odašilje signal QTE, a potom svoje radne podatke, tri brojke (000 - 359) koje označuju radioazimut prema radiogoniometru postaje, klasifikaciju (pouzdanost) azimuta (A - točnost $\pm 2^\circ$, B - točnost $\pm 5^\circ$ i C - točnost $\pm 10^\circ$) i grupu od četiri brojke koje označuju vrijeme smjernja. S broda se ponavljaju primljeni podaci. Ako je ponavljanje točno, postaja odašilje znak završetka rada koji brod ponavlja kao znak da je radiopromet završen. Ako je ponavljanje broda netočno, postaja daje radiosignal QTE i ponavlja cijelo izvješće.

Ako brod želi da postaja odredi poziciju broda (geografske koordinate), postupak je identičan prethodnome, ali se odašilje signal QTF. Klasifikacija (pouzdanost) pozicije: A - pozicija točna u granicama do 5 M, B - u granicama do 20 M i C - u granicama do 50 M.

Navedene se usluge plaćaju. Postaje na kopnu ne odgovaraju za eventualne pogreške. Zbog toga tako dobivenu poziciju valja pažljivo analizirati.

Primjer: Zbrojena pozicija broda P_z ($\varphi = 48^\circ 45'N$; $\lambda = 25^\circ 30'W$). Određena je radiopozicija broda smjeranjem s obalnih radiogoniometarskih postaja:

Malin Head ($\varphi = 55^\circ 22'N$; $\lambda = 007^\circ 20,5'W$), ortodromski azimut $\omega_{01} = 245^\circ$;
Ushant ($\varphi = 48^\circ 26,5'N$; $\lambda = 005^\circ 05,5'W$); ortodromski azimut $\omega_{02} = 277,5^\circ$.

Koliko iznose loksodromski azimuti?

Rješenje:

a) *Malin Head*

$$\begin{aligned} \varphi_s &= 52^\circ 03,5'N \\ \Delta\lambda &= 18^\circ 09,5'E \dots c/2 = -7,2^\circ \\ \omega_0 &= 245,0^\circ \\ + c/2 &= -7,2^\circ \\ \hline \omega_1 &= 237,8^\circ \end{aligned}$$

b) *Ushant*

$$\begin{aligned} \varphi_s &= 48^\circ 35,8'N \\ \Delta\lambda &= 20^\circ 24,5'E \dots c/2 = -7,7^\circ \\ \omega_0 &= 277,5^\circ \\ + c/2 &= -7,7^\circ \\ \hline \omega_1 &= 269,8^\circ \end{aligned}$$

PITANJA:

- Objasnite načelo radiosmjernja: a) općenito; b) s pomoću radiogoniometra; c) automatskim radiogoniometrom.
- Objasnite zadaću radiogoniometarskih obalnih postaja.
- Definirajte radioazimut i objasnite od kojih čimbenika ovisi njegova točnost.
- Što je radiodevijacija, zašto nastaje i kako se određuje?
- Što je polukonvergencija meridijana, zašto nastaje i kako se s njom ispravlja radioazimut?
- Na koji se način radioazimut ucrtava na navigacijsku kartu?
- Objasnite određivanje radiopozicije mjerenjem: a) jednog radiofara; b) dvaju radiofarova; c) triju radiofarova.
- Koje su mogućnosti primjene jednog radioazimuta u plovidbi ili pak u kombinaciji s drugim crtama pozicija (stajnicama)?
- Objasnite postupak i načelo određivanja pozicije broda s pomoću obalnih radiogoniometarskih postaja.
- Kakva je točnost radiopozicije i o čemu ovisi?

ZADACI:

1. U plovidbi se smjera radiofar s okretnom antenom (okreće se brzinom 6° u sekundi). Od signala sjevera do trenutka prijama minimuma prošlo je: a) $t = 15$ s; b) $t = 30$ s; c) $t = 40$ s; d) $t = 55$ s. Traže se radioazimuti za svaki pojedini slučaj.
2. U plovidbi se opaža radiozvučni far. Između karakterističnog radiosignala i trenutka prijama podvodnog zvučnog signala prošlo je: a) $t = 15$ s; b) $t = 30$ s; c) $t = 40$ s; d) $t = 55$ s. Kolika je udaljenost do radiofara za svaki pojedini slučaj?
3. Brod plovi u $Kp = 270^\circ$. Sa Pz ($\varphi = 40^\circ 50' S$; $\lambda = 40^\circ 00' W$), radiogonometrom smjera se drugi brod P ($\varphi = 41^\circ 06' S$, $\lambda = 40^\circ 00' W$), $\omega_{ra} = 185^\circ$. Azimut tog broda mjereno optički i radarom iznosi $\omega_p = 180^\circ$. Obavite kontrolu radiodevijacije vlastitog radiogoniometra.
4. Brodskim radiogoniometrom smjera se radiofar Otranto i dobiju slijedeći pramčani kutovi:

Optički	Radio	Optički	Radio
23,0°	22,0°	203,0°	202,0°
69,0°	67,0°	241,5°	240,0°
102,0°	105,0°	267,0°	270,0°
126,0°	134,0°	307,0°	315,0°
161,0°	166,0°	357,0°	360,0°

Traži se: a) krivulja radiodevijacija u pravokutnom i polarnom koordinatnom sustavu (na manevarskom dijagramu); b) tablica devijacija za svakih 15° ; c) analiza krivulje devijacija.

5. Brod plovi u $Kp = 0^\circ$. Sa Pz ($\varphi = 34^\circ 30' N$, $\lambda = 72^\circ 00' W$) smjera se radiofar Cape Hatteras ($\varphi = 35^\circ 15' N$, $\lambda = 75^\circ 35' W$) i dobije se $\omega_{ra} = 75^\circ$. Traži se: loksodromski azimut ako je $\vartheta_{ra} = -3^\circ$.
6. Brod plovi u $Kp = 65^\circ$. Sa Pz ($\varphi = 35^\circ 15' N$, $\lambda = 76^\circ 45' W$) smjera se radiopostaja R St ($\varphi = 47^\circ 30' S$, $\lambda = 75^\circ 00' W$) pod $\omega_{ra} = 75^\circ$. Traži se: loksodromski azimut (ϑ_{ra} određena u primjeru 4)?
7. Sa Pz ($\varphi = 60^\circ 15' N$, $\lambda = 22^\circ 30' E$) smjera se radiofar Tallinn, Finski zaljev ($\varphi = 59^\circ 43' N$, $\lambda = 24^\circ 43' E$). Radiodevijacija $\vartheta_{ra} = -2^\circ$. Traži se: loksodromski azimut?

3. Terestrički hiperbolni radiosustavi

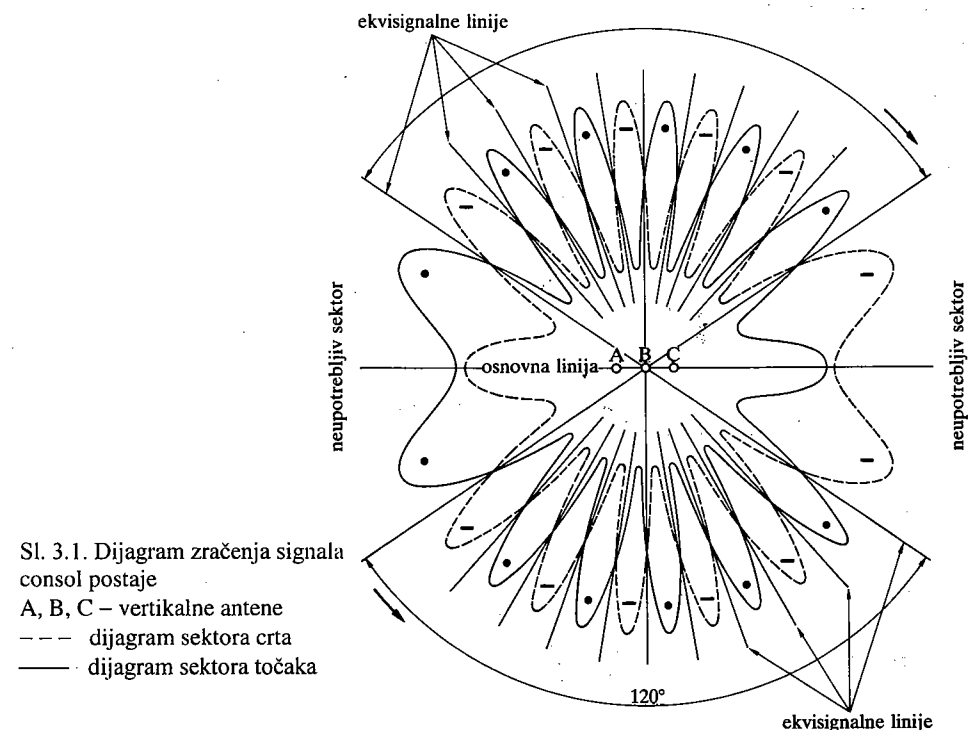
3.1. Temeljna načela i podjela

Hiperbolni navigacijski radiosustavi zasnivaju se na hiperboli kao crti pozicija, na načelu da je razlika udaljenosti fokusa (radiopostaja) do bilo koje točke iste grane hiperbole konstantna. Hiperbole kao crte pozicija, ucrtane na posebnim kartama. Sjecištem dviju i više crta pozicija određena je pozicija broda, a jedna se crta pozicija može upotrijebiti na način kako je to objašnjeno u terestričkoj, odnosno astronomskoj navigaciji.

Načela na kojima se temelje radiosustavi jesu: a z i m u t n i, usmjeravajući sustav omogućuje izračun azimuta - *consol* [konsol]; i m p u l s n i, mjeri vremenski razmak između prijama dvaju uzastopnih sinkroniziranih radioimpulsa - *loran*; f a z n i, mjeri fazne razlike niza radioimpulsa - *Decca* [Deka], *omega*, *raydist* [rejdist], *lorac* [lorak], *toran* i sl.; d a l j i n o m j e r n i, neposredno mjeri udaljenosti odnosno razlike udaljenosti - *sofar*, *rafos*, *shoran* [šoran], *Decca s dvije udaljenosti* (*Decca two ranges*) i sl. Od navedenih sustava u knjizi se objašnjavaju hiperbolni radiosustavi u pomorskoj navigaciji. Međutim, s pojavom navigacijskog satelitskog radiosustava, terestrički hiperbolni sustavi gube praktično značenja. Više nisu u uporabi: *consol*, *loran-A* i *omega* sustav, a predviđa se i gašenje sustava *Decca*.

3.2. Consol

3.2.1. Načelo sustava. Bio je to prvi terestrički radionavigacijski sustav velikog dometa s hiperbolom kao crtom pozicija. Njime su se mogli rabiti brodovi opremljeni običnim radioprijamnikom srednje frekvencije (A1A) i consol-kartama ili consol-tablicama.



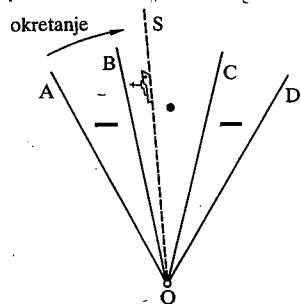
Sl. 3.1. Dijagram zračenja signala consol postaje
A, B, C – vertikalne antene
--- dijagram sektora crta
— dijagram sektora točaka

Iako se consol ubraja u hiperbolne navigacijske sustave, zbog njegove vrlo kratke osnovice (približno 6 km), za brod koji je više od 25 M udaljen od postaje, taj se sustav u praksi svrstava

kao azimutni. Bio je preteča kasnijim hiperbolnim radionavigacijskim sustavima.

Radiopostaja consol vrsta je radiofara s odašiljačem snage srednje frekvencije 225 do 405 kHz i s posebnim okretnim usmjeravajućim sustavom triju vertikalnih antena međusobno razmaknutih oko 3000 m. Taj sustav oblikuje određeni broj ekvisignalnih sektora približne kutne širine 12°; u jednom sektoru odašilje točke, u drugom crte, u idućem ponovno točke itd. Unutar jednog ciklusa motritelj čuje ukupno 60 signala, točaka i crta. Brojeći točke i crte čujne prije ekvisignala, motritelj može odrediti na kojoj se ekvisignalnoj crti pozicija (azimuta) nalazi brod.

3.2.2. Određivanje azimuta i pozicije broda. Na radioprijamniku podešenom na radnu frekvenciju radiofara čuje se dugi signal prekidan signalom prema kojemu se identificira postaja consol. Svršetak dugog signala označuje početak brojenja točaka i crta. Načelno, motritelj koji bi se na početku ciklusa našao na ekvisignalnoj crti primio bi 60 crta, odnosno točaka. U svakom drugom slučaju primio bi ukupno 60 točaka i crta. Broj se izbrojenih točaka i crta oduzme od 60 i dobije broj izgubljenih znakova. Polovica izgubljenih znakova pribroji se izbrojenim točkama, a polovica izbrojenim crtama, i tako dobije ukupan broj znakova koji odgovaraju trenutku prolaza ekvisignalne (azimutne crte) preko motritelja. Time je određen smjer unutar sektora, i to od središnje postaje (antene) prema brodu. Nalazi li se brod u sektoru točka ili crta, određuje se prema tome koji su se signalni znakovi (crte ili točke) prvo čuli nakon dugog signala.



Sl. 3.2. Ekvisignalne crte dijagrama zračenja consol-postaje
 \overline{OA} , \overline{OB} , \overline{OC} , \overline{OD} – ekvisignalne crte pozicija koje dijele sektore os sektora točaka: \overline{OS} – crta pozicija na kojoj se nalazi brod: O – središnja antena

Vrijednost se azimuta računa s pomoću *Consol tables* koje se nalaze u priručniku *The Admiralty List of Radio Signals* (Vol. V), a može se dobiti i iz consol-karte. Crte pozicija (azimuta) ucrtane su na karti svakih 10 točaka, odnosno crta, a ekvisignalne crte koje dijele sektore točaka od sektora crta svakih 8° do 15°. Da bi se sigurno odredio sektor u kojem se brod nalazi, prijeko je potrebno poznavati zbrojenu poziciju broda.

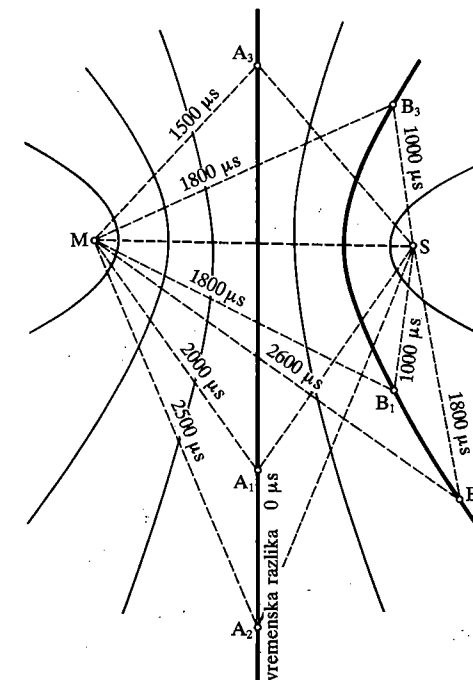
Consol-pozicija broda određuje se istodobnim mjerenjem azimuta dviju postaja ili radioazimutima iste postaje mjerenima u vremenskom razmaku. Točnost azimuta danju je $\pm 2^\circ$, a noću $\pm 3^\circ$.

3.3. Loran

3.3.1. Načelo sustava. To je terestrički radionavigacijski sustav kojemu je crta pozicija hiperbola. Rabi veoma duge radiovalove i zato ima veliki domet (*Long Range Navigation*). Grupa od jedne glavne (*M-master*) i nekoliko pomoćnih (*S-slave*) radiopostaja, točno poznatih pozicija, čini *loran-lanac*. Glavna postaja upravlja radom svih pomoćnih postaja, a s jednom pomoćnom postajom čini *loran-par postaja*.

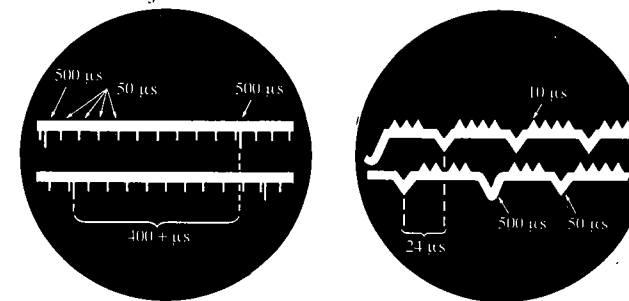
Sustav radi na načelu mjerenja vremenske razlike između prijma radioimpulsa što ih sinkronizirano odašilje *loran-par* postaja po utvrđenoj shemi. *Loran-parovi* u lancu rade na istoj frekvenciji, ali radioimpulse odašilju s različitim pomakom, tzv. frekvencijom ponavljanja impulsa (*Pulse Repetition Frequency – PRF*). Vremenski interval pomaka u mikrosekundama (μs), mjeren s pomoću *loran-prijamnika*, različit je i prema njemu se identificira par postaja dotičnog *loran-lanca*. Na karti ucrtani niz točaka s jednakom razlikom udaljenosti (razmjernom vremenskoj razlici prijama radioimpulsa) do radiopostaja u *loran-paru* daje granu hiperbole. Njezin dio najbliži zbrojenoj poziciji

broda predstavlja *loran-crtu* pozicija.



Sl. 3.3. Loran-crte pozicija

Postoje dvije vrste sustava: standardni *loran-A* (rabi srednje radiofrekvencije) iz kojeg se razvio *loran-C* (rabi niske frekvencije).



Sl. 3.4. Zaslon katodne cijevi prijamnika *loran A* – načelo mjerenja vremenske razlike

3.3.2. Loran-A sustav. Bio je preteča sustava *Loran-C*. Temeljio se na 3 pomoćne odašiljačke radiopostaje (S) i jedne glavne odašiljačke radiopostaje (M), na međusobnoj udaljenosti 200–400 M (iznimno 100–600 M).

Svaka radiopostaja *loran-para* ima 3 simbola za identifikaciju (npr. 3LG), koji se dekodiraju s pomoću posebnih *loran-tablica*, a označena su i na *loran-kartama*. Pozicija broda određuje se na grafički (na *loran karti*, na temelju dviju i više *loran-crta* pozicija) ili računski (s pomoću posebnih tablica).

Prijamnik loran-A. Glavni je dio prijamnika katodna cijev s dvostrukom vremenskom ljestvicom (sl. 3.3.a.). Istodobno se primaju radioimpulsi glavne (na gornjoj ljestvici) i pomoćne postaje *loran-postaje* (na drugoj ljestvici) u paru istog lanca. Primljeni impulsi registriraju se na videozaslonu katodne cijevi u *loran-prijamniku*. (sl. 3.5.). Vodoravni razmak između impulsa razmjern je vremenskoj razlici u mikrosekundama (μs) između prijama radioimpulsa glavne i pomoćne postaje *loran-para*. Na temelju izmjerene vremenske razlike na *loran-karti* odredi se od-

govarajuća loran-crta pozicija.

Danju površinski radiovalovi imaju domet 800 M odnosno 1000 M, što ovisi o snazi radio-odašiljača. Noću se primaju prostorni radiovalovi pa je domet trećinu veći od dnevnoga. Statistički prosjek točnosti pozicije broda odgovara krugu polumjera 0,2 M – 2,0 M. Najveća je pogreška pri mješovitom prijmu površinskih i prostornih radiovalova.

Loran-A karta. To je pomoćna, tzv. bijela karta u Merkatorovoj projekciji s ucrtanom mrežom hiperbola u odnosu na par postaja određenog loran-lanca.

Te hiperbole, kao moguće crte pozicija, odnose se na prijam površinskih radiovalove (*ground waves*). Ako se pri mjerenju primaju prostorni valovi (*sky waves*), valja izvršiti određeni popravak prije nego što se odnosne loran-crte pozicija odrede na karti. Taj se popravak dobije iz *Table H.O. 221 (USA)* ili iz posebnih pomoćnih loran-karata.

3.3.3. Loran-C sustav. To je terestrički impulsnofazni hiperbolni radionavigacijski sustav. Ima veći domet i bolju točnost od prethodnog loran-A sustava. Za grubo određivanje crta-pozicija primijenjeno je načelo sustava loran-A, ali, radi bolje točnosti, sustav se temelji na mjerenju fazne razlike. To traži strogu sinkronizaciju rada glavne radiopostaje s pomoćnim radiopostajama, što je postignuto primjenom atomskog oscilatora. Detaljne podatke o uporabi i rasporedu lorna-C lanaca daje priručnik *The Admiralty List of Radiosignals*.

Svaki loran C-lanac sastoji se od glavne radiopostaje (M) i 3 ili 4 pomoćne radiopostaje (X,Y,Z,W) u zvijezdastom rasporedu (visine antena i do 400 m); razmaknuti su od 500 do 700 M, iznimno do 1000 M. Svi radioodašiljači rade na frekvenciji 100 kHz (valna dužina 3000 m), čime je otklonjen utjecaj prostornih valova, a domet je površinskog vala do 4000 M; za rad na većim daljinama koriste se prostorni radiovalovi koji se samo jedanput reflektiraju od donjeg sloja ionosfere. Zato sustav loran-C ima veći domet i bolju točnost od sustava loran-A; za odašiljač snage 300 kW danju prijamom površinskih radiovalova domet sustava iznosi do 1 400 M; s prijamom prostornih radiovalova domet je danju do 2300 M, a noću do 3000 M.

Emisije postaja istog loran-C lanca su frekvencijski i fazno sinkronizirane. Glavna radiopostaja odašilje niz od 9 radoimpulsa, pomoćna postaja u određenom redosljedu po 8 radoimpulsa (u loran-A po 1 impuls) s različitim pomakom, ali u granicama frekvencije ponavljanja. Radioimpulsi svih loran-postaja traju 300 μ s u međuintervalima od 1000 μ s. Međutim, vremenski interval između 8. i 9. impulsa glavne postaje duži je ili kraći, što omogućuje automatsku optičku identifikaciju glavne postaje loran-lanca. Svaki niz radioimpulsa glavne i pomoćne postaje odašilje se u fazi ili protufazi, ovisno o odgovarajućoj frekvenciji. Izborom faznog koda uklanja se pogreška zbog eventualne interferencije prostornog i površinskog radiovala, kao i od neispravno primljenih impulsa na videozaslonu katodne cijevi. Time je identificirani impuls radioodašiljača glavne i pomoćne postaje jednoznačan, što omogućuje automatsku identifikaciju loran-postaja.

Vremenski interval niza radioimpulsa označen je ovako: četiri brojke za vremenski interval niza (u mikrosekundama), a dva slova za osnovni interval: SS, SL, SH, CS, CL i CH (100, 80, 60, 50, 40 i 30 μ s). Specifični interval označuje se brojkama 0 do 7, koje označuju koliko je puta po 100 μ s smanjen osnovni interval. Ako je npr. vremenski interval niza 7 930 μ s, oznaka hiperbole s pomoćnom radiopostajom Y bit će 7930-Y-13 300. Budući da svi parovi postaja u istom loran-lancu rade s jednakim vremenskim intervalom niza, odnosno istim osnovnim i istim specifičnim intervalom, impulsi svih postaja na zaslonu prijmnika vide se odjednom.

3.3.4. Loran-C karta. Rabi se kad brod ima običan Loran-C prijmnik pa je neophodan grafički postupak određivanja pozicije broda i drugih navigacijskih elemenata. Najviše je u uporabi skupina karata američkog izdanja s oznakom 7800 (*US Defence Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center*).

Na kartama su hiperbole ucrtane za standardne uvjete, tj. za konstantu brzinu širenja elektromagnetnih valova, što u praksi nije slučaj. Stoga je potrebno očitanim vrijednostima s loran-C digitalnog pokazivača algebarski dodati popravak iz *Tablica loran-C*. Na udaljenostima više od 500 M, posebice noću, neophodno je uzeti u obzir i popravke koje donose posebne loran-C tablice (*Loran-C Lattice Table*). Preporučuje se, kad god postoji mogućnost, odabrati pomoćne postaje loran-C lanca od kojih se radiovalovi većim dijelom šire iznad morske površine.

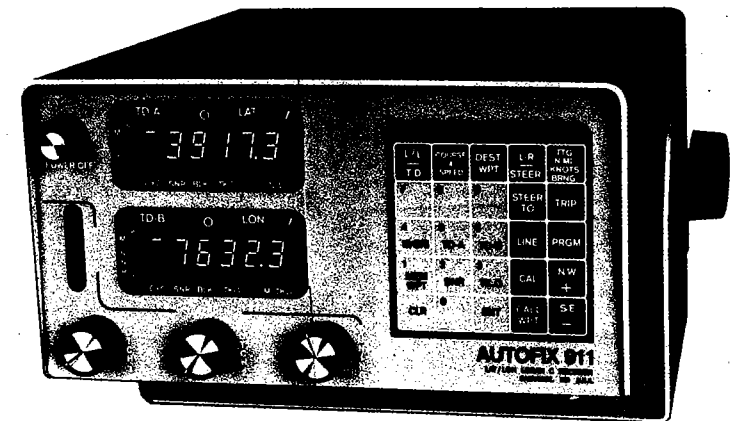
3.3.5. Prijamnik loran-C. Redovito se izrađuje u više tipova, ali najviše je u uporabi automatski loran-C prijmnik.

Obični loran-C prijmnik. Sličan je prijašnjem loran-A prijmniku. Vremenska razlika mjeri se na videozaslonu katodne cijevi na temelju prikazanih nizova impulsa pojedinih loran-parova, a ne pojedinačnih impulsa. Može se eliminirati štetni utjecaj prostornih valova.

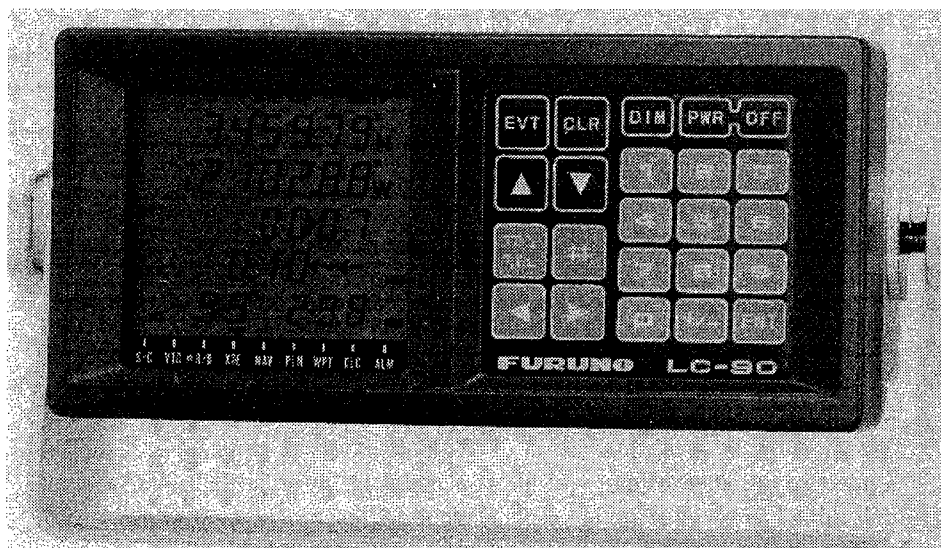
Poluautomatizirani prijmnik loran-C. Ručno se postavljaju karakteristike: grupni vremenski interval (GRI) i postajno zakašnjenje dvaju parova (TDA i TDB) odbranog loran-lanca. Prijamnik sam traži, identificira i prati par loran-postaja, uspoređuje i mjeri vremenske razlike dvaju parova, koje se očitavaju s digitalnog pokazivača (6 znamenki, točnost 0,1 μ s); s pomoću posebne preklopke prelazi se na mjerenja za treći i četvrti par loran-postaja.

Na prijmnik se mogu priključiti: ponavljač, risač kursa i prevaljenog puta te jedinica sa zapovijedima "desno-lijevo", kojima se olakšava kormilarenje ili upravlja s autokormilom (giropilotom).

Točnost pozicije iznosi 60 m na udaljenosti od 500 M, a 150 m na udaljenosti od 1000 M. Upotrebom prostornih valova, točnost je danju 2 do 5 M udaljenosti 2300 M, a noću 5 do 8 M na 3000 M.



Sl. 3.5 Kompjuterizirani digitalni prijmnik LORAN-C NELCO 911,
($\varphi = 39^{\circ}17,3'N$; $\lambda = 76^{\circ}32,3'E$)



Sl. 3.6. Automatski prijamnik LORAN C *FURUNO LC-90*

Automatski prijamnik LORAN-C. To je loran-prijamnik s digitalnim videopokazivačem, koji radi u sprezi s elektroničkim računalom. Automatski bira loran-lanac, odnosno parove postaja loran-lanca na temelju u memoriju unesenih (automatski ili ručno) i procesorom obrađenih podataka. Putem tipkovnice mogu se na videozaslonu pokazivača neposredno očitati: geografske koordinate pozicije broda (ϕ , λ), kurs plovidbe, provjeriti nalazi li se brod na programiranoj ruti, odnosno koliko trenutačno odstupa od programiranog kursa (točnost $\pm 0,1$ M); kurs i udaljenost, odnosno vrijeme plovidbe do sljedeće međutočke promjene kursa ili luke dolaska; kurs preko dna i brzina preko dna, kurs kroz vodu i brzina kroz vodu, kao i drugi programom odabrani navigacijski podaci. Pri uporabi automatskog loran-C prijamnika nisu potrebne loran-karte.

Suvremeni automatski loran-C prijamnik s videozaslonom kompatibilan je za priključak određenih navigacijskih jedinica, čime se dobiva jedan manji integrirani elektronički sklop. Neke od mogućnosti jesu: loran/kartografski videorisač (video plotter); loran/ultrazvučni dubinomjer/videorisač; jedna šira integracija, npr.: loran/GPS/kartografski videorisač/radar/ultrazvučni dubinomjer/giropilot.

Točnijim mjerenjima, posebice točnijoj poziciji broda, pridonose dodatne diferencijalne monitor-postaje u sustavu pojedinog loran-lanca.

3.3.6. Određivanje pozicije broda. Pri uporabi običnog loran-C prijamnika, loran -crta pozicija, a time i pozicija broda, može se odrediti grafičkim postupkom, ali je potrebna posebna pomoćna karta s ucrtanom hiperbolnom loran-C mrežom. Crta pozicija odnosno loran-para postaja, na kojoj se brod nalazi, određena je izmjerenom vremenskom razlikom (μ s); na loran-C karti grafički se određuje interpolacijom između dvije susjedne hiperbole. Crtaju se samo dužine hiperbola blizu zbrojene pozicije; točka sjecišta dviju crta pozicija određuje loran-poziciju broda (označuje se kružićem presječenim crticom okomitom na kursnu crtu \ominus). Uporabom suvremenog automatskog loran-C prijamnika, geografske koordinate pozicije broda i drugi navigacijski elementi

mogu se očitati neposredno s videozaslona prijamnika, odabirom s pomoću posebne tipkovnice.

Loran-crta pozicija može se rabiti za plovidbu u određenom kursu, za dolazak na izabranu poziciju, za plovidbu na određenu udaljenost od obale i sl., kako je to opisano u terestričkoj navigaciji. Pri plovidbi u određenom kursu postupa se tako da se izabere dio hiperbole koji se podudara s odabranom kursnom crtom, a u plovidbi se uvijek na loran-pokazivaču održava isti vremenski interval, koji je na kartu zapisan na odgovarajućoj grani hiperbole ili je izračunan interpolacijom na temelju hiperbola ucrtanih na loran-karti. Ako se želi dovesti brod na određenu poziciju, plovi se u izabranom kursu dok pokazivač ne pokaže vremenski interval koji odgovara hiperboli (drugog loran -para) koja prolazi kroz odabranu poziciju. Pri plovidbi na određenu udaljenost odabrana grana hiperbole mora biti paralelna s obalom.

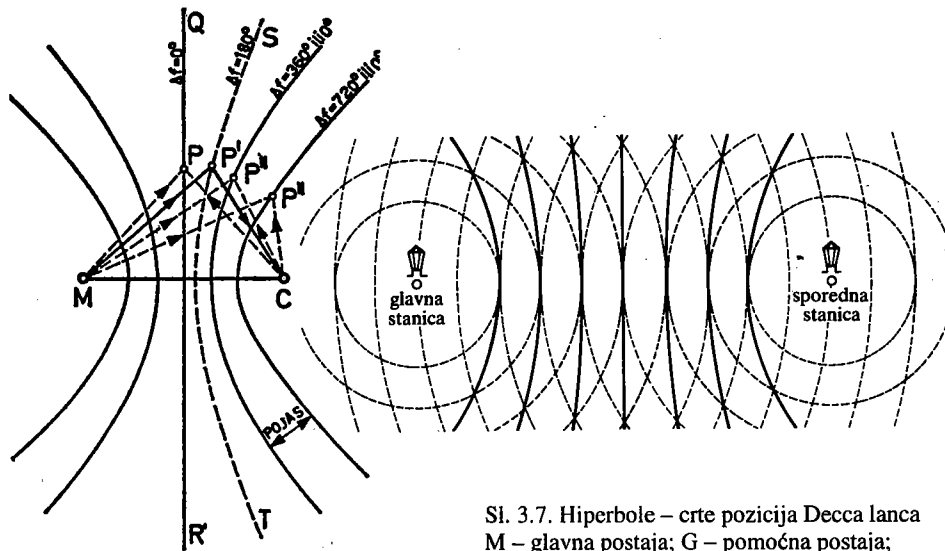
Pozicija broda može se odrediti i loran-crtom pozicija u kombinaciji s nekom drugom crtom pozicija. S obzirom na veliki domet lorana i važnost što točnije pozicije broda pri približavanju obali, praktično je kombinirati loran-crtu pozicija s radioazimutnom crtom pozicija ili s astronomskom crtom pozicija.

3.4. Decca

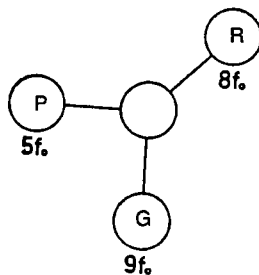
3.4.1. Načelo sustava. Taj terestrički radionavigacijski sustav, koji se postupno gasi, temelji se na dugim nedomuliranim radiovalovima niske frekvencije (70-130 kHz). Sastoji se od jedne glavne odašiljačke radiopostaje (M) i tri pomoćne odašiljačke postaje (S) koje čine jedan obalni Decca-lanac. Tri pomoćne postaje tvore istokračni trokut, a glavna se postaja nalazi približno u njegovu težištu. Glavna postaja (M) naizmjenično radi s jednom pomoćnom postajom (S) pa se u lancu formiraju tri Decca-para postaja, koji oblikuju svoje modele hiperbola. Hiperbolne crte pozicija određuju se mjerenjem fazne razlike radiosignala odaslanih od para postaja Decca-lanca. Tako uobličena hiperbolna radiomreža jednog Decca-para može sadržavati 200 i više pojava koji na osnovici (spojnici postaja) imaju širinu polovine valne dužine koja odgovara frekvenciji usporedbe. Zato su i Decca-crte pozicija ucrtane na karti razmaknute za polovinu valne dužine ($\lambda/2$). Prema boji pomoćnih postaja i boji hiperbola ucrtanih na karti, parovi nose i nazive: crveni (R-red), zeleni (G-green) i ljubičasti (P-purple). Ime Decca-lanca određeno je prema geografskom položaju, a znak raspoznavanja pojedinog lanca sastoji se od brojke i slova, koje označuju radnu karakteristiku (frekvenciju). Dodatna slova V i MP označuju tip signala za identifikaciju pojava (*Lane Identification Light Sequence Type*).

Fazna razlika može se mjeriti samo između dva radiovala iste radne frekvencije. Međutim, ne može se odvojeno primati radiosignal para radioodašiljača koji rade na istoj frekvenciji, jer bi došlo do interferencije radiovalova. Zbog toga svaka postaja Decca-lanca odašilje radiosignale druge frekvencije (f), ali ta je frekvencija određenim višekratnikom (5, 6, 8 i 9) s osnovnom frekvencijom (f_0), koja je drukčija za svaki lanac. Brodski Decca-prijamnik frekvencije primljenih radiosignala Decca-para pretvara na zajedničku frekvenciju, tzv. *frekvenciju usporedbe*, a zatim ih odašilje fazometru (dekometru) radi usporedbe s osnovnom frekvencijom i radi mjerenja fazne razlike. Frekvencija usporedbe najmanja je zajednička mjera primljenih frekvencija.

Na prijamniku fazometar (dekometar) posebnom kazaljkom pokazuje prijelaz preko granične hiperbole između dva pojava, a podjela ljestvice odgovara brojevima crta pozicija ucrtanih na Decca-karti. Fazometar može imati i dopunsku kazaljku koja pokazuje i 0,01 dio pojava i tako vrlo točno označuje crtu pozicija koja odgovara pročitanoj vrijednosti na fazometru. Tako fazometar za jedan puni okret registrira niz pojava (18-30). Taj se prostor naziva *zonom*, a označuju se velikim slovima od A do J.



Sl. 3.7. Hiperbole – crte pozicija Decca lanca
 M – glavna postaja; G – pomoćna postaja;
 $MP - SM = 0$; $SP' = \lambda / 2$; $MP' = SP' = \lambda$



Sl. 3.8. Veza između frekvencije glavne postaje i frekvencija sporednih postaja istog Decca-lanca

Radi identifikacije pojasa u kojem se brod nalazi, parovi Decca-postaja na kopnu odašilju na dugim radiovalovima posebne radiosignale u razmacima od jedne minute. Odašani signali se u frekvenciji međusobno razlikuju za vrijednost osnovne frekvencije (f_0) kojom se uspoređuju faze. Primljeni signali oblikuju novu mrežu hiperbola koja se superponira na mrežu već postojećih Decca-crta pozicija. To uzrokuje aktiviranje posebnog pokazivača, tzv. *identifikatora pojasa*. Određivanje zone nije problem s obzirom na njezinu širinu, pa je za otklanjanje dvojbe dovoljna zbrojena pozicija ili azimut na jednu Decca-postaju.

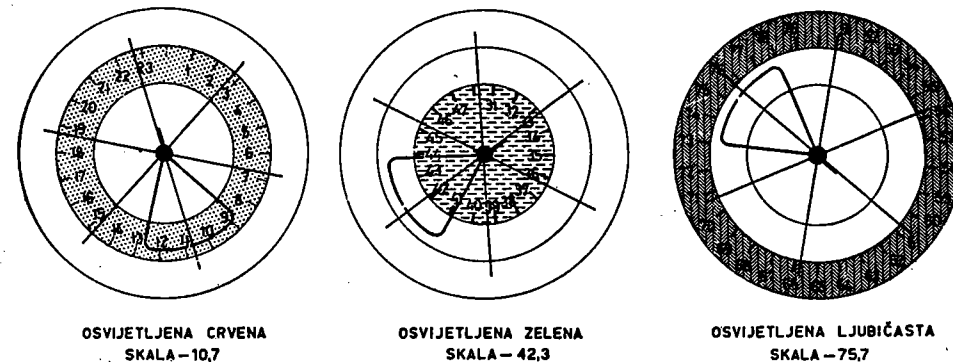
Detaljni podaci za svaki Decca-lanac nalaze se u priručniku *The Admiralty List of Radio Signals, Vol. V*, ili u publikaciji *Decca Operating Instructions and Marine Data Sheets*.

3.4.2. Decca karte. To su pomoćne karte u Merkatorovoj projekciji s ucrtanim Decca-crtama pozicija u boji koja odgovara odnosnom paru postaja. Identificiraju se po boji, slovu zone i broju koji označuje pojas i stoti dio pojasa u zoni. Karte u načelu izdaju hidrografski instituti država koje na svom području imaju sustav Decca. U izdanju *Britanskog admiralteta (Admiralty Charts)*, osim naziva karte, imaju i serijski broj, kao i svaka navigacijska karta. Ako npr. prefiks ima oznaku L (D) (1C), to znači da karta zahvaća više lanaca (*Inter-chain fixing chart*), a na donjem rubu karte dane su značajke pojedinog lanca.

3.4.3. Decca prijamnik-pozicija broda. Čine ga radioprijamnik s antenom i pokazivač. Prije isplovljenja prijamnik valja podesiti na valnu frekvenciju odabranog Decca-lanca.

Načelo određivanja Decca-crte pozicija, odnosno pozicije broda, najbolje objašnjava postupak temeljen na prijamniku Decca-MK12, u kojeg pokazivač ima 3 dekometra i jedan identifikator pojasa.

Dekometri se pri radu naizmjenično osvjetljavaju bojom koja odgovara bojama hiperbola ucrtanim na Decca-karti i zato imaju odgovarajuće nazive: crveni, zeleni i ljubičasti dekometar. Na svakom dekometru nalazi se jedna manja i jedna veća kazaljka te pokazivač zone (slova). Ljestvica male kazaljke podijeljena je od 0 do 1 i pokazuje hiperbolnu crtu pozicija u stotim dijelovima pojasa. Veća je kazaljka u mehaničkoj vezi s pokazivačem zone koji nosi slovene oznake. Ona pokazuje redni broj pojasa (kod crvenog para od 0 do 23, kod zelenog od 30 do 47, a kod ljubičastog od 50 do 79). Dok velika kazaljka učini puni okret, pomaknut će se oznaka zone za jedno slovo u granicama između A i J (Sl. 3.9.)



Sl. 3.9. Identifikatori Decca-pojasa na pokazivaču prijamnika *Decca-navigaot Mk-12*

Identifikator pojasa pokazuje u kojemu se pojasu unutar Decca-zone brod nalazi. Sastoji se od tri svijetleće prstenaste koncentrične ljestvice koje imaju istu podjelu i boju kao i odgovarajući dekometar. Dok je aktivirana jedna ljestvica druge dvije ne rade, pa se podaci očitavaju samo s osvjetljene ljestvice. Pojas u kojem se brod nalazi pokazuju sektorska kazaljka (*sector pointer*) i zvjezdasti nonij (*vernier pointer assembl*). Očitavati se samo ljestvica, koja je osvjetljena, a slijed je čitanja: crvena, zelena, ljubičasta ljestvica.

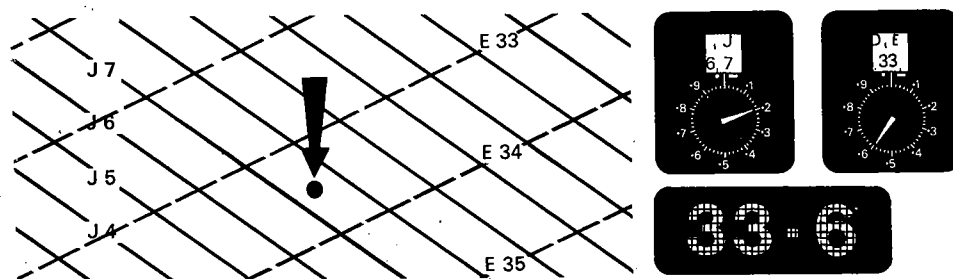
Sl. 3.11. prikazuje prijamnik sustava Decca s digitalnim pokazivačem: tri dekometra i jedan identifikator pojasa.

Vrijednost očitana s dekometra daje crtu pozicija. Sjecište najmanje dviju crta pozicija daje Decca-poziciju broda.

Jedna Decca-crta pozicija može se rabiti: kad se želi ploviti u sigurnom azimutu (npr. pri približavanju obali ili za dovođenja broda na određenu poziciju): plovi se po odabranoj crti pozicija; dekometar koji se odnosi na postaju po pramcu neće pokazivati nikakve promjene, a dekometar bočne postaje pokazivat će brze promjene. To nam omogućuje da upotrijebimo taj sustav kako bismo brod doveli na određenu točku (sidrenja ili promjene kursa), provjeravati njegovu brzinu i sl.

Za određivanje pozicije broda potrebite su najmanje dvije optimalne Decca-crte pozicija. Očitavanja s dekometara odabiru se uvidom u Decca-kartu, prema zbrojenoj poziciji broda.

Suvremeni Decca-prijamnik je automatski (sličan prijamniku LORAN-C), ima digitalni pokazivač s LCD videozaslonom, redovito s videorislačem ili s priključkom na



Sl.3.10. Pozicija broda na Decca-karti prema dikitalnom pokazivaču prijammnika Decca-navigator Mk-21



Sl. 3.11. Prijamnik Decca s digitalnim pokazivačem

grafički risač kursa.

Na prednjoj ploči prijammnika nalazi se tipkovnica putem koje je moguće u svakom trenutku odabrati i na videozaslonu neposredno očitati geografske koordinate pozicije broda, slično kao i u automatskom loran-prijammnika.

Iako se radiosignali Decca-lanaca mogu primati i do 1000 M od Decca-postaje, taj navigacijski sustav primjenjuje se redovito do udaljenosti od 200 M. Pogreška danju iznosi $\pm 0,2$ M, a noću (zbog prijama prostornih valova) do $\pm 0,5$ M. Tablice (dijagrami) koje daju popravke za pojedine sektore, i u razno doba dana, navedene su u priručniku *The Admiralty List of Radio Signals (Vol. V)*. Popravci su zbog pogrešaka u sustavu, a možemo ih podijeliti u stalne i promjenjive. Algebarski se dodaju vrijednostima očitanim na dekometrima.

Popravci za stalne (sustavne) pogreške. Mogu biti dani na Decca-kartama, ali najčešće u posebnim tablicama za svaki Decca-lanac (*Decca Pattern Correction Table*). Pogreške kao

posljedica rekonstrukcije pojedinih postaja dane su za pojedini lanac u obliku radijalnih dijagrama.

Promjenjive (slučajne) pogreške. Posljedica su interferencije površinskih elektromagnetnih valova koje Decca-prijamnik neposredno prima od određenog para postaja, i prostornih valova koje prijamnik prima nakon refleksije od ioniziranog atmosferskog sloja. Danju je vrlo mala, ali noću ovisi o udaljenosti.

Za praksu je značajna statistička analiza pogrešaka, odnosno puzdanosti, pojedinog Decca-lanca. Ona je dana u posebnim dijagramima, a označuje granice unutar kojih će određeni postotak mjerenja biti bolji od vrijednosti kodom upisanih na dijagramu.

3.5. Omega

3.5.1. Načelo sustava. Omega je terestrički radionavigacijski sustav velikog dometa, *sada izvan uporabe*. Temelji se na hiperboli kao crti pozicija, mjerenjem fazne razlike neprigušenih prostornih radiovalova vrlo visoke frekvencije (10 – 14 MHz), odašlanih od dviju kopnenih omega radiopostaja; žarišta hiperbola podudaraju se s postajama odabranog omega-para (slično sustavu Decca) s osnovicom dužine do 5000 M. Svaka postaja radi samostalno. Za glavnu i pomoćnu postaju odabiru se najpovoljniji parovi radiopostaja.

Vrlo dugi radiovalovi ($\lambda=29,4$ km), uz odgovarajuću snagu odašiljača (150 kW), omogućuju veliki domet i prodiru i kroz morsku površinu, što omogućuje uporabu sustava i za podmornice u podvodnoj plovidbi do dubine 20 m. Doseg radio-valova je od 5000 do 11 000 M (moguća pogreška u poziciji od 1,5 M do 2,0 M). Stoga je omega u pravom smislu bio temelj *globalnom (oceanskom) navigacijskom sustavu*.

Redovito sustav omega čini mreža 8 odašiljačkih radiopostaja na kopnu (na kartama označene slovima od A do H) i omega-prijamnici na brodovima. Svaka postaja neprekidno odašilje tri nedomulirana radiosignala iste frekvencije (10,2 kHz, 13,6 kHz, 11,2 kHz), ali različita trajanja i s početkom u različito vrijeme; upravo su to glavni elementi za identifikaciju pojedine omega-postaje. Rad postaja sinkronizirano nadziru oscilatori i atomske ure.

Hiperbola s faznom razlikom nula zove se *nulta hiperbola*. Par nultih hiperbola omeđuju *omega-pojas*. Kad prijamnik registrira faznu razliku nula, brod prelazi iz jednog pojasa u drugi. Ako fazna razlika nije nula, brod plovi unutar omega-pojasa i prijamnik mjeri i registrira faznu razliku, tj. omega-crtu pozicija. Sve što je dosad rečeno o mjerenju fazne razlike u sustavu Decca vrijedi i za sustav omega (v. pogl. 3.4).

3.5.2. Omega karte i tablice. To su bijele omega karte (*Omega Plotting Chart*) u Mercatorovoj projekciji s ucrtanom mrežom nultih hiperbola. Mreže nultih hiperbola pojedinog para postaja ucrtane su različitim bojama, a nulte još i slovima para omega-postaja na koji se odnose. Ucrtane hiperbole odgovaraju standardnim atmosferskim uvjetima pa mjerenja mogu dati hiperbole koje se razlikuju od hiperbola ucrtanih na karti. Popravke daju tablice *Omega Propagation Correction Tables*.

Posebne tablice (*Omega Lattice Tables*) omogućuju ucrtavanje omega-crte pozicija neposredno na navigacijsku kartu, bez uporabe omega-karte. Iz tablica se vade geografske koordinate i smjer pravca pozicija (dio hiperbole) za određeni par omega-postaja.

3.5.3. Omega prijamnik – pozicija broda. Temeljna je namjena prijammnika da radiosignale frekvencije 10,2 kHz prima, filtrira, obrađuje, pamti i identificira kojim postajama pripadaju, da uspoređuje i mjeri faznu razliku primljenih radiosignala od odabranog para omega-postaja, a zatim da na temelju izmjerenih vrijednosti vidno i stalno pokazuje pojas u koje-

mu se brod nalazi, posebice omega–crtu pozicija ili geografske koordinate pozicije broda.

Postupak određivanja omega pozicije broda. Na videozaslonu, pokazivaču omega–prijamnika očitaju se podaci za tri (najmanje dvije) hiperbole. Ti se podaci prije unošenja u omega–kartu poprave prema *omega tablici popravaka*. Tako dobivene crte pozicija grafičkom interpolacijom unesu se na omega–kartu. Sjecište tih crta pozicija označuje omega–poziciju broda.

Automatski digitalni prijammnik. Radi u sprezi s elektroničkim računalom (ugrađeni mikroprocesor) i navigacijskim osjetilima. Tijekom plovidbe automatski identificira primljene radiosignale i odabire najpovoljnije parove omega–postaja, mjeri fazne razlike, uračunava popravke i na pokazivač prenosi izračunane geografske koordinate pozicije broda, tekući kurs i brzinu broda, kao i druge programom predviđene navigacijske podatke.

PITANJA:

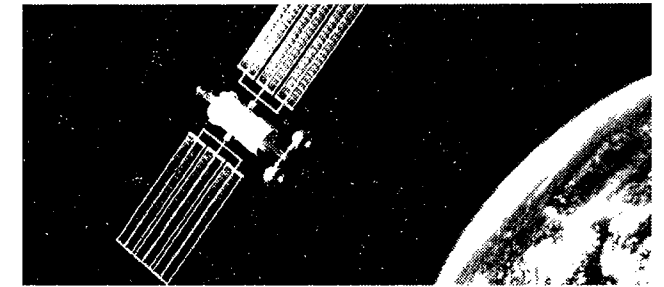
1. Prema kojem se načelu zasnivaju hiperbolni navigacijski sustavi?
2. Koje je načelo rada sustava consol?
3. Na kojem načelu radi sustav loran–C, koje su njegove prednosti i nedostaci prema drugim hiperbolnim sustavima?
4. Kako se određuje loran–crtu pozicija, a kako pozicija broda i o čemu ovisi njihova točnost?
5. Prema kojem načelu radi sustav Decca, koje su njegove prednosti i nedostaci prema drugim hiperbolnim sustavima?
6. Kako se određuje Decca–crtu pozicija, a kako pozicija broda i o čemu ovisi njihova točnost?
7. Obavite analizu i izvedite zaključak o prednostima i nedostacima uspoređenjem hiperbolnih sustava prema sustavima terestričke i astronomske navigacije.

4. Satelitski radionavigacijski sustavi

4.1. Vrste i načela rada

4.1.1. Razvitak sustava. U tom navigacijskom sustavu brodski radioprijammnik radi u mreži određenog broja umjetnih radiosatelita koji kruže oko Zemlje po točno određenim orbitama i pod nadzorom zemaljske nadzorno–upravljačke središnje postaje; brojem i rasporedom satelita osigurava se prekrivanje Zemljine površine radiosignalima kodirana sadržaja, koje brodski prijammnik prima, obrađuje, računa i pokazuje geografske koordinate pozicije broda i druge navigacijske elemente.

Zahvaljujući boljim uvjetima prostiranja radiovalova i globalnom prekrivanju svjetskog mora, satelitski sustavi točniji su, jednostavniji, pouzdaniji i praktičniji od ostalih sustava radionavigacije; omogućuju određivanje pozicije broda bez obzira na doba dana i meteorološke uvjete. Osobita je njegova prednost pri plovidbi po ortodromi. Nedostatak je što mrežom satelita upravlja zemaljsko satelitsko središte pa postoji mogućnost ograničenja uporabe sustava (posebice u ratnim uvjetima plovidbe).



Sl. 4.1. Satelit sustava GPS

Ideja o uvođenju umjetnih satelita u navigaciju javila se u SAD nakon otkrivanja Dopplerova efekta u radiosignalima odaslanim s prvih umjetnih satelita (Sputnik – I, 1957.). Prvi operativni sustav NNSS ili NAVSAT (engl. kr. za *Navy Navigational Satellite System*) počela je razvijati ratna mornarica SAD (1959.). Pokusi su trajali do 1964., kad je počela njegoa praktična primjena, prvo na strateškim podmornicama s balističkim raketama, a zatim i na drugim ratnim brodovima. Početni NNSS ili NAVSAT sustav imao je mrežu sa 4 satelita, kasnije i 5, a zatim se razvio u sustav TRANSIT koji se od 1970. počeo rabiti na trgovačkim brodovima. Savršeniji sustav NAVSTAR (za potrebe oružanih snaga SAD) počeo se razvijati od 1973. kao *Global Position System – GPS*. Godine 1981. sustav je poboljšán, imao je 9–11 satelita u tri orbite, koji su omogućivali određivanje geografskih koordinata pozicije motritelja (φ , λ). Danas je to temeljni radionavigacijski sustav, a čine ga 24 satelita u 6 orbita, u svakoj po četiri.

4.1.2. Načela sustava. Prijamom satelitskih radiosignala s pomoću posebnog radioprijammnika mogu se mjeriti udaljenosti, razlike udaljenosti, relativne brzine satelita, vertikalni kutovi i azimuti, te na temelju tih parametara odrediti najmanje dvije crte pozicija (kružnice odnosno hiperbole) i izračunati geografske koordinate pozicije broda i druge navigacijske elemente.

Pozicija broda mjerenjem udaljenosti. Sustav satelitskih radiosignala omogućuje mjerenje udaljenosti broda do satelita. Pozicija broda određena je presjecištem kružnica pozicija koje su nastale sjecištem najmanje dviju sfera (npr. središta satelita u S_1 i S_2 i polumjeri udaljenosti d_1 i d_2) sa zemaljskom površinom. S obzirom na to da se dvije kružnice pozicija sijeku u dvije točke, nezvjesnost se može otkloniti prema zbrojenoj ili procijenjenoj poziciji broda.

Razlikujemo dva načina mjerenja udaljenosti između broda i satelita.

Zemaljska nadzorno-upravljačka postaja odašilje u određeno vrijeme radiosignale prema jednom satelitu koji ih zatim vraća brodu. Precizna (atomska) ura mjeri vrijeme potrebno da signal prijeđe put od zemaljske nadzorno-upravljačke postaje do dvaju satelita i broda i na osnovi vremena određuje udaljenosti: (d_1+r_1) i (d_2+r_2) . Budući da su udaljenosti satelita do zemaljske postaje (r_1 i r_2) poznate, može se izračunati nepoznata udaljenost brod – satelit (d_1 i d_2), ako su ure na brodu i zemaljskoj postaji strogo sinkronizirane (na točnost $0,2 \mu s$). Brodski satelitski prijamnik prima signale, ali ih ne vraća prema satelitu pa se zbog toga taj sustav naziva *pasivnim*.

Zemaljska nadzorno-upravljačka postaja odašilje radiosignal prema jednom satelitu koji ga vraća prema brodu; primljeni signal na brodu vraća se prema paru satelita, a zatim ponovno prema zemaljskoj postaji. Na temelju poznatog vremena potrebnog radiosignalu da prevali put postaja-satelit-brod i natrag, računaju se udaljenosti d_1 i d_2 . Zemaljska postaja prema poznatim koordinatama dvaju satelita i izmjerenim udaljenostima s pomoću elektroničkog računala računa geografske koordinate pozicije broda koje odgovaraju sjecištu dviju kružnica pozicija s polumjerima d_1 i d_2 ; postaja kodiranu poruku odašilje brodskom prijammniku, a on je pretvara u geografske koordinate. Prednost je toga *aktivnog sustava* prema prethodnima što je potrebna samo jedna ura i time otpada stroga sinkronizacija dviju ura, na brodu i zemaljskoj postaji.

Sustav pokriva geografsko područje između paralela $70^\circ N$ i $70^\circ S$; i omogućuje neprekidno određivanje pozicija broda.

Pozicija broda mjerenjem razlika udaljenosti. Načelo je slično prethodnomu, ali se umjesto udaljenosti mjere razlike udaljenosti pa se pozicija broda dobiva sjecištem dvaju hiperboloida (žarišta u S_1 i S_2) sa zemaljskom površinom.

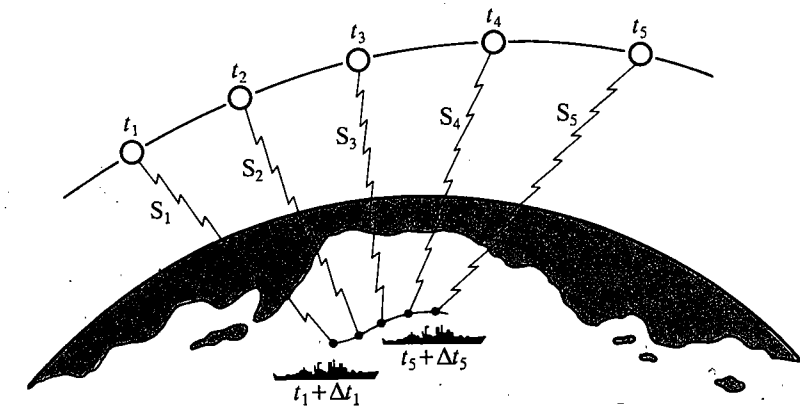
Zemaljska postaja u određenim intervalima istodobno odašilje svakom paru satelita niz poticajnih radiosignala, a primljene signale ponavljaju oba satelita. Vremenska razlika između primljenih radioimpulsa od oba satelita razmjerna je razlici udaljenosti: $\Delta d = (d_1+r_1)-(d_2+r_2)$; budući da su poznate vrijednosti r_1 i r_2 , proizlazi da je $\Delta d = d_1-d_2$. Na temelju razlike udaljenosti elektroničko brodsko računalo računa koordinate pozicije broda koja se nalazi u sjecištu hiperbola kao crta pozicija. Budući se primaju dva radiosignala koja u istom trenutku odašilje zemaljska postaja, nije potrebno poznavati i vrijeme odašiljanja signala. To je *pasivni sustav* određivanja pozicije broda, a sličan je hiperbolnom navigacijskom sustavu.

Pozicija broda mjerenjem vertikalnih kutova (visina) i azimuta. Određivanje pozicije nalik je na određivanje pozicije broda opažanjem nebeskih tijela. Za automatsko određivanje geografskih koordinata pozicije broda potrebno je imati radiosektant, digitalno elektroničko računalo s pokazivačem koordinata i pokazivač smjera meridijana. Pozicija satelita koji odašilje radiosignale mora biti točno poznata. Točnost mjerenja kutova ovisi o veličini antene radiosektanta i o valnoj dužini radiovalova odaslanih radiosignala, što takav sustav za brodske potrebe čini neprikladnim. Drugi je način određivanja pozicije broda s pomoću jednog stacioniranog satelita (emisija L, 390 do 1550 MHz), opremljenoga s dva interferometra s bazama (od 80 do 100 m) međusobno okomitim; pozicija broda može se neprekidno određivati na točnost od 1 M. Zbog slabe toplinske stabilnosti antene i potrebe vrlo točnog poznavanja visine satelita, sustav nije praktičan za brod.

Pozicija mjerenjem relativnih brzina. Taj je sustav zasnovan na načelu *Dopplerova efekta*. Zato se promjena radiofrekvencije u odaslanom valu zbog gibanja nositelja radiozračenja, prema motritelju naziva Dopplerov pomak frekvencije ili Dopplerova frekvencija (f_D); nastaje zbog gibanja radioodašiljača, motritelja ili obojice:

$$f_2 - f_1 = f_D = f_1 \frac{(V-v)}{c}; f_2 = f_1 \pm \frac{f_1}{f_c} V_R = f_1 \left(1 \pm \frac{V_R}{c} \right),$$

gdje je f_1 frekvencija odaslanog radiosignala, f_2 primljena frekvencija, f_D Dopplerova frekvencija, $(V-v) = V_R$ - relativna brzina i c brzina širenja valova. Ako se razmak između odašiljača (satelita) smanjuje, f_2 bit će manja od f_1 , a obratno je pri povećanju udaljenosti. Promjena f_2 može nastati i zbog promjene u brzini širenja radiovalova kroz ionosferu, pa zbog toga sateliti radiosignale odašilju u dvije frekvencije: 150 i 400 MHz.



Sl. 4.2. Načelo određivanja satelitske radiopozicije broda

Pri određivanju pozicije broda satelitskim prijammnikom Dopplerov se efekt eliminira programom elektroničkog računala na osnovi poznatih podataka o orbiti satelita. Preostala promjena F_D posljedica je samo brzine i kursa broda pa se ti elementi za vrijeme opažanja satelita ne smiju mijenjati.

Svako mjerenje Dopplerove frekvencije unutar određenog intervala (između dvaju položaja satelita) omogućuje i određivanje razlika udaljenosti, znači i određivanje hiperbolne crte pozicija, a određeno je sjecištem zamišljenog hiperboloida (žarište je satelit) sa zemaljskim elipsoidom. Presjecište dviju hiperbola određuje poziciju broda; elektroničko računalo prijammnika računa geografske koordinate te pozicije.

Sustav određivanja pozicije broda na temelju trenutnog mjerenja Dopplerova pomaka frekvencija (metoda udaljenosti) i mjerenja ukupnog pomaka frekvencija za određeni vremenski interval (hiperbolna metoda) primijenjen je u sustavu NAVSAT ili NNSS (*Navy Navigational Satellite System*), poznatome i kao TRANSIT. Danas je u uporabi samo sustav GPS, koji radi neprekidno i uporabljiv je u bilo kojoj točki Zemlje; nije kompatibilan sa sustavom TRANSIT.

4.1.3. Izvori pogrešaka. U svim navedenim satelitskim sustavima izvorišta pogrešaka su slična, ali one ipak ovise o posebnostima pojedinog sustava (v. pogl. 4.3.). Glavne pogreške mogu se grupirati ovako:

Ionosferska i troposferska pogreška. Nastaje zbog promjene brzine širenja radiovalova. Očituje se u mjerenju udaljenosti i mjerenju Dopplerova efekta, što se odražava na točnost crte pozicija ili u sustavima jednadžbi kojima se računa pozicija broda.

Pogreška zbog višestrukih staza radiovalova. Prouzročena je superponiranjem sekundarnog vala, koji se reflektira od morske površine, na neposredan val satelit-brod ili obrnuto.

Pogreška zbog netočnih koordinata satelita. Neposredno utječe na točnost pozicije broda u trenutku mjerenja.

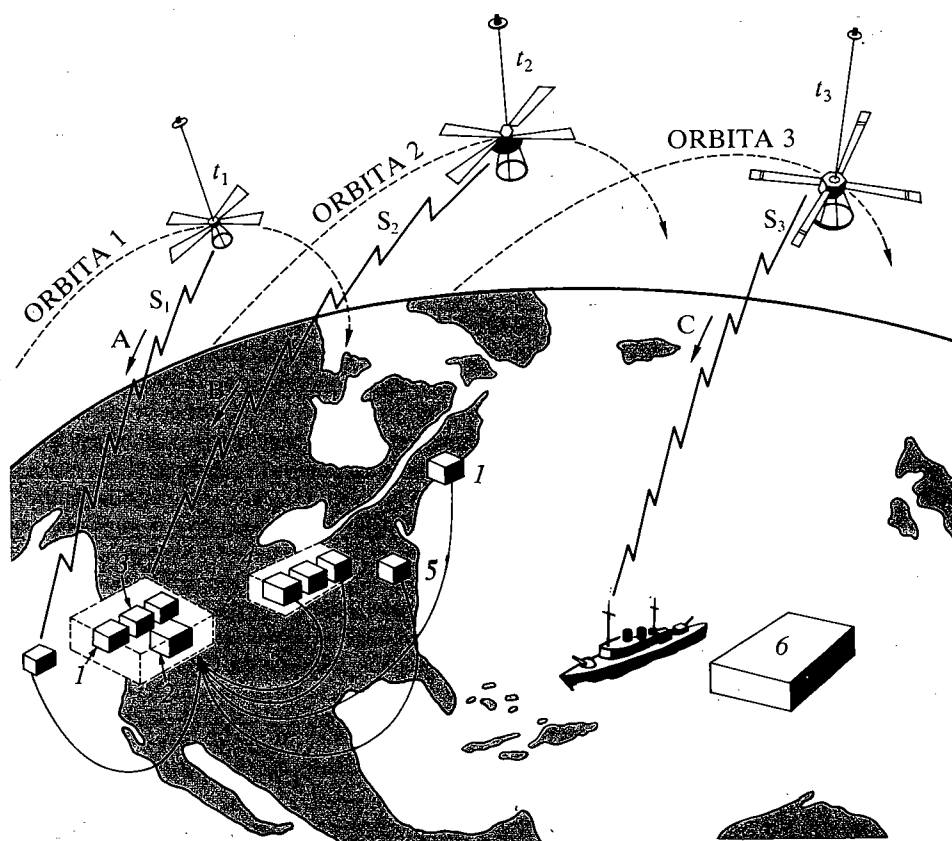
Geodetska pogreška. Javlja se zbog eventualnog nepoznavanja dužine mjerne osnovice pojedinog sustava.

Tehnička pogreška. Ovisi o konstrukciji uređaja. Suvremena elektronička tehnologija svela je tu pogrešku na zanemarivu vrijednost.

Točnost satelitskog sustava ovisi i o položaju orbite satelita (eventualnom skretanju iz određene orbite), o ionosferskoj refrakciji (izaziva promjene pri prijmu radiosignala), o točnosti poznavanja visine antene prijammnika u odnosu na razinu Zemljina geoida i kursnom kutu prema satelitu. Za navigacijsku praksu te su pogreške gotovo zanemarive.

4.2. Navsat ili Transit sustav

4.2.1. Načela sustava. To je prvi satelitski navigacijski radiosustav. Više nije u uporabi, a zamijenio ga je sustav NAVSTAR GPS. Tenteljio se na mjerenju Dopplerova pomaka frekvencija radiosignala odaslanih od umjetnog satelita, dok se on nalazi iznad motriteljeva obzora.



Sl. 4.3. Mreža satelitskog sustava TRANSIT

1 – prateća postaja; 2 – nadzorno središte; 3 – računalsko središte; 4 – odašiljačka postaja; 5 – vremenski opservatorij (UT-2); 6 – brodski prijatelj *Transit* (ϕ , λ , UTC); A – Dopplerovi signali; B – novi parametri orbite; C – Dopplerovi signali, parametri orbite i vrijeme; (t_2 – položaj satelita poslije 107 min)

Mrežu sustava (radiofrekvencija 400 MHz) tvore šest satelita u polarnim orbitama, zemaljska nadzorno-upravljačka središnja postaja i brodski prijatelj *Transit*. Čim se satelit pojavi iznad motriteljeva obzora (optimalno 15° – 75°), prijatelj automatski prima radiosignale. Izmjereni Dopplerovi pomaci frekvencija između dvije uzastopne pozicije satelita (dvomitnuti interval) prije i poslije najbliže točke mimoilaženja satelita i motritelja daje razliku udaljenosti između pozicije broda i pozicije satelita. Brod se nalazi na plohi hiperboloida, odnosno na hiperboli (crta pozicija) dobivenoj presjecištem hiperboloida sa Zemljinim elipsoidom, u koje su žarišta geografske pozicije satelita. Broj izmjerenih Dopplerovih pomaka frekvencija u sljedećem intervalu određuje drugu hiperbolu (crta pozicija). Sjecište tih dviju crta pozicija određuje satelitsku poziciju broda; elektroničko računalo (uzimajući u obzir i prevaljeni put između mjerenja) izračunava geografske koordinate pozicije broda, kao i druge programom određene navigacijske elemente; istodobno se

ti podaci prenose na videozaslon prijemnika i također pohranjuju u memoriju računala za iduće izračune.

4.2.2. Određivanje pozicije broda. Na brodovima trgovačke mornarice primijenjen je jednokanalni prijatelj *Transit* (radna frekvencija 400 MHz). Prije isplovljenja, u prijatelj valja unijeti osnovne navigacijske elemente; radioprijatelj u plovidbi radi u sprezi s girokompasom i brzinomjerom, što čini jednu posebnu navigacijsku jedinicu. Na videozaslonu pokazivača redovito se pokazuju, ili ses pomoću tipkovnice mogu birati, navigacijski elementi koje je izračunalo računalo (npr. geografske koordinate pozicije broda, trenutno UTC-vrijeme, vrijeme prolaska satelita, kurs i brzina broda, geografske koordinate ili kurs i udaljenost do pozicije dolaska, tj. međuotočke promjene kursa, itd).

4.3. NAVSTAR GPS sustav

4.3.1. Načelo rada. U navigacijskom satelitskom sustavu *Navstar* (*Navigation System with Time and Ranging*) ili *GPS* (*Global Positioning System*) određivanje pozicije broda temelji se na istodobnom vrlo točnom mjerenju udaljenosti umjetnih satelita koji oko Zemlje kruže po točno određenim orbitama. Omogućuje određivanje triju prostornih koordinata (ϕ i λ , a za letjelice i visina iznad Zemljinog elipsoida). Za razliku od sustava *Transit* (radi u intervalima), sustav GPS radi neprekidno i uporabljiv je na bilo kojoj Zemljinoj točki. Ta dva satelitska sustava nisu kompatibilna.

Udaljenosti se do satelita određuju na osnovi točnog vremena koje prijeđe radiosignal od satelita do broskog prijemnika. Stoga se u svakom satelitu i broskom prijatelju nalaze vrlo točne i međusobno sinkronizirane atomske ure, koje se iz zemaljskog središta nadziru cezijevim atomskim oscilatorom, pa su pogreške moguće samo u prijamnom dijelu sustava. Izmjerena udaljenost do jednog navigacijskog satelita odgovara polumjeru zamišljene kugle sa središtem u satelitu. Presjecište plašta zamišljene kugle sa zemaljskom kuglom daje kružnicu kao crtu-pozicija. Potrebno je motriti tri do četiri satelita: tri daju udaljenosti (tri kružnice pozicija) za određivanje geografskih koordinata pozicije prijemnika (broda), a četvrti podatak služi za provjeru sinkronizacija ura (vremena)*.

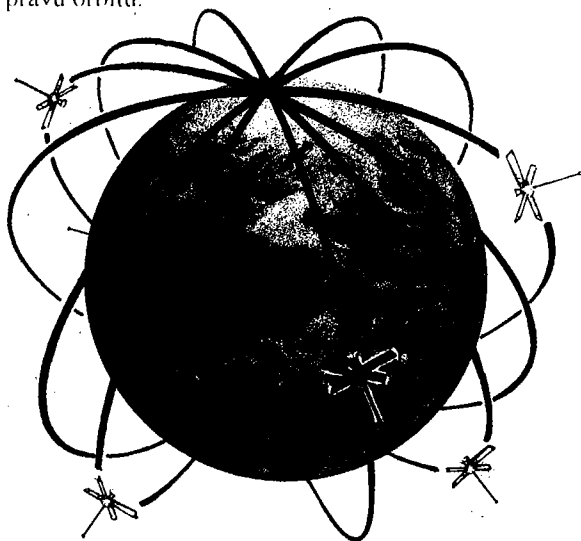
4.3.2. Radiomreža sustava GPS. – U ovom sustavu radiomrežu čini: 24 satelita koji zemaljsku površinu prekrivaju radiosignalima u 6 orbita (u svakoj po 4 satelita), zemaljska nadzornoupravljačka središnjica i korisnici.

Sateliti mase približno 430 kg gibaju se oko Zemlje po kružnim orbitama brzinom 3,9 km/s na visini od 20 200 km. Vijek trajanja im je oko 5 godina. Električnu energiju za rad uređaja satelitima daju solarne baterije. Svaki satelit ima atomsku uru koja radi sa stabilnošću frekvencije oko 10^{-12} , što za obični brodski kronometar znači 1 s za 30 000 godina. Reaktivni motor služi im za popravak orbite, tj. za povratak u točnu orbitu. Stabilizacijski uređaj stalno usmjerava antenu satelita prema Zemlji.

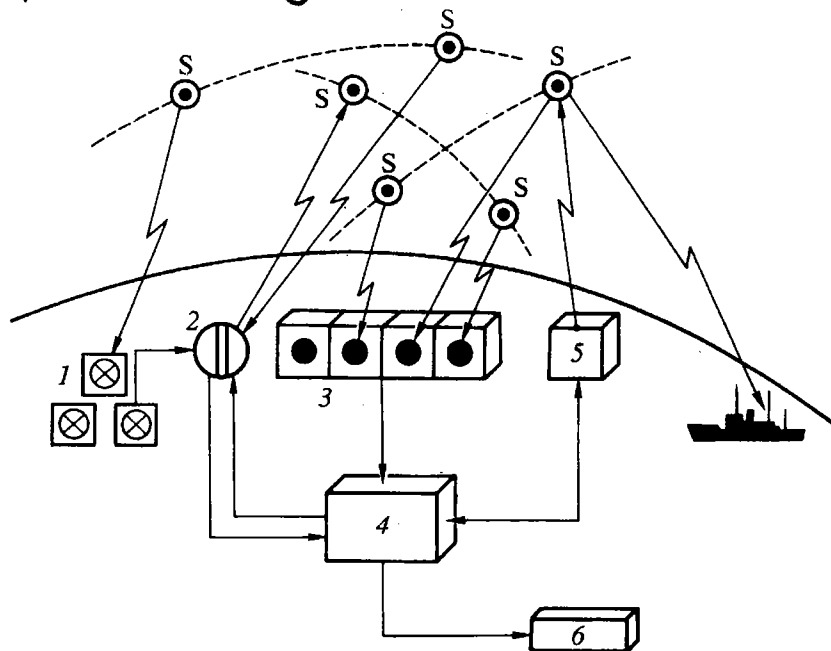
Orbite satelita leže u šest ravnina nagnutih prema ekvatoru oko 55° . U svakoj kruže po 4 satelita. Vrijeme ophodnje satelita oko Zemlje jest 12 sati. Stalno su nad motriteljevom obzorom 4 do 8 satelita, a za određivanje pozicije broda potrebna su najmanje tri satelita-redovito četiri (u sustavu *Transit* dovoljan je jedan). Najpovoljnije satelite u orbitama automatski bira brodski prijatelj. Postojanost orbita satelita uvjet je za točnost pozicije broda, tj. satelit u trenutku motrenja mora biti u određenoj orbiti.

* Prostorne koordinate pozicije odnose se na tzv. *World Geodetic System 1972*, koji se razvio iz satelitske geodezije i još se usavršava.

Popravkom orbite satelita upravlja zemaljsko nadzorno-upravljačko središte (u sustavu *Transit* stalno se mijenja orbita), a aktiviranjem raketnog motora satelit sam dolazi u pravu orbitu.



Sl. 4.4.a. Orbite satelita sustava GPS



Sl. 4.4.b. Mreža satelitskog sustava GPS

S – sateliti i njihove orbite; 1 – postaja za testiranje pogrešaka u pozicijama satelita; 2 – nadzorna telemetrijska postaja; 3 – prateće (monitor) postaje; 4 – zemaljsko nadzorno upravljačko središte; 5 – odašiljačka postaja; 6 – oružno središte; S – sateliti

Zemaljsku nadzorno-upravljačku središnju postaju čine: glavna postaja (*Master Control Station – MCS*, sada Vanderbergu – USA) i četiri prateće (*Monitor Station*)

postaje (Vanderberg, Hawaii, Guam, Aljaska). Glavna postaja prima kodirane radio-poruke (signal identifikacije, vremenski signal, signal pozicije i efemeridski signali – podaci o orbiti) od pratećih postaja, a zatim ih nakon obrade prenosi postaji za odašiljanje podataka (*Upload Station – ULS*), koja ih jednom dnevno odašilje satelitima.

Korisnici sustava su brodovi i sva druga prometna sredstva (na moru, kopnu i u zraku), kao i općenito svi vlasnici *Navstar GPS* prijamnika.

Sateliti radiosignale odašilju u točno određenom vremenu. Njima se prenose kodirane važne poruke (u slijedu 50 bit/s) sinkrono na dva noseća vala (frekvencije 1575,42 MHz i 1227,6 MHz), što omogućuje i poništavanje ionosferske pogreške. Brzina širenja radiosignala konstantna je; pomnožena s vremenskim intervalom daje udaljenost satelita od broda. Oba noseća vala modulirana su kodiranim signalima koje čini niz binarnih brojeva.

P-Code (Protected Code) je najveće točnosti i namijenjen je vojnim potrebama; modulira noseće radiovalove u frekvenciji 10,23 Mbit/s. Njega mogu dekodirati isključivo vojni korisnici sustava GPS.

C/A Code (Clear Acquisition Code) namijenjen je općoj uporabi, manje je točnosti; modulira nosive radiovalove u frekvenciji 1,023 M bit/s. Svaki satelit ima svoj *C/A* kôd prema kojem ga prepoznaju brodski GPS prijamnici.

Poruka koju odašilju sateliti traje 30 s (1500 bita), a sadrži pet stavaka (po 5 s) kojima prethodi slovana grupa *TLM* i *HOW*:

1	TLM	HOW	Desinkronizacija
2	TLM	HOW	Satelitske efemeride
3	TLM	HOW	Satelitske eferemide
4	TLM	HOW	Posebne poruke (navigacijske)
5	TLM	HOW	Efemeride / desinkronizacija ostalih satelita u mreži

Grupa *TLM (Telemetry)* i grupa *HOW (Handover Word)* nedvojbeno označuju početak trajanje emisije (period), a prijamniku koji taj kod prepoznaje omogućuje dekodiranje sadržaja pojedinog stavka.

Prvi stavak (1) poruke sadrži elemente vremenske desinkronizacije atomskih ura satelita i broskog prijammnika, kao i elemente za izračun atmosferskog kašnjenja.

Drugi (2) i treći (3) stavak poruke sadrže efemeridne podatke o poziciji satelita (orbite), kao i elemente za izračun točnih koordinata satelita.

Četvrti (4) stavak sadrži pohranjene obavijesti za primatelje s posebnim prijammnikom.

Peti (5) stavak sadrži skraćene efemeride svih satelita, koje prijammnik dekodira i na temelju toga odabire satelite s optimalnim položajem.

Poruke korisnicima (brodovima) svi GPS-sateliti odašilju sinkronizirano atomskim urama sustava s točnošću 0,001 s.

4.3.3. Diferencijalna GPS postaja. Svrha je diferencijalne postaje (*DGPS*) bolja točnost pozicije broda i drugih navigacijskih podataka dobivenih mjerenjem u GPS sustavu. Najveći dio pogrešaka pripada utjecaju ionosfere i troposfere, što uzrokuje kašnjenje u prijmu GPS radiosignala. Jednom ustanovljena pogreška za određeno manje područje (približno u krugu od 1000 M) ostaje praktički nepromijenjena, a upravo za to služi *DGPS* postaja.

Postaja DGPS sastoji se od referentnog nepomičnog radioprijamnika na kopnu, i to na mjestu veoma točno određenom u geodetskim koordinatama. Budući da su toj postaji stalno poznati položaji satelita, kao i parametri njihova gibanja, a njezin je položaj nepromjenjiv, ona je u mogućnosti da u svakom trenutku izračuna njihovu teoretsku udaljenost i vrijeme potrebno GPS radiosignalu da prijeđe put od GPS radiopostaje do pojedinog satelita. Usporedba teoretskih vrijednosti s onima koje odgovaraju stvarnim satelitskim radioemisijama daje GPS pogrešku, odnosno popravak. Referentne DGPS postaje vrijednost popravka odašilju putem radioobavijesti (NAV-TEX) brodskim DGPS prijamicima (u području njezina radiodometra). Jednom uneseni popravak vrijedi za sva mjerenja, odnosno primanja navigacijskih podataka na tom području koji idu preko vlastite brodske GPS jedinice. Naravno, ona mora biti u stanju primiti i obraditi primljene DGPS poruke.

4.3.4. Izvori pogrešaka i točnost sustava GPS. – Točnost sustava ovisi o vrsti koda, a za pomorsku pokretnu radioslužbu dodijeljen je kod opće namjerno C/A. Prema izvorištu, sustavne se pogreške mogu podijeliti u sljedeće:

– *efemeridna pogreška* prouzročena je nemogućnošću točnog poznavanja parametara Zemljina gravitacijskog polja. Njoj se redovito dodaje i pogreška u poziciji satelita, odnosno njegove orbite;

– *pogreška u atomskoj uri* (ako se isključi tehnička pogreška) prouzročena je nemogućnošću stroge sinkronizacije ura unutar sustava, a posljedica toga je vremenski pomak u mjerenju između početka emisije po atomskoj uri pojedinog satelita i početka mjerenja u satelitskom brodskom prijammniku. Popravak se dnevno unosi u satelite i zato je ta pogreška gotovo zanemariva;

– *pogreška kompresije vremena* javlja se blizu zemaljske površine, a utemeljena je na teoriji relativiteta (djelovanjem Zemljine mase); njoj je redovito pridodana pogreška uvjetovana velikom brzinom gibanja satelita. Smanjuje se pomakom radne frekvencije sustava (10, 299 MHz);

– *pogreška prijama*, prouzročena netočnošću mjerenja vremena u brodskom prijammniku, jer ono ne odgovara realnom (najkraćem) putu radiosignala od satelita do brodskog prijammnika, a uzrokuju je:

1. atmosfersko kašnjenje, nastalo dužim putom radiovalova zbog: loma i različitosti brzine širenja radiovalova ionosferom i troposferom (smanjuje se unošenjem određenih parametara u satelitskoj poruci); refleksije radiovalova od kopnene i morske površine;

2. višestruki prijam (vrsta smetnji) nastao zbog istodobnog prijama realnih (pravih) radiovalova te reflektiranih radiovalova; pogreška se smanjuje konstrukcijom prijamne satelitske antene.

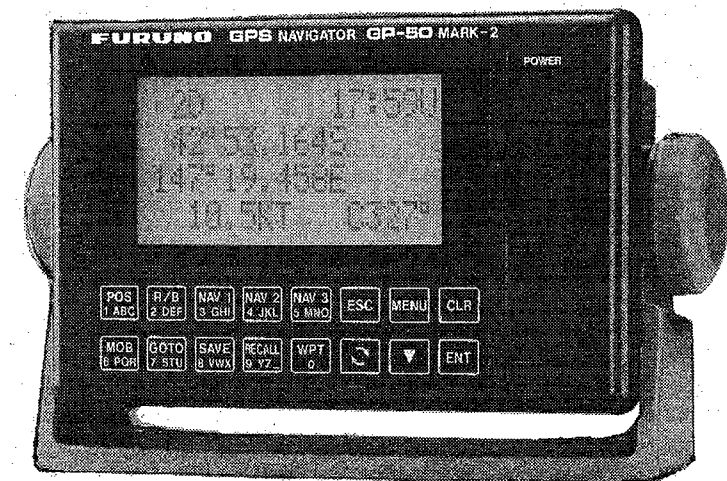
Osim naznačenih pogrešaka, GPS pozicija broda ovisi i o svim ostalim činiocima koji su prisutni kod ostalih crta pozicija, a posebice o kutu njihova sjecišta.

Standardna točnost GPS pozicija broda je između ± 20 m i ± 50 m, a pri uporabi diferencijalnog GPS prijammnika ne prelazi ± 20 m.

4.3.5. Brodski prijammnik GPS i njegova uporaba. Prijammnik se sastoji od pokazivača s LCD videozaslonom, jedinice za obradu podataka, električnog procesnog računala i memorije, a ima vanjsku antenu. Udaljenost do tri poznata satelita odgovara polumjerima zamišljenih kugli u čijem se zajedničkom središtu nalazi brodski prijammnik. Atomska se ura prijammom radiosignala kodirane satelitske poruke automatski sinkro-

nizira na vrijeme satelita. To omogućuje vrlo točno mjerenje vremenske razlike od trenutka emisije do prijama signala, a time i udaljenosti prijammnika (broda) do satelita. Na temelju vremena i podataka o pozicijama satelita (odašilju ih sami sateliti), elektronično računalo rješava 4 jednadžbe (4 nepoznanice): 3 jednadžbe na osnovi udaljenosti računaju geografske koordinate pozicije prijammnika (φ , λ), a četvrta računa vremenski popravak. Za izračun komponente brzine broda prijammnik mjeri također i Dopplerov pomak frekvencija. Odabir i očitavanje podataka ispisanih na videozaslonu pokazivača ovisi o programu i tipu prijammnika.

Programski rad prijammnika automatski nadzire mikroprocesor, a korisnik sustava to čini putem tipkovnice: (01) uključivanje prijammnika; (02) podešavanje prvog signala; (03) identifikacija frekvencije L1; (04) preuzimanje C/A kôda na frekvenciji L1; (05) praćenje C/A kôda; (06) usporedba primljenog i u postaji generiranog C/A kôda; (07) mjerenje "udaljenosti" satelita; (08) mjerenje Dopplerova pomaka frekvencija; (09) memoriranje izmjerenih (izračunatih) elemenata; (10), (11), (12) ponavljanje sadržaja naznačenih pod rednim brojem 03 – 09 za drugi, treći i četvrti satelit; (13) određivanje pozicije broda (prijammnika) i (14) ispis (prikaz) izračunatih podataka (gafički, alfanumerički, digitalno).



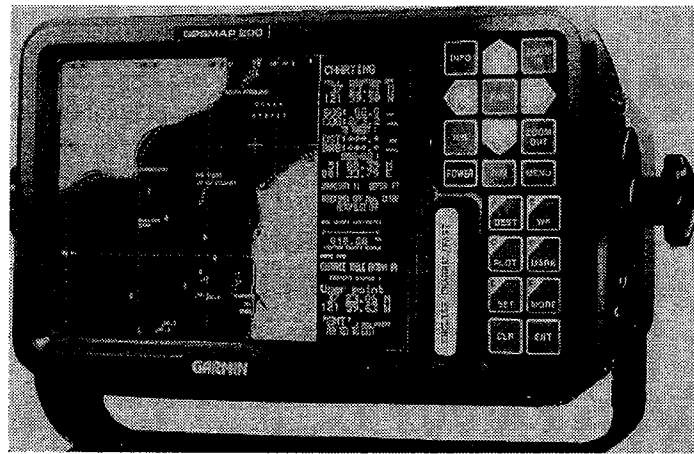
Sl. 4.5. Satelitski prijammnik GPS japanske tvrtke *FURUNO – MARINE GPS NAVIGATOR GP-50 MARK 2*

Značajke prijammnika Navstar GPS (sl. 4.5.): 8 kanala za paralelno praćenje 8 satelita (u vidiku), C/A kôd i Kalmanov filter; frekvencija L1 (1575,42 MHz), točnost pozicije broda ± 15 m i brzine broda $\pm 0,1$ čv; za određivanje prve satelitske pozicije broda potrebno je 45 sekundi.

Na LCD zaslonu prijammnika ($18,0 \times 13,5 \times 7,5$ m; težina 0,7 kg) u četiri retka (najviše 16 znakova) pokazuju se tipkovnicom odabrani navigacijski podaci, npr.: geografske koordinate pozicije broda, kurs i brzina broda, prevaljeni put broda, udaljenost i vrijeme dolaska na pojedine točke programirane plovidbene rute, pogreške u ruti i druga upozorenja, nadnevak, tekući sat, minute i sekunde (UTC ili zonsko vrijeme). Može memorirati i na zaslonu prikazati geografske koordinate 20 pojedinačnih pozicija i 150 međutočaka (koordinate, nadnevak, vrijeme) te 10 pojedinačnih ruta (na svakoj po 10

međutočaka); trenutačno ispisuje na videozaslonu podatke pri padu čovjeka u more (pristiskom na tipku MOB).

Gotovo na sve suvremene prijavnike *Navstar GPS* moguće je priključiti određene navigacijske jedinice (osjetila) u standardnom međunarodnom formatu NMEA 0183, čime se dobiva jedan izdvojeni manji integrirani navigacijski sklop. Takav jedan sklop u kojemu je prijavnik GPS (pokazivač sa zaslonom LCD) matična jedinica (u formatu NMEA 0180/0183) može imati sljedeći sastav: prijavnik GPS / kartografski videorisničar/radar/ultrazvučni Dopplerov brzinomjer/giropilot. Prijavnik GPS također može biti dio integriranog sklopa u kojemu je matična jedinica neki drugi uređaj, npr.: radar / GPS / kartografski risač / ultrazvučni brzinomjer / giropilot.



Sl. 4.6. Navigacijska jedinica GARMIN GPS MAP 200 s kartografskim videorisničarom

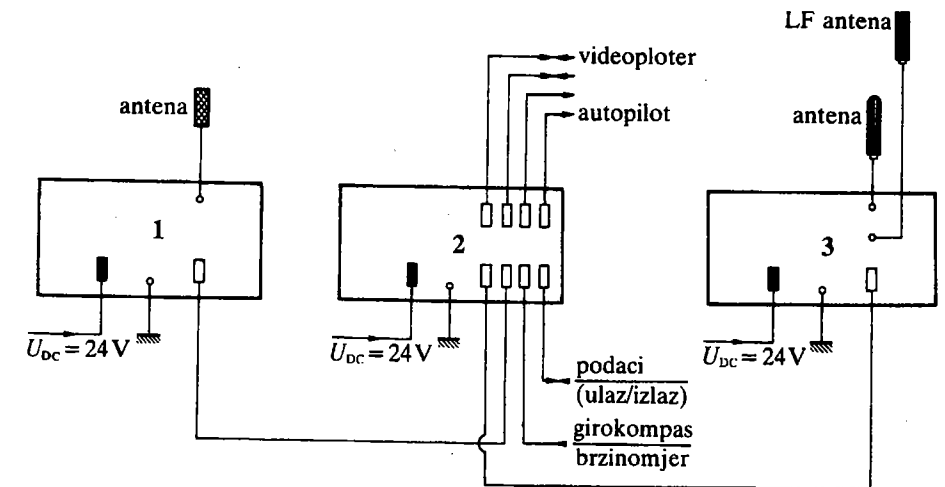
Sl. 4.6. prikazuje jednu navigacijsku jedinicu s osloncem na satelite sustava GPS (dimenzije 23×14×21 cm, katodna cijev promjera 17,8 cm, težina 3,55 kg). Slika rasporeda satelita unutar motriteljeva obzora dobiva se pritiskom na posebnu tipku. Na videozaslonu prijavnika moguće je putem tipkovnice očitati osnovne navigacijske podatke (iz memorije se biraju pritiskom na određene tipke) utemeljene na satelitskom sustavu GPS, a isto tako i dobiti videosliku plovidbenog područja (obalna crta, dubine, plovidbene oznake i pomorska svjetla, nazivi mjesta, kartografske kratice i dr.), koja je kartirana na posebnoj elektronskoj karti (disketi ili CD) uloženoj u memoriju elektroničkog računala (na slici dio Engleskog kanala, standard C-MAPTTM). Pritiskom na tipku *zoom* mogu se pojedini detalji izdvojiti i povećati, što je posebice važno pri uplovljivanju odnosno otplovljivanju, kao i pri plovidbi opasnim područjima uopće. (v. pogl. 1.6.).

U plovidbi je na videozaslonu prijavnika prikazana slika karte plovidbenog područja na kojoj se automatski ucrtava pozicija broda. Pritiskanjem određenih dirki kartografskog videorisničara (*cartographic video plotter*) može se neposredno na zaslonu ucrtati kurs do odabrane točke ili odredišta, ucrtati nova ruta, aktiviranjem kartografske mreže (pozicijskog meridijana i paralele) očitati geografske koordinate trenutačne pozicije broda ili određene točke i dr. Može se memorirati do 100 međutočaka na plovidbenoj ruti ili odgovarajući broj ruta, koje se mogu rabiti i za iduća putovanja (značajno za linijsku plovidbu). Kartirane diskete (elektronske karte) nabavljaju se na isti način kao i obične navigacijske karte, prema katalogu ili Indeks-karti.

4.4. Globalni radionavigacijski sustav

4.1.1. Načela i ustroj sustava. Puštanjem u rad kompletnog satelitskog sustava *Navstar GPS* (posebice *DGPS*) smanjena je pojedinačna uporaba radionavigacijskih sustava. Utemeljen je jedan globalni radiosustav (*Global Navigation Satellite System – GLONASS*) u kojemu su komplementarni satelitski i hiperbolni sustavi. Orbite satelita takve su da se sateliti samo povremeno mogu opažati za određivanje pozicije broda, a u međuvremenu prijavnik računa zbrojenu poziciju; satelitska pozicija točnija je od hiperbolne pozicije. Međutim, točnost pozicije ovisi o mjestu prijavnika i o vremenu opažanja (danju je točnost do 1 M, noću do 2 M, a u nepovoljnim slučajevima do 5 M).

Osim za navigaciju na trgovačkim i ratnim brodovima, takav sustav je posebice koristan za službu potrage (u pogibelji) i spašavanja na moru, za odobalnu (*off-shore*) tehnologiju i za druge slične djelatnosti na moru u kojima je potrebna naročita točnost u određivanju pozicije.



Sl. 4.7. Sklop globalnog radionavigacijskog sustava
1 – prijavnik GPS; 2 – procesor, 3 – prijavnik LORAN C

Sl. 4.7. prikazuje ustroj globalnog radionavigacijskog sustava, koji objedinjuje hiperbolni sustav *loran-C* i satelitski *Navstar GPS*. Kompatibilan je za priključak ostalih navigacijskih uređaja (radar, ARPA, kartografski risač, odnosno zbirni stol, autopilot), čime se dobiva optimalan integrirani elektronički navigacijski sustav (pogl. 7.). Mikroprocesno elektroničko računalo neprekidno računa dvije radiopozicije i paralelno zbrojenu poziciju; geografske koordinate optimalne pozicije u digitalnom obliku čitaju se s videozaslona (ekrana) prijavnika.

U ispitivanju je satelitski radiosustav *WAAS* (*Weide Area Augmentation System*). Temelji se na radiomreži triju orbita geostacioniranih satelita: $\lambda=15^\circ\text{E}$ (istočni Atlantik), $\lambda=55^\circ$ (zapadni Atlantik) i $\lambda=179^\circ$ (Pacifik). Zbog sličnosti satelitskih radiosignala, sustav *WAAS* kompatibilan je sustavu *GPS*. Zemaljske satelitske radiopostaje (središnjice) izračunavaju diferencijalne popravke (uključuje i ionosfersku pogrešku), koje se putem radiomreže satelita prenose i na sve vrste prijavnika *GPS*. Pretpostavlja se točnost pozicije broda oko ± 2 m. Očekivati je da će sustav *WAAS* i za potrebe pomorske plovidbe, kao globalnog navigacijskog sustava, biti u punoj uporabi 2003. godine.



Sl. 4.7. Prijamnik globalnog radionavigacijskog sustava RACAL-DECCA MNS 2000 G

PITANJA:

1. Koje su značajke sustava satelitske navigacije, prednosti i nedostaci?
2. Na kojim se načelima zasnivaju sustavi satelitske navigacije; koji su sustavi dosad realizirani, a koji se i zbog čega rabe na trgovačkim brodovima?
3. Objasnite Dopplerov efekt i teorijsku osnovu njegove primjene u navigaciji.
4. Koji su izvori pogrešaka pri prijemu poruka odaslatih od satelita? Kako postupati da bi utjecaj pogrešaka bio što manji?
5. Objasnite načela rada i određivanje pozicije broda prema sustavu *Transit*.
6. Na kojem načelu radi sustav *Navstar GPS* odn. *DGPS* i što čini njegovu radiomrežu?
7. Objasnite sadržaj satelitske poruke u sustavu GPS.
8. Navedite i objasnite izvore pogrešaka i pouzdanost *GPS* odn. *DGPS* pozicije broda.
9. Usporedite sustav *Navstar GPS* sa sustavom *Transit* i iznesite njihove navigacijske prednosti i nedostatke.
10. Objasnite uporabu prijavnika *GPS* odnosno *DGPS*, posebice u određivanju pozicije broda.
11. Objasnite praktične postupke u plovidbi na ruti Jadransko more – Sredozemno more – Engleski kanal – Sjeverna Amerika: u obalnoj plovidbi – kombiniranjem sustava zbrojene, terestričke i elektroničke navigacije; u oceanskoj plovidbi – kombiniranjem sustava zbrojene, astronomske i satelitske navigacije.

RADARSKI I INTEGRIRANI NAVIGACIJSKI SUSTAV

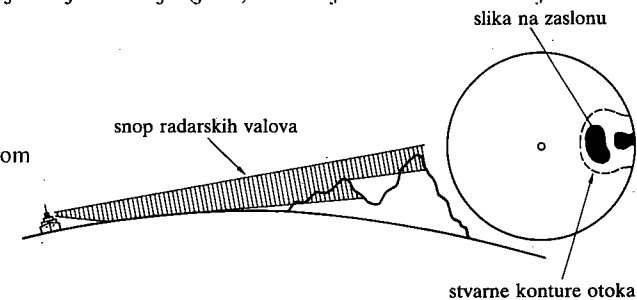
5. Radar

5.1. Teorijski temelj i glavni dijelovi radara

5.1.1. Načelo rada. Radar (engl. kratica za *radio detection and ranging*) je elektronički uređaj kojemu se načelo rada temelji na odašiljanju vrlo kratkih elektromagnetnih impulsa (u određenom smjeru) i na mjerenju vremena do povratka jeke od objekta koji je zahvaćen tim impulsom; uvjet je da je dielektrična konstanta objekta različita od dielektrične konstante zraka. Zbog velike brzine širenja elektromagnetnih valova, jedini mogući sustav prikazivanja jeke je pokazivač s katodnom cijevi (sl. 5.5.).

Radarski modulator pobuđen impulsima iz sinkronizatora formira vrlo kratki elektromagnetni impuls (kraći od 1 μ s) visoke frekvencije, koji odašiljač preko antenske preklopke u uskom snopu odašilje u prostor. Elektromagnetni valovi (dužina 3000 do 10 000 cm) prostiru se pravocrtno (slično svjetlosnim zrakama), a zatim se, reflektirani nakon protekla vremena, vraćaju u brodsku radarsku antenu; antenski ih preklopnik (A-TR) odvodi u prijamnik, odakle pojačan i demoduliran impuls stiže u radarski pokazivač. Zadatak je pokazivača da što točnije reflektirani impuls prikaže na zaslonu katodne cijevi. Prema položaju svijetle mrlje (jeka) određuju se azimut i udaljenost do opaženog objekta (sl. 5.1.).

Sl. 5.1. Otkrivanje objekta radarom – slika objekta na videozaslonu



Smjer prijama jeke ujedno označuje i radarski azimut objekta, jer se zbog velike brzine širenja elektromagnetnih valova ($c \approx 300\,000$ km/s ili 162 000 M/s) može zanemariti vrijeme između odaslatih i primljenih impulsa prema vremenu jednog punog okretanja antene.

Prevaljeni put dan je formulom $s = c \cdot t$, a udaljenost $d = s/2$. Budući da je brzina c konstantna, udaljenost do objekta je razmjerna s proteklim vremenom t između emisije i prijama impulsa. Radar je konstruiran tako da se na videozaslonu prijavnika izravno očitava udaljenost, iako on zapravo mjeri vrijeme. Dakle, prema načelu rada sličan je ultrazvučnom dubinomjeru i sonaru, ali ne primjenjuje ultrazvučne valove (brzina širenja je oko 1500 m/s), nego elektromagnetne valove (brzina širenja oko 300.000 km/s). Radar je obvezatan za brodove veće od 1000 GT.

Da bi radar udovoljio navigacijskim potrebama, potrebno je da:

- otkriva objekte na što manjoj udaljenosti (što kraći impulsi, što niža antena, što manji mrtvi prostor);
- postigne što veći domet, odnosno daljinu otkrivanja (velika snaga, duži impulsi, veća osjetljivost prijavnika, što viša antena);
- može dobro razlikovati objekte po azimutu i po udaljenosti (što uži vodoravni snop, što kraći impulsi, a zbog valjanja broda što širi vertikalni snop);
- može smanjivati odnosno poništavati atmosferske smetnje i smetnje zbog refle-

ksija od morske površine radi odvajanja mrlja pravih objekata, a posebice mrlja malih objekata na videozaslonu radarskog pokazivača.

5.1.2. Svojstva radarskih valova. Radarski valovi određeni su nosivom (radnom) frekvencijom (valnom dužinom), a rad radara dužinom impulsa (signala) i impulsnom frekvencijom.

Noseće frekvencije (carrying frequency) što ih odašilje navigacijski radar moraju biti što veće (kraća valna dužina), jer se time dobiva bolja usmjerenost radarskog snopa (točnije mjerenje azimuta), manja izobličenost mrlje objekta na radarskom zaslonu (reljefnija radarska slika, bolja orijentacija) i manja antena. Međutim, prevelike noseće frekvencije imaju i negativne osobine, npr. slabljenje izračene elektromagnetne energije zbog jačeg utjecaja atmosfere (ograničeni do met), jako izobličenje valova zbog utjecaja oborine (štetne jeke i odrazi na radarskoj slici) i sl. Stoga se brodovi opremaju udvojenim radarskim sustavom (*radar dual-system*), redovito sa 3-cm valnom dužinom (frekvencija 9 320 do 10 000 MHz – frekvencijski opseg X) i 10-cm valnom dužinom (frekvencija 3 000 do 3 420 MHz – opseg S). Međutim, kad se na brodu rabi samo jedan radar, odabrana radna frekvencija radara redovito odgovara valnoj dužini 3 cm.

Frekvencijski pojas X ima prednost pri radarskom motrenju na manjim udaljenostima; radarska slika ima više detalja.

Frekvencijski pojas S ima prednost pri motrenju na velikim udaljenostima i u nepogodnim meteorološkim uvjetima.

Pri plovidbi rijekama i kanalima domet radara manje je značajan pa se rabe radari frekvencijskog pojasa Q (valna dužina 8 cm; radarska slika ima više detalja).

Dužina impulsa redovito traje od 0,25 μ s do 2,0 μ s, što ovisi o tipu radara, meteorološkim uvjetima i odabranom mjernom području. Duži impulsi zrače jaču elektromagnetnu energiju, što daje sigurnost da će do promatranog objekta stići potrebna elektromagnetna energija. Međutim, dugi impulsi povećavaju najmanju daljinu mjerenja i nepovoljniji su za razlikovanje objekata u azimutu. U radara s mogućnošću odabira dužine impulsa (*long/short*) valja upotrijebiti: *duži impuls* za pretraživanja na većem mjernom području i u nepovoljnim meteorološkim uvjetima; *kraći impuls* za manje mjerno područje. U većine radara promjenom mjernog područja automatski se mijenja i dužina odaslanog impulsa (signala).

Impulsna frekvencija (pulse repetition rate – PRP) jest broj impulsa odaslanih u jednoj sekundi. Navigacijski radari imaju impulsnu frekvenciju 500 – 2000 imp/s i automatski se mijenja promjenom mjernog područja.

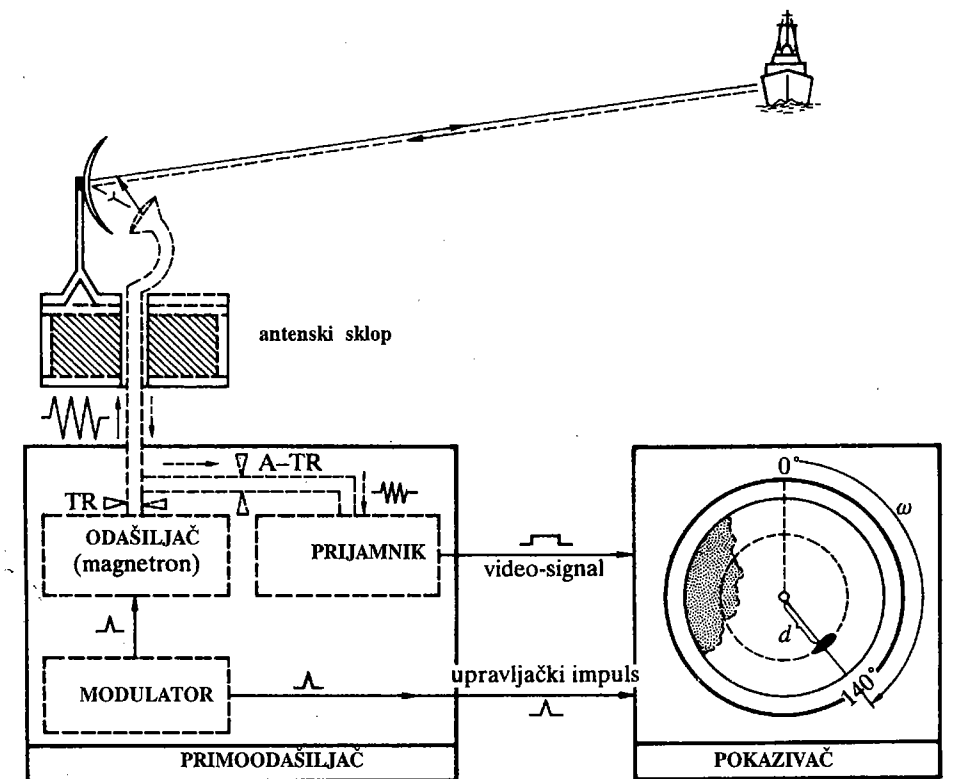
Što je veća impulsna frekvencija, veći će broj impulsa u jednoj sekundi ozračivati objekt, a time i jeka na videozaslonu prijammnika daje jaču mrlju; sigurnije se otkrivaju i slabiji objekti, što je za navigaciju od osobite važnosti. Niža impulsna frekvencija osigurava veću impulsnu snagu i veći domet uz manju potrošnju energije, što je posebice važno za motrilačke radare.

Impulsna frekvencija usklađena je s brzinom okretanja radarske antene i persistencijom radarskog videozaslona, a impulsna snaga za određeno mjerno područje more osigurati dovoljnu jačinu jeke (mrlje) na zaslonu.

Noviji tipovi radara imaju više impulsnih frekvencija i mogu posebnim preklopkama mijenjati širinu impulsa; time se mogu rabiti prednosti jedne i druge impulsne frekvencije, odnosno prednosti širokog i uskog impulsa (*long/short impuls*). Uži impulsi pogodniji su pri atmosferskim smetnjama i kad radarski zaslon ima krupniju ljestvicu mjernog područja (npr. pri plovidbi uskim područjem), jer se sigurnije otkrivaju bliski objekti, točnije mjeri udaljenost i bolje razlikuju objekti po daljini.

5.1.3. Dijelovi radara. Glavne dijelove impulsno moduliranog radara i njihovu spregu prikazuje sl. 5.2. Radari se međusobno razlikuju u izvedbi.

Uređaj za napajanje. Sastoji se od motor-generatora (motor-alternatora) i upravljačke kutije, koja može biti i odvojena. Motor se napaja iz brodske mreže i time pokreće generator (alternator) koji daje stabilizirane napone odgovarajuće frekvencije za rad pojedinih dijelova radara. To je potrebno stoga što neposredan napon iz brodske mreže nije prikladan za rad radara.



Sl. 5.2. Glavni dijelovi radara i njihova međusobna ovisnost

O d a š i l j a č. To je oscilator posebne izvedbe koji generira elektromagnetnu energiju u oblik vrlo kratkih i točno određenih impulsa velike jačine i visoke frekvencije. Iz odašiljača do antene elektromagnetna energija vodi se valovodom do napojnog roga (lijevka). Glavni su njegovi dijelovi: uređaj za napajanje, impulsni generator, impulsni transformator, magnetron i modulator.

Impulsni generator stvara oštre impulse kojima se sinkronizira i usklađuje rad svih sklopova radara. Osnovni mu je zadatak da sinkronizira početak odašiljanja impulsa s početkom gibanja vremenske osnovice na videozaslonu.

Generator elektromagnetne energije vrlo visoke frekvencije i izlazno pojačalo objedinjeni su u *magnetronu*. To je samopobuđujući oscilator, u osnovi dioda s magnetnim poljem poprečnim na električno polje. Dok traje impuls, on generira elektromagnetnu energiju visoke frekvencije, koja se valovodom odvodi u antenu, a odatle zrači u prostor. Time je radarima s centimetarskim (superkratkim) valovima omogućen veliki domet. Navigacijski radari obično rabe 3-centimetarske valove (frekvencijsko područje X) i 10-centimetarske valove (područje S).

Modulator je, zapravo, elektronički preklopnik koji upravlja radom magnetrona i tako uvjetuje oblik i trajanje odaslanog impulsa (0,1 do 0,5 μ s).

A n t e n s k i s k l o p. Sastoji se od radarske antene, motora i okretne antene, mikrovalne rotirajuće spojnice ili naponskog poluvodički upravljano oscilatora (*VCO – voltage control oscilator*), vodiča za napajanje i vodećeg selsina (pokreće prateći selsin

u radarskom pokazivaču). Temeljni je zadatak da dovedenu visokofrekventnu elektromagnetnu energiju iz odašiljača zrači u obliku uskog i usmjerenog snopa (lepeze), a zatim prima reflektirane impulse od objekata i okolnog kopna i usmjerava ih u prijamnik. Pored paraboloidne (reflektorske) antene sve više je u uporabi i valovodna antena, odnosno antena s prorezima.

V a l o v o d . Najčešće je bakrena četverokutna cijev čije dimenzije ovise o radnoj valnoj dužini; polovina valne dužine mora biti kraća od šire stranice valovoda. *Napojni rog* koji se nalazi u žiži antenskog paraboloidnog reflektora zrači elektromagnetnu energiju, a reflektor antene usmjerava je prema obzoru. Obrnutim putem vodi se energija reflektirane jeke, tj. od antene prema prijamniku. Sve više je u uporabi valovodna antena, odnosno antena s prorezima.

Svi navigacijski radari imaju jednu antenu. Zbog toga se za izmjenično i sinkronizirano prekopčavanje antene na odašiljač i prijamnik rabi elektronska antenska skretnica (preklopka), koja se često naziva i TR-skretnica (*transmit-receive device*). Antenska skretnica ujedno štiti prijamnik od visokog napona koji emitira odašiljač, ako bi ovaj bio izravno uključen na antenski napojni vod. Za vrijeme relativno dugog intervala između impulsa, kad odašiljač miruje, TR-skretnica omogućuje da jeka reflektirane energije uđe u prijamnik. Jedna druga skretnica, nazvana protuelektronska skretnica (ATR-skretnica), sprečava da odašiljač apsorbira dio ionako vrlo slabe reflektirane elektromagnetne energije (jeka).



Sl. 5.3. Paraboloidna i valovodna antena

1 – puni reflektor; 2 – motorni prijenosni sustav; 3 – napojni rog; 4 – jarbol; 5 – valovod; 6 – valovodna antena u oklopu

Da bi se dobio radarski azimut i udaljenost do motrenog objekta, odnosno panoramska slika radarskog obzora, uski snop elektromagnetne energije valja neprekidno odašiljati prema objektu, odnosno radarskim obzorom. Zbog toga su u osnovnog radarskog uređaja gornji dio valovoda, napojni rog i reflektor, konstruirani tako da ih okreće

poseban elektromotor. Antena navigacijskih radara redovito se okreće oko vertikalne osi 10-40 puta u minuti.

Slika 5.3. (desno) prikazuje tip valovodne antene (*slotted waveguide*) koja nema reflektor ni napojni rog. Gornji dio uspravnog valovoda tako je konstruiran da se antena može okretati u vodoravnoj ravnini. Prednji i uži dio sekcije rotirajuće antene ima niz proreza iz kojih zrači elektromagnetna energija; odaslani elektromagnetni val faznim zbrajanjem formira glavni snop i bočne snopove (lepeze). Reflektirana energija od objekta (jeka) također prolazi kroz te proreze, a zatim kroz valovod u prijamnik.

P r i j a m n i k r a d a r a . Preko kristalnog mješača (miksera) te niza međufrekvencijskih i videopojačala pojačava slabe primljene radarske jeke, a zatim ih pretvara u vidne (video) signale i vodi u pokazivač; kojemu je glavni dio katodna cijev.

Kristalni mješač s pomoću lokalnog oscilatora, tzv. *klistrona*, pretvara nepovoljnu visoku frekvenciju u znatno nižu, jer se jedino takva može višestupnjevitno pojačati. To je potrebno zbog toga što ni najjača jeka bez pojačanja ne bi mogla izazvati odraz (mrlju) na radarskom videozaslonu.

Međufrekventno pojačalo pojačava signal radarske jeke koji nakon miješanja ima povoljnu frekvenciju. Na završetku tog pojačanja signal jeke s izmjeničnom karakteristikom pretvara se u istosmjerni i zatim pojačava u videopojačalu; time se dobije dovoljno jak signal za oblikovanje slike na zaslonu katodne cijevi.

Videopojačalo (više stupnjeva) pojačava signal radarske jeke kako bi se na zaslonu katodne cijevi mogao pojaviti u obliku mrlje dovoljne jačine. On se nalazi blizu katodne cijevi, u kućištu pokazivača.

Pokazivač prijamnika, kojemu je glavni dio katodna cijev, na temelju primljenih, pojačanih i obrađenih signala (impulsa) radarske jeke motrenih objekata i položaja radarske antene, na videozaslonu (ekranu) katodne cijevi (*Plan Position Indikator – PPI*) prikazuje panoramsku sliku radarskog obzora. To omogućuje mjerenje radarskih udaljenosti i azimuta (pramčanih kutova) motrenih objekata.

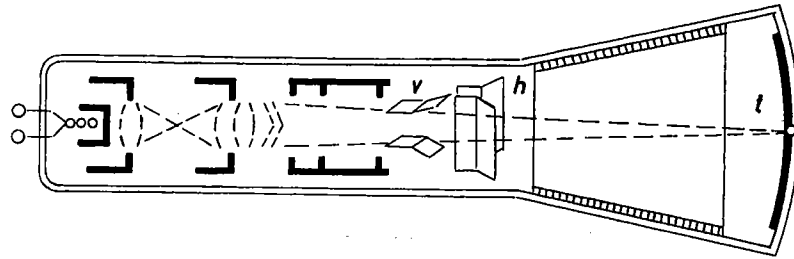
Radarski prijamnik i odašiljač redovito su u istom kućištu pod nazivom primo-odašiljač (prijamnik/odašiljač).

Uz oznaku tvrtke i modela, tehničke značajke glavnih tipova navigacijskih radara jesu: promjer zaslona katodne cijevi (9 in/22,9 cm; 12 in/30,5 cm; 16 in/40,6 cm i 19 in/48,3 cm); radna frekvencija u opsegu 3,0 GHz, 5,5 GHz ili 9,4 GHz; trajanje impulsa 0,05–1,0 μ s u frekvenciji ponavljanja 500–2000 impulsa u sekundi; vodoravna širina radarskog snopa 0,8°–1,5°, a vertikalna 15°–25°; brzina obrtanja antene 30–40 okretaja u minuti; mjerno područje 0,25–48 M; najmanja daljina otkrivanja objekata oko 50 m.

Gotovo svi prijamnici suvremenih tipova radara kompatibilni su za priključak satelitskog sustava, brzinomjera (osjetilo brzine), girokompasa ili elektromagnetnog (*fluxe gate*) kompasa (osjetilo kursa) i dr. navigacijskih uređaja, što omogućuje dobivanje prave i protusudarne radarske slike (sustav ARPA), odnosno jedne manje integrirane navigacijske jedinice (vidjeti pogl. 8).

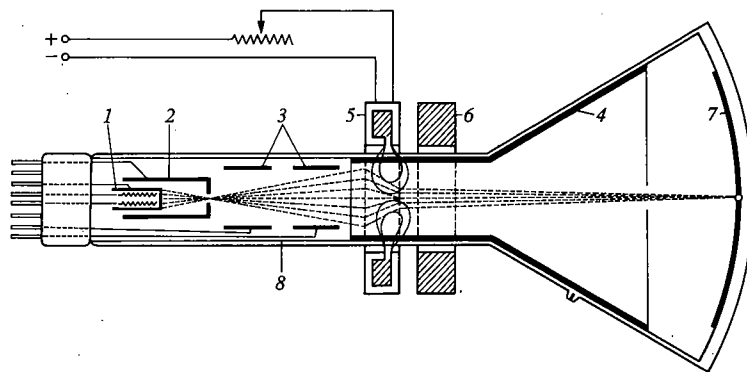
Radarski kao matična ili samostalna navigacijska jedinica, primjenom međunarodnog standarda formata NMEA 0183/0180, može biti dio šireg integriranog navigacijskog sustava ili samostalna manja navigacijska integralna jedinica. Takav jedan sklop je npr.: radar/oran/GPS/kartografski videorisnič (video chart plotter).

5.1.4. Katodna cijev. Ona je glavni dio pokazivača radarskog prijamnika: Rješava problem mjerenja vremena u mikrosekundama (μ s). Da bi radar postao značajno navigacijsko pomagalo, potrebno je da prijamnik ima videozaslon (ekran) s panoramskom slikom obzora.



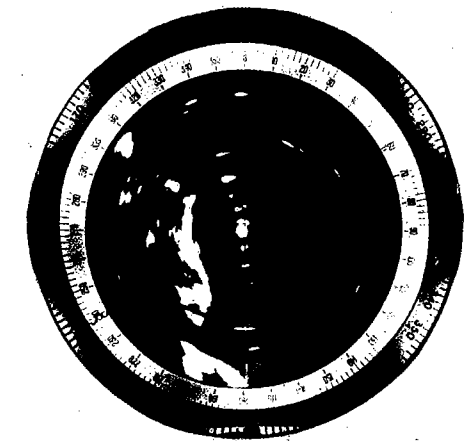
Sl. 5.4. Katodna cijev s elektrostatičkim otklanjanjem
v – vertikalne otklonske pločice; h – vodoravne otklonske pločice

Prva katodna cijev (*cathode-ray tube-CRT*) imala je *elektrostatički sustav stvaranja vremenske osnovice* (sl. 5.4). Kad su pločice bez električnog napona ili ako su naponi u svakom paru izjednačeni, snop elektrona ide osom cijevi i u središtu njezina zaslona (ekrana) pojavljuje se svijetla točka. Ako se na vodoravne otklonske pločice (h) dovede razlika potencijala, negativno nabijeni elektronski snop otklonit će se prema pločici s pozitivnim potencijalom i svijetla točka pomaknut će vodoravno, a na zaslonu će se pojaviti svijetla crta. Dužina svijetle crte odgovara prevaljenom putu radarskog impulsa, odnosno radarskog dometa, i stoga je ta bijela crta *osnovica za mjerenje udaljenosti*, tj. proteklog vremena od trenutka odašiljanja radarskog signala (impulsa) do prijama njegove jeke. Vertikalne otklonske pločice (v) su u vezi s prijarnikom. U trenutku prijama jeke od motrenog objekta svjetla će se točka vertikalno otkloniti od osnovice poput klina i ponovno vratiti u početni položaj. Razmak između ovog klina i mnogo većeg klina, koji se pojavio u trenutku odašiljanja radarskog impulsa kao posljedica njegova neposrednog prijama od odašiljača, daje prevaljeni put impulsa do motrenog objekta i natrag. Mjerilo vremenske osnovice načinjeno je tako da se s nje neposredno očitava udaljenost u nautičkim miljama (M). Položaj osi antene u trenutku primitka radarske jeke daje *smjer motrenog objekta*.



Sl. 5.5. Katodna cijev za prikaz panoramske slike
1 – katoda; 2 – upravljačka rešetka; 3 – zaštitna rešetka; 4 – anoda; 5 – zavojnica za fokusiranje;
6 – zavojnica za elektromagnetno otklanjanje; 7 – zaslon (ekran) katodne cijevi;
8 – stakleno kućište

Da bi se na zaslonu (ekranu) katodne cijevi oblikovala *panoramska radarska slika* dijela obzora, potrebno je na zaslonu dobiti rotirajuću vremensku osnovicu. To se postiže sinkronim okretanjem radarske antene i zavojnice za *elektromagnetno otklanjanje*, koja se nalazi oko vrata katodne cijevi. Trenutačni smjer vremenske osnovice odgovara smjeru u kojem je antena odaslala radarski impuls.



Sl. 5.6. Panoramska radarska slika
– videozaslon s daljinskim kružnicama

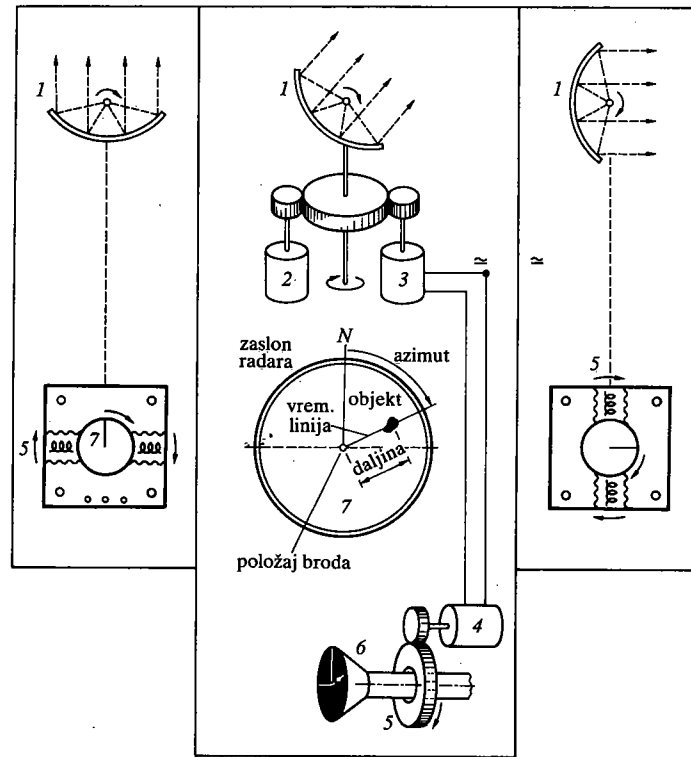
Katodu indirektno grije neinduktivno grijuće vlakno. Upravljujućom rešetkom mijenja se jačina toka elektrona. Divergirajući snop elektrona teče kroz zaštitnu rešetku, što daje ubrzanje elektronima i čuva upravljaću rešetku od polja anode na kojoj vlada visoki napon. Anoda je od grafitnog sloja. Da bi se snop fokusirao pomaže posebna zavojnica koja se sastoji od mnogo namotaja smještenih u plaštu od mekog željeza te magnetnim poljem utječe na gibanje elektrona. Iza te zavojnice nalazi se zavojnica za elektromagnetno otklanjanje i zavojnica za centriranje. Elektroni nakon izlaska iz zavojnice teku prema zaslonu katodne cijevi u vrlo uskom snopu i udaraju u središte zaslona, ako nije otklonjen. Budući da je unutarnja strana plohe zaslona pokrivena fluorescentnim slojem, u središtu se zaslona javlja svijetla točka koja zbog persistencije tog sloja ostaje vidljiva i neko vrijeme nakon nestanka snopa elektrona.

U trenutku kad modulator okida odašiljač, antena zrači radarski impuls (snop). Istodobno se odašilje i upravljački impuls u pokazivač koji elektronski snop radijalno otklanja od središta zaslona do oboda i tako stvara *rotirajuću vremensku osnovicu*. Na zaslonu katodne cijevi se to vidi kao radijalno gibanje središnje svijetle točke koja zapravo pokazuje vrh elektronskog snopa. Kad svijetla točka dođe do oboda zaslona, vraća se ponovno u središte, gdje ostaje do odašiljanja idućeg impulsa. Vremenska osnovica mora se ponavljati sinkrono s impulsnom frekvencijom, a radijalna brzina gibanja središnje točke ovisi o promjeru zaslona katodne cijevi. U svakom je slučaju brzina radijalnog gibanja svijetle točke konstantna, ali i tako velika da čovječje oko ne može odvojiti pojedine impulse, pa se na videozaslonu vremenska osnovica javlja kao rotirajuća svijetla crta.

Podešavanjem brzine gibanja svijetle točke postiže se da vremenska osnovica postane linijsko mjerilo za neposredno mjerenje udaljenosti do objekta odslikanih na videozaslonu.

Da bi se na radarskom videozaslonu mogao neposredno mjeriti azimut, potrebno je da vremenska osnovica rotira oko središta zaslona sinkrono s okretanjem radarske antene. To se postiže okretanjem iste elektromagnetne zavojnice koja je upotrijebljena i za radijalno otklanjanje elektronskog snopa u katodnoj cijevi (sl. 5.7.). Antenu okreće elektromotor. S antenom je sinkrono preko zupčanika spojen odašiljački selsin. Taj selsin daje odgovarajući električni napon potreban za pokretanje pratećeg selsina, koji preko zupčanika okreće otklonsku zavojnicu (oko grla katodne cijevi). Budući da antena

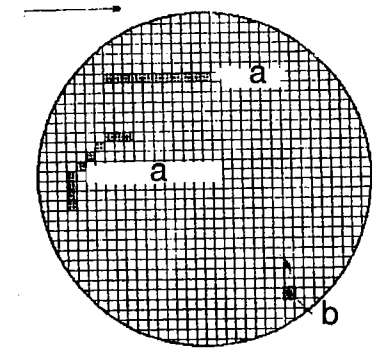
okreće oko vertikalne osi i time zrači elektromagnetnu energiju (radarske valove) cijelim obzorom, njezin će usmjereni snop proći i kroz pramčani dio uzdužnice broda. U tom će trenutku i rotirajuća vremenska osnovica proći kroz nultu točku stupanjske podjele za pramčane kutove; taj smjer označen svijetlim elektronskim tragom zove se *pramčanica*. Zbog persistencije zaslona katodne cijevi i zbog velike impulsne frekvencije, na zaslonu se stalno vidi panoramska slika radarskog obzora. To omogućuje da se odrede i relativne pozicije pojedinih objekata prema motritelju koji se zamišlja u središtu videozaslona: pramčani kut, odnosno azimut, i udaljenost.



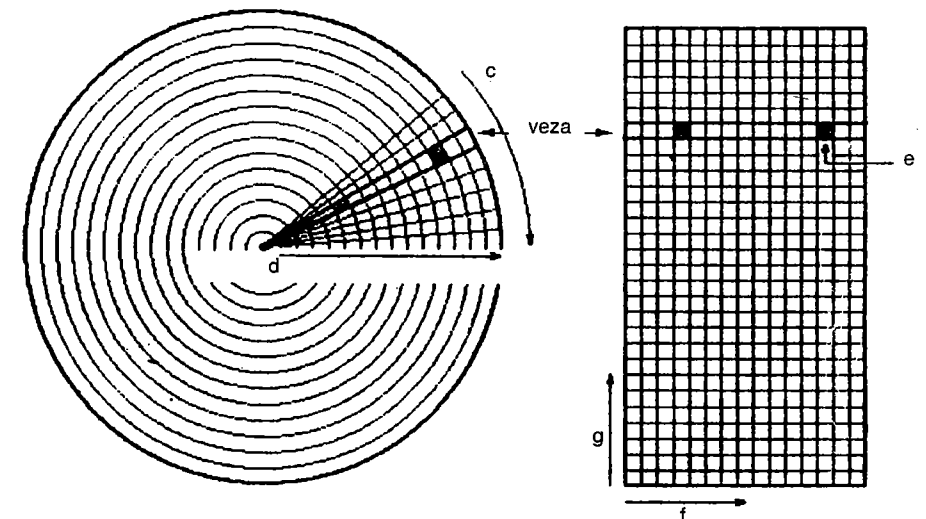
Sl. 5.7. Oblikovanje rotirajuće vremenske osnovice na radarskom videozaslonu
 A – početni položaj antene; B – antena u smjeru jeke; C – antena se okrenula za 90°; 1 – antena; 2 – elektromotor antene; 3 – vodeći selsinski generator; 4 – prateći selsinski motor; 5 – otklonske zavojnice; 6 – katodna cijev; 7 – videozaslon katodne cijevi

Ugradnjom elektroničkih računala, posebice s mikroprocesorom, postignuta je programski bolja uporaba radara u navigaciji, uz ostalo, oblikovanjem tzv. *sintetske radarske slike* (*synthetic picture*). Naime, nakon prijama signala jeke u radarsku antenu, signal u svom početnom dijelu prelazi jednake promjene kao i u prijašnjih radara, i to do ulaska u elektroničko računalo (nakon pojačanja i demodulacije), gdje prestaje biti izvorni signal jeke. Međutim, u memoriji računala ostaje njegov zapis, ali bez pojave radarske jeke (mrlje) na zaslonu. Nakon analize zapisa računalo sintetski generira signalne impulse (jačina ovisi o broju primljenih jeka), koji zatim oblikuju sliku (mrlju) objekta na radarskom videozaslonu. Stoga je takva slika i nazvana *sintetskom slikom*, a naziva

se i *sirova slika* (*raw picture*), jer njezini poticajni signali nisu obrađeni računalom.



Sl. 5.8.a. Radarski zaslon računalnog tipa
 a – pomak svjetle točke (ravna i zakrivljena crta);
 b – piksel



Sl. 5.8.b. Podjela radarskog zaslona i memorije
 lijevo – zaslon podijeljen u kvadratiće (piksel); desno – memorijska matrica
 c – podjela zaslona po kutu; d – podjela ekrana po udaljenosti; e – zapis o objektu;
 f – udaljenost; g – kut

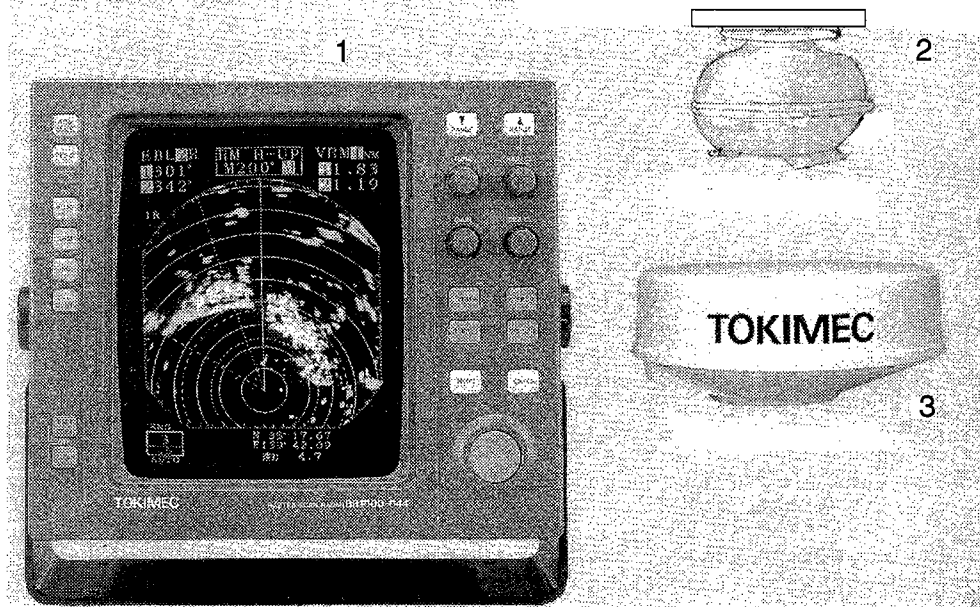
Na sl. 5.8.b. prikazan je *isječak radarskog zaslona s nizom elementarnih kvadratića* (pixela) i *matrica memorijskih ćelija* u koje se upisuju podaci (zapisi) o primljenim jekama iz memorije elektroničkog računala. Nakon nekoliko motrenja istog područja računalo će, u skladu s programom, statističkom procjenom izbrisati zapise povremenih jeka (radarske smetnje), a zadržati zapise stalnih jeka. Valja imati na umu da postoji mogućnost brisanja i slabije markantnih radarskih objekata, a koji su značajni za sigurnost plovidbe (npr. plutajućih oznaka za olujnog mora).

Raspoznavanjem frekvencija primljenih radarskih jeka, elektroničko računalo generira signal čija je jačina razmjerna broju primljenih radarskih jeka. *Reljef slike* uo-

čljiivo je oblikovan, tj. objekti od kojih je primljena jača jeka imat će zamjetljiviji sjaj i obrnuto. Reljefnu crno-bijelo oblikovanu sliku u suvremenih radara zamijenila je *slika u različitim bojama*: crvena za objekte jakih odraza (kopno, bliski metalni objekti), žuta za objekte slabijih odraza, zelena za najslabije jeke, plava za more i područja bez jeke, a ostale boje prema određenoj namjeni.

U suvremenih kompjutoriziranih navigacijskih radara, posebice u sustavu ARPA (pogl. 8.3.) uveden je *radarski videozaslon pravokutna oblika* (tzv. TV-zaslon) s pojačanim dnevnim osvjetljenjem. Na zaslonu se oblikuje kružna panoramska slika standardne katodne cijevi, a ostala ploha radarskog zaslona ispunjena je navigacijskim podacima određenog sadržaja, posebice o vlastitom brodu i promatranom objektu. Svijetla točka započinje pravocrtno gibanje u gornjem lijevom kutu zaslona, a zatim se naglo vraća na početnu točku, uz istodobni pomak prema dolje za debljinu njezine crte gibanja. Takvo se gibanje nastavlja i na taj način dobiva matrica s elementima sitnih kvadratića (*pixels*). Njihovim osvjetljavanjem oblikuje se radarska slika (sl. 5.8.) čija kvaliteta ovisi o broju osvjetljenih kvadratića.

U radara s pojačanim dnevnim osvjetljenjem unutarnja ploha zaslona premazana je posebnim fosforescentnim slojem i na zaslonu se oblikuje nešto drukčija vremenska osnovica.



Sl. 5.9. Navigacijski radar TOKIMEC 1000 – ekscentrična slika
1 – pokazivač, videozaslon s ekscentričnom radarskom slikom; 2 – otvorena valovodna antena;
3 – radom antena

Na slici 5.9. prikazan je pokazivač radara japanske tvrtke TOKIMEC: dimenzije 27,1×30,1×36,5 cm, težina oko 8,7 kg, strujni napon 12/34/22 V, snaga 62 W, vršna snaga 4 kW, frekvencija 9410 MHz ± 30 MHz, frekvencija ponavljanja i dužina impulsa 0,08 μs – 0,7 μs. Na prednjoj ploči prijammnika nalaze se preklopke i dirke s kodnim oznakama; zaslon (ekran) 25 cm, 10 mjernih područja (1,75 M – 48 M), 8 stalnih daljinskih kružnica (0,625 - 0,125 - 0,25 - 0,5 -

1,0 - 2,0 - 4,0 - 8,0 M) i dva mjerna područja (unutar daljine otkrivanja) s promjenjivom daljinskom kružnicom (marker), elektronska svijetleća pramčanica i dvije elektronske azimutne (smjerne) crte; vodoravni kut zračenoga glavnog radarskog snopa (razlikovanje azimuta) 2°, vertikalni kut snopa 30°, najmanja mjerna udaljenost (razlikovanje daljine) 30 m, točnost udaljenosti ± 1,5% ili prosječno 70 m, a azimuta ± 1,0°.

5.1.5. Mjerno područje. Mjerilo slike na videozaslonu radarskog pokazivača određeno je odabranom daljinskom ljestvicom koja po dužini odgovara polumjeru zaslona katodne cijevi. Krupnije mjerilo daje veću točnost mjerenja.

Ljestvice mjernih područja ovise o tipu radara, a odnose se na stalne (daljinske) kružnice i na nepromjenljivu daljinsku kružnicu (marker) za mjerenje udaljenosti unutar radarskog obzora.

Pri izboru mjernog područja, na primjer 24 M, mjerna ljestvica jednaka je polumjeru radarskog videozaslona. Vrijeme za koje se svijetla točka pomakne od središta do oboda zaslona jednako je vremenu potrebnom da odaslani radarski impuls prevali put od radarske antene do motrenog objekta i kao reflektirana jeka natrag do antene (u ovom slučaju jest 48 M). Vrijeme potrebno da svijetla točka prevali put po zaslonu iznosi oko 295 μs (to je 48M / 9,161829 M/μs). Znači, ako je npr. antena usmjerena prema motrenom objektu udaljenom 12 M, vrijeme potrebno da odaslani impuls prevali put od objekta i natrag kao reflektirana jeka iznositi će 147,5 μs (24 M). U trenutku prijama jeke, prijammnik odašilje videosignal u radarski pokazivač koji na polovici vremenske osnovice (polumjera zaslona) uzrokuje jaču svijetlu mrlju (*pip*). Ta svijetla mrlja pokazuje na zaslonu objekt od kojega su primljeni impulsi jeke, a njegova prava udaljenost iznosi 12 M. Veličina i oblik svijetle mrlje ovise o broju primljenih jeke te o veličini, obliku i strukturi motrenog objekta. Brzina okretanje antene, a time i radarskog snopa, u navigacijskih radara podešena je tako da se mogu otkriti i na zaslonu prikazati svi objekti unutar radarskog obzora. Zbog velike učestalosti reflektiranih impulsa od promatranog objekta, mrlja na radarskom zaslonu obnavlja se nekoliko puta i stoga ne gubi na sjajnosti, ako objekt ima dobre reflektirajuće osobine.

U prethodnom razlaganju objašnjeno je kako nastaje radijalni otklon elektronskog snopa da bi se na radarskom videozaslonu dobila vremenska osnovica za mjerenje udaljenosti. Da bi se dobio i smjer (azimut), vremenska osnovica mora se okretati oko središta radarskog zaslona sinkronizirano s vodoravnim okretanjem radarske antene. To se postiže okretanjem iste elektromagnetne zavojnice koja je upotrijebljena i za radijalno otklanjanje elektronskog snopa. Okretanjem antene pokreće se elektromotor. S antenom je sinkrono preko zupčanog prijenosa spojen odašiljački selsin, koji proizvodi određeni napon potreban za pokretanje pratećeg selsina; prateći selsin preko zupčanika okreće otklonsku zavojnicu oko grla katodne cijevi. Budući da se antena okreće i zrači elektromagnetnu energiju čitavim obzorom, njezin će usmjereni snop proći i kroz pramčani dio uzdužnice broda. U tom će trenutku i rotirajuća vremenska osnovica proći kroz nultu točku stupanjke podjele za pramčane kutove koja se nalazi oko zaslona; taj svijetli elektronski trag zove se *crta pramca* ili *pramčanica*. Položaj svakog objekta naznačenog na radaru dan je pramčanim kutom, odnosno azimutom, i udaljenosti mjerenom od središta radarskog zaslona.

Primjenom rotirajuće radijalne vremenske osnovice, zbog djelovanja persistenције na zaslonu katodne cijevi i zbog velike impulsne frekvencije, na radarskom zaslonu stalno se vidi *panoramska slika radarskog obzora* koja omogućuje da se odrede i relativne pozicije pojedinih objekata, tj. pozicije u odnosu prema motritelju koji se zamišlja u središtu radarskog zaslona. (v. pogl. 5.3.).

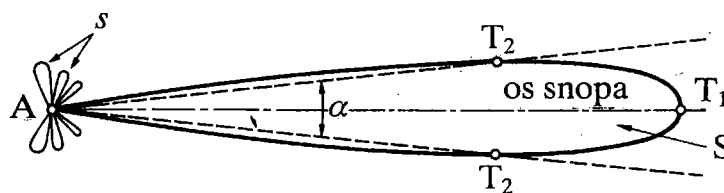
5.2. Prostiranje radarskih valova

5.2.1. Opće značajke. Elektromagnetni (radarski) superkratki valovi, odaslani u impulsima elektromagnetne energije s frekvencijom do 100 000 MHz, koji se primjenjuju za navigacijske radare, nalik su na svjetlosne valove (brzina 300.000 km/s, nastoje se gibati pravocrtno, podvrgnuti su refrakciji i sl.), što omogućuje točna mjerenja udaljenosti u prostoru. Elektromagnetna energija koju zrači radar ima svoje električno i magnetno polje, a ona su okomita jedno na drugo i okomita na smjer širenja valova. Orijeantacija električnog polja u prostoru određuje polarizaciju vala; ona je u ovom slučaju vodoravna i najpovoljnija za navigacijske radare jer daje jeku od objekata.

Zračena elektromagnetna energija šireći se atmosferom raspoređuje se na sve veći prostor i zbog apsorpcije sve više slabi. Osim toga, na elektromagnetne valove djeluju atmosferske prilike i sva fizikalna zbivanja u njoj, posebno hidrometeori; posljedica toga su i njihova refrakcija i refleksija. Utjecaj atmosfere sve je veći što je manja dužina radarskih valova i stoga se u navigaciji ne primjenjuju valovi kraći od 3 cm.

Budući da se radarski valovi šire pravocrtno, pod pretpostavkom da imaju dovoljnu snagu da dosegnu granicu obzora, njihov domet ovisi uglavnom od visine radarske antene i prilika u atmosferi, a otkrivanje još i od karakteristika objekta.

5.2.2. Radarski snop. Antena zrači radarske valove u obliku usmjerenog snopa. Simetrala snopa i antene podudaraju se i sinkronizirano okreću s vremenskom osnovicom na zaslonu katodne cijevi. Sl. 5.10. prikazuje dijagram zračenja u slobodnom prostoru, uključujući i nepoželjne male bočne privjeske (*side lobes*) zbog nesavršenosti antene. Premda je energija usmjerena u relativno uskom snopu, slično svjetlosnom snopu koji daje svjetlo na bljeskove, granica zračenja energije nije točno određena: njezina snaga (u vatima) pada s kvadratom prevaljenog puta, a posebice snaga energije brzo pada i u smjerovima koji idu izvan osi snopa. Intenzitet elektromagnetnog polja u nekoj točki snopa obrnuto je razmjern udaljenosti te točke od antene. Dakle, granica snage, odnosno jačina polja, određuje dimenzije radarskog snopa, a time i granice uporabljive snage. Stoga se i dijagram zračenja antene crta u polarnom koordinatnom sustavu. To se radi tako da se oko antene na istim daljinama mjeri jačina elektromagnetnog polja, a ti podaci unose se u dijagram. Ako se tako dobivene točke spoje, dobiva se dijagram zračenja antene.

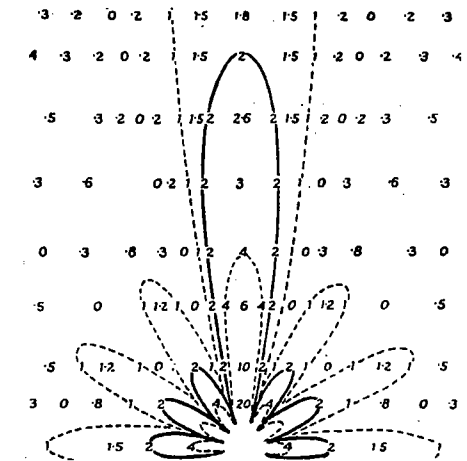


Sl. 5.10. Radarski snop s bočnim privjescima

A – antena; S – glavni snop; α – kutna širina između točaka 1/2 snage; S – bočni privjesci; T₁ – točka najveće snage; T₂ – točka pola snage

Sl. 5.11. Dijagram zračenja radarske antene

— intenzitet zračenja:
1 – 1 volt, 2 – 2 volta, 4 – 4 volta,



Da bi se povećalo područje otkrivanja, pri zračenju se elektromagnetna energija usmjerava u što užem snopu. Radi što povoljnijeg otkrivanja i razlikovanja radarskih objekata, vertikalna širina snopa relativno je velika (od 15° do 30°), a vodoravna širina snopa uska (od 0,65° do 2,00°). Širina snopa ovisi i o frekvenciji (valnoj dužini) te o konstrukciji antene. Za određenu antenu uži radarski snop dobiva se kad su zračeni valovi kraći, a za određenu valnu dužinu kad je antena veća. Valovodna antena bolje poništava štetna bočna zračenja.

5.2.3. Utjecaj refrakcije. Pojava refrakcije posljedica je postojanja atmosfere i njezinih fizikalnih osobina. Bez te pojave udaljenost radarskog obzora odgovarala bi geodetskom obzoru za dotičnu visinu antene. Zbog niže frekvencije radarskih valova od svjetlosnih, refrakcija na radarski snop nešto jače utječe nego na svjetlosne valove. U normalnim uvjetima širenja elektromagnetnih valova radarski je snop lagano zakrivljen prema dolje, pa je i udaljenost radarskog obzora (d_{ra}) približno 6% veća od vidljivog (morskog) obzora. Ona se u nautičkim miljama za visinu antene h_{ant} u metrima računa prema relaciji:

$$d_{ra} = 2,22\sqrt{h_{ant}}$$

Na promjenu standardnih uvjeta atmosfere najviše utječe stanje i visinski raspored temperature po visini te vlažnosti zraka. Odstupanjem tih elemenata od standardnih dolazi do pojava subrefrakcije i superrefrakcije. Te će pojave jače utjecati, ako one postoje na cijelom putu radarskog snopa, a ne samo u neposrednoj blizini radarske antene.

Subrefrakcija. Pojava koja nastaje kad se sloj hladnog i vlažnog zraka (veće relativne vlažnosti) nalazi iznad prizemnog tankog sloja toplog i suhog zraka. Tada se smanjuje radarski obzor i sposobnost otkrivanja manjih, a posebno niskih objekata za 30-40% (katkad na daljinu otkrivanja okom). To se javlja za vedra vremena, posebice u polarnim područjima, kad se hladne zračne mase gibaju iznad toplije oceanske struje. Danju je ipak vidljivost povoljna, a noću ta pojava može biti i opasna, pogotovu ako je obala niska ili ako su u blizini ledeni bregovi.

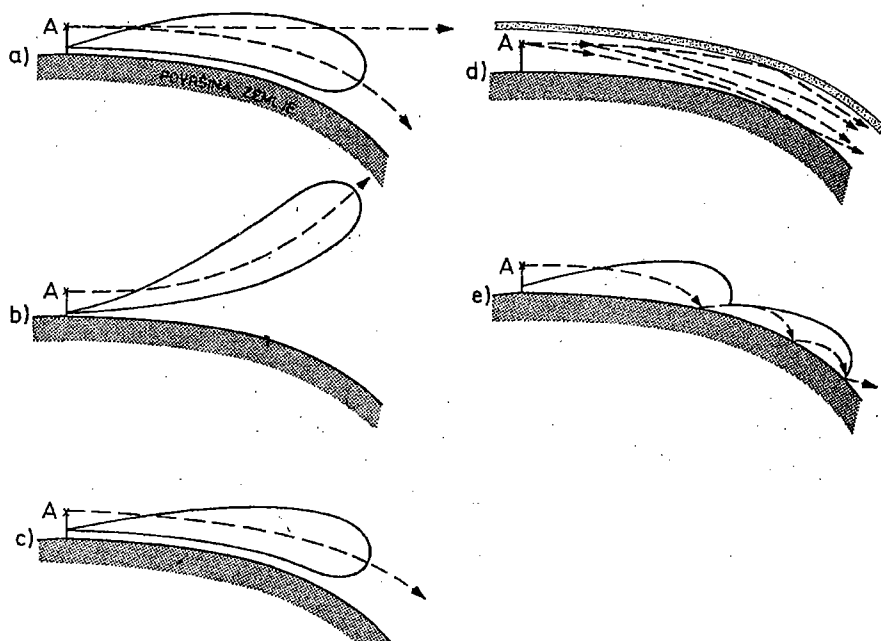
Subrefrakcija jače djeluje na valove veće dužine, pa će ta pojava biti izrazitija u radara sa 10-centimetarskim nego sa 3-centimetarskim valovima.

Superrefrakcija. Ako je vrijeme tiho, bez turbulencije zraka, pogotovu ljeti kad se iznad prizemnog vlažnog hladnog zraka nalazi topli suhi sloj pa je temperaturna razlika tih slojeva osjetna, javlja se *superrefrakcija*. Radarski snop prati zakrivljenost zemaljske površine znatno duže nego u normalnim uvjetima pa je daljina otkrivanja objekata veća. Češće se javlja u obalnom području nego na otvorenom moru. Izrazita je i na Jadranu. U tropima se zapaža kad topli

povjetarac s obale puše iznad hladnije oceanske struje. Superrefrakcija jače djeluje na valove veće dužine (manje frekvenije) pa je izrazitija na radaru sa 10-centimetarskim valovima.

Valja znati da svaki radar ima razne daljinske ljestvice unutar najvećeg mjernog područja, pa ako radarski impuls i stigne do nekog dalekog objekta, u nekim slučajevima njegova se jeka na zaslonu ne mora pojaviti.

5.2.4. Vođenje radarskih valova. Katkad se radarom mogu otkriti objekti na ekstremno velikim udaljenostima i obrnuto, a objekti unutar optičkog obzora neće biti otkriveni iako radar radi ispravno. Ta se pojava javlja u ekstremnim slučajevima superrefrakcije. Energija zračena pod kutom 1° ili manje može biti "zarobljena" dvama slojevima atmosfere ili jednim vodljivim slojem atmosfere i zemaljskom površinom. U tom se slučaju radarski valovi nalaze kao u nekom valovodu, gubici energije su mali, pa se objekti otkrivaju na velikim udaljenostima. Ta se pojava naziva *višestruka superrefrakcija* (radarsko vođenje ili kanaliziranje; engl. *ducting*). Radarski je snop prvo svijen prema zemaljskoj površini, zatim reflektiran prema gore, ponovno svijen prema dolje i to se redom ponavlja. Međutim, velik gubitak energije nastaje kad valovi izidu iz tog sloja, pa je stoga i manja mogućnost otkrivanja objekata iznad tog sloja.



Sl. 5.12. Utjecaj refrakcije na radarski snop

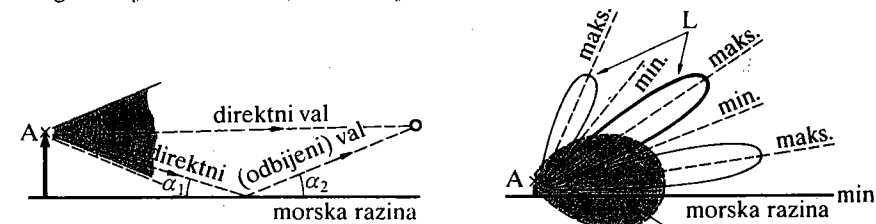
A – antena; a – standardni uvjeti; b – subrefrakcija; c – superrefrakcija; d – višestruka superrefrakcija; e – kanaliziranje radarskog snopa (*ducting*)

Pojava višestruke superrefrakcije katkada smanjuje mjerno područje. Ako je antena ispod vodećeg sloja, otkrivanje iznad toga sloja nije sigurno. Kad vodeći sloj ima ekstremno nizak položaj, a antena je iznad njega, prizemni objekti neće se moći otkriti. To se događa vrlo rijetko.

Podaci o područjima s izrazitom superrefrakcijom i subrefrakcijom, a ta su područja važna za navigaciju, navedeni su u navigacijskim priručnicima.

5.2.5. Utjecaj morske površine. Glavni radarski snop, koji se širi nad morskou površinom u relativno visokom snopu, djelovanjem refleksije sastavljen je u više odvojenih snopova koji pak čine lepezu, što se ne događa pri zračenju radara u slobodnu atmosferu. Ta je pojava

rezultat interferencije direktnih radarskih valova s valovima koji se na putu do granice radarskog obzora reflektiraju od morske površine. Indirektni valovi reflektirani od morske površine, nakon dužeg prevaljenog puta, pridružuju se direktnim radarskim valovima i mogu ih pojačati ili oslabiti, ovisno o tome jesu li s njima u fazi ili izvan faze. Rezultat je toga povećanje ili slabljenje dometa, odnosno jeke, za razliku od dometa i jeke kad bi ti valovi bez smetnji stigli izravno na objekt. Zato će dijagram zračenja radarske antene imati oblik lepeze s više odvojenih snopova. Gdje su valovi u fazi, pojačavaju se direktni valovi, pa se u radarskoj lepezi dobivaju crte maksimalnog zračenja – crte maksimuma (*lines of maxima*), a gdje su suprotnih faza, dobivaju se crte minimalnog zračenja – crte minimuma (*lines of minima*), kako to pokazuje sl. 5.13.



Sl. 5.13. Utjecaj morske površine na radarski dijagram – radarska lepeza

A – antena; L – radarski snopovi po visini (lepeza), iznad reflektirajuće površine; S – radarski snop (dijagram) u slobodnom prostoru; maks. – crte maksimalnog zračenja; min. – crte minimalnog zračenja

Uz morskou površinu uvijek se javlja crta minimuma. Povećanjem udaljenosti javlja se sve veći mrtvi sektor zbog sve jačeg odvajanja crte minimuma od morske površine. To je osobito važno za navigacijski radar koji se služi samo najnižim snopom i čiji se povećani domet utjecajem refleksije (crta maksimuma) ne može uporabiti za otkrivanje površinskih objekata. To može biti uzrok da se ne otkriju mali i niski objekti i na manjim udaljenostima (npr. brodovi na teretnoj vodnoj crti, brodice, plutače, grebeni, ledeni bregovi male visine i sl.). Najdonji snop radarske lepeze ima povoljniji položaj ako je antena viša, a radarski valovi kraći. Npr., za radar sa 3-centimetarskim valovima i visinom antene 25 m utjecaj morske površine beznačajan je do udaljenosti od 6 M. Niski objekti na većoj udaljenosti od 6 M mogu ostati neotkriveni.

Mogućnost otkrivanja nekog objekta radarom uvjetovana je njegovom visinom (h) tehničkim značajkama radara: valnom dužinom (λ), visinom radarske antene (h_{ant}) i dometom radara (d_{ra}):

$$h = d_{ra} \cdot \frac{\lambda}{4 \cdot h_{ant}}$$

5.2.6. Meteorološki uvjeti. Proces i u atmosferi izazivaju promjene meteoroloških elemenata, a time i promjene u fizikalnom stanju atmosfere. Odstupanja u stanju atmosfere od njezinih standardnih uvjeta uzrok su da se radarski snop nenormalno širi i da se stvaraju nepoželjni (ometajući) odrazi na radarskom zaslonu, pogotovu pri olujama i vremenskim nepogodama. To utječe na točnost podataka koji su dobiveni radarom i smanjuje sigurnost plovidbe ako se ona vodi jedino pomoću radara. Različita stanja morske površine uzrokuju i različite refleksije u radarskom snopu, što također utječe na jasnoću radarske slike i točnost mjerenja.

Oborina. Uzrokuje povratne jeke koje se na radarskom zaslonu javljaju kao nejasni ili zasjenjeni odrazi koji prekrivaju objekte u njihovu području. Osim toga, oborina može katkad apsorbirati znatan dio ozračenog elektromagnetne energije i na taj način oslabiti jeke od objekata i smanjiti mogućnost otkrivanja objekata na granici mjernog područja. Inače, daljnja otkrivanja objekata obrnuto je razmjerna intenzitetu oborine. Naravno, izrazite smetnje u otkrivanju malih objekata stvaraju odrazi od pljuskova kiše iz

olujnih oblaka, ali ne utječu na otkrivanje većih brodova. Jačina smetnji zbog snijega i tuče, osim intenziteta, ovisi o veličini snježnih pahuljica (posebice u polarnim krajevima), odnosno o promjeru zrna tuče.

Magla. Ne utječe na daljinu otkrivanja i na radarskom zaslonu ne stvara odraze.

Utjecaj oblaka. Radarski snop ima priličnu vertikalnu širinu pa će i dalji oblaci često biti njima obuhvaćeni. Ako oblak ne daje oborinu, njihov je utjecaj na otkrivanje i jasnoću radarske slike neznatan.

Meteorološke fronte i tropski cikloni. Na radarskom zaslonu daju različite odraze koji se međusobno razlikuju oblikom i intenzitetom, a time olakšavaju manevriranje brodom u izbjegavanju ciklona*.

Smetnje na radarskom zaslonu prouzročene nepovoljnim vremenskim prilikama smanjuju se ukopčavanjem posebnog kruga s pomoću tipke *normal-rain*, odnosno *anti-rain*; pri jakim atmosferskim smetnjama, osim ukopčavanja te tipke, potrebno je smanjiti jačinu prijama tipkom *gain*; također valja smanjiti bliske odraze od mora tipkom *clutter*, odnosno *anti-sea clutter*, a u obalnim područjima smanjiti i trajanje impulsa. Time se skupni odrazi smetnji cijepaju na manje i slabe odraze, pa je omogućeno izdvajanje jeke objekata, odnosno razlikovanje njihovih pravih odraza.

Za dobivanje što povoljnije radarske slike načelno valja imati na umu:

- na maksimalnom mjernom području: normalan položaj dirke za smanjenje atmosferskih smetnji, dugi impulsi, početni položaj tipke za smanjivanje bliskih odraza (smetnji);

- na malim mjernim područjima (obalna plovidba): ukopčati tipke za smanjivanje atmosferskih smetnji, kratki impulsi, povoljan položaj tipki za otklanjanje bliskih odraza (smetnji);

- pri jakim atmosferskim smetnjama: najpovoljniji položaj tipke protiv atmosferskih smetnji, kratki impulsi (ako se nisu tipkom otklonile smetnje), ukopčati tipku protiv smetnji bliskih odraza (ako su blizu središta zaslona).

5.2.7. Radarski domet. To je najveća daljina (R) na kojoj se objekt može otkriti i pokazati na radarskom zaslonu, uz vjerojatnost od 90% i mogućnost pogrešne interpretacije 10^{-8} . Domet je određen energetsom jednadžbom:

$$R = \sqrt{\frac{P \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \rho}{(4\pi)^2 \cdot S_{\min}}}$$

gdje je P – snaga radarskog odašiljača, G – dobitak antene, λ – valna dužina, ρ – efektivna refleksna površina objekta, S_{\min} – najslabija moguća jeka.

U radara određenih tehničkih osobina i impulsne snage dovoljne da odaslani valovi dostignu granični domet, ako se zanemare manje važni činitelji, za navigaciju je najvažnije poznavati visinu radarske antene te fizičke i geometrijske osobine motrenih objekata.

Frekvencija (frequency). Pri većoj radnoj frekvenciji radarskih valova (manjoj valnoj dužini) javlja se veća apsorpcija (upijanje) elektromagnetske energije, bez obzira na vremenske prilike. Taj je utjecaj znatan na valove kraće od 3 cm, pa se takvi radari ne rabe u navigaciji. Zbog toga su niže radne frekvencije (veća valna dužina) općenito povoljnije za otkrivanje objekata na većim udaljenostima. Na brodovima su to redovito radari sa 10–centimetarskom valnom dužinom.

* Vidjeti: A. Simović, *Navigacijska meteorologija*, Školska knjiga, Zagreb 1996.

Maksimalna snaga (peak power). Daljina otkrivanja radarom raste s povećanjem njegove impulsne snage (navigacijski radar do 60 kW, redovito 25 do 30 kW). Međutim, valja imati na umu da uz dvostruko povećanje maksimalne snage daljina otkrivanja raste samo 19%.

Dužina impulsa (pulse length). Dužim impulsima zrači se veća elektromagnetna energija pa je i daljina otkrivanja objekata veća i sigurnija.

Impulsna frekvencija – (IF) ili frekvencija ponavljanja (pulse repetition rate – PRR). To je vremenski razmak između dva impulsa. Ona određuje najveću daljinu otkrivanja. Snaga impulsa i interval između impulsa moraju biti toliki da se i na najvećoj daljini otkrivanja signal jeke vrati u antenu s dovoljno jačine i prije odašiljanja idućeg impulsa. U protivnom, signal jeke bio bi slab, odnosno blokiran idućim odaslanim impulsom. Približno najveće moguće mjerno područje u nautičkim miljama iznosi $81\,000/IF$, ali se u radara uzima i faktor sigurnosti 0,5. Znači, većem mjernom području odgovara kraća frekvencija.

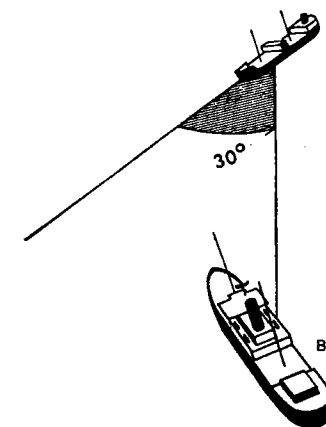
Širina snopa (beam width). Što je radarski snop uži, zbog boljeg usmjerenja impulsa elektromagnetne energije, veća je daljina otkrivanja objekata i bolje razlikovanje objekata po daljini.

Značajke radarskog objekta (target characteristic). Neke fizikalne i geometrijske osobine objekata omogućuju da se neki objekt otkriva na većoj daljini od drugog objekta ili da daje jaču jeku od drugog objekta slične veličine. Objekt koji daje dobru radarsku jeku obično se zove *markantan radarski objekt* i on je pouzdan za navigaciju. Na kartama su takvi objekti posebno označeni (MO).

Visina objekta (height of target). Radarski se valovi šire približno pravocrtno, i stoga je za sigurno otkrivanje visina objekta vrlo važna. Objekte izvan radarskog obzora radar ne može otkriti ako nije barem jedan njegov dio iznad tog obzora.

Veličina objekta (size of target). Do određenih granica objekti većih reflektivnih površina daju veću i intenzitetom jaču jeku nego manji objekti. Granica toga jest vodoravna širina snopa jer površina o koju trenutno ne udara radarski snop ne može ni dati jeku, odnosno ne utječe na jakost jeke. Međutim, zbog perzistencije radarskog zaslona i tromosti oka na njemu se stalno vidi panoramska slika obzora, ali ne svagdje istog intenziteta. Vertikalne dimenzije najvećeg broja navigacijskih objekata male su u usporedbi s vertikalnom širinom snopa navigacijskih radara, pa ona redovito ne utječe na intenzitet jeke, odnosno mrlje koja predstavlja objekt na zaslonu. U strmih i oblih objekata samo vertikalno projicirana površina, koja svojom dužinom leži unutar ekvivalentne vrijednosti trajanja impulsa, može dati jeku u bilo kojem trenutku.

Sl. 5.14. Križanje kurseva – inklinacija motrenog broda
A – brod motritelja; B – motreni brod;
 $i^\circ = 30^\circ$



Inklinacija objekta (aspect of target). Pod tim razumijemo položaj objekta prema osi radarskog snopa. Promjenom inklinacije (kursnog kuta) objekta (i°) stvarna površina refleksije mijenja se ovisno o obliku objekta. Što je kut između osi radarskog snopa i najveće površine refleksije bliži 90° , to je reflektirana jeka jača, a i njegova mrlja na zaslonu izrazitija (sl. 5.14.).

Oblik objekta (shape of target). O fizikalnim osobinama građe i veličine objekta ovisi količina reflektirane energije, a o njegovu obliku i hrapavosti njegove površine ovisi smjer refleksije. Zbog toga oblik objekta ima veći utjecaj na jačinu jeke nego veličina i građa objekta.

Objekti istih površina, ovisno o svom obliku, mogu dati jeke različite jačine. Ravna površina okomita na radarski snop, npr. bok čeličnog broda ili strma obalna stijena, daje vrlo jaku jeku. Naročito jaku jeku daju dvije glatke okomite površine koje stoje pod kutom od 90° (kutni reflektor), ako je simetrala tog kuta paralelna sa smjerom dolazećih valova. Ako se oblik objekta promijeni, takva će ravna površina reflektirati energiju u drugom smjeru, a ne prema radarskoj anteni; jeke registrirane na radarskom zaslonu kao mrlje bit će mnogo slabije. Konkavna (udubljena) površina objekta reflektira energiju u žiži i vraća radarski snop natrag u radarsku antenu, a konveksna (okruglasta) površina raspršuje ga na sve strane. Glatka konična površina ne reflektira dovoljno zračenu energiju prema anteni, nego samo ako su joj površine hrapave. Refleksija od objekata nepovoljnih oblika povećava se ako se postave kutni reflektori na tom objektu (npr. oko kule svjetionika i tornja, na brodici i sl.).

Stanje površine objekta (texture of target). Stupanj hrapavosti površine objekta utječe na smjer refleksije, a time i na jačinu jeke i sjajnost mrlje na radarskom zaslonu. Ona može na zaslonu promijeniti sjaj i oblik mrlje. Glatka građa nastoji pojačati refleksiju, a time i jeku. Međutim, ako izgled i oblik objekta nisu takvi da reflektiranu energiju usmjeravaju prema anteni, glatka površina velik dio energije reflektira u drugom smjeru, pa će radarska jeka biti slabija. Nasuprot tome, gruba površina razbija refleksiju i općenito pojačava jeku objekta. Refleksije će biti veće i usmjerenije što su najsitnije plohe hrapave površine manje od valne dužine radarskog snopa.

Građa objekta (composition of target). Sposobnost pojedinih tvari da reflektiraju radarske impulse ovisi o njihovoj električnoj provodljivosti. Rijetki su materijali koji potpuno upijaju radarsku energiju i poništavaju refleksiju. Za refleksiju veću važnost ima oblik objekta, pa se može dogoditi da i drveni objekt pogodna oblika daje bolju radarsku jeku od metalnog objekta neprikladna oblika. Objekti sastavljeni od materijala bolje električne provodljivosti obično daju i bolju jeku. Metal i voda objekti su s dobrom refleksijom. Led daje osrednju jeku, ali ona najviše ovisi o njegovu nadvodnom obliku. Refleksivne osobine zemljišta variraju ovisno o sastavu njegova pokrova, vrsti i količini vegetacije, o tome je li pjeskovito ili kamenito i dr. Brodovi od drva i stakloplastike (naročito ribarski brodovi, brodice za spašavanje, sportski plovni objekti i dr.) općenito su slabi reflektori, za razliku od željeznih brodova, pa se opremaju kutnim reflektorima.

Visina antene (high of antene). Od visine radarske antene ovisi udaljenost radarskog obzora, a time i najveća daljina otkrivanja objekata. Osim toga, veća visina antene smanjuje negativan utjecaj refleksije radarskih valova od morske površine (*clutter*), čime se povećava domet i bolje otkrivaju manji objekti.

Osjetljivost prijammika (receiver sensitivity). Osjetljiviji prijammici omogućuju otkrivanje objekata na većim udaljenostima, ali osjetljiviji su i na smetnje koje se na zaslonu javljaju od nepoželjnih odraza. To se regulira tipkom koja mijenja jačinu pojačala radara (*gain*). Intenzitet mrlje valja podešavati kombinacijom tipki za reguliranje jakosti osvjetljenja zaslona (*brilliance*).

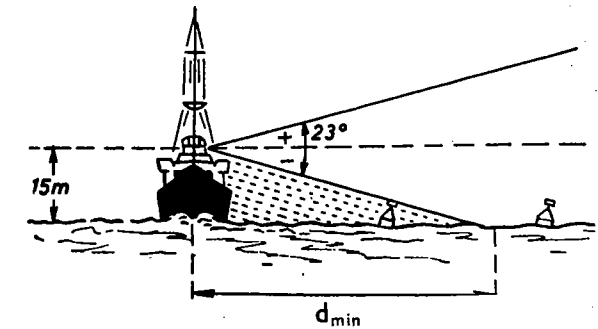
Brzina okretanja antene (antene rotation rate). Manja brzina okretanja antene omogućuje da se sigurnije otkrivaju manji objekti i objekti na većoj daljini, ali u radara s panoramskom slikom valja uzeti u obzir i persisterenciju zaslona. Veća brzina obrtaja antene ima obrnute posljedice, što je osobito važno za male objekte.

5.2.8. Najmanja radarska udaljenost. To je najmanja moguća daljina na kojoj se neki objekt može otkriti i pokazati na radarskom zaslonu. Osim činitelja koji utječu i na daljinsko razlikovanje objekata (t. 5.2.10), za navigaciju su posebice značajni visina radarske antene i dužina radarskih impulsa.

Vertikalna širina radarskog snopa i visina antene (vertical beam width, high of antene). Zbog nadmorske visine antene i stožastog oblika radarskog snopa, mali objekti blizu broda mogu ostati u sjeni (mrtvom kutu) radarskog snopa i ne pokazati se na radarskom zaslonu (sl. 5.15.). To je naročito važno pri plovidbi u uskim područjima, gdje je plovni put označen posebnim oznakama, pri manevriranju u luci i uskim prostorima

uopće. Taj se nedostatak na većim brodovima otklanja uporabom televizije ili manjim radarom čija se antena nalazi na pramcu broda.

Sl. 5.15. Najmanja radarska udaljenost (d_{\min})



Dužina impulsa (pulse length). To je glavni činitelj o kojem ovisi mjerenje najmanje udaljenosti. To je pak udaljenost jednaka putu koji prevali radarski impuls za polovinu svog trajanja ($150 \text{ m}/\mu\text{s}$). Za što povoljniju najmanju udaljenost potrebno je da dužina impulsa bude što kraća.

Refleksija od morske površine (sea return). Refleksija od mora ili jeke primljene od valovite površine mogu prouzročiti smetnje i zasjeniti radarsku sliku unutar i izvan najmanjeg mjernog područja, koje ovisi o dužini impulsa i impulsne frekvencije.

Vjetar izaziva živo more koje reflektira dio radarskog snopa i stvara štetne radarske odraze u obliku točkastih mrlja koje se, naročito u mjernom području 2,5 do 3,0 M, javljaju na zaslonu kao "odraz mora" (*sea return*). Odrazi su redovito jači i gušći u smjeru vjetra, odnosno valova (valna fronta uzrokuje jaču jeku) i prema sredini zaslona (bliži valovi uzrokuju jaču jeku). Oni mogu biti tako jaki da potpuno prekriju jeke manjih plovni objekata i običnih plutača. Posebno su opasni odrazi manjih, ali gustih valova (npr. za bure). Posebnim tipkama, koje slabe primanje u ograničenom prostoru oko broda (*anti-clutter sea* ili *clutter*), slabi se jakost prijama, a time smanjuju i takvi štetni odrazi. Valja paziti da se prijam previše ne oslabi, jer nestankom smetnja mogu sa zaslona nestati i jeke manjih, ali važnih objekata, osobito onih sa strane pramca, a koji bi se normalno vidjeli na radarskom zaslonu. Istom se tipkom smanjuju i smetnje zbog prevelikog pojačanja (*gain*) i zbog bočnih lepeza, a također i smetnja zbog bliskih odraza pri plovidbi uz obalu, u luci, rijekom, kanalima i sl.

Jeke bočnih snopova (side-lobe echoes). Obrtanjem radarske antene sinkrono se okreće glavni radarski snop i sporedni bočni snopovi (privjesci) koji nastaju rasipanjem radarskog snopa pri napuštanju antene, pa zračena energija od tih snopova udara u bliske objekte. Redovito se javlja lepeza od dvaju bočnih lažnih snopova sa svake strane glavnog snopa, ali najjači je par od simetrale udaljen približno 10° . Objekti otkriveni od bočnih snopova zovu se *bočne jeke* (odrazi). Ta se štetna pojava smanjuje reguliranjem pojačanja (*gain*) i smanjenjem bliskih smetnja (*clutter*). Kad se kopno ili prostrani objekt nalaze blizu broda, njihove lažne jeke mogu zasjeniti radarski zaslon i spriječiti da se otkriju bliski objekti.

Budući da bočne jeke izazivaju nekoliko snopova u širem sektoru, one se često prikazuju u obliku polukruga.

Udaljenost do koje se mogu pojaviti bočne jeke redovito ne prelazi 2 M, pa one dopunjene smetnjama zbog refleksije mora (*sea clutter*) još više otežavaju razlikovanje bliskih objekata.

U suvremenih radara, posebice u onih s valovodnom antenom, takve jeke nisu osobito značajne.

5.2.9. Točnost radarske udaljenosti. Udaljenost izmjerena radarom ovisi o točnosti mjerenja intervala između trenutka odašiljanja impulsa i trenutka primitka jeke. Navode se važniji čimbenici o kojima ovisi točnost izmjerene udaljenosti:

Stalna pogreška (fixed error). Ta pogreška nastaje ako vremenska baza starta prije nego radarski impuls napusti antenu, kao posljedica izravnog prijama impulsa, a ne preko antene. Zbog toga su pokazane udaljenosti veće od njihovih pravih vrijednosti. Da bi se otklonile te pogreške rabi se poseban uređaj (*trigger delay circuit*) kojim se postiže kasniji prijam impulsa u radarskom prijammiku.

Mrežni napon (main voltage). Točnost mjerenja udaljenosti ovisi o postojanosti napona kojim se napaja radar. Pri trenutačnom padu napona netočnosti mjerenja su priremene.

Nestabilnost frekvencije markera daljine (frequency drift). Pogreške u udaljenosti mogu biti i posljedica malih promjena u frekvenciji oscilatora koji vremensku bazu dijeli na manje daljinske dijelove. Ta se pogreška može smanjiti ako se postave precizni radarski oscilatori u kućišta s konstantnom temperaturom.

Kalibracija (calibration). Udaljenost od radarskog objekta mjeri se vrlo točno na radarskom zaslonu kad prednji rub njegove oštre mrlje (*pip*) dotakne daljinsku kružnicu (*calibration ring*). Točnost mjerenja odnosi se na najveću udaljenost izabranog mjernog područja (*range scale*). Nastala pogreška zove se *pogreška kalibracije*.

Reprezentativna najveća pogreška pri mjerenju sa stalnim daljinskim kružnicama iznosi približno 1,5% najveće udaljenosti mjernog područja plus pogreška kalibracije daljinskih kružnica.

Pogreška u procjeni udaljenosti do objekta čija se mrlja na zaslonu nalazi između stalnih kružnica iznosi 2% do 3% najveće udaljenosti mjernog područja plus pogreška kalibracije daljinskih kružnica.

Radarski zaslon (ekran) ima promjenjivu mjernu daljinsku kružnicu (*variable range marker-ring - VRM*). Pri takvu mjerenju pogreška može iznositi do 2,5% od najveće udaljenosti izabranog mjernog područja. Ako je mjerno područje 10 M, pogreška iznosi približno 0,25 M.

Veličina pogreške u udaljenosti mjerenoj s promjenjivom kružnicom ovisi uglavnom o sposobnosti mjeritelja da poravna mjernu kružnicu s prednjim (čelnim) rubom mrlje. Na većim mjernim područjima poravnanje je teže jer male promjene u očitavanju na ljestvici daljine nisu adekvatne promjenama mjerne kružnice na zaslonu.

Ljestvica mjernog područja (range scale). Uporaba ljestvice većeg mjernog područja (sitnije mjerilo) smanjuje točnost mjerenja (s obje vrste daljinskih kružnica). To je posljedica veće pogreške kalibracije i težeg poravnanja promjenljive kružnice s mrljom objekta.

Ispupčenost zaslona (PPI curvature). Zbog zaobljenosti plohe zaslona katodne cijevi točnost mjerenja udaljenosti manja je što je mrlja objekta bliža obodnici radarskog zaslona (ekrana).

Prikaz slika na zaslonu (radarscope interpretation). Relativno velike pogreške u daljini mogu biti posljedica netočne analize slike kopna na radarskom zaslonu. Teškoće u analizi radarske slike mogu se smanjiti uporabom radarske karte (panorame) ili pak analizom reljefa prikazanog na karti izohipsama.

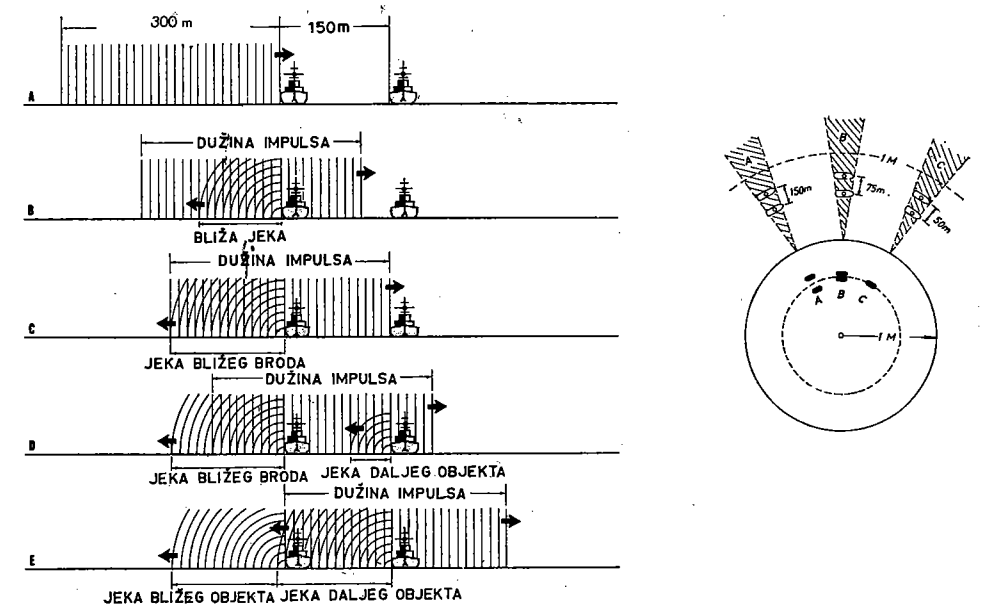
Da bi se slika valjano prikazivala na zaslonu, osnovno je da radar bude pravilno

podešen (tipke i preklopke u položajima koji najbolje odgovaraju situaciji). Ako je pojačanje prijammika (*gain*) preslabo, topografija na obalnoj crti ili blizu nje, koja bi na zaslonu normalno reflektirala jeke pri većem pojačanju prijammika, neće se pojaviti kao slika kopna. Ako je pojačanje prejako, slika kopna bit će na zaslonu "rascvjetana" i obalna crta učinit će se bližom nego što uistinu jest. Dobro izoštravanje slike prijeko je potrebno da bi se na zaslonu dobila jasna slika kopna.

Zbog različitih uzroka koji izazivaju pogreške pri mjerenju udaljenosti navigacijskim radarom, u najboljim uvjetima ne može se očekivati bolja točnost mjerenja daljine od ± 50 m.

5.2.10. Razlikovanje udaljenosti. Razlikovanje udaljenosti (*range resolution*) pokazuje mogućnost radara da na zaslonu pokaže odvojenim mrljama jeke dvaju objekata koji se nalaze jedan blizu drugog i u istom azimutu.

Glavni činitelji o kojima ovisi razlikovanje udaljenosti na radarskom zaslonu jesu: dužina trajanja impulsa, stupanj pojačanja radara, veličina mrlje na zaslonu (*spot size*) i ljestvica izabranog mjernog područja. Za visoko razlikovanje daljine potrebno je: impulsi što kraći, slabije (nisko) pojačanje prijammika i što krupnija ljestvica mjernog područja.



Sl. 5.16. Razlikovanje udaljenosti na radarskom zaslonu ovisno o trajanju odašlanog impulsa.

Dužina impulsa (pulse length). Dva objekta na istom azimutu, jedan blizu drugoga, ne mogu se vidjeti odvojeno na radarskom zaslonu ako u prirodi nisu razmaknuti više od udaljenosti koja odgovara polovici trajanja impulsa (npr. za impulsa od 1 μ s radiovalovi prevale 300 m, a razmak među objektima mora biti veći od 150 m). Općenito za svakih 0,5 μ s dužine impulsa, za razlikovanje udaljenosti potrebno je da razmak među objektima bude najmanje 75 m. Što je trajanje impulsa kraće, to je i razlikovanje daljine bolje (sl. 5.16.).

Podešavanje prijma (receiver gain). Često se može dogoditi da se dva odvojena

objekta na istom azimutu prikažu kao jedan. Razlikovanje daljine katkad se može poboljšati ako se smanji pojačanje prijavnika (*receiver gain control*).

Veličina svijetle mrlje (CRT spot size). Zbog nemogućnosti fokusiranja radarske slike u jednu točku, javlja se povećana površina svijetle mrlje, pa razmak među objektima mora biti veći od teorijski najmanjega razmaka. Povećanja dužine i širine svijetle mrlje (*pip, echo image*) ovise o veličini zaslona i ljestvice izabranog mjernog područja.

Ljestvica mjernog područja (rang scale). Mrlja dvaju objekata razdvojena na nekoliko stotina metara može se na zaslonu stopiti u jednu ako se rabi neka od ljestvica većeg mjernog područja. Međutim, ako se uzme ljestvica nižeg mjernog područja i točno podesi jakost prijama (*gain*), objekti se mogu pokazati odvojeno.

5.2.11. Pouzdanost radarskog azimuta. Glavni činitelji o kojima ovisi pouzdanost azimuta jesu:

Vodoravna širina snopa (horizontal beam width). Točnost mjerenja azimuta bolja je što je vodoravna širina snopa uža. Nekoliko objekata jedan blizu drugoga na zaslonu mogu dati samo jednu zajedničku mrlju, čime se sprečava mjerenje azimuta jednoga od tih objekata. Stvarna se širina snopa može smanjiti ako oslabi jačina prijama. Time se smanjuje osjetljivost prijavnika kao i daljina otkrivanja, ali se dobiva bolja točnost azimuta.

Veličina radarskog objekta (target size). Za specifičnu širinu snopa mjerenje azimuta od malih objekata pouzdanije je nego od većih. Središta manjih mrlja na zaslonu mogu se točnije identificirati.

Brzina gibanja motrenog objekta (target rate of movement). Najtočnije se mjeri azimut nepomičnog objekta. Što je brzina motrenog objekta veća, to je točnost mjerenja azimuta slabija.

Stabilizacija radarske slike (stabilisation of display). Stabilizirana slika na zaslonu daje pouzdaniji azimut od nestabilizirane jer trenutačno odstupanje broda od naredenog kursa ne utječe na točnost azimuta.

Pogreška u centriranju vremenske osnovice (sweep centering error). Ako početak vremenske osnovice nije točno centriran, izmjereni azimut bit će pogrešan. Pogreška je u azimutu veća što je mrlja objekta bliža središtu zaslona. Ona se smanjuje ako se promijeni ljestvica mjernog područja tako da mrlja objekta na zaslonu bude bliža njegovoj obodnici.

Paralaktična pogreška (parallax error). Nepravilna uporaba mehaničkog smjeralara (*bearing cursor*) uzrokuje pogrešku u azimutu. Pri postavljanju smjeralara (kursor ploče) na sredinu svijetle mrlje, crtu smjeralara (kursor ploče) valja gledati točno sprijeda, a ne sa strane. Elektronsko smjeralo (*electronic bearing cursor*) upotrijebljeno na stabiliziranoj radarskoj slici daje mnogo točniji azimut jer nije podvrgnut utjecaju paralaktičke pogreške ni pogreške centriranja vremenske osnovice.

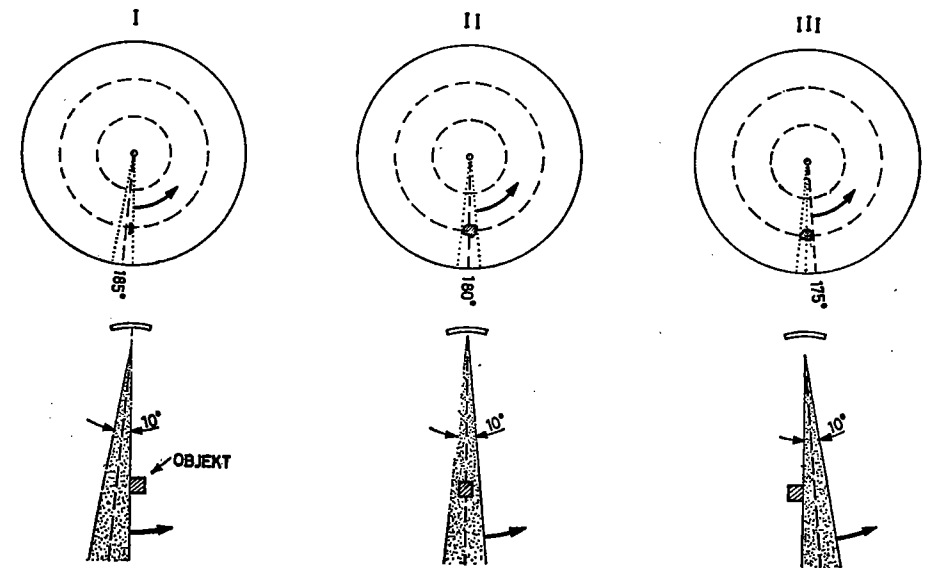
Smjer pramčanice (heading flash alignment). Za točno mjerenje azimuta položaj pramčanice na zaslonu mora se poklapati s vrijednosti kursa, tj. mora biti takav da izmjereni radarski azimut odgovara optičkomu (izmjerenom s mjesta blizu antene).

5.2.12. Razlikovanje azimuta. Razlikovanje u azimutu (*bearing resolution*) omogućuje da se na radarskom zaslonu s odvojenim mrljama pokažu položaji dvaju objekata koji se nalaze jedan blizu drugog na istoj kružnici udaljenosti. To ponajviše ovisi o vodoravnoj širini radarskog snopa, o udaljenosti među objektima, o udaljenosti mrlja objekata od središta zaslona i o veličini mrlja objekata na zaslonu (*CRT spot size*).

Vodoravna širina radarskog snopa (horizontal beam width). Budući da se radar-

ski snop okreće vodoravno, mrlja nekog objekta pojaviti će se na zaslonu svaki put kad prednja strana (čeonni rub) snopa udari o objekt. Osvjetljavanje objekta, tj. slikanje mrlje na zaslonu, trajat će dok stražnja strana (začelni rub) snopa ne napusti objekt. Zbog toga je svijetla mrlja na zaslonu po širini (dužini) kutno izobličena za stvarnu vrijednost širine snopa, tj. mrlja je na zaslonu uvijek proširena, odnosno ne može biti uža (kraća) od širine snopa.

Sl. 5.17. prikazuje radarski objekt pod pravim (optičkim) azimutom od 180° . Ako je širina snopa npr. 10° , naslikana mrlja na zaslonu bit će izdužena od 175° do 185° . Lijevojih 5° i desnih 5° na zaslonu osvijetljeni su prije, odnosno poslije, nego što je simetrala snopa bila usmjerena na objekt. Azimut se mora očitavati na sredini mrlje.

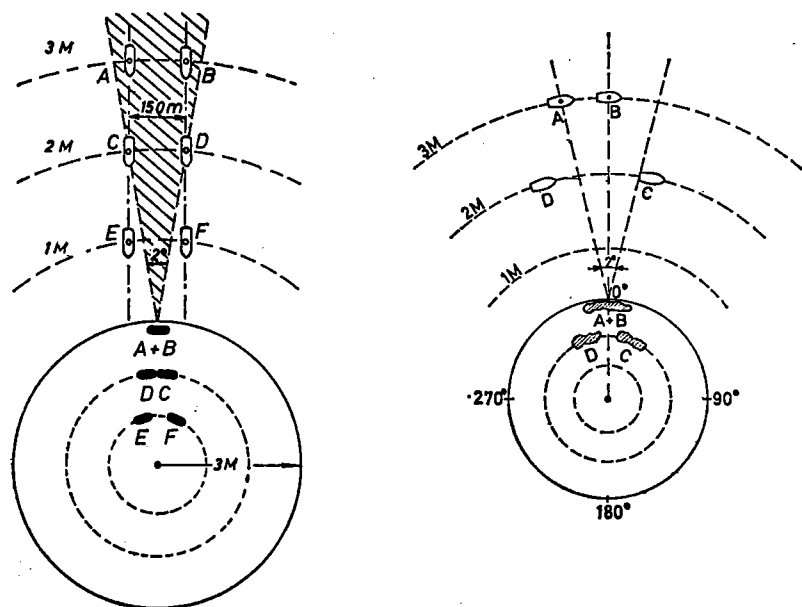


Sl. 5.17. Kutno izobličenje mrlje objekta na zaslonu zbog širine radarskog snopa
I – snop širine 10° počinje stvarati mrlju 5° prije nego što se simetrala antene (snopa) usmjerila na objekt; II – mrlja postaje duža - simetrala snopa je na sredini objekta ($\omega = 180^\circ$); III – simetrala snopa je prošla objekt za 5° - dužina mrlje je jednaka širini snopa + širina objekta

Razmak objekata (range of targets). Uzmimo standardnu širinu snopa od 2° . Opažamo bočno objekt dužine 122 m (400 stopa) pod azimutom 90° , a udaljen 10 M; njegova stvarna kutna širina iznositi će $0,4^\circ$. On će na zaslonu biti prikazan između azimuta $88,8^\circ$ i $91,2^\circ$, odnosno u luku $2,4^\circ$. Drugi objekt širine 274 m (900 stopa) na istom azimutu i udaljenosti bit će između azimuta $88,6^\circ$ i $91,4^\circ$, odnosno u širini $2,8^\circ$, dok je njegova stvarna kutna širina $0,8^\circ$. Dakle, nije pouzdano procjenjivati veličinu objekata na osnovi kutne širine njegove mrlje na zaslonu.

Budući da je mrlja objekta prikazana na radarskom zaslonu kutno izdužena za vrijednost širine snopa, dva će se objekta na zaslonu prikazati odvojeno samo onda ako je razmak među njima veći od vodoravne širine radarskog snopa na zadanoj udaljenosti. Znači, razlikovanje azimuta za određeni razmak dvaju objekata ovisi isključivo o udaljenosti objekata od broda (sl. 5.18.). Za kutnu širinu snopa 2° objekti udaljeni 10 M moraju biti razmaknuti najmanje 0,35 M (3,5 kabela), na udaljenosti od 5 M najmanje 0,175 M (1,75 kabela), a na 2 M više od 150 m. Slika 5.18. (desno) prikazuje situaciju

na zaslonu primljenu motrenjem četiriju objekata. U azimutu 0° vidi se samo jedna mrlja zbog malog razmak objekta A i B. Brodovi C i D vide se odvojeno jer su razmaknuti više od širine snopa.



Sl. 5.18. Razlikovanje dvaju objekata u azimutu za širinu radarskog snopa 2°

Budući da razlikovanje azimuta primarno ovisi o vodoravnoj širini radarskog snopa, radar s užim snopom omogućuje bolje razlikovanje, odnosno točnije mjerenje azimuta.

Površina svijetle mrlje (CRT spot size). Budući da se svijetla mrlja na zaslonu ne može fokusirati u jednu točku, da bi se dvije mrlje na zaslonu pokazale odvojeno potrebno je da razmak među objektima bude veći od teorijski najmanjega. Povećanje širine (dužine) mrlje mijenja se ovisno o promjeru katodne cijevi i ljestvice izabranog mjernog područja.

5.3. Radarska slika

5.3.1. Opća podjela. Ovisno o orijentaciji radarske slike, navigacijski radari dijele se na *radare s relativnom slikom (relative motion display)* i *radare s pravom slikom (true motion display)*. Posebna je vrsta radara koji s odgovarajućim oznakama na radarskoj slici označuju brodove neposredno opasne za sudar, tzv. *zaslon s protusudar-nom slikom (anti-collision display)*.

Svaka od tih slika može biti *stabilizirana (stabilised picture)* ili *nestabilizirana (unstabilised picture)*. Slika je stabilizirana ako je ona orijentirana prema meridijanu, odnosno prema sjeveru. Nestabilizirana slika orijentirana je u smjeru pramčana dijela uzdužnice broda (pramčanice), i na takvoj se slici ne može neposredno očitavati kurs ni azimut.

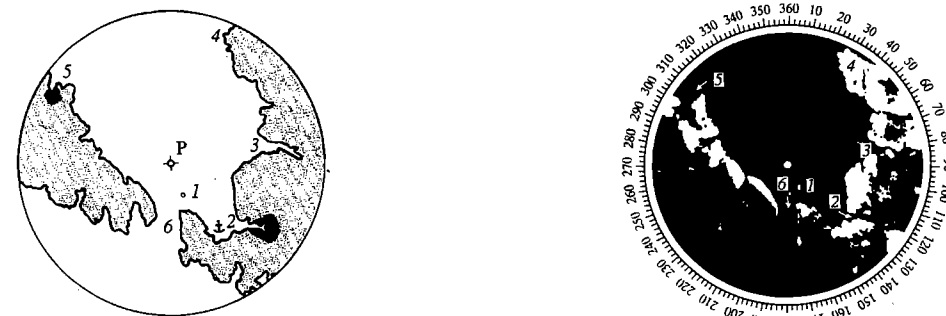
5.3.2. Relativna radarska slika. Na zaslonu su prikazani brodovi i objekti unutar radarskog obzora u njihovu međusobnom odnosu, tj. u relativnom gibanju, kako ih

motritelj vidi sa zapovjedničkog mosta. To je u pogledu orijentacije najjednostavniji panoramski prikaz radarske slike.

U radara s prikazom relativne slike vlastiti se brod uvijek zamišlja u središtu zaslona katodne cijevi, pa se pramčani kutovi, odnosno azimuti i udaljenosti objekata mjere od središta kao početne točke. Pri gibanju vlastitog broda i gibanju motrenog broda uzastopni položaji mrlja motrenog broda na radarskom zaslonu ne pokazuju njegovo pravo gibanje. Put mrlje (njegove jeke) po zaslonu je rezultanta poznatog puta (kursa i brzine) vlastitog broda i nepoznatog puta (kursa i brzine) motrenog broda. Tako dobivena rezultanta u trokutu vektora daje relativni kurs i relativnu brzinu gibanja, pa se takvo gibanje naziva *relativnim*. Stoga se ne može bez posebnog grafičkog rješenja, neposredno na videozaslonu radarskog pokazivača ili na radarskom dijagramu, odnosno ploteru, odrediti ni pravi kurs ni prava brzina motrenog nepoznatog broda (objekta).

Pri motrenju nepomičnog objekta njegova se mrlja na radarskom zaslonu prividno giba brzinom vlastitog broda, ali u smjeru suprotnom kursu vlastitog broda. Izmjereni su azimuti i udaljenosti nepomičnih objekata uvijek pravi. Ako je vlastiti brod nepomičan, na radarskom zaslonu mrlje motrenog objekta gibaju se u skladu s pravim gibanjem tog objekta, pa su i tada izmjereni azimuti i udaljenosti pravi. Općenito se može reći, kad god je jedan od objekata (vlastiti brod ili motreni objekt) nepomičan, izmjereni azimuti i udaljenosti uvijek su pravi.

U radara s relativnom nestabiliziranom slikom (unstabilized, ship's head up display), položaj vremenske osnovice na zaslonu pokazivača sinkroniziran je s obrtanjem radarske antene. Elektronska pramčanica stalno pokazuje 0° podjele za pramčane kutove pa se pri promjeni kursa orijentacija slike relativno mijenja, tj. zakreće u smjeru suprotnom od skretanja broda. U njoj su koordinate pramčani kut i udaljenost; azimut se izračunava prema obrascu: $\omega = K + L$. Ako bi radarski zaslon imao zakretni prsten sa stupanjskom podjelom od 0° do 360° , koji se zakrene tako da vrijednost kursa bude u smjeru pramčanice, umjesto pramčanog kuta mogu se neposredno očitavati azimuti.



Sl. 5.19. Radarski zaslon s relativnom panoramskom slikom

1 - otočić Mrdulja; 2 - luka Milna; 3 - uvala Bobovišća; 4 - rt Gomilica; 5 - lučica Stomorska; 6 - Splitska vrata; P - pozicija vlastitog broda

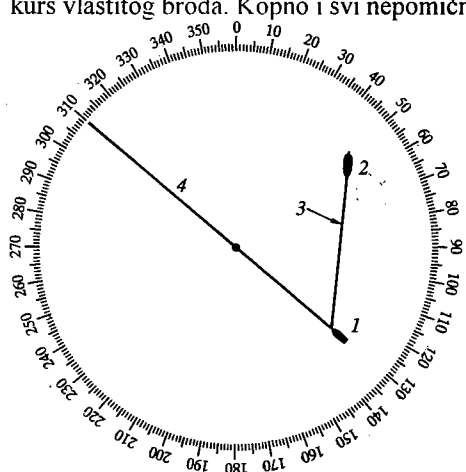
U radara s relativnom stabiliziranom slikom (stabilized; north up display) radarska je slika u spoju s girokompasom (načelo girokompasnog ponavljača), 0° kompasne vjetrulje oko katodnog zaslona cijevi stalno je usmjerena prema sjeveru (meridijanu). Na slici su koordinate girokompasni azimut i udaljenost. Pramčanica (*heading flash*) uvijek je sinkronizirana s uzdužnicom broda i pokazuje girokompasni kurs. Kad se jednom ona dovede u određeni kurs, dalje će stalno slijediti svaku promjenu girokompasa.

Nepomični objekti za vrijeme okretanja broda na zaslonu zadržavaju svoj položaj, što omogućuje i kormilarenje prema radaru.

Pri plovidbi brodom u kusevima od 90° do 270° pramčanica na zaslonu ima smjer prema dolje. To katkad čini poteškoće u orijentaciji slike prema pramcu broda. Na nekim se radarima taj problem rješava pokazivanjem slike na oba načina. To se postiže zakretanjem katodne cijevi za vrijednost promjene kursa vlastitog broda i tako se stalno 0° azimutne podjele usmjeruje prema gore (naprijed). Takva se slika naziva *dvostruko stabilizirana slika (doubly stabilized display)*.

Ako radarski pokazivač nema azimutnu stabilizaciju, azimut se određuje sličnim postupkom kao i u radiogoniometra, tj. na temelju pramčanih kutova ($\omega = K \pm L$).

5.3.3. Prava radarska slika. Slična je situaciji kakvu navigator vidi na navigacijskoj karti u dijelu koji pokriva domet radara. Svijetla točka koja predstavlja vlastiti brod i mrlja koja predstavlja motreni brod gibaju se po zaslonu pravim kusem i razmjerno pravom brzinom. Azimuti se mogu neposredno očitavati, a pramčanica pokazuje kurs vlastitog broda. Kopno i svi nepomični objekti miruju.



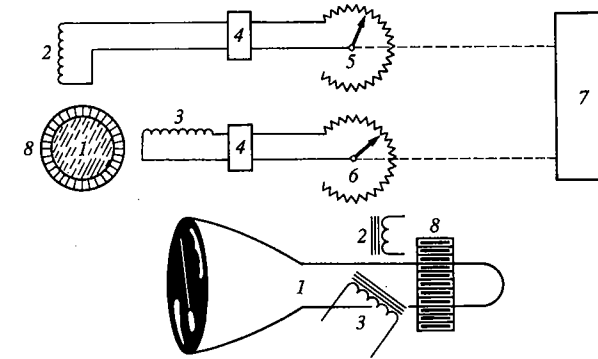
Sl. 5.20. Radarski zaslon s pravom slikom

- 1 – vlastiti brod;
- 2 – mrlja drugog broda s repićem;
- 3 – elektronsko smjeralo (*interscan*);
- 4 – pramčanica ($K=310^\circ$)

Prava radarska slika (*true motion display*) redovito je stabilizirana, tj. orijentirana prema meridijanu (*stabilized north-up ward display*). Na radarskom zaslonu vlastiti se brod ne zamišlja u središtu zaslona, nego se njegova mrlja giba stvarnim kusem i stvarnom brzinom kao i u prostoru, tj. u odnosu prema kopnu. Isto se tako i mrlje ostalih pomičnih objekata na zaslonu gibaju odgovarajućim pravim kusevima i brzinama, koje odgovaraju ljestvici mjernog područja. Put broda u prostoru se ne može prenositi neposredno na radarski zaslon i stoga se on rastavlja na dvije komponente: N-S i E-W.

U radara s pravom slikom, za razliku od radara s relativnom slikom, gibanje svijetle mrlje koja označuje neki plovni objekt na radarskom zaslonu obavljaju dvije dodatne zavojnice na grlu katodne cijevi postavljene pod kutom 90° (sl.5.21.). Skretanje elektronskog snopa (mrlje) ovisi o smjeru struje koja teče ovim zavojnicama. Jednom se zavojnicom elektronski snop (mrlja) otklanja u smjeru N-S, a drugom u smjeru E-W. Veličina otklona svijetle mrlje koja pokazuje vlastiti brod i početak vremenske osnovice ovisi o jačini struje kroz zavojnice. Jača struja (jače magnetno polje) stvara jači otklon svijetle mrlje iz središta zaslona, a slabija manji otklon. Ako struja teče kroz obje zavojnice, nastat će dva magnetna polja i svijetla će se mrlja pomaknuti u rezultanti djelovanja obaju magnetnih polja. Različita jačina struje (magnetnog polja) u pojedinim

zavojnicama izaziva se potencimetrima, i to jednim za N-S, a drugim za E-W zavojnicu. Potencimetre pokreće poseban dodatak, tzv. komponentni rastavljač prevanjenog puta, kojemu je zadatak da razmjerno s gibanjem broda u prostoru prenosi gibanje mrlje na zaslonu. Gibanje broda u prostoru određeno je vektorom čiji su elementi smjer (kurs) i brzina broda. Kurs broda prenosi se s kompasnog ponavljača, a brzina s brzinomjera. Ako nastane kvar na tim instrumentima ili ako njih brod nema, postoje posebni simulatori kursa i brzina na kojima se ti podaci postavljaju ručno.



Sl. 5.21. Sustav katodne cijevi za prikaz prave slike

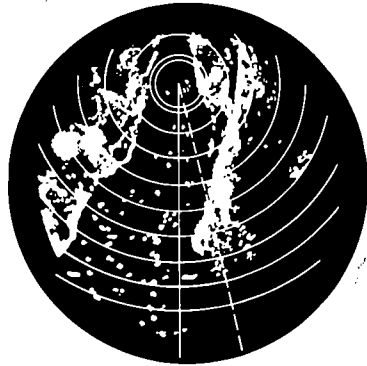
- 1 - katodna cijev; 2 - N-S zavojnica; 3 - E-W zavojnica; 4 - postavljač kursa i brzine;
- 5 - N-S potencijetar; 6 - E-W potencijetar; 7 - komponentni rastavljač;
- 8 - obrtna otklonska zavojnica

Svaki *pokretni objekt*, zbog persistencije svijetlećeg sloja na zaslonu, pri manjim udaljenostima i većim brzinama dobiva po krmu svoje radarske mrlje svijetli trag, tzv. *repić (comet)*. Smjer repića označuje smjer kursne crte, a dužina mu je razmjerna brzini broda. Kurs pomičnog objekta procjenjuje se tako da se smjer gibanja (raspolovnica repića) prenese na središte zaslona i na stupanjskoj podjeli pročita njegova vrijednost. Brzina se tog objekta određuje na osnovi njegova prevanjenog puta na zaslonu i protekla vremena, a može se procijeniti i po odnosu dužine njegova repića prema dužini repića vlastitog broda, čija je brzina poznata. Nije potrebno ucrtavati "trokut vektora" ili tražiti posebna grafička rješenja, kao prilikom relativne slike.

Nepomičnim su objektima u prostoru i mrlje na zaslonu nepomične, a brzina približavanja tim objektima (mrljama) jednaka je brzini gibanja vlastitog broda; ti objekti za sobom na zaslonu ne ostavljaju nikakav repić.

Udaljenost od vlastitog broda do nepoznatog objekta određena je na zaslonu polumjerom ekscentrične kružnice koja prolazi kroz mrlju tog objekta, a kojoj je središte mrlja vlastitog broda. Budući da se vlastiti brod ne nalazi u središtu zaslona, daljinske su kružnice ekscentrične s obzirom na obod radarskog videozaslona.

Radari s pokazivanjem prave slike mogu se uporabiti i kao radari s pokazivanjem relativne slike. Dapače, na udaljenostima većim od 12 M, odnosno 14 M, oni redovito rade samo kao radari s relativnim pokazivanjem. Vremenska se osnovica može pomaknuti iz središta zaslona i time povećati prostor motrenja ispred premca. Takva *ekscen-trična radarska slika* omogućuje uporabu krupnije ljestvice mjernog područja, čime se relativno gibanje okolnih objekata prikazuje mnogo jasnije (sl. 5.22.).



Sl. 5.22. Ekscentrična radarska slika Ušća Themse za mjerno područje 6 M (stalne daljinske kružnice, crta pramčanica i elektronsko smjeralo)

Prava radarska slika može biti stabilizirana i prema pramcu (*true motion head up*) i tada se pramčanica uvijek nalazi u uspravnom položaju.

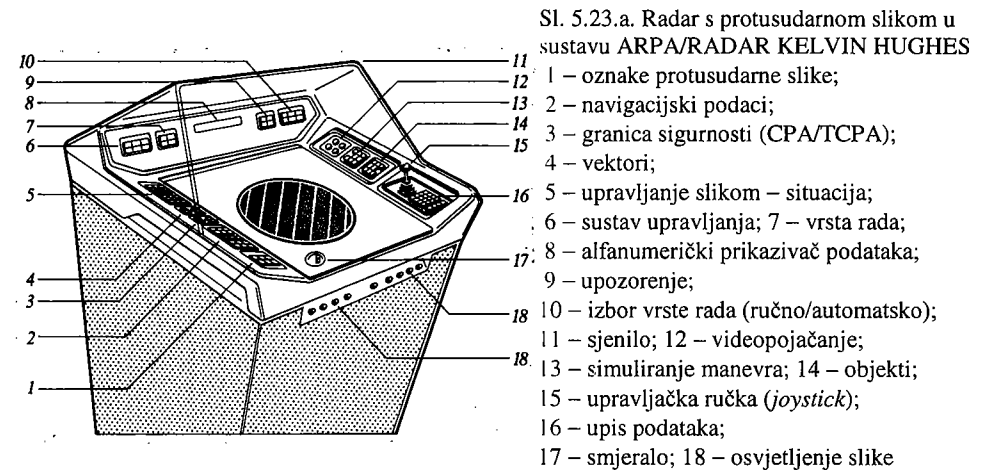
Posebnim dotjerivanjem na pokazivaču radara slika se može stabilizirati tako da pokaže gibanje vlastitog broda i drugih brodova (objekata) preko dna (*ground-stabilised display*) ili kroz vodu (*sea-stabilised display*).

Ako je radarska slika stabilizirana za gibanje preko dna, gibanje mrlje vlastitog broda i ostalih brodova na zaslonu pokazat će kurseve i brzine preko dna. Takva stabilizacija slike bolje odgovara pri plovidbi u obalnom području i na rijekama. Pri tome valja imati na umu da su to samo približne vrijednosti. Različiti utjecaji morske struje, vjetera i drugih vanjskih čimbenika čine da stabilizacija slike preko dna ne traje dugo pa je povremeno valja dotjerivati.

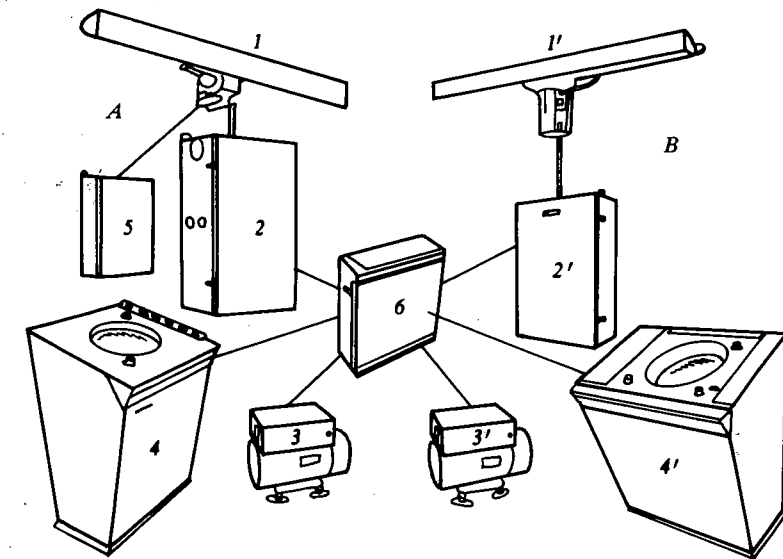
U radara za izbjegavanje sudara na moru prikladnija je stabilizacija slike za gibanje kroz vodu jer se pretpostavlja da vlastiti brod i drugi brodovi plove pod jednakim učinkom struje, odnosno vjetera.

Protusudarna radarska slika. Redovito je to u navigacijskog radara s panoramskom radarskom slikom stabiliziranom prema sjeveru, koji može automatski rješavati probleme izbjegavanja sudara na moru. (*Automatic Radar Plotting Aid - ARPA*). Rjeđi su stariji tipovi koji imaju izdvojen pokazivač samo s protusudarnom slikom (*Anticollision Radar*). Automatskim radarskim praćenjem neprekidno se mjere i računaju parametri na osnovi kojih se određuje pozicija, kurs i brzina brodova u okolici. Pri praćenju jednog broda radarska je antena stalno okrenuta prema odabranom brodu ili skanira oko njega. Rađar za praćenje više objekata ima stalno okretljive antene. Elektroničko računalo memorira pozicije svakoga opaženog broda i na temelju niza mjerenja automatski računa parametre (vektore) njegova gibanja i parametre gibanja vlastita broda (kurs i brzina). Broj praćenih objekata ovisi o kapacitetu računala (redovito 10 - 40). Na zaslonu radarskog pokazivača generiraju se određene sintetske oznake i simboli, koji grafički oslikavaju vrijednosti odnosnih parametara. Temelj su za analizu situacije i za eventualni izbor manevra za izbjegavanje sudara. Na ploči radarskog pokazivača nalazi se ručica (tipka) kojom se dovode oznake na odraz (mrlju) broda od kojega se traže podaci te tipkovnica za uvođenje potrebnih podataka odnosno traženje ispisa izračunatih podataka. Kurs i brzina vlastita broda redovito se automatski unose s brzinomjera i girokompasa. Poseban uređaj automatski daje optičke i zvučne signale upozorenja čim se neki brod približi na opasnu udaljenost, prijeđe tzv. *stražarsku (graničnu) kružnicu* (najbliža 4 M, prethodne do 25 M).

U radara dvojnog sustava (*dual system*) jedan od prijamnika redovito ima radarski zaslon s protusudarnom slikom ili ARPA jedinicu. Vrsta rada odabire se posebnom preklopkom.



Sl. 5.23.a. Radar s protusudarnom slikom u sustavu ARPA/RADAR KELVIN HUGHES
 1 - oznake protusudarne slike;
 2 - navigacijski podaci;
 3 - granica sigurnosti (CPA/TCPA);
 4 - vektori;
 5 - upravljanje slikom - situacija;
 6 - sustav upravljanja; 7 - vrsta rada;
 8 - alfanumerički prikazivač podataka;
 9 - upozorenje;
 10 - izbor vrste rada (ručno/automatsko);
 11 - sjenilo; 12 - videopojačanje;
 13 - simuliranje manevra; 14 - objekti;
 15 - upravljačka ručka (*joystick*);
 16 - upis podataka;
 17 - smjeralo; 18 - osvjtljenje slike



Sl. 5.23.b. Dvojni radarski sustav Kelvin Hughes
 A - sustav valne dužine 10 cm: 1 - antena; 2 - primodašiljač (snaga 25 kW); 3 - motor alternator; 4 - radarski zaslon (relativna slika); 5 - antenska spojna kutija; 6 - prekloпка sustava dvojno/pojedinačno; B - podsustav valne dužine 3 cm: 1 - antena; 2 - primodašiljač; 3 - motor alternator; 4 - radar (prava/protusudarna slika)

5.4. Analiza radarske slike

5.4.1. Opća načela. Nije teško na slici identificirati osamljeni radarski objekt koji ima dobre reflektivne osobine. Međutim, pri motrenju obale bez izrazitih radarskih

objekata orijentacija neće biti sigurna ako analiza radarske slike nije stručna. Glavni je problem utvrditi koji objekti blizu obalne crte reflektiraju pojedine jeke koje se na zaslonu pokazuju kao svijetle mrlje. Ako je obala niska i s mnogo radarskih mrtvih sektora (sjena), koji nastaju zbog nepovoljnog rasporeda objekata ili nepovoljne razvedenosti obale, plovidba na temelju radara može biti nesigurna.

Kutna širina radarskog snopa i dužina impulsa glavni su činitelji koji izobličuju radarsku sliku: *širina snopa izobličuje sliku kutno (u azimutu), a dužina impulsa po daljini.*

Da bi navigator mogao analizirati radarsku sliku, mora znati osnovno o širenju radarskih valova u prostoru te o refleksivnim osobinama radarskih objekata, mora poznavati tehničke značajke radara, njegove mogućnosti i ograničenja u postojećim uvjetima plovidbe, mora znati usporediti radarsku sliku s navigacijskom kartom, odnosno radarskom panoramom, i na osnovi toga na zaslonu razlikovati prave odraze od lažnih. Tek tada radar postaje suvremeno nezamjenjivo navigacijsko pomagalo.

Da bi se slika točno analizirala primjenjuje se metoda eliminacije, i to počevši ponajprije od pramčanih sektora broda. Polazeći od vlastite pozicije, pošto se odstrane ili smanje na najmanju mjeru odrazi koji smetaju orijentaciji, ponajprije se eliminiraju ili izdvoje moguće lažne jeke. Dalje se mora utvrditi: predočuju li male mrlje na zaslonu pokretan ili nepokretan plovni objekt, jesu li to plutače ili druge oznake plovidbenog puta, mali otoci ili slično, jesu li dijelovi kopna prikazani u pravom izgledu ili deformirani i dr. Poslije analize slike daljnjom eliminacijom izdvoje se objekti koji za plovidbu i orijentaciju imaju posebno značenje.

Razumijevanje i sigurnost u analizi radarske slike stječu se u praksi za plovidbe u normalnim uvjetima, i to uspoređivanjem izgleda obale sa slikom koju pokazuje radar.

5.4.2. Odslikavanje plovila na videozaslonu. Orijehtacijom prema karti, na temelju zbrojene pozicije, valja utvrditi ima li u motrenom sektoru dijelova kopna ili navigacijskih oznaka. Ako takvih objekata nema, pretpostavlja se da je primljena jeka od plovnog objekta.

Mrlje na radarskom zaslonu koje označuju objekte u plovidbi relativno brzo mijenjaju svoj položaj, ovisno o kursu i brzini.

Jeke od brodova pokazuju se kao izolirane, stalne i jasno određene male mrlje šiljasta oblika, po krmu u obliku repića. Suprotno njima, mrlje kopnenih objekata nepravilne su i široke. Ako je brod znatno udaljen mrlja je promjenjiva sjaja, a kako se udaljenost smanjuje, ona postaje sve sjajnija jer je veća refleksirana energija od broda. Nagla promjena kursa opaženog broda mijenja i njegov izgled pa će se promijeniti jačina i veličina njegove mrlje na zaslonu; osim toga, često se po krmu takva broda koji plovi većom brzinom primjećuje trag brazde.

Radarske jeke brodova redovito se registriraju na srednjim udaljenostima, dok se obalni objekti javljaju na većim udaljenostima.

Ako je visina radarske antene 14 m, 3-centimetarski radar dometa 45 M otkriva brodove na približno ovim udaljenostima:

brodovi oko 20 000 GT (viši od 20 m)	.23 M
brodovi 10 000 do 15 000 GT (niži od 20 m)	.20 M
brodovi oko 2 000 do 5 000 GT (visoki 10 do 15 m)	.17 M
brodovi obalne plovidbe (visoki 5 do 10 m)	.13 M
brodovi obalne plovidbe (visoki do 5 m)	.10 M.

Jeke brodica i plutača pojavljuju se kao mrlje na malim

udaljenostima i vrlo su slične. Veličina i sjajnost mrlje, osim o tehničkim osobinama brodice, odnosno plutače, ponajviše ovisi o stanju mora. Ljuljanje brodica ili plutača na valovima, kao i ljuljanje broda s radarom, na zaslonu stvara nejasne i po sjajnosti promjenljive jeke koje često i nestaju. Ipak je njihova mrlja izrazitija od okolnih smetnji nastalih refleksijom od mora. Da bi se plutače i brodice što bolje otkrivala, opremaju se kutnim reflektorima, a radar podešava tipkama *gain* i *anti-seaclutter (rain)*.

Općenito se može reći da, približavajući se tim objektima, mrlja na zaslonu postaje sve izrazitija. Brodice uopće, a posebice brze brodice, na zaslonu daju pokretnu mrlju, za razliku od plutača; prividno pomicanje mrlje koja predočuje usidrenu plutaču posljedica je gibanja vlastita broda.

Radar jednakih značajki kao i u prethodnom slučaju otkriva na približno ovim udaljenostima:

jahte	4 do 5 M
brodice za spašavanje i male ribarske brodice	1 do 2 M
plutača bez kutnog reflektora	3 do 6 M
plutača s kutnim reflektorom	12 M.

5.4.3. Odslikavanje kopna na videozaslonu. Izgled mrlje koja na radarskom zaslonu prikazuje obalno kopno ovisi o topografiji i građi obale, položaju objekata ispred obale i smjeru motrenja.

Uglavnom, na videozaslonu radara obala će se vrlo lako raspoznati zbog relativno velikih i sjajnih mrlja koje sama izaziva, kao i zato što se ona očekuje u određenim smjerovima s broda koji se približava obali. Naprotiv, raspoznavanje pojedinih navigacijskih objekata na obali bit će otežano, najčešće zbog izobličenja nastalih širinom snopa i dužine impulsa, ali i zbog nesigurnosti koji objekti reflektiraju pojedine jeke. Stoga će se iznijeti još neke napomene koje mogu biti korisne za raspoznavanje obale.

Stjenovita vertikalna i neprekinuta obala otkriva se na velikim udaljenostima, a pokazuje se u obliku neprekinutog i oštrog traga. Ako je takva obala koso položena, imat će sličnu sliku, ali će se obalna crta pojaviti nešto kasnije. Obala s usjecima difuzno reflektira radarski snop pa će i njezina jeka biti slabija. Slika obale s mnogo ulegnuća, dubokih uvala, usjeka, otvorenih zaljeva, žala i sl. prikazat će se nizom odvojenih mrlja. Dio kopna (naročito doline) koji se nalazi iza većih uzvisina, brežuljkastih terena, visokih otoka i sl. radar ne može prikazivati jer su takvi dijelovi u radarskoj sjeni (u mrtvom sektoru); radarska slika ima izgled skupine mrlja.

Niska i pješčana obala ili obala sa slabim refleksivnim značajkama, s niskom vegetacijom, radarom se otkriva na malim udaljenostima, a njezina će mrlja na zaslonu biti isprekidana i slaba; na većem mjernom području na zaslonu će se pojaviti osamljene mrlje istaknutih objekata koji se nalaze iza obalne crte, pa će se slika obale činiti isprekidanom, iako obalna crta nije isprekidana. Za vrlo nisku pješčanu, šljunčanu i muljevitu obalu, ili obalu s prudovima koji jedva izlaze iz mora, može se očekivati slaba, ali uočljiva mrlja u obliku crte na granici dviju sredina - kopna i mora.

Pješčani prudovi i ušća, čisti žali i sl. rijetko se zapažaju na zaslonu pokazivača radara ako su udaljeniji više od 2 M. Obalna crta može biti lažno prikazana zbog rušenja valova na plicacima pred takvom obalom. Zbog svega toga udaljenosti mjerene od takve obale nisu pouzdane.

Muljevite površine ili preplavljene površine reflektiraju radarske impulse nešto bolje od pješčanih. Slabe reflektirane jeke pri niskoj vodi nestaju pri visokoj vodi. Gus-

toća raslinja na takvim obalama odlučan je činitelj jer može pojačati jeku.

Pješčane dine udaljene od niske ravne obale i pokrivene vegetacijom daju lažnu obalnu crtu. U određenim uvjetima sklop vodoravne morske površine i vertikalnih stabala djeluje kao kutni reflektor. Zbog istih razloga šumoviti otoci daju jače jekte od golih.

Lagune i unutarnja jezera ne daju nikakve jekte pa je radarska slika na tim mjestima tamna. Katkad se prud ili greben oko lagune ne vidi jer leži u vodi.

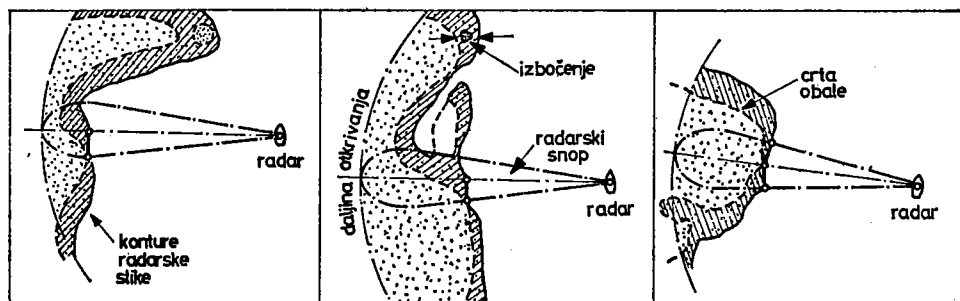
Niz koraljnih otoka i niz otočića uopće može na zaslonu dati sliku dugačke obale ako su otoci, odnosno atoli, jedan blizu drugoga, a radarski snop pada okomito na pravac njihova protezanja.

Uronjeni objekti ne daju refleksije. Hrid s jednim dijelom iznad vode ili rušenje valova iznad podvodnih grebena mogu dati jeku koja će ih označiti na radarskoj slici.

Radi orijentacije, za jedan standardni radar, navode se i ove udaljenosti otkrivanja:

stjenovita i strma brda viša od 180 m	45 M
obale više od 60 m	40 do 45 M
kopno (obala) visine 40 do 45 m	40 M
veći obalni gradovi	40 M
niska obala	7 M
vrlo niska obala	4 M
pješčana obala	2 M
visoki valovi (živog mora)	2,5 M
srednji morski valovi	1,5 M.

Odstupanja odslikane radarske obalne crte od stvarne obalne crte u pojedinim okolnostima pokazuju situacije na sl. 5.24. Glavni činitelji jesu kutno izobličenje slike po dužini i radarske sjene.



Sl. 5.24. Izobličenja obalne crte na radarskom zaslonu ovisno o razvedenosti obale, širine radarskog snopa i dužine impulsa.

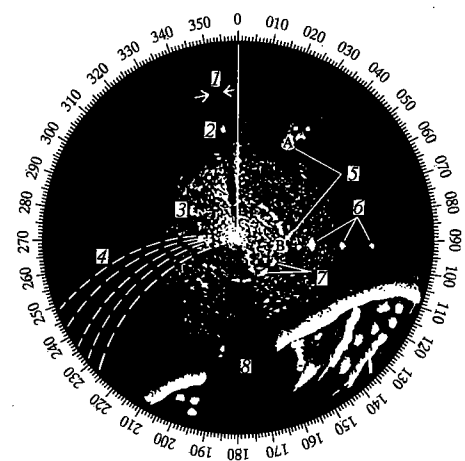
5.4.4. Jasnoća radarske slike. Osim jeka od stvarnih objekata, na radarskom se zaslonu često pojavljuju lažni ili ometajući odrazi zbog tehničke nesavršenosti radara ili utjecaja vanjskih činitelja. Takve pojave rukovatelj radarom mora dobro poznavati da bi ih mogao razlikovati od odraza pravih objekata.

Na nejasnoću slike najviše utječu sporedne jekte nastale na radarskom zaslonu zbog vremenskih nepogoda i oluja, odraza od morske površine (*sea clutter*) ili bliskog kopna te zbog posebnih uvjeta rada od kojih navodimo najvažnije.

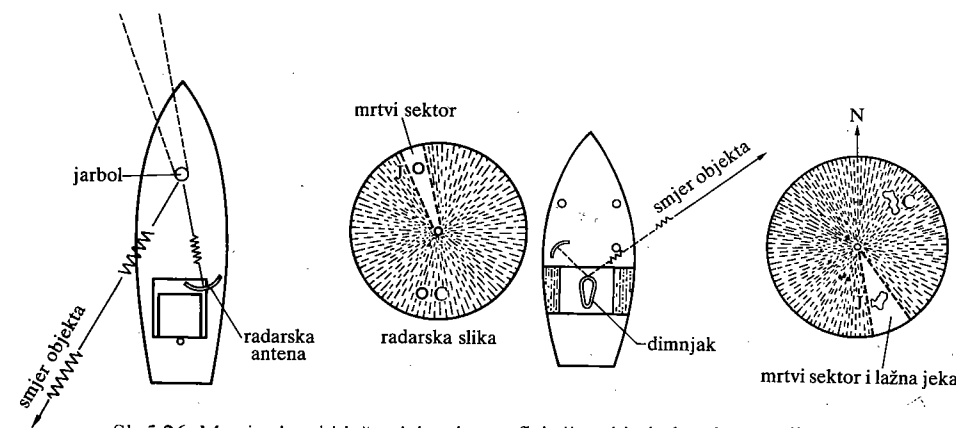
Lažne jekte (indirect echoes ili false echoes) i *mrtvi sektori (shadow sector)*. Nastaju refleksijom radarskih valova od bliskih dijelova broda koji se nalaze u visini radarskog snopa (npr. jarboli, tovarice, dimnjak i sl.) ili od istaknutog i bliskog kopna. Posebice se javljaju kad reflektirani radarski impuls padne na objekt, a zatim se istim putem vrati kao jeka objekta. Javljaju se dvije jekte jednako udaljene od središta zaslona, ali u različitim smjerovima; lažna jeka manja je i po intenzitetu slabija od prave jeku.

Sl. 5.25. Pregled najčešćih lažnih jeka i mrtvih sektora (sjena) na radarskom zaslonu

- 1 – mrtvi (zasjenjeni) sektor;
- 2 – lažne (indirektne) jekte objekta A;
- 3 – odrazi mora;
- 4 – radarske interferencije;
- 5 – prave jekte objekta A, B, C;
- 6 – višestruke jekte objekta B;
- 7 – lažne bočne jekte objekta B



Lažne bočne jekte (side lobe echoes). Najveći dio elektromagnetne energije usmjeren je unutar glavnog radarskog snopa. Međutim, veći objekti koji se nalaze blizu broda s radarom mogu izazvati i lažne jekte, i to zbog refleksije sporednih bočnih snopova (lepeza). Takve su lažne jekte raspoređene po jednom luku koji odgovara približno 90° s obje strane prave jeku, a mogu se produžiti i preko mrtvih sektora radarske slike.



Sl. 5.26. Mrtvi sektori i lažne jekte zbog refleksija od jarbola odnosno dimnjaka.

C – pravi objekt; J – lažni objekt

Višestruke jekte (multiple echoes). Pretežno se javljaju kad se blizu bočno od broda koji ima radar nalazi veći objekt (brod ili neka kopnena masa) koji djeluje kao jak

radarski reflektor. Nastaju zato što se dio jeke s bočnog objekta (pratećeg broda) odbija od vlastita broda i kao ponovna, ali oslabljena, jeka javlja na radarskom zaslonu. Može biti jedna ili više lažnih jeka, uvijek u istom smjeru kao i prava, a međusobno razmaknute za udaljenost koja odgovara daljini prve jeke. Prava jeka jest prva od sredine zaslona i ona daje najveću mrlju. Po tome se mrlja lažne jeke i razlikuje na zaslonu od mrlje prave jeke.

Radarske interferencije (radar interferences). Izgledaju kao išarani sektor (spirala) koji ide od središta prema obodu zaslona. Pojavljuju se kad rade radari dvaju brodova jedan blizu drugoga, i na radarima u kojih se radne frekvencije malo razlikuju. Takve pojave mogu prekriti pojedine sektore ili veći dio radarskog zaslona, ali ne mogu izazvati zabune jer imaju oblik oštih i pravilnih crtica i točkica.

Sekundarne jeke (secondary echoes). To su jeke od objekata izvan predviđenog radarskog dometa; registriraju se poslije idućeg odaslanog impulsa, a ne prije njega (superrefrakcija, širina impulsa i velika impulsna frekvencija). One se na zaslonu pojavljuju u pravom azimutu, ali ne i na točnoj udaljenosti, jer ona je izvan ljestvice mjernog područja. Za određene tehničke značajke radara udaljenost njihove pojave može se unaprijed odrediti. Budući da takve jeke na moru uglavnom daju veliki i strmi dijelovi kopna u uvjetima superrefrakcije, orijentacijom po karti ili optički, uz smanjenje mjernog područja, valja provjeriti ima li u smjeru uistinu takvih objekata. Takvi su odrazi slabi i gotovo nepomični u usporedbi s drugim objektima. Točna udaljenost jednaka je izmjerenoj udaljenosti plus polovici udaljenosti koju prevali val između dva radarska impulsa.

Ostale jeke (another echoes). Katkad se na manjim udaljenostima javljaju jeke koje smetaju, a vrlo ih je teško identificirati. One se redovito javljaju od niskih jata ptica, riba na morskoj površini (npr. dupini, tune i sl.), gomila predmeta koji plutaju i sl. Brazda opaženog broda, pogotovu brzih brodova ili brodova pri skretanju, zbog jake refleksije od krmenog vala daje izrazit odraz (repić). On se pri pravom prikazivanju radarske slike može uporabiti za procjenu kursa i brzine dotičnog broda.

PITANJA:

1. Objasnite načelo prema kojem radi radar.
2. Koji su glavni dijelovi navigacijskog radara, koja je uloga pojedinog dijela i kako radi radar?
3. Objasnite načela katodne cijevi.
4. Objasnite kako nastaje radarska slika te glavne značajke dobivene slike na radarskom zaslonu s relativnim pokazivanjem na radarskom zaslonu s pravim pokazivanjem.
5. Što je to stabilizirana a što nestabilizirana radarska slika i koje su njihove značajke?
6. Koje valove rabe navigacijski radari i kako na prostiranje radarskih valova utječe:
a) refrakcija; b) subrefrakcija; c) superrefrakcija?
7. Što je to vođenje radarskih valova (*ducting*), kako nastaje, koje su prednosti i nedostaci?
8. Kako utječe morska površina na prostiranje radarskih valova?
9. Kako utječu vremenski uvjeti na prostiranje valova:
a) oborina; b) magla; c) oblaci i ciklonske fronte?
10. Kako se smanjuju smetnje pri uporabi radara u različitim vremenskim uvjetima?
11. O kojim činiteljima ovisi mjerenje najveće i najmanje udaljenosti? Objasnite pojedine činitelje.
12. Kako refleksije od mora utječu na mjerenje udaljenosti i otkrivanje objekata? Na koji se način smanjuju ti štetni učinci?

13. Od kojih činitelja ovisi razlikovanje udaljenosti i na koji se način poboljšava to razlikovanje?
14. Od kojih činitelja ovisi pouzdanost radarskog azimuta?
15. Od kojih činitelja ovisi razlikovanje azimuta i na koji se način to razlikovanje poboljšava?
16. Od kojih činitelja ovisi jasnoća radarske slike i kako se ona može poboljšati?
17. Kako se na radarskom zaslonu analizira radarska slika i uočavaju značajniji objekti?
18. Kako na radarskom zaslonu izgledaju i na kojoj se udaljenosti otkrivaju:
a) brodovi; b) brodice; c) plutače; d) kopno različite topografije?

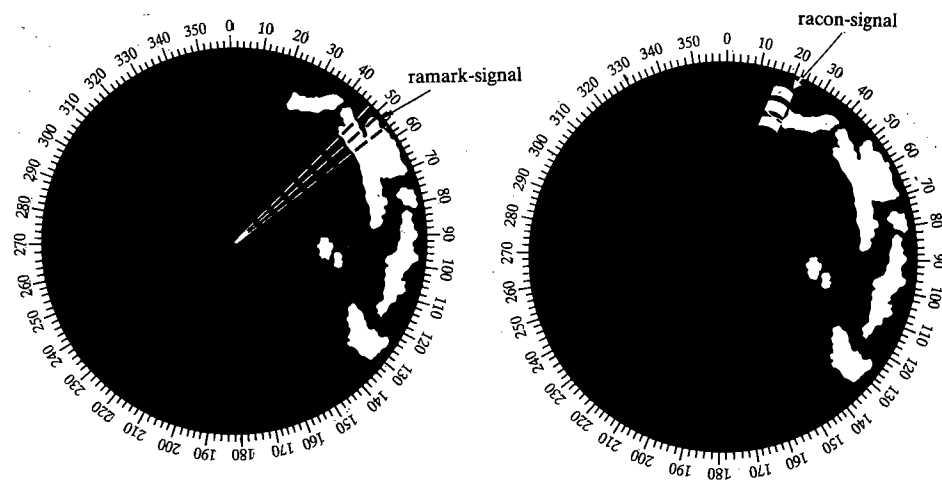
6. Plovidba s pomoću radara

6.1. Radarske oznake

6.1.1. Radarski farovi. S pomoću farova bolje se označuju i lakše identificiraju objekti na radarskom zaslonu, što je osobito važno za prvi radarski dodir s obalom. Postoje dvije vrste radarskih farova: aktivni, tzv. *ramark* (*radar marker*), i pasivni, tzv. *racon* (*radar bacon*).

Svi podaci o tim farovima nalaze se u *priručnicima za plovidbu* (američki *Radio Navigational Aids* i britanski *The Admiralty List of Radio Signals* i sl.).

Aktivni radarski far *ramark* mikrovalni je radarski odašiljač male snage koji odašilje radiosignale neprekidno ili u određenim razmacima. Na radarskom zaslonu primljeni signal vidi se kao svijetleći sektor radijalnih crta koje prolaze iz središta zaslona; na osnovi njega može se odrediti azimut fara, a udaljenost samo ako je na zaslonu prikazana mrlja građevinske konstrukcije fara. Da bi se mogao razlikovati jedan ramark far od drugoga, svaki ima svoje simbole: divergentne svijetle crte na zaslonu pokazuju se kao isprekidane, točkaste ili nizom točaka i crta (sl. 6.1.).



Sl. 6.1. Ramark-signal na radarskom zaslonu

Sl. 6.2. Racon-signal na radarskom zaslonu

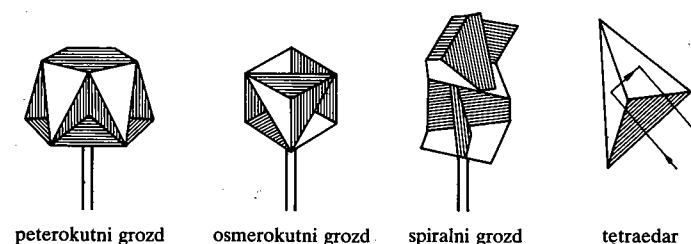
Pasivni radarski far – (odgovarač) *racon* jest mikrovalni elektronički uređaj koji automatski odgovara posebnim signalom čim od brodskog radara primi poticajni impuls odgovarajuće frekvencije. Po načinu rada nalik su na brodske elektroničke uređaje za identifikaciju. Radiofarovi uglavnom rade na frekvencijama navigacijskih radara (*X-band*), obično na valnoj dužini od 3 cm. Signali se mogu odaslati i na drugim frekvencijama, ali tada se prijatelj radara mora podesiti na frekvenciju fara ili valja imati poseban dodatak prijamniku. U tom se slučaju s radarskog zaslona gubi panoramska slika obzora, što je za plovidbu nepogodno.

Signal *racon*-fara na radarskom se zaslonu pokazuje svake dvije minute i traje približno šest sekundi. Čini se kao radijalna puna crta ili kodirana u obliku Morseovih znakova, a polazi od fara prema obodnici zaslona. Broj znakova i njihov razmak odgovara primljenim impulsima i označuje karakteristiku fara (sl. 6.2.). Daljina primanja *racon*-signala kreće se od 8 do 20 M, a ovisi o njegovoj visini, visini radarske antene, impulsnoj snazi radara i vremenskim prilikama.

Racon-signal omogućuje mjerenje azimuta i udaljenosti od položaja fara. Udaljenost se mjeri na zaslonu do početka signala. Manja pogreška u izmjerenoj daljini, koja nastaje zbog pojave signala nešto dalje od njegove pozicije, može se zanemariti. Azimut se mjeri na sredini signala.

6.1.2. Kutni radarski reflektori. To su pomoćne oznake (*radar corner reflectors*) za radarsku navigaciju kojima se obilježavaju važni pokriveni smjerovi, crte niske i nekarakteristične obale, pličine, podvodne opasnosti, slabo vidljive orijentacijske točke i sl. Postavljaju se na čvrsta postolja, npr. motke, željezne konstrukcije, zidane oznake i sl. ili na vrhove plutača; postoje i takve plutače čiji je gornji dio razvijen u posebnu površinu s kutnim reflektorima. Oni se postavljaju i oko kule svjetionika, jer valjkasti objekti daju slabu radarsku jeku.

Kutni se reflektor sastoji od dvije ili tri metalne ploče koje su međusobno okomite i čine diedar ili tetraedar, a katkad se slažu u pentaedar, oktaedar, spiralni grozd i slično (sl. 6.3.); dužina je brida najmanje 10 valnih dužina (λ). Mogu biti i metalne kalote (tzv. Lunebergov reflektor) promjera najmanje 5 valnih dužina.



Sl. 6.3. Vrste radarskih kutnih reflektora

Reflektori se postavljaju i na brodice i male brodove (npr. jahte, ribarske brodove), građene od drva ili stakloplastike, da bi se mogli što pouzdanije otkriti radarom. Najčešće se primjenjuje grozdasti i osmokatni kutni reflektor kojemu je dužina stranice od 20 do 40 cm.

Ako je more mirno, kutni se reflektori pokazuju na radarskom zaslonu približno na 4 do 9 M, što ovisi o njihovom obliku, veličini i visini, visini radarske antene, trajanju impulsa i vremenskim prilikama. Daljina otkrivanja (d) može se približno izračunati s pomoću formula:

$$\text{pri mirnom moru } d = 0,4\sqrt{a \cdot h};$$

$$\text{pri valovitom moru } d = 0,4a;$$

a – stranica u palcima, h – visina reflektora nad morem u stopama.

Ako su radarski kutni reflektori postavljeni na plutaču, udaljenost d računa se pomoću formula:

$$\text{za zvučnu plutaču ili svijetleću plutaču} - d = \sqrt{1,4 \cdot P_r} + 0,5 P;$$

$$\text{za čunjastu ili sfernu plutaču} - d = \sqrt{1,4 \cdot P_r} + 0,109 P;$$

P_r – vertikalna projekcija reflektora u kvadratnim stopama ($1\text{ft}^2 \approx 930\text{cm}^2$);

P – vertikalna projekcija preostalog dijela plutače u kvadratnim stopama.

Popis svjetala (*The List of Lights*) redovito donosi podatke i o radarskim kutnim reflektorima.

6.2. Određivanje pozicije broda

6.2.1. Načela plovidbe. Plovidba primjenom sustava radarske navigacije temelji se na načelima koja vrijede za terestričku navigaciju*. Pridonosi sigurnosti plovidbe u svim uvjetima, pretežito kao dopuna drugim navigacijskim sustavima. Poznavanje pozicije broda u svakom trenutku, a posebice točna zbrojna navigacija i provjera pozicije mjerenjem dubine mora, prijeko su potrebni za identifikaciju objekta, analizu radarske slike i orijentaciju uopće. Valja imati na umu da je radar samo jedno od pomagala koje povećava sigurnost plovidbe, ali ne i jedino. Sigurnosti plovidbe pridonose razne radarske oznake na obali, radarske karte, radarske panorame i drugi priručnici.

Pozicija broda određuje se na temelju dviju ili više *radarskih crta pozicija*, slično kao i pri vizualnom određivanju pozicije*. Načelno, opažanja valja obavljati istodobno. Zbog širine radarskog snopa koji uvjetuje i minimalnu širinu slike na radarskom zaslonu, azimuti su uvijek manje točni od udaljenosti, pa će i pozicija mjerenjem udaljenosti biti točnija od pozicije određene azimutima. Na koji će se način odrediti pozicija ovisi o mogućnosti odabira markantnih radarskih objekata i opće situacije u kojoj se brod nalazi. Valja opažati objekte koji daju dovoljno jaku jeku (reguliranjem pojačanja), koji se lako identificiraju i koji se s mora mogu otkriti sa svih pozicija (ne smije biti u sjeni više obale).

Znati rukovati radarom i kontrolirati njegov rad, ocijeniti njegovo pokazivanje, usporedbom slike na zaslonu s kartom ili vizualnim motrenjem, i u danj situaciji odabrati najsvrhovitiju metodu određivanja pozicije broda, temelj je za sigurnu primjenu radara u plovidbi.

Pouzdanost radarske slike ponajviše ovisi o uvjetima prostiranja radarskih valova i tehničkim značajkama radara. Zbog toga je prijeko potrebno znati analizirati radarsku sliku, posebice pri približavanju obali s otvorenog mora i pri plovidbi u posebnim uvjetima.

Sigurna radarska pozicija označuje se oznakom opažene pozicije s upisanim slovom iks, i uz nju se upisuje vrijeme i stanje brzinomjera. Nesigurna radarska pozicija označuje se oznakom X, uz koju se upisuje samo vrijeme.

6.2.2. Mjerenje azimuta. Smjer pramčanice na radarskom zaslonu označen je elektronskom radijalnom crtom koja se javlja pri svakom prolazu simetrale radarskog snopa (antene) preko pramčanog dijela (uzdužnice broda). U panoramskog *pokazivača s nestabiliziranom slikom*, s podjelom na obodnice zaslona na pramčane kutove, pri mjerenju valja pramčanicu prethodno dovesti na 0° podjele, odnosno, ako je potrebno, najprije se približno dovodi na 0° ($\pm 10^\circ$), a zatim točno s pomoću posebne tipke. Potom, ako je radar ispravan, pramčanica će stalno biti u uzdužnici broda.

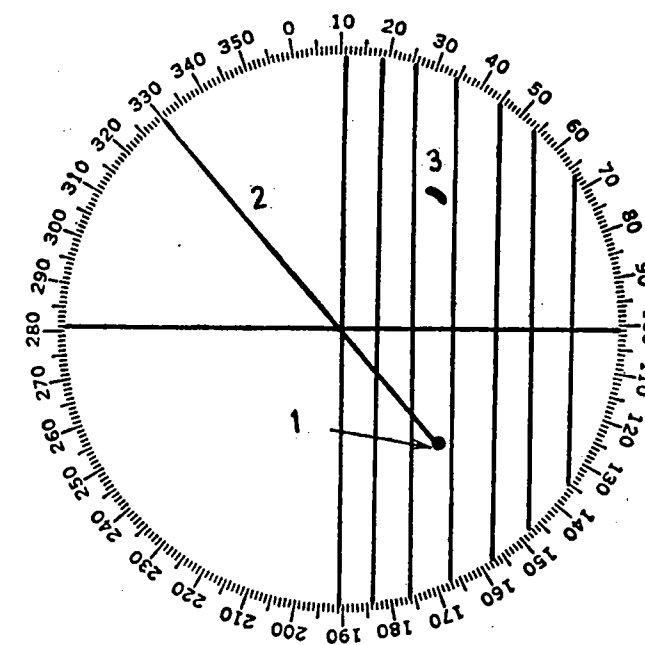
Ako je *radarska slika stabilizirana prema sjeveru*, 0° kompasne vjetrovlje uvijek je orijentirana prema meridijanu pa pramčanica označuje girokompasni kurs broda; promjenom kursa, automatski se mijenja i položaj pramčanice.

Točnost položaja pramčanice valja povremeno kontrolirati. To se radi tako da se pramac broda usmjeri na sigurno identificiran objekt prema karti. Ako je radarska slika pravilno orijentirana, pramčanica će prolaziti točno preko mrlje izabranog objekta.

Azimuti i pramčani kutovi mogu se mjeriti s pomoću mehaničkog ili elektronskog smjerala (kursora), što ovisi o tipu radara.

Mehaničko smjeralo – kursor (mechanical bearing cursor). To je prozirna plasti-

tična ploča (disk) s radijalno urezanim smjernom crtom. Postavlja se iznad radarskog zaslona tako da se njezino središte poklopi sa središtem zaslona. Mjeri se zakretanjem ploče dok smjerna crta ne prođe sredinom (rubom) mrlje koja predstavlja motreni objekt. Vrijednost azimuta (pramčanog kuta) očita se na stupanjskoj podjeli vjetrovlje orijentirane prema sjeveru, a vrijednost pramčanog kuta na stupanjskoj podjeli u kojoj se 0° podudara sa smjerom pramčanice.



Sl. 6.4. Mjerenje radarskih azimuta kursor-pločom
1 – točka ishodišta (vlastiti brod);
2 – pramčanica;
3 – opaženi objekt ($\omega=11^\circ$)

Kursna ploča (paralelline cursor, reflection plotter). Prozirna ploča (disk), slična mehaničkom smjeralu s dodatnim paralelnim crtama koje služe za grafičko rješavanje zadataka neposredno iznad radarskog zaslona (sl. 6.4.). U radara s relativnim prikazivanjem slike stabilizirane prema sjeveru azimut objekta mjeri se tako da ploču zakrećemo, dok njezina središnja crta ili bilo koja od paralelnih crta ne presiječe mrlju odabranog objekta. Vrijednost azimuta, odnosno pramčanog kuta, očita se slično kao i pri uporabi kursor-smjerala, ali uvijek u smjeru središnje crte kursor-ploče.

U nekih tipova radara može se *proširiti središte radarske slike (expand center display)* pri uporabi najkrupnijeg mjernog područja (npr. 1 M). U tom se slučaju objekt prividno udaljuje od središta. Područje toga nultog kruga čini se tamno i udaljenosti se mjere od njegove obodnice, a ne od središta. Iako je mrlja objekta izobličena, azimuti mjereni od središta zaslona točni su. Time se bliski objekti mogu bolje razlučiti, odnosno bolje razlikovati po azimutu.

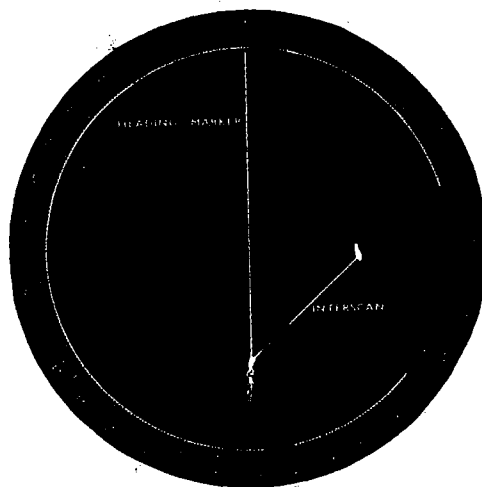
Pri mjerenju valja paziti da slika bude točno centrirana (ishodište vremenske osnovice i središte zaslona moraju se poklapati) i dobro orijentirana (pramčanica ne smije odstupati od 0° podjele za pramčane kutove, odnosno od stupanjске vrijednosti kursa kod stabilizirane slike). U protivnom će pri smjeranju nastati pogreška koja će biti manja što je mrlja objekta dalja od središta zaslona (krupnije mjerno područje), ali ne i blizu oboda zaslona katodne cijevi (zbog njezina konkavna oblika nastaje nova pogreška).

* Vidjeti: A. Simović, "Terestrička navigacija", Školska knjiga, Zagreb, 2000.

Navedenim pogreškama pridružuju se: pogreška zbog širine radarskog snopa, zbog slabog fokusiranja, nestabilnosti kursa, devijacije kompasa, ljuljanja broda (za bočno smjerane objekte) i sl. Stoga valja smjerati osamljene i istaknute (markantne) objekte.

Elektronsko smjeralo (electronic bearing marker). To je zapravo svijetla crta na zaslonu koja polazi iz ishodišta vremenske osnovice, a aktivira se posebnom tipkom (*electronic bearing marker*). Osobito je korisno kad je radarska slika ekscentrična, tj. orijentirana tako da se početak vremenske osnovice ne poklapa sa središtem zaslona (sl. 5.10.). Da bi se ta crta razlikovala od crte pramčanice (*heading flash*), koja također ide iz ishodišta vremenske osnovice, crta smjerala slabije je ili jače osvijetljena, prikazuje se iscrtkano, odnosno točkasto, ili ne prelazi promjenjivu daljinsku kružnicu (*variable range marker*). Azimut se mjeri okretanjem posebnog točkića (*bearing marker control*) dok elektronska smjerna crta ne presiječe mrlju objekta na radarskom zaslonu. Njegova se vrijednost očitava na posebnom digitalnom pokazivaču (*electronic bearing indicator*). Da bi se ta crta razlikovala od svijetle pramčanice (*heading flash*), koja također ide iz ishodišta vremenske osnovice, crta elektronskog smjerala, slabije ili jače osvijetljena, prikazuje se iscrtkano, odnosno točkasto, ili ne prelazi promjenjivu daljinsku kružnicu (*variable range marker*).

U navigacijskih radara jednostavnije izvedbe elektronsko smjeralo može biti neovisno o promjenjivoj daljinskoj kružnici. Međutim, u navigacijskih radara, obrtanjem daljinskog kotačića (*range marker control*) polumjer mjerne kružnice povećava se, odnosno smanjuje, uzduž elektronske smjerne crte. Time se azimut i udaljenost mjere brže.



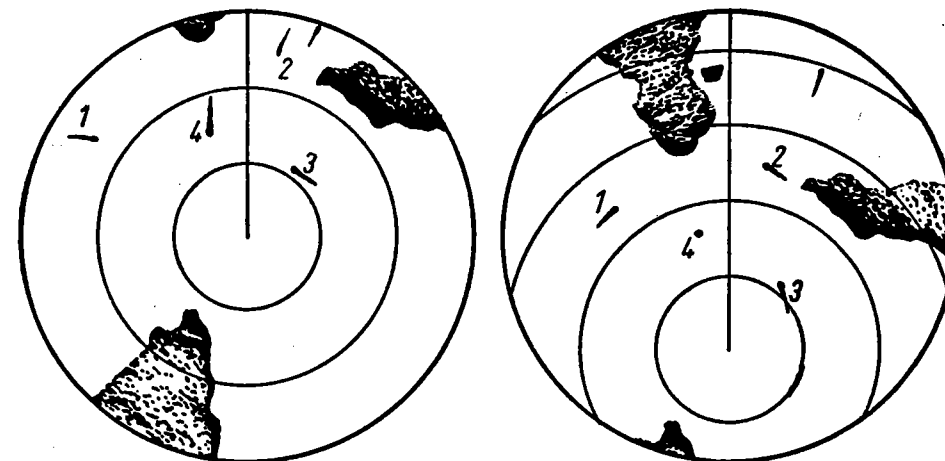
Sl. 6.5. Mjerenje radarskih azimuta s pomoću elektronskog smjerala (interscana) na zaslonu s pravom slikom

Interscan-smjeralo (interscan bearing marker). Tako su nazvane različite izvedbe elektronskih smjerala u kojih se dužine mogu mijenjati radi mjerenja udaljenosti; stalno se vidi na zaslonu, što ubrzava mjerenje. Vidljivost nekih smjerala ograničena je na vrijeme trajanja jednog okretaja antene pa stalno blijedi, a u nekih se radara interscan-smjeralo može zaustaviti u željenom smjeru. Smjer i dužina crte smjerala prema potrebi mogu se posebno podesiti, kao na primjer pri mjerenju relativnog odnosa bilo kojih dviju točaka na zaslonu (sl. 6.5.).

Azimuti izmjereni radarom mogu se držati točnima na $\pm 2^\circ$.

6.2.3. Mjerenje udaljenosti. Udaljenost na relativnoj radarskoj slici određena je radijalnim razmakom mrlje objekta od središta zaslona, a na pravoj slici razmakom između mrlja odslikanih objekata. Na zaslonu jednih radara udaljenost se mjeri s pomoću niza stalnih koncentričnih kružnica čija ekvidistancija ovisi o ljestvici izabranog mjernog područja. U drugih radara udaljenost se mjeri s pomoću jedne svijetle kružnice promjenjiva promjera, tzv. promjenjiva markera (*variable range marker*) ili pak kombinirano, stalnim kružnicama i promjenjivom kružnicom. Pri kombiniranom mjerenju pokazivač radara sadrži posebno elektronsko kolo za stvaranje stalnih daljinskih kružnica za grubo mjerenje daljine i dodatno kolo za stvaranje promjenjive kružnice za točnije mjerenje daljine.

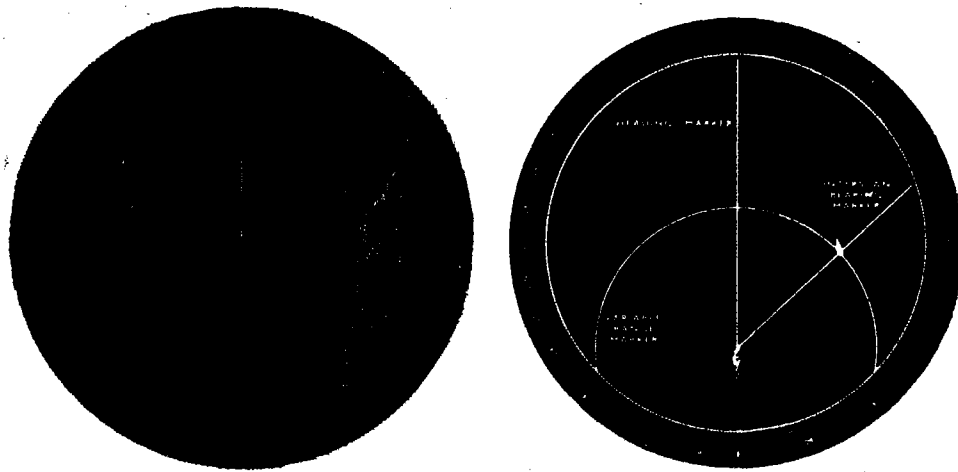
Stalne (kalibracijske) daljinske kružnice (fixed range marker - FRM). Dobivaju se ukopčavanjem posebne preklopke (*range marker switch*). Istom preklopkom s kojom se izabire područje motrenja mijenja se i ljestvica (mjerilo) mjernog područja (ekvidistancija među kružnicama). Udaljenost se procjenjuje na osnovi izabrane ljestvice (ekvidistancije) i položaja mrlje između dvije susjedne kružnice (sl. 6.6.). Prije mjerenja valja odabrati i ukopčati najpodesniju ljestvicu mjernog područja. Načelno, za približavanje obali odabire se najveće mjerno područje, a zatim se, nakon otkrivanja i identifikacije opaženih objekata, postupno prelazi na sve krupniju mjernu ljestvicu.



Sl. 6.6. Stalne daljinske (kalibracijske) kružnice na zaslonu s koncentričnom i ekscentričnom radarskom slikom – mjerno područje 12 M
1, 2, 3 i 4 (lijevo) – brodovi u vožnji; 4 (desno) – nepokretan (usidreni) brod

Promjenjiva daljinska kružnica (variable range marker - VRM ili range strobe - RM). Rabi se uglavnom za točnije mjerenje udaljenosti, ali može poslužiti kao granična kružnica odnosno kružnica sigurnosti (stražarska kružnica). Dobiva se s pomoću posebne preklopke (*variable range marker switch*): po zaslonu kruži jedna svijetla točka čiji je polumjer promjenljiv, a zbog persistencije zaslona i tromosti oka motritelj vidi stalnu svijetlu kružnicu. Središte kružnice poklapa se s položajem motritelja. Stoga polumjer te kružnice, u trenutku kad ona dodirne rub svijetle mrlje objekta (na zaslonu s relativnom radarskom slikom) daje njegovu udaljenost od središta zaslona, ishodišta vremenske osnovice (*sweep origin* - sl. 6.10. - lijevo). Opseg kružnice mijenja se okretanjem odgovarajućeg kotačića (*marker range crank*), a udaljenost (odgovara polumjeru kružnice) u

nautičkim miljama i njezinim dijelovima odčita se na digitalnom pokazivaču udaljenosti (*range counter*). Da bi se udaljenost što točnije izmjerila, daljinska kružnica mora biti točno osvijetljena i što oštrija.

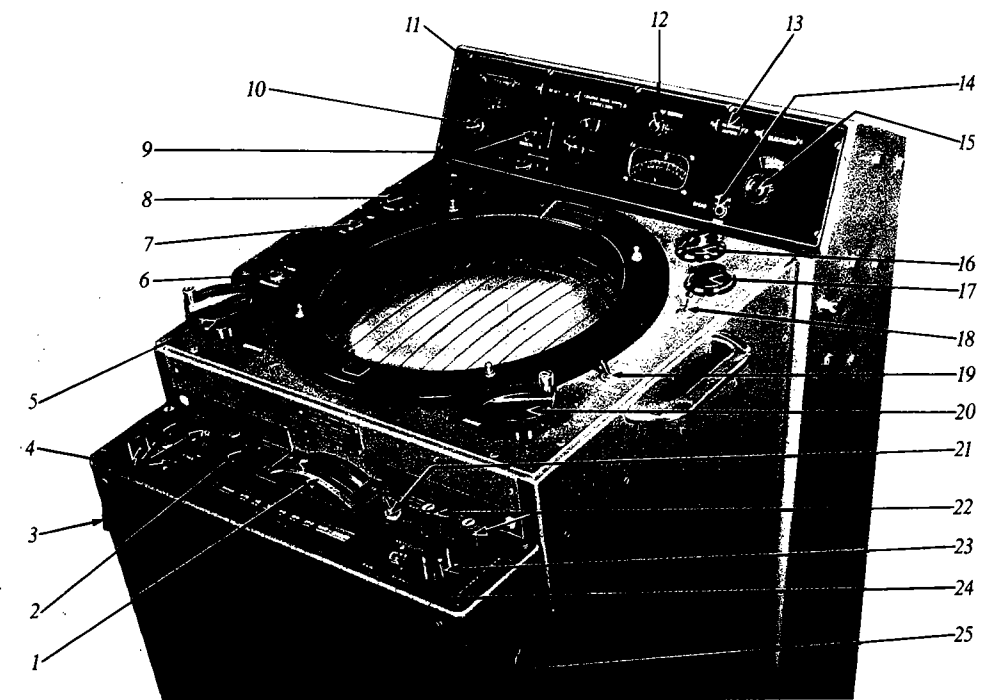


Sl. 6.7. Mjerenje radarskih udaljenosti s pomoću promjenljive daljinske kružnice
slika lijevo: relativno gibanje - mjerno područje 10 M ($d = 5,5$ M, $\omega = 61^\circ$);
slika desno: pravo gibanje ($d = 80$ M, $\omega = 50^\circ$)

Na zaslonu s pravom radarskom slikom središte se promjenljive daljinske kružnice (sl. 6.6. - desno) i središte stalnih koncentričnih kružnica poklapa i pomiče zajedno s ishodištem vremenske osnovice, tj. sa svjetlom točkom koja na zaslonu prikazuje položaj vlastitog broda. Znači da je središte kružnica ekscentrično prema središtu zaslona. Međutim, pravo se prikazivanje radarske slike može dobiti samo na područjima 0,5 do 12 M.

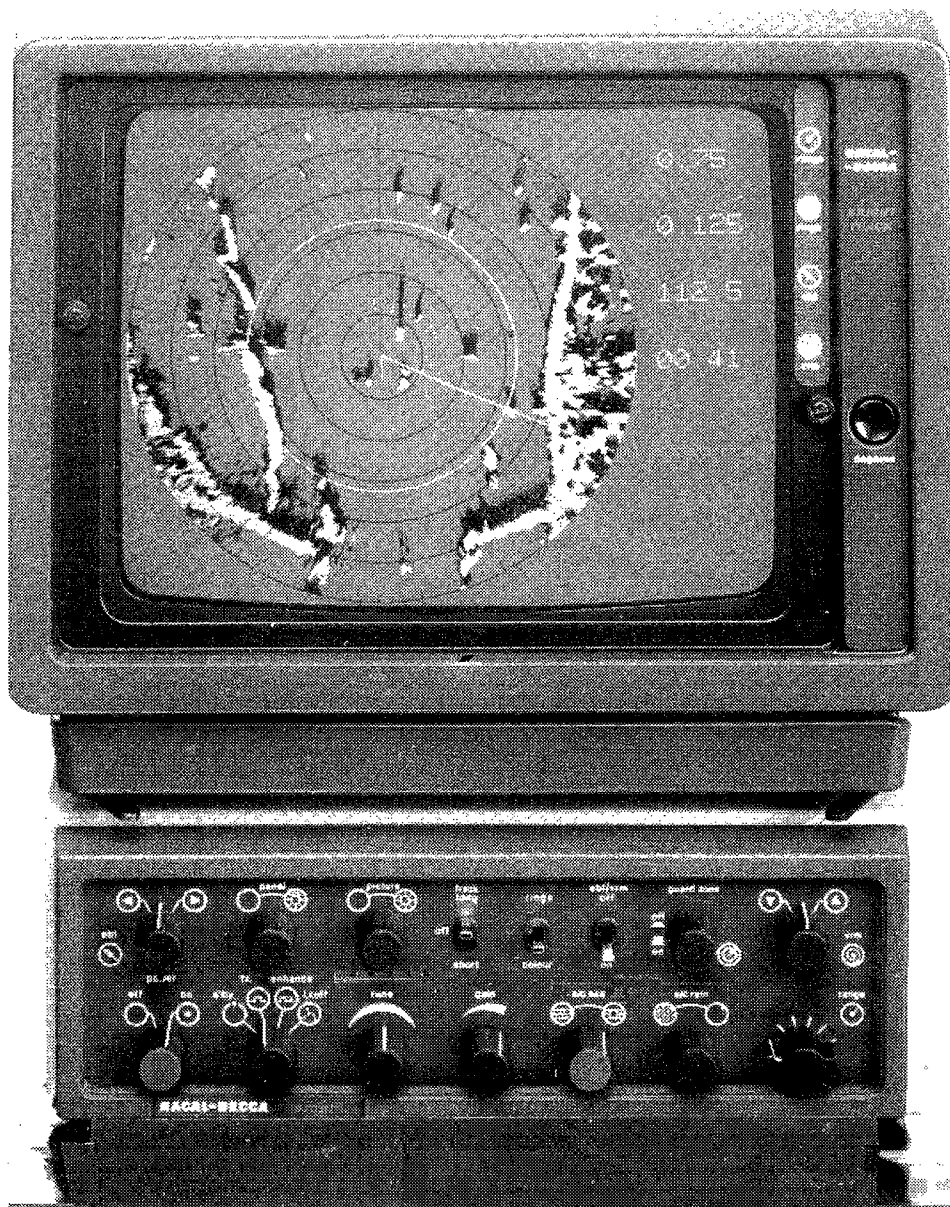
Za razliku od uobičajenih radara, na nekim se tipovima pokazivača može *ekscentrirati vremenska osnovica*, a time i *radarska slika*. Tako se za bilo koje mjerno područje dobiva prošireni pregled prema naprijed (ispred pramca), što je važno pri plovidbi na rijekama, kroz kanale i u opasnim područjima, pri slaboj vidljivosti, osobito u radara s protusudarnom slikom. Udaljenost se mjeri na temelju daljinskih kružnica, odnosno s pomoću promjenljive daljinske kružnice; one su također ekscentrične u odnosu na središte zaslona.

Točnost udaljenosti mjerene navigacijskim radarom približno je $\pm 1\%$ do $\pm 1,5\%$; točnije su od azimuta.

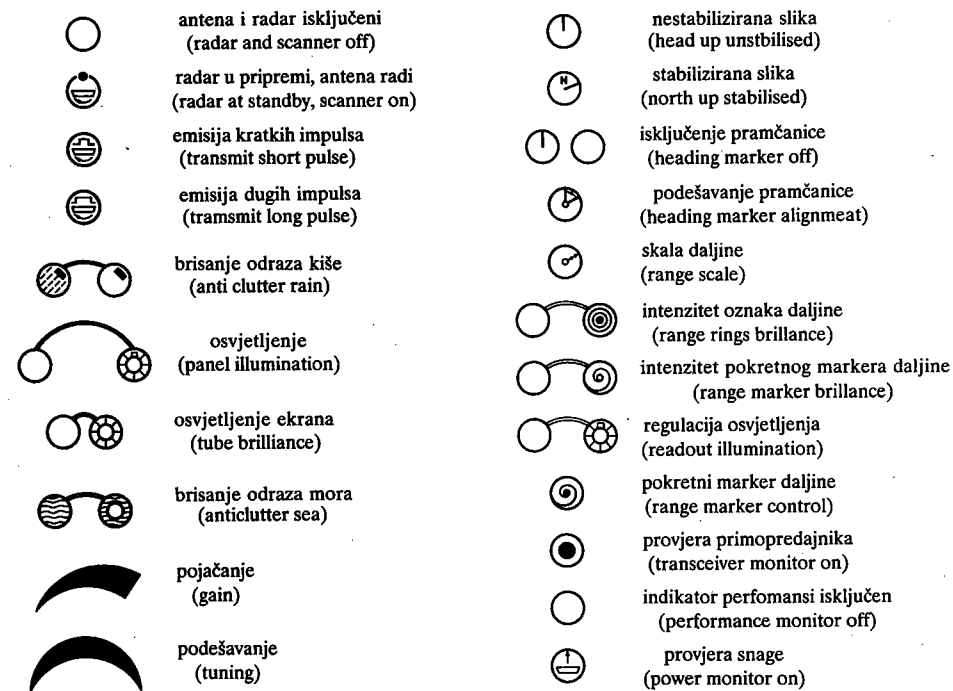


Sl. 6.8.a. Pokazivač radara DECCA-TM 909

1 – elektronički pokazivač azimuta (*Electronic Bearing Marker*) – za brzo i naročito točno očitavanje azimuta; 2 – dugme za fokusiranje (*Focus*) – fokusira i izoštrava obrise radarske slike; 3 – preklopka daljine (*Range Switch*) – odabir jednog od 7 mjernih područja (0,75–1,5–3–6–12–24–48 M); 4 – podešavanje jačine osvjjetljenja (*Brilliance Controls*) – regulira osvjjetljenje smjernog i daljinskog pokazivača stalnih daljinskih kružnica i radarske slike; 5 – kotačić smjerala (*Bearing Marker Control*) – za mehaničko pokretanje smjerala iznad radarskog zaslona pri mjerenju azimuta; 6 – sklopka "priprema/rad" (*Standby/Transmit*) – u položaju "priprema" regulira napon napajanja katodne cijevi i magnetrona, i time ih čini neaktivnim kad radar nije u uporabi, a u položaju "rad" radar se trenutno stavlja u rad; 7 – sklopka napajanja radara "uključen/isključen" (*Radar "ON/OFF"*); 8 – podešavanje lokalnog oscilatora (*Tuning*) – fino podešava međufrekvencije radara; 9 – podešavanje elektronskog snopa (*Reset Controls*) – položaj točke koja na ekranu predočuje vlastiti brod; 10 – ručno postavljanje brzine (*Hand Speed Setting*) – trajno podešavanje brzine (2–36 čv) na linearnoj ljestvici; 11 – precizno podešavanje pramčanice (*Course Made Good Control*); 12 – postavljanje početnog kursa (*Set Course Control*) – početna sinkronizacija kursa prema kompasu; 13 – signalno svjetlo relativnog gibanja (*Relative Motion Warning Light*) – svjetli pri "pravom gibanju", kad je daljina prekoračena ili kad je uključena nulta brzina; 14 – podešavanje nulte brzine (*Zero Speed Control*) – za dobijanje slike relativnog gibanja, kad je slika ekscentrična; 15 – izbor vrste slike (*Presentation Switch*) – pravog gibanja (putem brzinomjera ili ručno), odnosno relativnog gibanja (s azimutnom stabilizacijom ili po pramčanim kutovima); 16 – potencijometar pojačanja (*Gain*) – regulira osjetljivost radara; 17 – smanjenje učinka odraza od mora (*Anti Clutter Sea*) – poboljšanje jasnoće slike od smetajućih odraza na kraćim udaljenostima; 18 – sklopka antene "uključena/isključena" (*Scanner ON/OFF*); 19 – sklopka impulsa (*Pulse Switch*) – odabir impulsa od 0,1 μ s do 0,5 μ s; 20 – kotačić promjenljive kružnice daljine (*Range Marker Control*) – podešava polumjer promjenljive kružnice; 21 – sklopka pramčanice (*Heading Marker Control*) – uključuje/isključuje pramčanicu; 22 – podešavanje središnje točke zaslona (*Shift Control*) – pri prikazu slike relativnog gibanja; 23 – podešavanje osvjjetljenja ploče (*Dimming Control*); 24 – sklopka protiv odraza od kiše/snijega (*Anti Clutter Rain*) – smanjuje smetnje na radarskoj slici; 25 – preklopka ljestvice daljine (*Range Marker Switch*) – mijenja mjerilo ljestvice za daljinu



Sl. 6.8.b. Radar RACAL DECCA 970 BT— TV videozaslon i slika u boji



Slika 6.9. Standardizirane oznake na ploči radarskog prijavnika

6.2.4. Pomagala za plotiranje. Razne vrste pomagala, odvojeno od radara ili u sustavu radara, služe lakšem rješavanju navigacijskih zadataka na osnovi podataka dobivenih sa zaslona radarskog pokazivača.

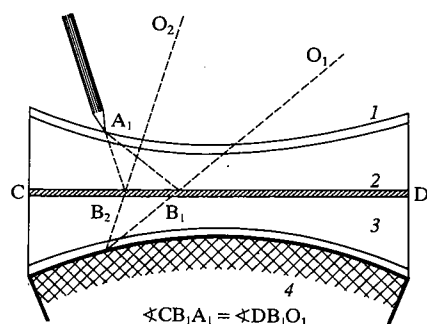
D i j a g r a m . Postoje dvije vrste dijagrama: manevarski dijagram tiskan crno-bijelo i radarski dijagram ljubičasto-bijelo. Objema vrstama dijagrama služimo se uglavnom za rješavanje problema u relativnom sustavu plotiranja.

Manevarski dijagram (manouversing board). To je zapravo polarni dijagram sa 36 ucrtanih radijalnih pravaca (smjerova) i 10 koncentričnih daljinskih kružnica s podjelom od 0° do 360° (sl. 7.13.a).

Na gornjoj strani dijagrama ucrtano je linearno mjerilo s podjelom na jarde i metre, a lijevo i desno ljestvica za unošenje udaljenosti, odnosno prevaljenih putova i brzina u omjeru 2:1, 3:1, 4:1, 5:1. S donje strane nalazi se logaritamski monogram s omjerom vremena, brzine i prevaljenog puta broda. Pri relativnom plotiranju valja uvijek odabrati optimalnu ljestvicu. Za udaljenost (prevaljene putove) između 10 M i 20 M najbolje odgovara ljestvica 2:1, a od 10 M ljestvica 1:1. Za grafičku konstrukciju trokuta vektora sa stranicama u čvorovima mora se također odabrati odgovarajuća ljestvica, koja ne mora biti ista kao i ljestvica udaljenosti (prevaljenih putova). Upute za uporabu dane su na dijagramu.

Radarski dijagram (radar plotting sheet) prikazan je na sl. 7.12. To je također polarni dijagram, ali za razliku od manevarskoga, bez ucrtanih radijalnih pravaca (smjerova). Ucrtane kružnice s jednakom ekvidistancijom predočuju stalne daljinske kružnice s radarskog zaslona. Na lijevoj strani dijagrama ucrtane su ljestvice mjernog područja 1,

3, 10, 12, 15 i 20 M, ali se dijagram može uporabiti i u drugom mjerilu (npr. 3×2, 10:2 i sl.). Koja će se ljestvica odabrati, ovisi o odabranom mjernom području. Dvije ljestvice za brzinu s maksimalnom vrijednošću 40 čv i 60 čv i logaritamska ljestvica omjera vremena, brzine i prevaljenog puta dane su na desnoj strani dijagrama. Na dijagramu su upisane i upute za njegovu uporabu.



Sl. 6.10. Refleksna ploča

- 1 – konkavna ploča;
- 2 – poluzrcalo;
- 3 – konveksna ploča;
- 4 – katodna cijev

R e f l e k s n a p l o č a . Ta je ploča (*reflection plate* ili *plotter*) radarskopski dodatak koji olakšava grafičko rješavanje zadataka u radarskoj navigaciji, a posebice plotiranje neposredno iznad radarske slike. Ploča je redovito od stakla, ali može biti i od plastične mase. Pri rješavanju zadataka na ploči navigator se ne udaljuje od radarskog zaslona, što povećava sigurnost plovidbe. Sl. 6.10. pokazuje najčešću refleksivnu ploču u uporabi. Na nekim pločama ploha na kojoj se crta može biti i ravna (npr. *Decca flat plotter*). Ploča je na obodu osvijetljena, a jedno poluzrcalo reflektira ucrtane znakove na zaslonu.

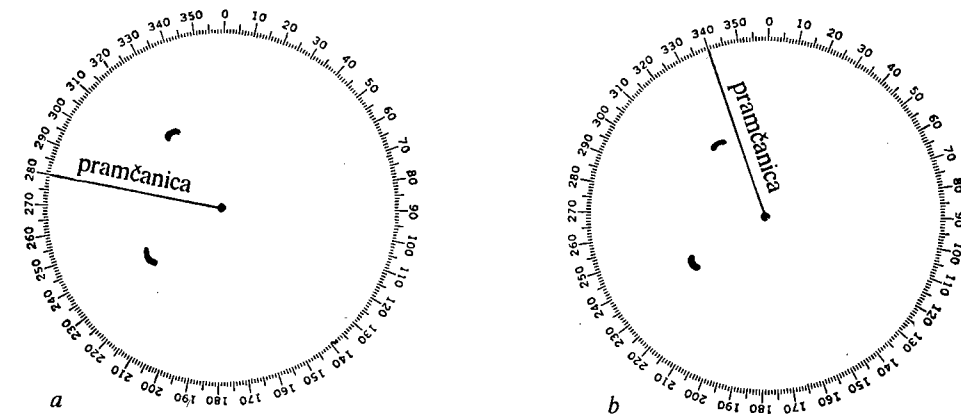
Crta se posebnom masnom olovkom (*chinagraph pencil*) i pritom valja paziti da oko navigatora bude točno iznad zaslona; u protivnom nastaje paralaktička pogreška. Objekti se označuju oznakom X. Upisivanje znakova i crtanje na ploči valja obavljati dobro pritišćući olovku. Ploča mora biti uvijek čista. Najdjelotvornije se čisti blagom mješavinom amonijaka i čiste vode.

Stabilizirana radarska slika orijentirana je prema sjeveru (N). Vremenska osnovica počinje iz središta radarskog videozaslona. Zbog stalnog kruženja odaslanog radarskog snopa i persistencije radarskog zaslona, svijetle mrlje kontinuirano odslikavaju objekte unutar radarskog obzora. One se na radarskom zaslonu, kao i objekti u prostoru, gibaju u odnosu prema vlastitom brodu, tj. njihovo je gibanje relativno.

Periodičnim označivanjem pozicija mrlja na refleksnoj ploči (iznad zaslona) neprekidno se prati i stvarna situacija oko vlastita broda. To omogućuje dobivanje potrebnih elemenata za izvođenje optimalnog manevra u datoj situaciji. Boljoj orijentaciji pomaže pramčanica koja je na zaslonu neprekidno osvijetljena. Sl. 6.12.a. prikazuje stabiliziranu radarsku sliku prije (u kursu $K=280^\circ$) i poslije promjene kursa (u kursu $K=340^\circ$).



Sl. 6.11. Plotiranje na refleksnoj ploči iznad videozaslona



Sl. 6.12.a Plotiranje kad je radarska slika stabilizirana prema meridijanu (N) lijevo - brod plovi u $K=280^\circ$; desno - promjena kursa u $K=340^\circ$

Nestabilizirana radarska slika orijentirana je redovito prema pramcu. Postupak je sličan kao i u stabilizirane slike prema meridijanu (N). Međutim, budući da je slika orijentirana prema pramcu, situacija postaje zamršenija kad vlastiti brod promijeni kurs. Stoga je potrebno svaki put zakrenuti refleksnu ploču za vrijednost promjene kursa, ali u stranu koja je protivna okretanju kormila. Svaka promjena kursa utječe na točnost ucrtane situacije, pa se novo plotiranje mora obaviti nakon što je brod ustalio kurs.

Zbog persistencije radarskog zaslona pri promjeni kursa vlastitog broda, svijetla će mrlja opaženog objekta na zaslonu izazvati prema strani okreta blijede lukove. Sl. 6.12.b. pokazuje takvu situaciju kad brod plovi u kursu $K=280^\circ$, a kormilar povremeno izlazi iz kursa. To se na zaslonu pokazuje točkastim izduženjem mrlje.

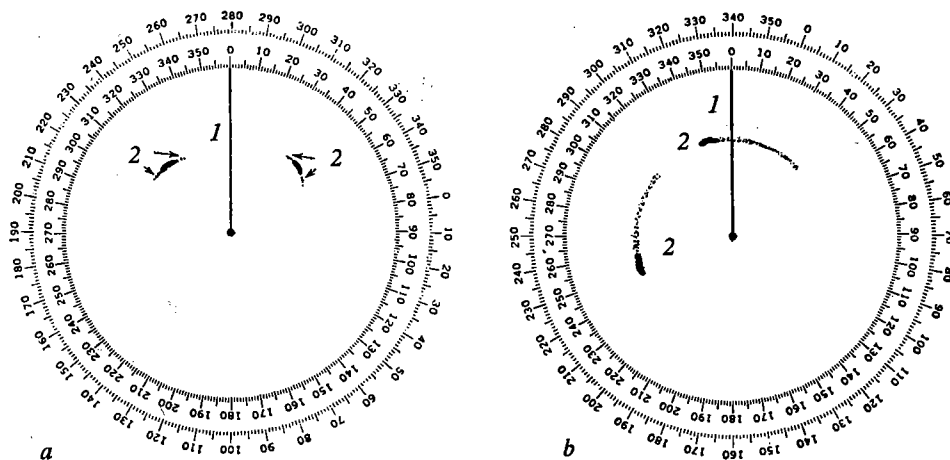
Ako se kurs promijeni nadesno u $K=340^\circ$ (desna slika), mrlje su razvučene u obliku luka koji odgovara kutu promjene kursa (60°). Zato je u nastavku plotiranja, potrebno ploču zakrenuti za 60° , ali u smjeru suprotnom promjeni kursa (ulijevo).

Ako usporedimo slike 6.12.a. sa slikama 6.12.b., vidjet ćemo da u stabilizirane radarske slike nema blijedih lukova iza mrlja pri promjeni kursa. Plotiranje za vrijeme promjene kursa i nakon ustaljenja broda u novom kursu ostaje u neprekidnoj vezi s onim prije promjene kursa.

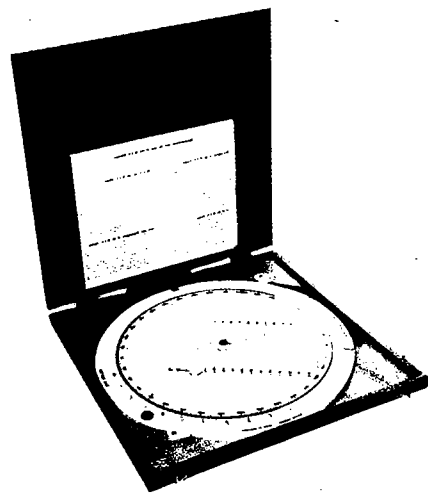
P l o t e r i . Da bi se što brže i praktičnije, neovisno o radarskom videozaslonu (ekranu), rješavali određeni zadaci, posebice u vezi s izbjegavanjem sudara brodova, rabe se razni ploteri, redovito izrađeni od prozirnih plastičnih ploča. Oni nisu sastavni dio radara.

Decca Plotter. To se navigacijsko pomagalo sastoji od dvije kružne ploče, jednom pomičnom a drugom nepomičnom, sa stupanjskom podjelom. Na njima je par alhidada s pomoću kojih se vrlo brzo unose svi elementi potrebni za plotiranje.

Kelvin Hughes Plotter – tip RAS. Ima tri glavna dijela: neprozirnu kružnu ploču sa 12 koncentričnih kružnica i stupanjskom podjelom za pramčane kutove od 0° do 360° , prozirni disk sa azimutnom podjelom od 0° do 360° na kojem se crta, i pravokutno smjeralo (redalicu) s podjelom na palce i desetine palca (sl. 6.13.a). Svi su dijelovi međusobno spojeni središnjim zavrtnjem koji prolazi zajedničkim središtem. Ploter se nalazi u drvenoj kutiji na čijem je poklopcu nalijepljena tablica omjera vremena, brzine i prevaljenog puta.

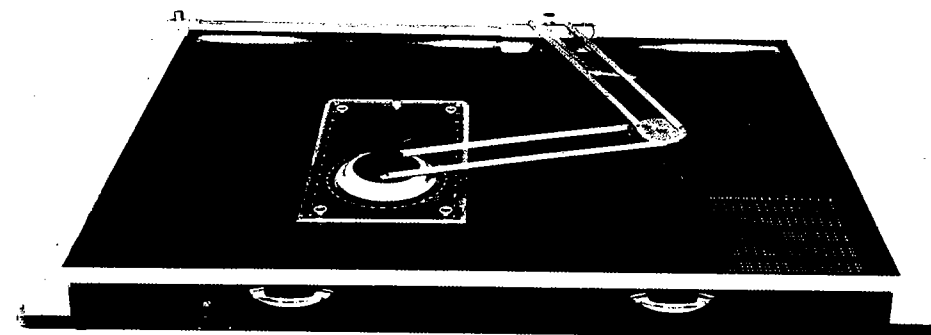


Sl. 6.12.b. Plotiranje kad je radarska slika nestabilizirana
 lijevo – vlastiti brod u $K_g=280^\circ$, izgled slike pri povremenom izlasku broda iz kursa (lijevo);
 desno – izgled slike pri promjeni kursa od $K=280^\circ$ u $K=340^\circ$ (desno); 1 - pramčanica;
 2 – mrlje opaženog objekta



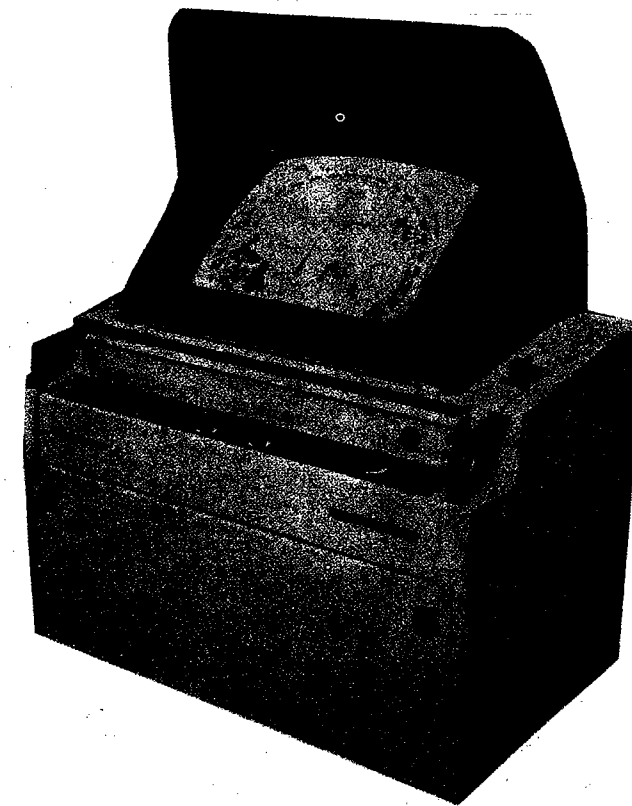
Sl. 6.13.a. Ploter Kelvin Hughes (tip R.A.S.)

Stol za plotiranje. To je stol na kojemu je prozirna i osvijetljena crtaća površina nalik na radarski ili manevarski dijagram. Podloga je crna, a dijagram fluorescentan, što je osobito praktično pri radu noću. Za crtanje se rabi posebna olovka koja ostavlja svijetao trag na tamnoj podlozi. Plotiranje se obavlja na isti način kao i na radarskom (manevarskom) dijagramu ili posebnim priborom. Nalazi se blizu radarskog pokazivača što olakšava prijenos podataka s radarskog zaslona (ekrana) na stol. Noviji tipovi imaju projiciranu radarsku sliku.



Sl. 6.13.b Stol za plotiranje Kelvin Hughes Radar Ploter

Stol za plotiranje tipa Kelvin Hughes Radar Plotter. Stol pravokutna oblika. Ima stakleni poklopac po kojem se pomoću laktaste poluge pomiče četverokutni ploter (*track plotter*) sa stupanjskom podjelom; na desnom kutu poklopca upisana je tablica odnosa udaljenosti (prevaljenog puta), vremena i brzine. Na staklenoj ploči crta se posebnom olovkom. Stol i ploter imaju posebno osvijetljenje i preklopke. Osim toga, u stol može biti ugrađen sat i mjerač vremena.



Sl. 6.14. Radarski pokazivač Kelvin Hughes s TV videozaslonom

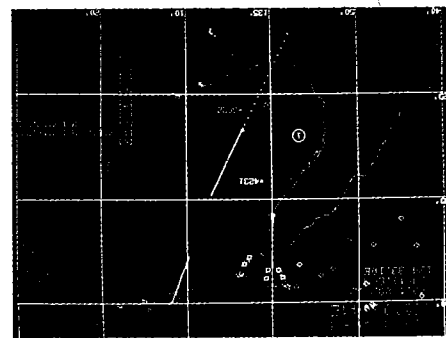
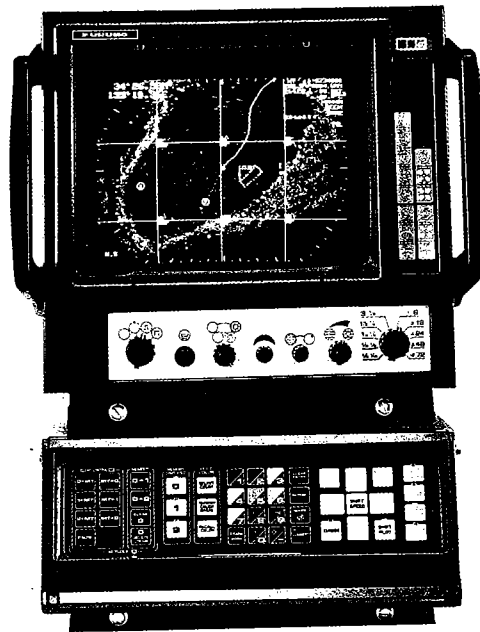
TV-pokazivač Kelvin Hughes. Na ekranu pokazuje radarsku sliku (pravu ili relativnu) orijentiranu prema pramcu i stabiliziranu prema kursu. Posebna mala katodna cijev preko optičkog sustava prenosi radarsku sliku na persistentnu ploču, nju snima TV-uređaj i prikazuje je na svom

zaslonu. Pokretni plovni objekti iza sebe pokazuju repiće. Pri pravom pokazivanju situacije mrlja vlastitog broda nalazi se u sredini i nepokretna je. Plotira se izravno na zaslonu.

Automatski Decca Plotter. U spoju s radarom za pravo pokazivanje slike (npr. Decca-TM 969), automatski i stalno označuje poziciju motrenog objekta. S pomoću preklopki (tipki) postave se azimut i udaljenost objekta i zatim potisne jedna nožna oklopka. Na radnoj plohi plotera koja prikazuje manevarski dijagram (za relativno plotiranje) pojavit će se oznaka pozicije objekta s upisanim vremenom (ako se traži).

Niz pozicija daje relativan put opaženog objekta, na osnovi kojega se mogu izračunati ostali elementi potrebni za manevar izbjegavanja sudara. Može imati i dodatno pomagalo (*predictor*) koje olakšava dobivanje navigacijskih elemenata.

Videorisničar (video plotter). Navigacijsko pomagalo s videozaslonom katodne cijevi. U sprezi je s temeljnim navigacijskim osjetilima (girokompas ili elektronički kompas, brzinomjer, jedan hiperbolni ili satelitski navigacijski uređaj). Hidrografsko-topografski i dr. informativni podaci pohranjeni su u memoriji na optičkim diskovima (bazu podataka čine elektronske karte), a odabiru se daljinskim upravljačem (telepilot) ovisno o području plovidbene rute. Na videozaslonu pokazivača oblikuje se obalni (otočni) rub i plovidbene oznake te iscrtava put preko dna vlastita broda; očitava se kurs i geografske koordinate (φ, λ) trenutačne pozicije broda, a ovisno o programu i drugi navigacijski podaci. Ako je videorisničar u vezi s radarom, na videozaslonu pokazivača se osim slike elektronske karte prikazuje i odgovarajuća radarska slika (vidjeti pogl. 8.1.).



Sl. 6.15. Kartografski videorisničar

Kartografski videorisničar (cartographic video plotter) se u integriranom navigacijskom sustavu rabi umjesto zbirnog navigacijskog stola. Prednost mu je što omogućuje ucrtavanje programirane plovidbene rute. Ako brod u tijeku plovidbe izađe s rute, automatski se javlja signal upozorenja. Odabrane programirane rute određene odgovarajućim brojem međutočaka (do 100) mogu se također memorirati i uporabiti za iduća putovanja, što je posebno praktično u linijskoj plovidbi i u ribarstvu.

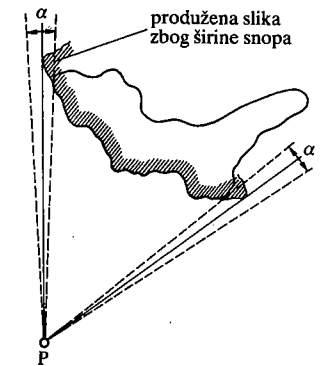
6.2.5. Pozicija broda mjerenjem azimuta i udaljenosti. Istodobno se izmjeri radarski azimut i udaljenost. Najprikladniji su za to usamljeni ili karakteristično izdvojeni otočići (na našoj obali npr. Porer, Albanež, Mulo, Jabuka). Ako prilike omogućuju, sigurnija se pozicija broda dobiva vizualnim mjerenjem girokompasnog azimuta i radarske udaljenosti.

Ta metoda daje poziciju vrlo brzo i to joj je najveća prednost. Međutim, ako objekt nije sigurno identificiran, plovidba na osnovi tako dobivene pozicije može biti vrlo opasna. Isto tako, poziciju dobivenu na osnovi plutajućih oznaka valja uzimati s oprezom. Međutim, ako imamo pravu (opaženu) poziciju broda, mjerenje azimuta omogućuje da se brzo identificiraju nepoznati objekti.

6.2.6. Pozicija broda mjerenjem dvaju ili više azimuta. Pozicija broda određuje se kao i pri optičkom opažanju terestričkih objekata. Pozicija dobivena na osnovi radarskih azimuta nepouzdanija je od pozicije dobivene mjerenjem udaljenosti.

Kad nema pogodnih radarskih objekata (manjih, usamljenih), nego se smjeraju krajevi izduženog niskog otoka, ucrtavaju se tzv. *tangentni azimuti*. Ta je metoda određivanja pozicije najnetočnija jer je prikazana radarska slika prividno izdužena zbog širine radarskog snopa, a i zato što obalna crta otoka nije izrazita (sl.6.16.). Prije ucrtavanja azimuta na kartu desni azimut valja smanjiti za polovicu širine radarskog snopa, a lijevi isto toliko povećati.

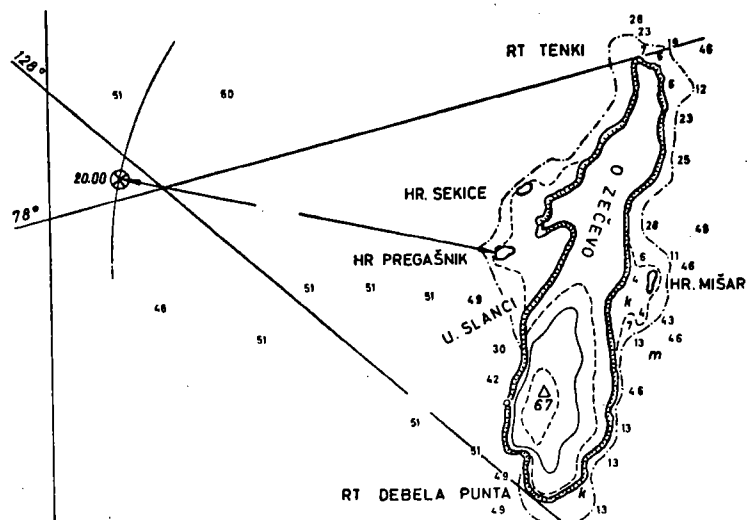
Pri opažanju objekta veće dužine (širine) pouzdanija se pozicija dobiva *tangentnim azimutima* (azimutima rubova) i *bočnom udaljenošću*, kako je to prikazano na sl. 6.17. Pritom, zbog izopačenja mrlje objekta na radarskom zaslonu, uslijed širine snopa i nemogućnosti usklađivanja rubova mrlja na radarskoj slici s njihovim stvarnim položajima na navigacijskoj karti, sjecište tangentnih azimuta bliže je otoku od prave udaljenosti. Pozicija broda odabire se na presjecištu simetrale kuta između dvije azimutne crte i luka kružnice.



Sl. 6.16. Radarska pozicija broda ucrtavanjem tangentnih azimuta

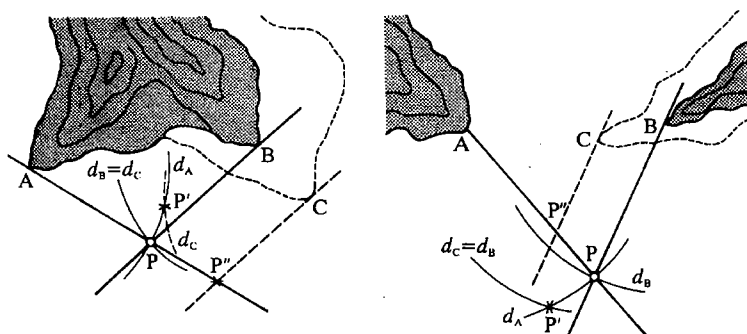
Inače, kad god je radarska pozicija broda određena opažanjem dvaju obalnih objekata, dobro ju je odrediti kombinacijom azimuta i udaljenosti. Samo se na taj način može provjeriti jesu li mjerenja točna i jesu li ih izvršili odabrani objekti.

Na sl. 6.18.– lijevo prikazano je određivanje pozicije opažanjem krajnjih rubova otoka. Ako zbog niske obale radar ne otkriva rt C, motritelj ga može pogrešno zamijeniti s točkom B na izohipsi otkrivenoj radarom. Pozicija određena s dvije udaljenosti (P') bliža je obali od stvarne pozicije (P), a pozicija s dva azimuta (P'') dalje je od te pozicije.



Sl. 6.17. Radarska pozicija broda na osnovi tangentnih azimuta i najmanje udaljenosti

Sl. 6.18. – desno pokazuje poziciju određenu opažanjem bližih rtova dvaju otoka. Položaj netočnih pozicija broda, određenih samo azimutima (P'') odnosno udaljenostima (P'), s obzirom na točnu poziciju (P) obratan je prema prethodnom slučaju.



Sl. 6.18. Pogreške u poziciji broda zbog slabo identificiranih rtova na radarskoj slici.

6.2.7. Pozicija broda mjerenjem vodoravnih kutova. Ta se metoda određivanja pozicije primjenjuje ako radarska slika nema azimutnu stabilizaciju, nego je orijentirana prema pramcu (0°), ili u slučaju kada postoji sumnja u točnost kompasa. Vodoravni kutovi računaju se na osnovi razlika izmjerenih pramčanih kutova ili azimuta, a pozicija ucrtava *Pothenotovom metodom**

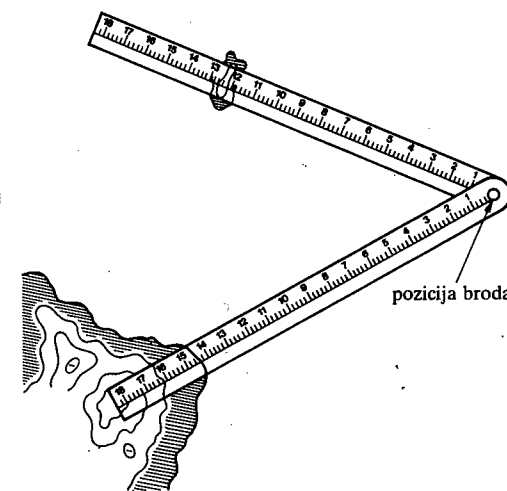
6.2.8. Pozicija broda istodobnim mjerenjem više udaljenosti. Točnost radarskih udaljenosti vrlo je dobra, a pogreška konstantna na svima udaljenostima. Zbog toga pozicija broda određena udaljenostima pripada među najtočnije radarske pozicije.

* Vidjeti: A. Simović, *Terestrička navigacija*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.

Preporučuje se da se mjere tri udaljenosti, inače broj udaljenosti ovisi o vremenu za identifikaciju objekata i vremenu potrebnom za mjerenje (pogreška zbog razlike u vremenima mjerenja). Dva usamljena i dobro uočljiva radarska objekta čije se kružnice udaljenosti sijeku pod kutom 90° ili blizu 90° daju vrlo dobru poziciju. Treća udaljenost (kontrolna) otklanja dvojbu u pogledu identifikacije objekata od kojih su izmjerene udaljenosti. Inače, točnost pozicije ovisi o istim elementima kao i pri optičkom mjerenju udaljenosti, a ponajviše o kutu sjecišta kružnica.

Identifikacija novog objekta mjerenjem treće odnosno četvrte udaljenosti, ako su ostala dva odnosno tri objekta sigurno identificirana, vrlo je pouzdana. Zbog toga se pri mjerenju prvih udaljenosti nekog objekta preporučuje da se pozicija određuje s još dvije udaljenosti objekata koji su ranije sigurno identificirani.

Udaljenosti se praktičnije ucrtavaju posebnim šestarom, tzv. *polužnim šestarom* (*beam compasses*) i s pomoću *dvokrakog* ili *trokrakog ravnala* (sl. 6.19). Ravnala su izrađena od prozirnog (plastičnog) materijala, a na njih je ucrtana ljestvica udaljenosti u mjerilu navigacijske karte. Izmjerene se udaljenosti označe na krakovima i ravnalo namjesti na kartu tako da se te vrijednosti poklope s izabranim objektima. Pozicija broda nalazi se u sjecištu krakova ravnala (sl. 6.12.).

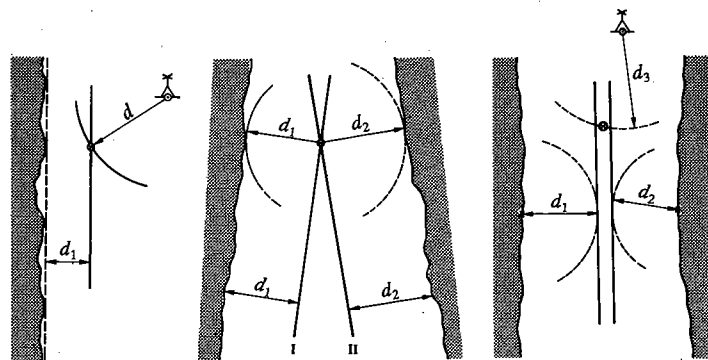


Sl. 6.19. Pozicija s dvije radarske udaljenosti (ucrtana s pomoću dvokrakog ravnala)

Pri plovidbi kanalima ili tjesnacima mjerenja bočnih udaljenosti od objekata na suprotnim stranama daju kružnice pozicija, koje se sijeku pod malim kutom ili se kružnice uopće ne sijeku; treća udaljenost objekta po pramcu ili po krmi, čija se kružnica siječe pod kutom 90° , daje vrlo pouzdanu poziciju. Međusobno dodirivanje kružnica pozicija potvrđuje točnost mjerenja i pouzdanost pozicije prema stranama kanala.

Slično se postupa pri upotrebi radara u plovidbi unutrašnjim plovnicima.

* Vidjeti: A. Simović, *Terestrička navigacija*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.

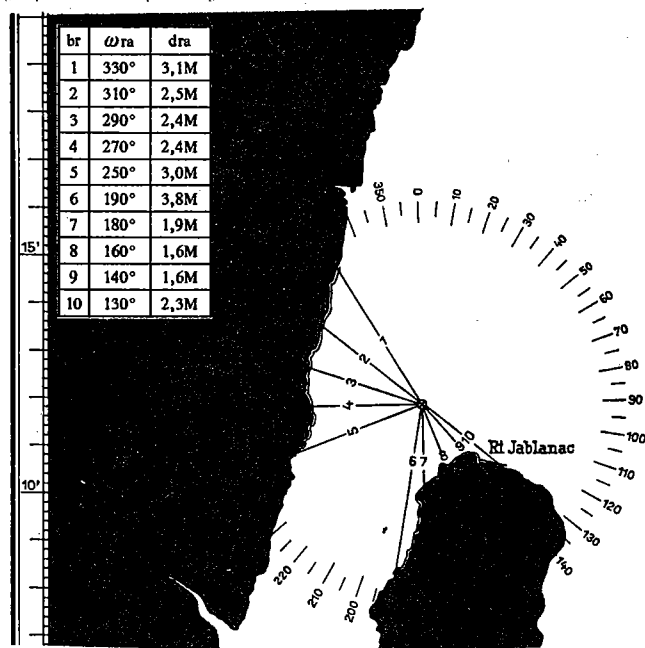


Sl. 6.20. Posebni slučajevi određivanja pozicije mjerenjem radarskih udaljenosti pri plovidbi kanalima i tjesnacima

6.3. Pomoćne navigacijske metode

6.3.1. Pozicija na temelju radarskih obrisa obale. Ta se metoda primjenjuje kad obala nema istaknutih objekata, ali je dovoljno razvedena i strma, a obalna crta dovoljno blizu, kako bi se njezini obrisi što sigurnije raspoznali na radarskoj slici.

Na prozirnju ploču ili proziran dijagram (sl. 6.21.), a ako nema njih na prozirni papir, unose se azimuti i udaljenosti izmjerene s broda do odabranih istaknutih objekata ili dijelova obale. Kroz tako dobivene točke iscrtava se obalna crta. Crtež se postavi na navigacijsku kartu orijentiran prema sjeveru, a zatim se njegovim pomicanjem traži takav položaj da se obrisi obale ucrtani na dijagramu poklapa s odnosnom obalnom crtom ili odgovarajućom izohipsom na karti (ako je obalna crta ispod vidljivog obzora). Pozicija se broda nalazi u ishodištu pravaca ucrtanih na dijagramu (P). Njezina pouzdanost, uz ostalo, ovisi i o prevaljenom putu između mjerenja. Mjerenja sa zaustavljenog broda daju pouzdanu poziciju.

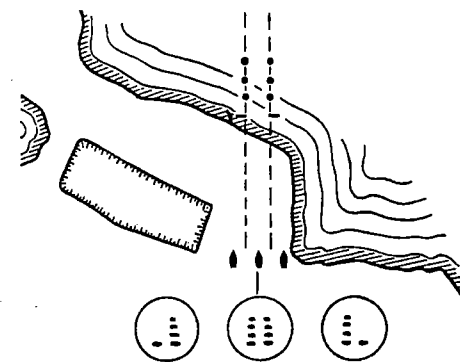


Sl. 6.21. Pozicija broda određena prema radarskim obrisima obale

Dobro je ploču (dijagram) postaviti uz meridijan ljestvice širine; zadržavajući točku ishodišta na meridijanu, ploča se postupno okreće i na azimutnim pravcima svakih 5°, odnosno 10°, izravno se unose odgovarajuće udaljenosti.

Pokazalo se da se prema radarskoj slici možemo sigurno orijentirati kad se približavamo obali s dovoljno radarskih objekata. Na većim udaljenostima, kad je obalna crta ispod morskog obzora, identifikacija topografskih detalja radarskom slikom vrlo je teška i nije puždana. To redovito biva kad su obale niske ili kad se kopno diže postupno prema unutrašnjosti, a plovi se na većoj udaljenosti od obale. Posljedica je toga da se tako izvučeni obrisi obale (po prethodnoj metodi) ne podudara s obalnom crtom na navigacijskoj karti, nego s odgovarajućom izohipsom. Da bi se obala lakše identificirala radarom, rabe se i posebne radarske navigacijske karte. Na tim je kartama bojom, sjenčenjem ili debljinom crta označena istaknuta obalna crta, pojedine izohipse s određenom ekvidistancijom (100–200 m), istaknuti objekti, trigonometri i sl. Uz to, naznačena je i vjerojatna daljina otkrivanja, a na nekima je, uz daljinu, naznačen i odgovarajući smjer, odnosno sektor prema dotičnom objektu (dijelu) obale. Što će biti istaknutije prikazano, ovisi o namjeni i mjerilu karte. Na nekim je kartama ucrtan dijagram s pomoću kojega se na osnovi visine antene i izmjerene radarske udaljenosti dobiva nadmorska visina na radaru vidljive izohipse ili obratno. Uz karte se rabe radarski priručnici koji opisno daju korisne navigacijske podatke, a kao prilog imaju radarske panorame, tj. radarske slike karakterističnih predjela kako ih navigator vidi na radarskom zaslonu u raznim smjerovima i udaljenostima, ako sebe drži u središtu radarske slike (sl. 5.7.).

Ako na brodu nema posebnih karata za radarsku navigaciju ni priručnika s radarskim panoramama, valja dobro proučiti navigacijsku kartu i uočiti istaknute izohipse. Preporučuje se i uporaba tablice udaljenosti radarskog obzora, kako bi se odbacila dvojba o izboru vidljive izohipse.



Sl. 6.22.a. Radarski pokriveni smjerovi

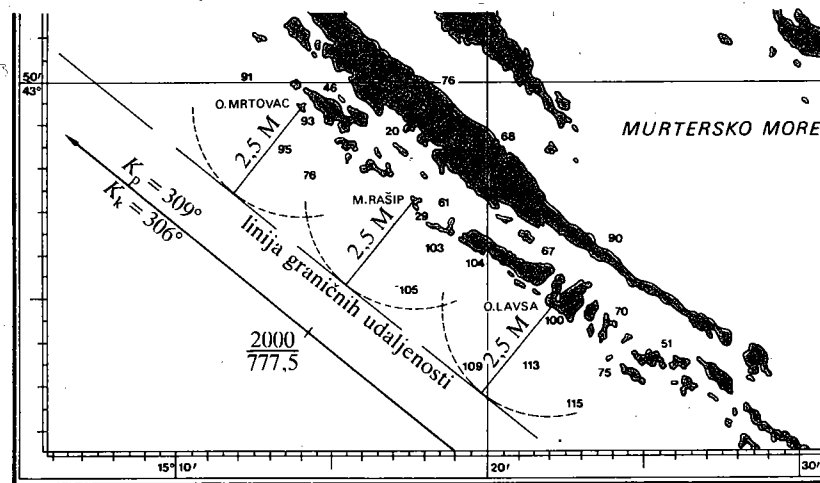
6.3.2. Radarski pokriveni smjerovi. Radarski pokriveni smjer rabi se zbog istih razloga kao i optički pokriveni smjer. Razlika je u tome što se rijetko za to mogu pronaći prirodni objekti, nego se pokriveni smjerovi specijalno označavaju postavljanjem radarskih kutnih reflektora, kombinacijom tih reflektora i radarskih zastora ili radarskih farova. Takvi su pokriveni smjerovi potrebni ako su obale niske i nerazvedene, pri plovidbi uskim prolazima ili opasnim područjima, posebice u slaboj vidljivosti.

6.3.3. Sigurna radarska udaljenost. Slično kao i u obalnoj navigaciji, pomaže sigurnijoj plovidbi, a primjenjuje se uglavnom ako je vidljivost slaba. Može se uporabiti i pri dobroj vidljivosti, kad se plovi uz obalu povoljnu za promatranje radarom. Tada se ona kombinira s opasnim ili graničnim vodoravnim odnosno vertikalnim kutovima.

Praktičan je postupak ovakav: Sigurnim (graničnim) udaljenostima opisu se kružnice kojima su središta u odabranim istaknutim objektima ili točkama, ako je obala slabo razvedena. Zatim se povuče tangenta na ucrtane kružnice (najvećeg polumjera) i ona određuje "graničnu crtu sigurnosti" prema tom dijelu obale. U plovidbi mjerene udaljenosti ne smiju biti manje od granične udaljenosti, tj. brod mora ploviti izvan graničnih crta sigurnosti. Za to se može uporabiti kursor-ploča s ucrtanim paralelnim crtama. Te se paralelene crte postavljaju paralelno s crtom pramčanice, odnosno s obalom. Zabilježi se ili upamti crta koja odgovara graničnoj udaljenosti i plovi tako da ta granična crta ne prelazi obalni rub, odnosno spojnicu izabranih objekata (sl. 6.22.b.).

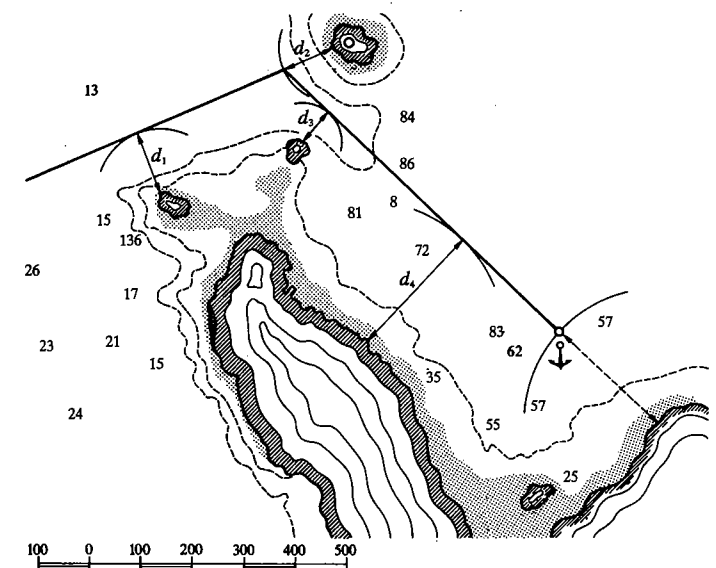
Ako se podvodne opasnosti nalaze s obje strane plovnog puta, tada se i crte sigurnosti crtaju na obje strane. Kružnice graničnih udaljenosti mogu se ucrtati, polazeći od istaknutih objekata, s obje strane ili s jedne. Ploviti valja unutar tih graničnih crta sigurnosti.

Kad se dulje plovi u istom kursu kanalima, rijekama ili drugim uskim prolazima, sigurna se udaljenost kontrolira s pomoću promjenjive radarske daljinske kružnice. Kružnica se postavi na udaljenost koja odgovara polovici širine plovnog kanala, odnosno na sigurnu udaljenost od jedne strane plovnog puta, ovisno o tome plovi li se sredinom kanala ili bliže jednoj obali. Plovi se tako da daljinske kružnice stalno dodiruju odraze obje strane, odnosno jedne strane kanala.

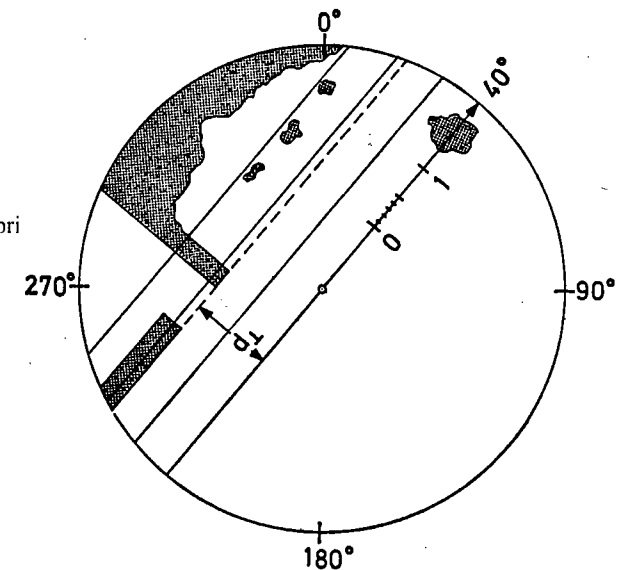


Sl. 6.22.b. Radarska udaljenost kao sigurna udaljenost

6.3.4. Uplovljivanje na sidrište. Da bi brod sigurno slijedio ucrtani sidreni kurs, valja rabiti već poznate metode za sigurnu plovidbu, primjenjujući ih na radarsku navigaciju i posebice načine određivanja pozicije radarom. To su ponajprije metode sigurne udaljenosti. Jedan način vođenja broda na sidrište prikazan je na sl. 6.23.



Sl. 6.23. Vođenje broda na točku sidrenja s pomoću radara mjerenjem udaljenosti



Sl. 6.24. Upotreba kursor-ploče pri vođenju broda na točku sidrenja

Brod se može voditi na točku sidrenja i s pomoću kursor-ploče. Odredi se siguran kurs (u ovom slučaju $K_g = 40^\circ$) koji vodi na sredinu otoka, a zatim i granična bočna udaljenost (d_1) od lijeve obale i objekata na toj strani. S pomoću kursor-ploče, na određenoj udaljenosti od središta zaslona zapamti se ili ucrtaj granična crta koja je ujedno i pravac relativnog gibanja bočnih objekata (na slici: vanjski rub lukobrana, vrh gata) u odnosu na brod koji se zamišlja u središtu radarskog zaslona. Tijekom plovidbe u kursu 40° otok mora stalno biti po pramcu, a objekti s lijeve strane na graničnoj crti kursora (sl. 6.24.).

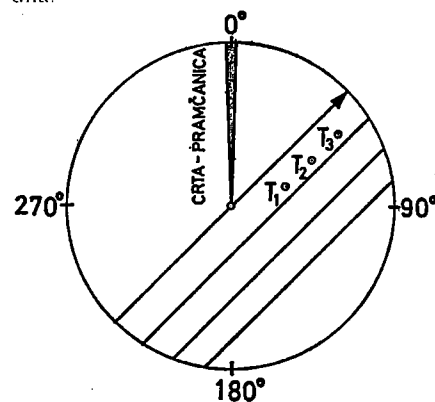
Ako se želi usidriti na 1 M udaljenosti od otočića po pramcu, ta se udaljenost nanese od središta radarske slike (kursor-ploče) prema otoku i označi npr. sa 0. Ista se du-

žina nanese od oznake 0 prema otoku i označi oznakom 1 (jedna nautička milja), a može se podijeliti i na kabele. Kad oznaka 1 dodirne prednji rub mrlje koja na zaslonu prikazuje otok, znači da do obaranja sidra ima još 1 M. Kad na zaslonu crtica označena sa 0 dodirne prednji rub mrlje (otoka), brod se nalazi na točki sidrenja. U ovom je slučaju zanemaren razmak od radarske antene do sidrena ždrijela; za veće brodove mora se taj razmak uzeti u obzir.

Manji brodovi manevar sidrenja mogu izvesti i jednostavnije. Ako npr. kurs vodi na središte otoka, promjenjiva se daljinska kružnica postavi na vrijednost koja odgovara udaljenosti točke sidrenja od otoka. Kad kružnica dodirne otok, brod se nalazi na točki sidrenja i u tom se trenutku obara sidro.

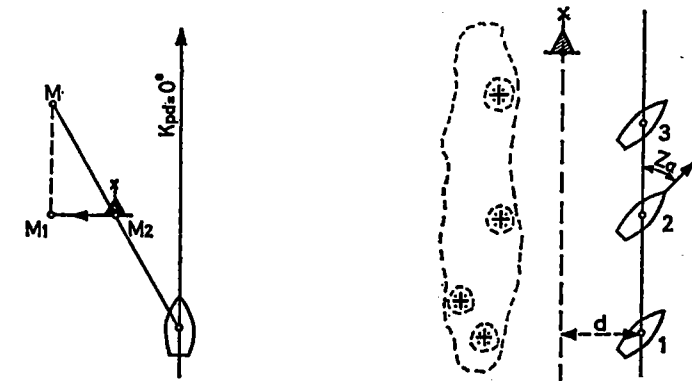
6.3.5. Provjera puta preko dna uporabom kursor-ploče. Pri plovidbi za slabe vidljivosti, ako je sigurno identificiran jedan nepokretni radarski objekt, uporabom kursor-ploče mogu se, orijentacijom prema radarskoj slici, provjeriti kurs i brzina broda preko dna, odnosno je li brod zanesen utjecajem struje ili vjetera, te u koju stranu.

Postupa se ovako (sl. 6.25.): Na zaslonu, odnosno na reflektivnoj ploči (plotteru), ucrtaju se relativni položaji nepokretnog objekta (T) za jednake vremenske razmake. Smjer prividnog gibanja objekta na radarskom zaslonu suprotan je kursu broda preko dna, a razmak između ucrtanih pozicija (T_1 , T_2 , T_3) odgovara prevaljenom putu broda. Crte na kursor-ploči postavse paralelno sa spojnicom $\overline{T_1T_3}$; na središnjoj crti kursora, u smjeru suprotnom relativnom gibanju objekta, pročita se vrijednost kursa (na slici 6.25: $K_{pd}=45^\circ$). Razmak $\overline{T_1T_3}$ podjeljen proteklim vremenom daje brzinu broda preko dna.



Sl. 6.25. Provjera puta preko dna uporabom kursor-ploče

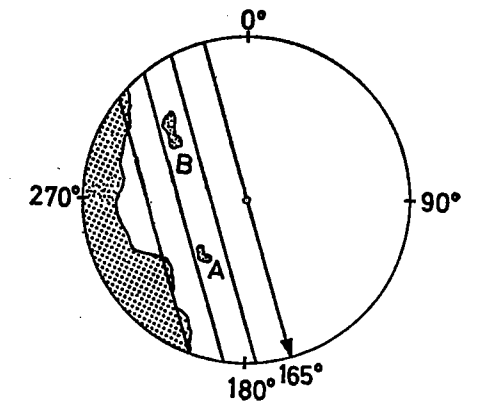
Sl. 6.26. (a) prikazuje grafički način određivanja elemenata zanošenja broda. Kad ne bi bilo zanošenja, poslije određenog prevaljenog puta plutača M opazila bi se u položaju M_1 , a ne u M_2 . Budući da je plutača nepomična, vektor $\overline{M_2M_1}$ prikazuje smjer i put (brzinu) zanošenja broda, a kut M_1MM_2 kut zanošenja (Z_n), odnosno kut za koji valja popraviti kompasni kurs da bi brod slijedio kurs preko dna $K_{pd}=0^\circ$, kako to prikazuje sl. 6.26.(b).



Sl. 6.26. Određivanje elemenata zanošenja broda

6.3.6. Identificiranje nepoznatog objekta. Jedan od načina prikazuje sl. 6.27. Na radarskom zaslonu označen je sigurno identificirani objekt B. Opaženi objekt A nije sigurno identificiran, ali se pretpostavlja da je to plutača označena na karti.

S karte se izmjeri azimut i udaljenost objekta A prema objektu B. Kursor-ploča zakrene se tako da središnja crta pokazuje stupanjsku vrijednost izmjerenog azimuta.



Sl. 6.27. Identificiranje nepoznatog objekta na radarskom videozaslonu

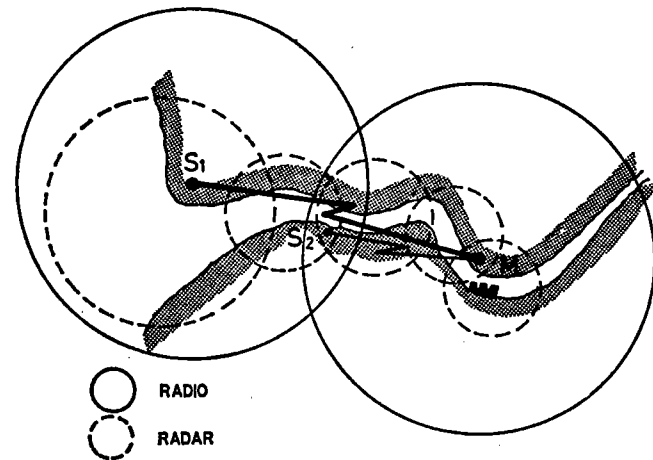
Na jednu od paralelnih crta na ploči, koja je najbliža poznatom objektu B, nanese se prema nepoznatom objektu A izmjerena udaljenost. Ako tako dobivena točka na radarskom zaslonu pada u visini mrlje nepoznatog objekta, znači da je to plutača. Pritom valja imati na umu da mrlja broda na zaslonu postaje sve veća kako se brod približava tom objektu.

Slično se mogu identificirati i drugi objekti ili dijelovi obale, a isto tako otkloniti dvojba je li objekt pomičan ili nepomičan.

Na osnovi sličnih načela mogu se primijeniti i ostale slične metode, koje svakako pridonose sigurnosti plovidbe.

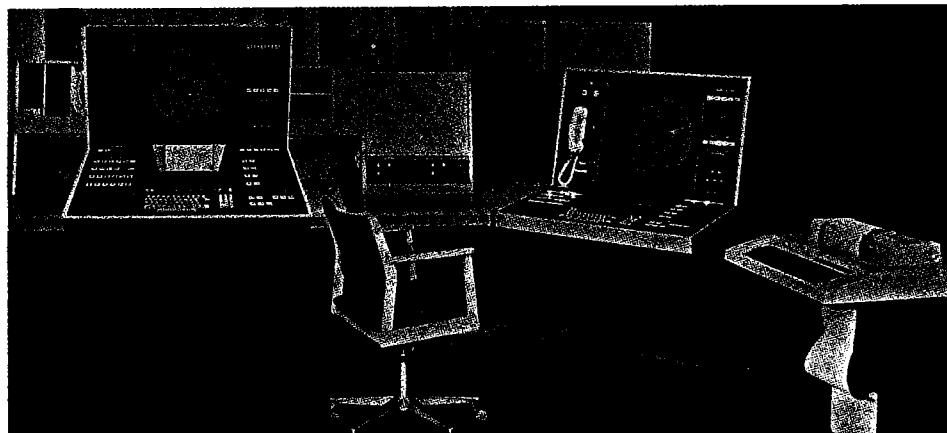
6.3.7. Lučka i obalna radioradarska postaja. Sve veći pomorski promet i opremanje luka suvremenim prekrajnim uređajima, što skraćuje vrijeme lučkih operacija, iziskuje i bolje upravljanje i bolji nadzor u luci i na njezinim prilazima. Stoga u lukama, osim radiopostaja, postoje i radarske postaje s jednim radarom ili sustavom radara koji-

ma su antene postavljene na istaknutim mjestima. Pojedini radar nadzire određeni dio lučkog akvatorija, a svaka od tih postaja u radiotelefonskoj je vezi s glavnom postajom. Peljar na brodu održava radiotelefonsku vezu s postajama na kopnu.



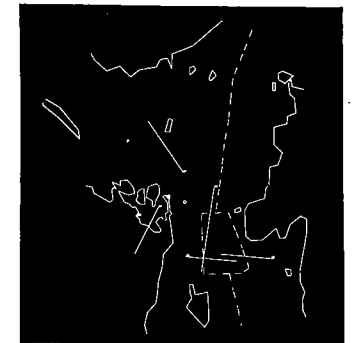
Sl. 6.28. Obalni (lučki) sustav radioradarskog motrenja i navođenja brodova
S₁ i S₂ – pomoćne postaje; M – nadzorna glavna postaja

Sl. 6.28. prikazuje raspored tih postaja za luku koja se nalazi u riječnom ušću. Prema trenutačnoj situaciji postaja radiotelefonski upravlja brodovima, upozorava ih na opasnosti, daje pozicije brodova u plovidbi i na sidrištu, kao i druge podatke koji se od nje traže. Posebno značenje te postaje imaju za magle, u uvjetima slabe, odnosno ograničene vidljivosti.



Sl.6.29.a. Obalna (lučka) radarska nadzorna postaja *NORCONTROL*

Obavijesti od lučkih radarskih postaja mogu se primiti i s pomoću tzv. kvadratne karte. Karta plana lučkog područja podijeljena je na kvadrate (stranica 0,5 M). Ishodište koordinatnog sustava jest u radarskoj postaji. Svaki kvadrat označen je rednim brojem, a pozicija broda daje se brojem kvadrata u kojemu se brod nalazi. U takvom sustavu praktično je da zaslon radara ima odgovarajuću elektronsku kvadratnu mrežu.

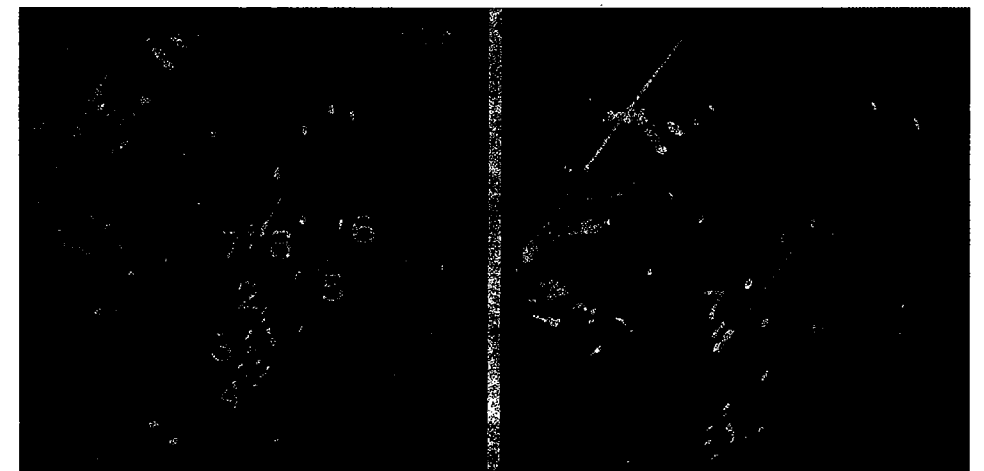


Sl. 6.29.b. Radarska slika na videozaslonu
prijamnika *NORCONTROL*

Ima i takvih radarskih postaja koje prenose sliku sa svog zaslona na televizijski prijamnik na brodu. Brod i njegovo gibanje prikazuju se u pravoj slici koja odgovara plovidbenom području.

Osim u prilazima luka, slične radarske postaje postavljaju se i na pojedinim dijelovima obale i plovnih kanala gdje vladaju nepovoljne meteorološke prilike i iznimno teški plovidbeni uvjeti. Slika 6.30. prikazuje prometnu situaciju pred lukom Dover (Le Manche), gdje se mora ploviti po preporučenoj ruti od sjeveroistoka prema jugozapadu.

Podatke o radarskim postajama i o sustavima njihova upravljanja pružaju priručnici za plovidbu dotičnog područja.



Sl. 6.30. Slika plovidbenog prometa Engleskim kanalom, snimljena s obalne radarske postaje
L – luka Dover; 2, 3, 5 – brod svjetionik (oznaka podrtine); 4 – plutača (oznaka podrtine);
6 – brod svjetionik; 7 – brod u plovidbi NE rutom; 8 – brod u plovidbi SW rutom

PITANJA:

1. Objasnite načela plovidbe s pomoću radara i značajke u vezi s tim.
2. Koje se radarske oznake rabe u radarskoj navigaciji i kako?
3. Na koje se načine i kako mjere pramčani kutovi i radarski azimuti: a) na relativnoj slici; b) na pravoj slici; c) na ekscentričnoj slici?
4. Na koje se načine i kako mjere radarske udaljenosti: a) na relativnoj slici; b) na pravoj slici; c) na ekscentričnoj slici?

5. Objasnite ulogu važnijih preklopki i tipki na radarskom pokazivaču.
6. Opišite i objasnite uporabu radarskih pomagala.
7. Što su to tangentni azimuti i kako se oni ucrtavaju?
8. Na koje se načine određuje radarska pozicija i koja je točnost pojedinih pozicija:
 - a) opažanjem jednog objekta; b) opažanjem dvaju objekata; c) opažanjem triju objekata; d) u plovidbi kanalima; e) radarskim obrisima obale?
9. Kako se za sigurniju plovidbu primjenjuje: a) radarska udaljenost; b) pokriveni smjer?
10. Kako se s pomoću radara brod dovodi na točku sidrenja ili na bilo koju izabranu točku?
11. Kako se s pomoću radara: a) provjerava put broda preko dna; b) određuje zanošenje broda?
12. Kako se pri plovidbi uz obalu, kroz kanale, kroz prilaze pomorskoj luci i sl. rabe obalne odnosno lučke radioradarske postaje?

ZADACI:

1. Radarska je antena nad morskou razinom $h_{\text{oka}}=75$ stopa. Na kojoj će se udaljenosti pojaviti obala, pretpostavljajući da radar ima dovoljnu snagu i da obala daje dobru radarsku jeku ako je visina obale: a) 8000 stopa; b) 6000 stopa; c) 4000 stopa; d) 2000 stopa?
2. Radarska je antena nad morskou razinom $h_{\text{oka}}=16$ m. Na kojoj se udaljenosti može očekivati pojava dijelova obale za visine: a) 1500 m; b) 900 m; c) 600 m; d) 250 m?
3. Mjerenjem na radaru odredi se pozicija s pomoću azimuta i udaljenosti: a) svjetionik Sv. Andrija ($\omega=30^\circ$, $d=6,5$ M); b) otok Jabuka ($\omega=225^\circ$, $d=5,0$ M); c) otok Pianosa ($\omega=315^\circ$, $d=8$ M). Ucrtajte pozicije na navigacijsku kartu.
4. Plovi se uzduž o. Šolte (njezina je dužina 9 M). Izmjere se radarski azimuti: zapadni rt Šolte $\omega_{\text{ra}}=357^\circ$, istočni rt Šolte $\omega_{\text{ra}}=72^\circ$; udaljenost od sredine otoka $d_{\text{ra}}=5$ M, širina radarskog snopa 2° . Ucrtajte poziciju na navigacijsku kartu.
5. Radar nema stabiliziranu sliku. Plovi se prema giro-kompasu: $K_g=130^\circ$, $\delta_g=+2^\circ$. Mjere se pramčani kutovi: otok Jabuka $L_1=203^\circ$, otok Biševo $L_2=283^\circ$, otok Svetac $L_3=243^\circ$. Ucrtajte poziciju s pomoću dvaju vodoravnih kutova.
6. Na radarskom dijagramu ucrtajte ove promatrane objekte (jedinica 100 m): plutača 1 ($\omega_{\text{ra}}=170^\circ$, $d_{\text{ra}}=9000$ m); plutača 4 ($\omega_{\text{ra}}=215^\circ$, $d_{\text{ra}}=2850$ m); plutača 7 ($\omega_{\text{ra}}=255^\circ$, $d_{\text{ra}}=7000$ m); plutača 8 ($\omega_{\text{ra}}=285^\circ$, $d_{\text{ra}}=7000$ m); sidrište P ($\omega_{\text{ra}}=330^\circ$, $d_{\text{ra}}=5500$ m). U središtu dijagrama nalazi se radarski objekt. Položaje sprijeda naznačenih objekata ucrtajte od središta dijagrama (R). Iz točke koja označuje prvu plutaču (1) ucrtajte kurs koji odgovara $K_g=328^\circ$, subočice plutače (4) novi kurs $K_g=288^\circ$, subočice plutače (7) kurs $K_g=347^\circ$, a od subočice plutače (8) izravan kurs koji vodi na točku sidrenja (devijacija girokompasa $\delta_g=-1^\circ$). Brod je stigao bočno plutači (1) u 08h 00min i dalje plovi po ucrtanim kursevima brzinom 10 čv. Vidljivost je ograničena na 1 M. Mjere se svake 2 min radarski azimuti ω_{ra} i udaljenosti d_{ra} (u metrima) do ucrtanog radarskog objekta: 08h 00min ($\omega_{\text{ra}}=350^\circ$, $d_{\text{ra}}=9\ 000$ m), 08h 02min ($\omega_{\text{ra}}=353^\circ$, $d_{\text{ra}}=8\ 250$ m), 08h 04min ($\omega_{\text{ra}}=356,5^\circ$, $d_{\text{ra}}=7\ 650$ m), 08h 06min ($\omega_{\text{ra}}=359^\circ$, $d_{\text{ra}}=7\ 050$ m), 08h 08min ($\omega_{\text{ra}}=3^\circ$, $d_{\text{ra}}=6450$ m), 08h 10min ($\omega_{\text{ra}}=8^\circ$, $d_{\text{ra}}=5\ 900$ m). Traži se: a) kurs preko dna, b) elementi struje, c) kompasni kurs koji odgovara kursu preko dna $K_{\text{pd}}=327^\circ$, d) približno vrijeme prvog okreta.
7. Brod plovi brzinom 12 čv sa $K_p=120^\circ$. Postupno se mjere radarski azimuti i udaljenosti svjetionika o. Palagruža: 01h 00min ($\omega_{\text{ra}}=15^\circ$, $d_{\text{ra}}=10,5$ M), 01h 04min ($\omega_{\text{ra}}=16^\circ$, $d_{\text{ra}}=9,5$ M), 01h 09min ($\omega_{\text{ra}}=17^\circ$, $d_{\text{ra}}=8,3$ M), 01h 15min ($\omega_{\text{ra}}=19^\circ$, $d_{\text{ra}}=6,8$ M) i u 01h 20min ($\omega_{\text{ra}}=21^\circ$, $d_{\text{ra}}=5,6$ M). Traži se: kurs preko dna i brzina broda preko dna.

7. Primjena radara u izbjegavanju sudara na moru

7.1. Rizik sudara

7.1.1. Opća načela. Prijašnja *Pravila o izbjegavanju sudara na moru* sastavljena su u vrijeme kad se plovilo samo na temelju vida i sluha. Kad je pronađen radar, nastale su nove mogućnosti i olakšice pri plovidbi u magli ili ograničenoj vidljivosti, pa se osjetila potreba da se i radar primijeni pri izbjegavanju sudara na moru. Međutim, valja znati da je radar jedno od navigacijskih pomagala, pa samo podaci koje daje radar nisu uvijek dovoljni za sigurnu plovidbu. Radar ne može pružiti sve elemente potrebne za izvođenje manevra na malim udaljenostima. Osim toga, on ima i svoja tehnička ograničenja i izvore pogrešaka s kojima uvijek valja računati, a to u navigatoru stvara određenu nesigurnost. Jedan je od nedostataka radara to što se na brodu nikada ne zna je li primijećen od drugog broda koji mu dolazi u susret, što namjerava taj brod učiniti, odnosno koji će manevar izvršiti. Stoga prije početka manevra valja odrediti kurs drugoga broda i najmanju sigurnu udaljenost mimoilaženja s njim. Iskustvo je pokazalo da je udaljenost od 3 M ili, općenito, udaljenost dvaput veća od udaljenosti potrebne da brod slobodno okrene za 90° , najmanja udaljenost pri kojoj se još nekako može izbjegniti sudar. Statistika je pokazala da se brodovi najčešće sudaraju ako se susreću iz pramčanih sektora do 70° lijevo i desno, jer je tada susret brz i ostaje vrlo malo vremena za manevar. Inače, opasnost od sudara prijeti kad relativno gibanje mrlje na radarskom zaslonu (označuje dolazeći brod) vodi prema središtu zaslona. Općenito je to slučaj kad pramčani kut (azimut) na drugi brod ostaje nepromijenjen, ili se mijenja vrlo sporo.

Ako je u uporabi klasičan radar, isključivo s relativnom radarskom slikom, potrebno je voditi računa i o vremenu potrebnom za izračun brzine i kursa nepoznatog broda i udaljenosti mimoilaženja, kao prijeko potrebni elementi za pravodobno i pravilno izvođenje manevra izbjegavanja sudara. Taj grafički postupak poznat nam je pod nazivom *plotiranje*. Plotiranje se može izvesti na pravi (apsolutni, navigacijski) ili na *relativan način* (pogl. 7.2.). Ne preporučuje se mijenjati kurs na temelju izravnih podataka s radara prije nego što se utvrdi je li riječ o nepokretnom ili pokretnom objektu, a zatim obaviti plotiranje i razmotri stvarna situacija u kojoj se brod nalazi.

Pri manevriranju valja računati i s mrtvim vremenom potrebnim za izvršenje zapovijedi i eventualnu promjenu brzine, te s vremenom potrebnim da bi brod okrenuo za određeni kut iz kursa. Brzina promjene kursa drugog broda na radarskom zaslonu uvijek će se činiti sporijom nego što ona doista jest, a, osim toga, potrebno je da prođe neko vrijeme dok se na radarskom zaslonu primijeti manevar drugog broda.

Posebno je pitanje što je to "sigurna brzina" pri uporabi radara. Jedan je od najvažnijih elemenata za određivanje vlastite brzine plovidbe gustoća prometa i vidljivost, a zatim i druge okolnosti koje utječu na sigurnost plovidbe.

Suvremeni radarski sustav ARPA (*Automatic Radar Plotting Aid*), redovito u sklopu integriranog navigacijskog elektroničkog sustava, omogućuje automatsko praćenje brodova unutar radarskog obzora i izračun potrebnih elemenata za optimalni manevar izbjegavanja sudara s drugim brodom (pogl. 7.3).

7.1.2. Analiza rizika sudara. Osim rješavanja pojedinih zadataka primjenom sustava plotiranja, nužno je što prije na radarskoj slici analizirati svaki pojedini slučaj kako bi se manevar izbjegavanja sudara izveo što pravilnije i na vrijeme (sl. 7.1.).

a) *Nepoznati objekt po pramcu.* Valja posebice obratiti pozornost na mjerenje udaljenosti, jer se one brže mijenjaju. Mogu nastati sljedeći slučajevi:

Udaljenost (i pramčani kut) od objekta se ne mijenja – drugi brod plovi istim kursom i brzinom kao i naš.

Udaljenost se povećava – drugi brod plovi većom brzinom od brzine našega. Udaljenost se smanjuje (mogu nastupiti tri različite situacije): drugi brod (objekt) zaustavljen je po pramcu ili malo u stranu; drugi brod plovi manjom brzinom od brzine našega; drugi brod plovi u protukursu ili u kursu koji se križa s kursom našeg broda.

Objekt je nepomičan ako se približava u protukursu brzinom našeg broda. To je

vrlo važno ocijeniti na vrijeme, kako bi se isključila dvojba o ocjeni je li to brod, neki drugi nepomični objekt ili kopno. U radara s pravim pokazivanjem slike tu dvojbu otklanja "repić" koji se vidi iza mrlje odnosno broda u plovidbi.

b) *Nepoznat objekt po krmu*. Mogu također nastati tri slučaja:

Udaljenost ostaje ista – drugi je brod točno po krmu i plovi istom brzinom i istim kursom.

Udaljenost se povećava – mogu nastupiti tri različite situacije: objekt je zaustavljen, slijedi nas manjom brzinom ili plovi u protukursu.

Udaljenost se smanjuje – u odnosu na prethodni slučaj, drugi brod plovi većom brzinom od brzine vlastitog broda.

c) *Nepoznati se objekt nalazi u pramčanim sektorima*. Uz mjerenje udaljenosti važna je i promjena pramčanog kuta:

Pramčani kut i udaljenost ostaju isti – drugi brod plovi kursom i brzinom vlastitog broda.

Pramčani kut i udaljenost se smanjuju – brodovi plovi konvergentnim kursovima, postoji opasnost od sudara, potrebno je brzo rješenje.

Pramčani kut ostaje isti, a udaljenost se smanjuje – sudar je neizbježan ako se nastavi ploviti nepromijenjenim kursom i brzinom.

d) *Nepoznati se objekt nalazi bočno*. Više je mogućih situacija, a mogu se razmotriti ove:

Radarska udaljenost i pramčani kut ostaju isti – drugi brod plovi istim kursom i istom brzinom kao i naš brod. Valja dobro provjeriti da se ne radi o lažnoj jeci.

Radarska se udaljenost i pramčani kut smanjuju – drugi brod prolazi po pramcu vlastitog broda.

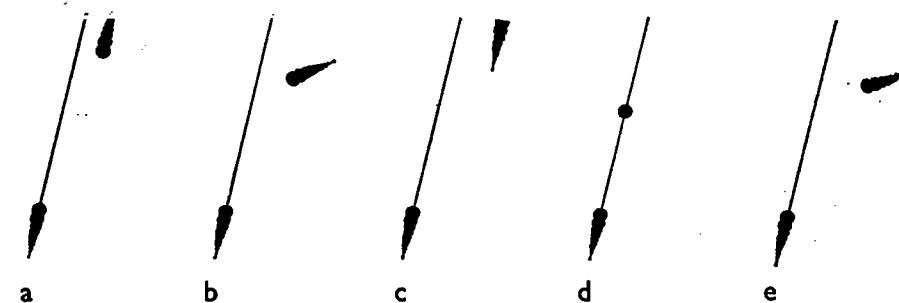
Radarska udaljenost i pramčani kut rastu – drugi brod prolazi po krmu ili plovi paralelno s kursom našeg broda, ali manjom brzinom.

Radarska se udaljenost smanjuje, a pramčani kut ostaje isti – postoji opasnost od sudara jer nepoznati brod plovi konvergentnim kursom u susret našem brodu. Taj je slučaj još opasniji ako se brod nalazi s desne strane našeg broda. Da bi se situacija razjasnila, najbolje je rješavati zadatak grafički.

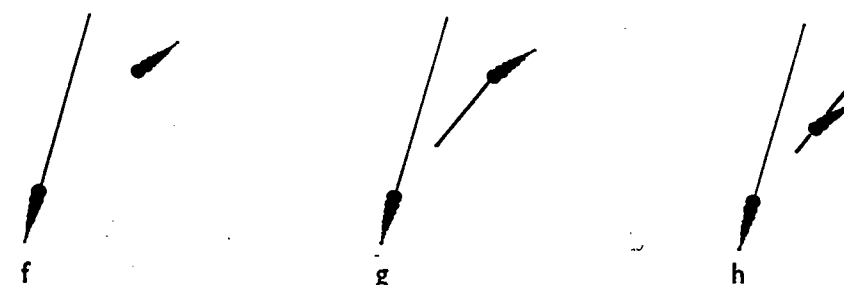
Radi opreza, opasnim za sudar valja držati svako plovilo koje se pojavi unutar pramčanih sektora i uvijek biti spreman da se u svakom trenutku izvede optimalan manevar izbjegavanja sudara. Da bi se o tome donijeli pravi zaključci i odluke, obvezatno je načiniti radarsko plotiranje.

Čim se započne manevarom izbjegavanja sudara, posebice za maglovita vremena, preporučljivo je o tome upozoriti drugi brod (signalima, radiotelefonski). Manevar valja izvesti energično, tako da drugi brod pravodobno otkrije naš manevar.

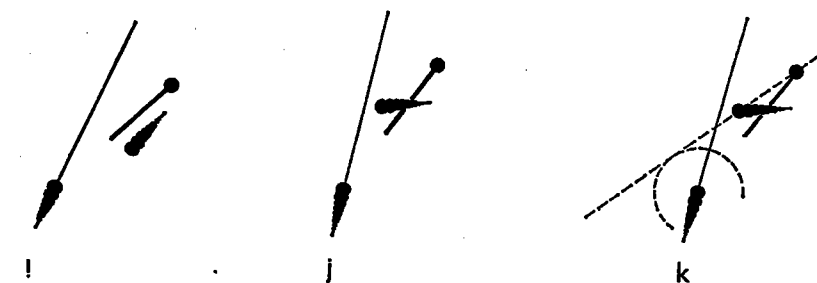
Simulaciju manevra izbjegavanja sudara pomoću radara valja povremeno uvježbavati u normalnim plovidbenim uvjetima, jer se time stječu potrebna vještina i pouzdanost u izvođenju takva manevra. Tome pridonose i uređene školske vježbaonice opremljene navigacijskim simulatorima koji sadrže i poseban program za automatsko radarsko plotiranje, tzv. sustav ARPA/RADAR (*Automatic Radar Plotting*).



Pravo gibanje i međusoban položaj dvaju brodova



Postupnost u analizi radarske slike koja prikazuje opasnost od sudara



Određivanje točke mimoilaženja kada nema opasnosti od sudara

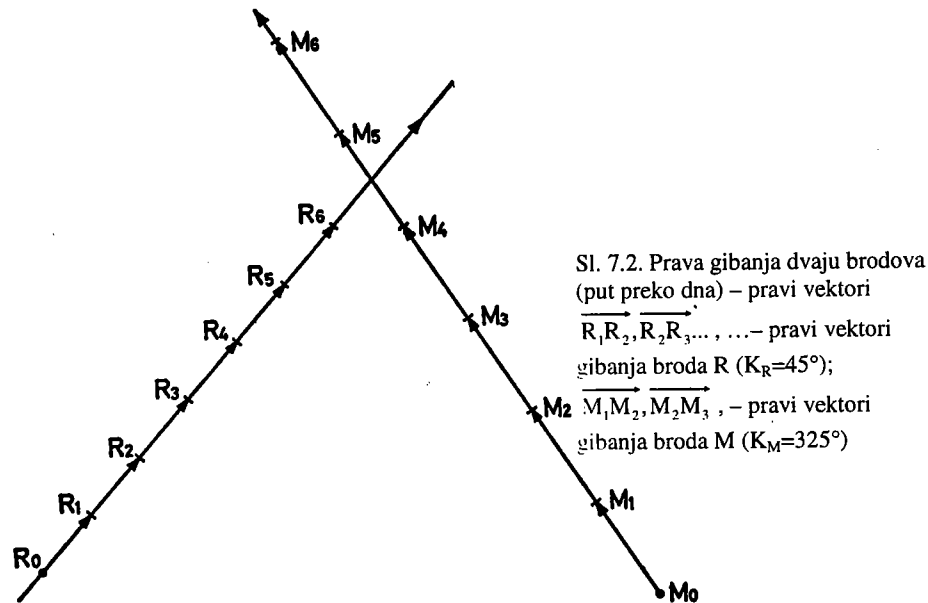
Sl. 7.1. Situacije na radarskom zaslonu i analiza rizika sudara

a – brodovi u protukursu ili blizu njega, sudar je vjerojatan; b – križanje kurseva; c – drugi brod prestiže; d – opaženi objekt je nepomičan; e – drugi brod mijenja kurs; f – postoji vjerojatnost sudara; g – elektronska oznaka relativnog gibanja postavljena na mrlju drugog broda; h – mrlja (jeka) broda se giba uzduž oznake, kurs vodi sudaru; i – motreni brod plovi paralelno s oznakom, prolazi po krmu vlastitog broda; j – brod siječe oznaku, ali prolazi ispred pramca; k – određivanje točke mimoilaženja

7.2. Grafičko plotiranje

7.2.1. **Pravo plotiranje.** Pri takvom načinu plotiranja, koje se naziva i *navigacijsko, odnosno apsolutno* plotiranje (na navigacijskoj karti ili radarskom

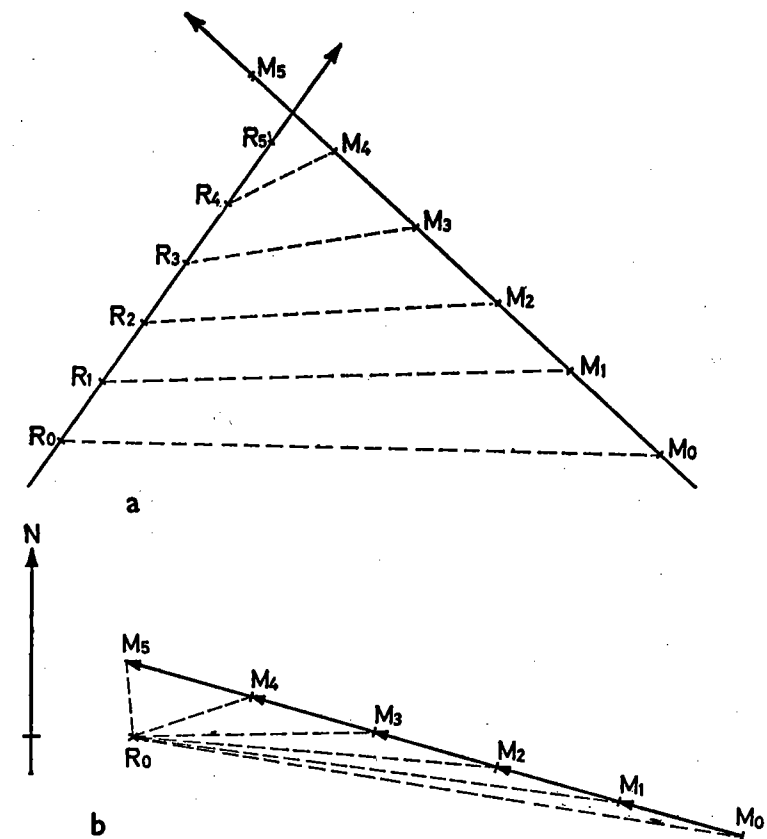
dijagramu), gibanje pojedinog broda prikazano je pravim kursem i pravom brzinom (prevaljenim putem). Time je prikazan i pravi međusobni položaj dvaju brodova. Vremenski usklađenim ucrtavanjem zbrojenih pozicija obaju brodova, neposrednim mjerenjem s navigacijske karte, odnosno s radarskog zaslona (ekrana), određuje se točka mimoilaženja – CPA (udaljenost mimoilaženja), odnosno točka sudara brodova i drugi navigacijski elementi.



Slika 7.2. prikazuje pravo gibanje vlastitog broda (R) i promatranog broda (M) preko dna, slično kao i na navigacijskoj karti. Brod R plovi ustaljenim kursom $K_p=45^\circ$ i za isto vrijeme prevaljuje jednake putove, što znači da plovi ustaljenom brzinom. Prevaljeni put između dviju susjednih pozicija R_1 i R_2 broda R predstavlja njegov pravi vektor prevaljenog puta (brzine). Isto to vrijedi i za brod M, koji plovi ustaljenim kursom ($K_p=325^\circ$) i brzinom, pa njegovo gibanje između susjednih pozicija M_1 i M_2 predstavlja pravi vektor prevaljenog puta (brzine) broda M.

Sl. 7.3.(a.) prikazuje situaciju prilagođenu slici 7.2. Na njoj su pravi azimuti i udaljenosti broda M, promatrani s broda R, ucrtani za jednake vremenske intervale, odnosno jednake prevaljene putove. Ako te vrijednosti ucrtamo od jedne zamišljene nepomične točke (R_0) u kojoj se nalazi vlastiti brod, gibanje broda M prema brodu R grafički je prikazano na sl. 7.3.(b). Dužina prevaljenog puta u određenom smjeru između jednako razmaknutih točaka ($\vec{M}_1\vec{M}_2, \vec{M}_2\vec{M}_3, \dots$) i za jednake vremenske razmake, prikazuju

relativno (prividno) gibanje (kurs i brzinu) broda M prema brodu R i zato oni predstavljaju relativne vektore brzine (prevaljenog puta). Praktično je za mjerilo uzeti vremensku jedinicu za koju vlastiti brod (R) prijeđe put jedne nautičke milje, odnosno općenito 6 minuta (1/10 sata).



Sl. 7.3. Pravo gibanje dvaju brodova na sl. 7.2. prikazano relativnim gibanjem, $\vec{M}_0\vec{M}_1, \vec{M}_1\vec{M}_2$ – vektori relativnog gibanja broda M prema brodu R; R – vlastiti brod nepomičan

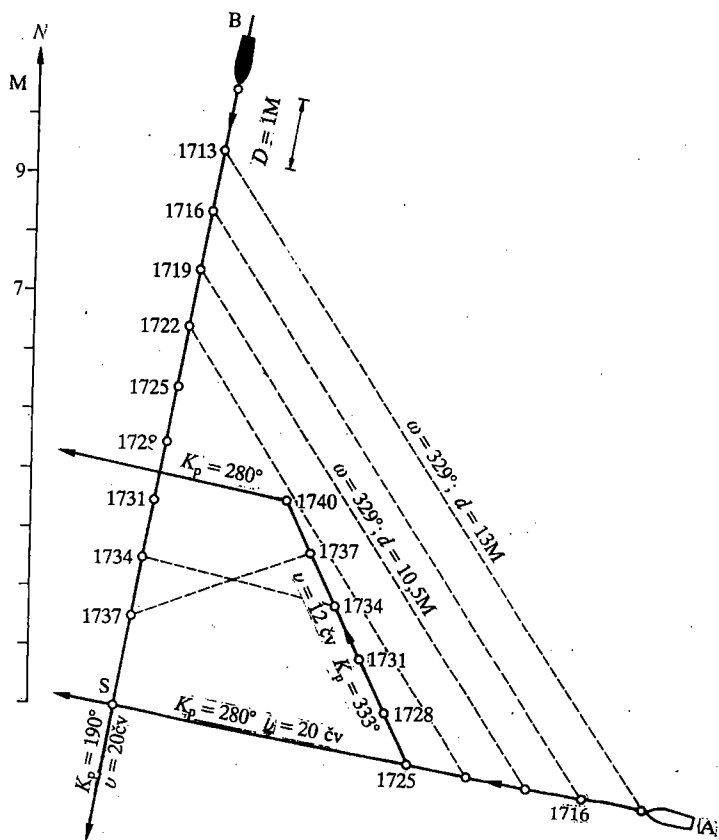
Primjer: Vlastiti brod (R) plovi u $K_p=280^\circ$ brzinom od 20 čv; motri se drugi brod (M). Uzastopnim radarskim mjerenjem dobiveni su ovi podaci: 17h 13min ($\omega_p=329^\circ$, $d=13$ M); 17h 16min ($\omega_p=329^\circ$, $d=11,8$ M); 17h 19min ($\omega_p=329^\circ$, $d=10,5$ M); 17h 22min ($\omega_p=329^\circ$, $d=9,0$ M), 17h 25min ($\omega_p=329^\circ$, $d=7,8$ M).

Traži se vrijeme i udaljenost mimoilaženja.

Postupak prema navigacijskoj metodi prikazuje sl. 7.4.

Na kartu se ucrtava kurs vlastita broda (R) $K_p=280^\circ$ i odrede uzastopne zbrojene pozicije svake 3 minute za brzinu broda $v=20$ čv. Na temelju triju prvih motrenja odrede se kurs i brzina motrenog broda (M): $K_p=190^\circ$ i $v=20$ čv. Kad bi se plovidba nastavila istim kursom i brzinom, došlo bi do sudara brodova u točki S jer se pramčani kutovi (azimuti) motrenog broda nisu mijenjali. Sudar se može izbjeći smanjenjem brzine ili promjenom kursa. Odlučena je promjena kursa u $K_p=333^\circ$.

Rješenje: U 17h 35min brodovi će se mimoići na udaljenost $d=3,3$ M, nakon toga će se udaljenost povećavati. U 17h 40min vlastiti brod ponovno će prijeći u prijašnji kurs $K_p=280^\circ$.

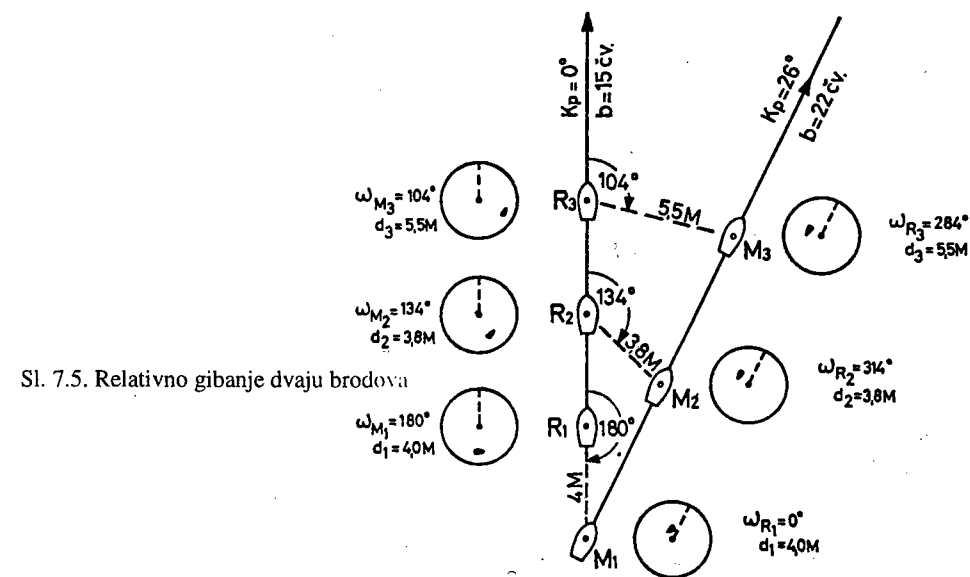


Sl. 7.4. Grafičko rješenje plotiranjem po navigacijskoj metodi

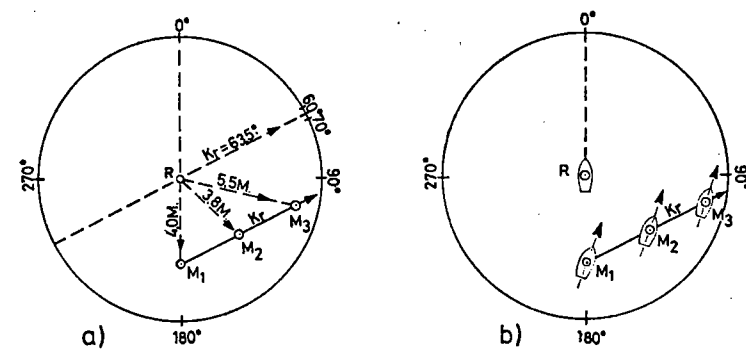
7.2.2. Relativno plotiranje. Ako se gibanje nepoznata broda (M) određuje prema vlastitom brodu (R), takvo se gibanje naziva *relativno*, a prikazuje se relativnim kursom (smjerom gibanja) i relativnom brzinom (preko dna). Rješenja se temelje na grafičkom postupku, s pomoću radarskog dijagrama ili neposredno na videozaslону radarskog pokazivača. Pritom, vlastiti brod (brod koji obavlja radarska mjerenja), odnosno brod (R) koji mora izvršiti manevar izbjegavanja sudara, smatra se uvijek zaustavljenim u središtu radarskog dijagrama, odnosno radarskog videozaslona.

Ako se na radarskom zaslonu pojavi mrlja promatranog objekta, kojega je relativni kurs približavanja suprotan kursu vlastita broda, valja na vrijeme utvrditi opasnost sudara i plotiranjem odrediti elemente za optimalan manevar izbjegavanja sudara. Ako je brzina približavanja jednaka brzini vlastita broda, može se zaključiti da je promatrani objekt nepomičan.

Sl. 7.5. prikazuje relativno gibanje između dvaju brodova. Brod R u poziciji R₁ koji ploví kursom K_p=0° i brzinom v=15 čv, opazi na radarskom zaslonu brod M pod azimutom ω_{M1}=180° i na udaljenosti d₁=4 M. Azimuti i udaljenosti mijenjaju se jer se i brod M giba od M₁ prema M₃. Ako motritelj R plotira situaciju na radarski zaslon, dobit će sliku 7.6.(a). Iz nje se vidi da relativan kurs broda M u odnosu na brod R iznosi K_r=63,5°. Međutim, pravi kurs broda M pokazuje sl. 7.6.(b): K_M=26°.



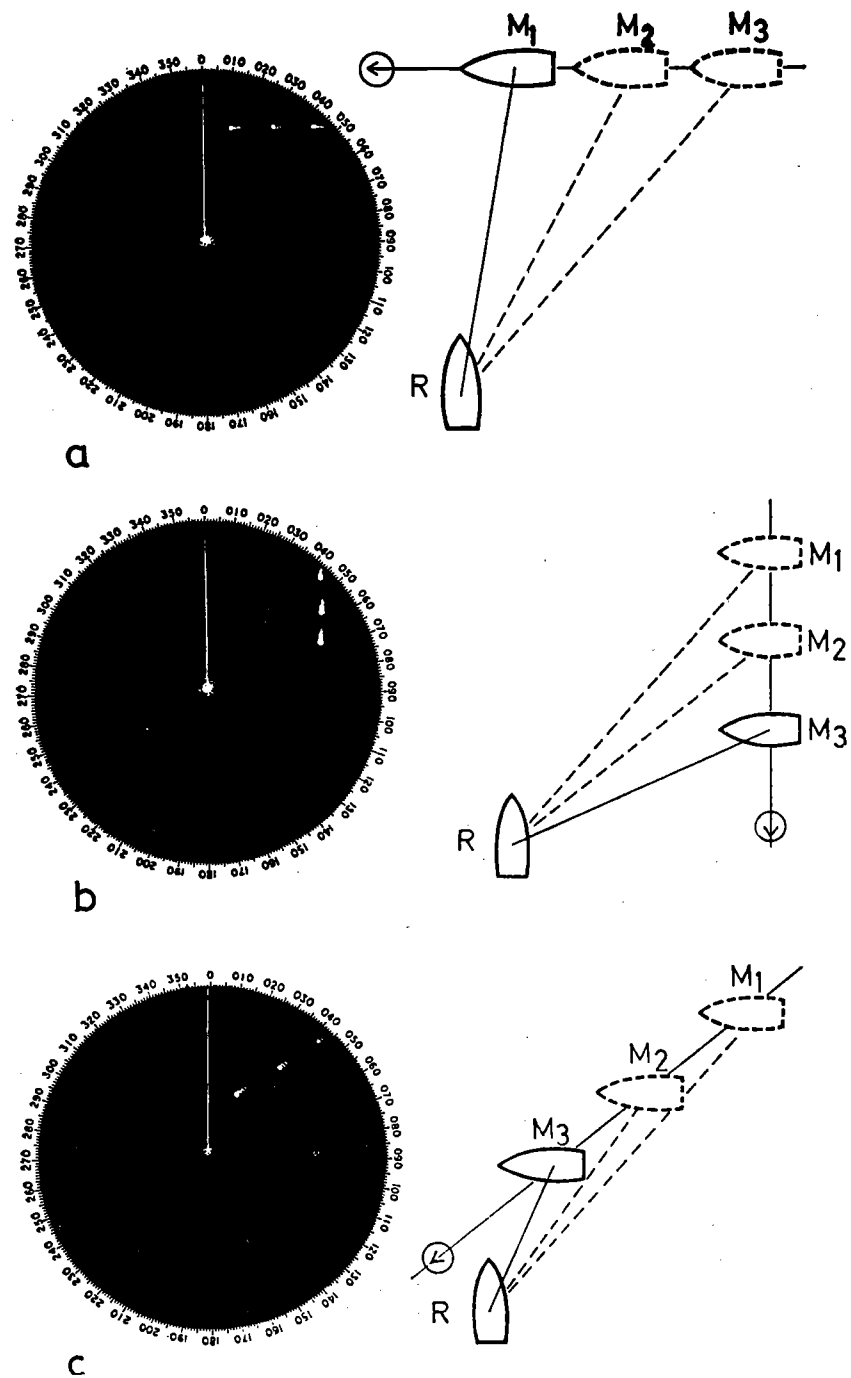
Sl. 7.5. Relativno gibanje dvaju brodova



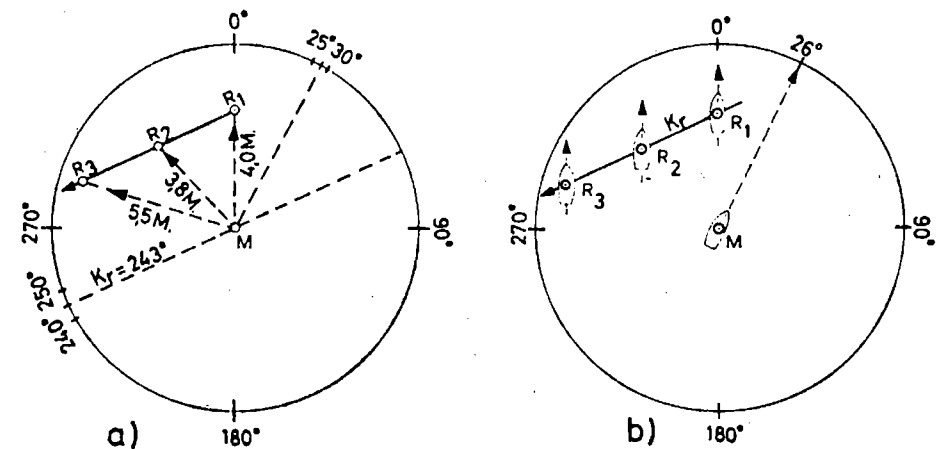
Sl. 7.6. Relativno gibanje broda M u odnosu na brod R
a – M u odnosu prema brodu R (K_r=63,5°); b – pravi kurs M (K_M=26°)

Slično je i s brodom M u poziciji M₁: ploví kursom K_p=26°, a brzinom v=22 čv (sl. 7.5). Motritelj s tog broda opaziti će na zaslonu brod R u poziciji R₁ pod azimutom ω_{M1}=0° i na udaljenosti d₁=4 M. Azimuti i udaljenosti mijenjaju se jer se i brod R giba od R₁ do R₃. Ako motritelj M plotira situaciju na radarski zaslon, dobit će sliku 7.7.(a). Iz te se slike vidi da je sada brod M u središtu zaslona; R se giba u relativnom kursu 243°. Međutim, pravi kurs broda R pokazuje sl. 7.7.(b): K_R=0°.

Iz navedenih primjera vidljivo je da radarska slika dvaju brodova u plovidbi ne daje njihovo pravo gibanje, pa su potrebna dopunska grafička rješenja. Ona se mogu obaviti izravno na radarskom zaslonu ili na drugim pomoćnim pomagalicama (t. 6.2.4.). Relativnim plotiranjem izravno se može dobiti samo točka najbližeg mimoilaženja (prolaza) dvaju brodova (*Closest Point of Approach* – CPA).



Sl. 7.7. Radarska slika relativnog gibanja dvaju brodova
 a) R – nepomičan brod, M – motreni brod plovi $K_p=270^\circ$, $K_{rel}=270^\circ$; b) R – plovi kursem $K_p=0^\circ$,
 M – nepomičan, $K_{rel}=180^\circ$; c) R – plovi $K_p=0^\circ$, M plovi $K_p=270^\circ$, $K_{rel}=235^\circ$



Sl. 7.8. Relativno gibanje broda R u odnosu na brod M
 a – R u odnosu prema brodu M ($K_r=243^\circ$); b – pravi kurs R ($K_r=0^\circ$)

Sl. 7.8. pokazuje izgled radarskih slika za tri moguće situacije međusobnog odnosa dvaju brodova:

a) ako je vlastiti brod (R) nepomičan, spojnica mrlja koje na zaslonu prikazuju opaženi objekt (M) koji se giba, daje pravi put (kurs i brzina) tog broda (sl. 7.8.a): $K_{rel}=K_M=270^\circ$;

b) ako vlastiti brod (R) plovi u $K_R=0^\circ$, a drugi je brod (M) nepomičan, taj će se brod na radarskoj slici relativno približavati (udaljavati) vlastitom brodu, i to brzinom vlastitog broda, ali u protukursu (sl. 7.8.b): $K_{rel}=180^\circ$;

c) oba se broda kreću: $K_R=0^\circ$ i $K_M=270^\circ$. Spojnica uzastopnih pozicija broda M u odnosu na brod R prikazuje put relativnog gibanja odnosno relativni kurs. Brzina broda M duž puta relativnog gibanja daje relativnu brzinu približavanja brodova (sl. 7.8.c.): $K_{rel}=235^\circ$.

Zaljučak:

– veličine pravih i relativnih vektora obvezno se određuju za iste vremenske razmake, pa oni mogu pokazivati brzine odnosno prevaljene putove; i inače, ako su bez oznaka smjera, to su samo dužine, a ne vektori;

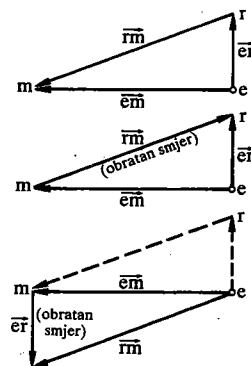
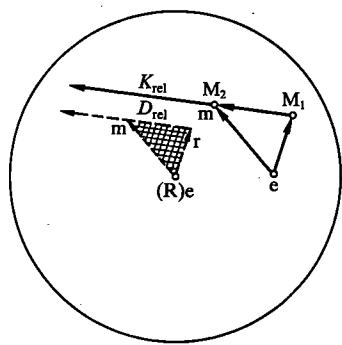
–vektor koji prikazuje gibanje vlastitog broda zove se *vektor vlastitog broda* \vec{e}_R (određen s K_R i v_R), vektor koji prikazuje gibanje drugog broda zove se *vektor promatranog broda* \vec{e}_M (određen s K_M i v_M), a vektor koji pokazuje relativno gibanje između vlastitog i promatranog broda zove se *relativni vektor* \vec{r}_{rel} (određen s K_r i v_r);

– crtanjem trokuta s označenim stranicama nastaje *trokut vektora*.

7.2.3. Trokut vektora. Trokut vektora grafički je prikaz međusobnog gibanja dvaju brodova, određen njihovim kursovima i brzinama, odnosno prevaljenim putovima prema jednoj početnoj točki (točka ishodišta). Redovito, ta je točka položaj vlastitog broda R(e). Trokutu brzina i putova slični su, što se ne smije zaboraviti pri rješavanju zadataka. Smjer relativnog vektora u trokutu brzina uvijek je paralelan i istosmjern s

relativnim putem u trokutu putova; vektor vlastitog broda i drugog broda uvijek su paralelni s kursom vlastitog broda, odnosno drugog broda. Prividno gibanje broda uzduž relativnog vektora (spojnice točaka M_1, M_2, M_3, \dots) uvijek se odvija relativnom brzinom. Na temelju proteklog vremena, brzina (dobivena iz trokuta brzina) se preračunava u prevaljeni put (u trokutu putova), i obratno. Vrijeme se dobiva na temelju prevaljenog puta iz trokuta putova, a brzine iz trokuta brzina. Za ta se rješenja rabe *Nautičke tablice*, nogram ucrtan na samom radarskom dijagramu ili elektroničko računalo.

U trokutu vektora (sl. 7.9), ako su kao stranice trokuta poznata dva vektora, odnosno jedan vektor i po jedan element ostalih dvaju vektora, može se izračunati treći vektor, odnosno elementi ostalih dvaju vektora. Obično se traži da se grafičkim plotiranjem odredi pravo gibanje (kurs i brzina) drugog broda (M), poznavajući pravo gibanje (kurs i brzina) vlastitog broda (R). To se postiže ako se zbroji vektor vlastitog broda i relativni vektor dobiven iz relativnog gibanja. Pri zbrajanju je svejedno je li relativni vektor na kraju vektora vlastitog broda ili je vlastiti vektor na kraju relativnog vektora; češći je prvi način. Rezultantni vektor dobiva se kao spojnica ishodišta dvaju zbrojenih vektora s njihovom krajnjom točkom.



Sl. 7.9. Trokut vektora
 – relativni sustav plotiranja
 \vec{er} – pravi vektor vlastitog broda;
 \vec{em} – pravi vektor opaženog broda;
 \vec{rm} – relativni vektor.

Da se iz vektora \vec{er} i \vec{rm} dobije vektor drugog (promatranog) broda \vec{em} kao rezultatni vektor, vektori \vec{em} i \vec{rm} dodaju se (zbrajaju) jedan na drugi, a zatim se iz ishodišta (e) dvaju vektora u spoju povuče rezultatni vektor \vec{em} .

Da se iz vektora \vec{em} i \vec{rm} dobije vektor vlastitog broda \vec{er} kao rezultatni vektor, vektor \vec{er} se oduzima od vektora \vec{em} tako da se od točke m ucrtu u suprotnom smjeru, a zatim iz ishodišta (e) dvaju vektora u spoju povuče rezultatni vektor \vec{er} .

Da se iz vektora \vec{em} i \vec{er} dobije relativni vektor \vec{rm} kao rezultatni vektor, vektor \vec{er} oduzme se od vektora \vec{em} i tako da se od točke m ucrtu u suprotnom smjeru, a zatim iz ishodišta (e) dvaju vektora u spoju povuče rezultatni vektor \vec{rm} .

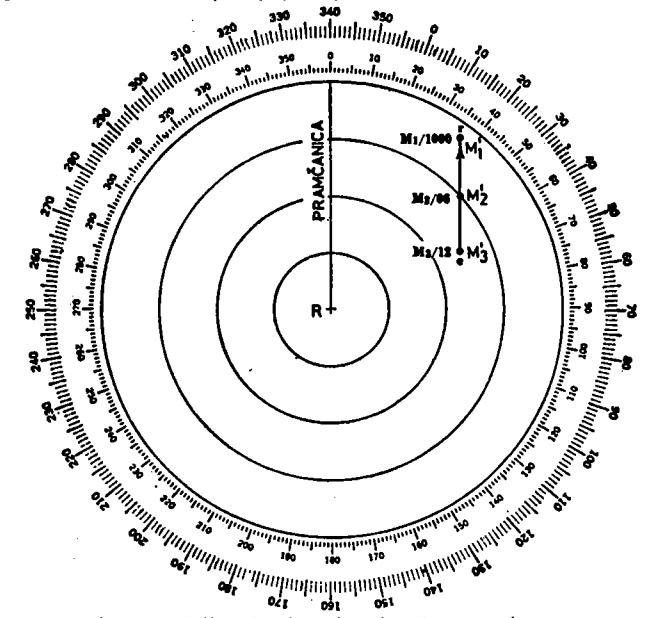
Crtanje trokuta vektora može se obavljati središnjom ili obodnom (perifernom) metodom. Primjenom središnje metode, točka ishodišta položaj je vlastitog broda R, tj. točka e podudara se s točkom R. Pri obodnoj metodi točka e dobiva se na temelju točke M_1 i vektora vlastitog broda. Prva metoda praktičnija je pri crtanju na radarskom dijagramu, a druga pri neposrednom plotiranju na radarskom videozaslonu.

7.2.4. Provjera da li se promatrani objekt kreće. Grafičko rješenje objašnjava sljedeći primjer:

Vlastiti brod plovi u kursu 340° brzinom od 20 čv. Ljestvica je mjernog područja 8 M. Motri se nepoznati objekt:

- u 10h 00 min u poziciji M_1 ($\omega=17,0^\circ$, $d=7,5$ M)
- u 10h 06min u poziciji M_2 ($\omega=29,0^\circ$, $d=6,0$ M)
- u 10h 22min u poziciji M_3 ($\omega=46^\circ$, $d=5,0$ M).

Provjerite je li objekt nepomičan ili se kreće i je li prijeti opasnost od sudara.



Sl. 7.10. Provjera da li se promatrani objekt giba ili je nepomičan

Postupak (sl. 7.10.):

a) U središtu dijagrama označi se pozicija vlastitog broda (R), a zatim ucrtu početna relativna pozicija nepoznatog objekta M_1 (M_1').

b) Iz točke M_1 povuče se pravac paralelan s crtom pramčanicom (kursnom crtom vlastitog broda), ali u suprotnom smjeru. Na tom se pravcu ucrtu procijenjena pozicija M_2' nakon 6 min, udaljena od M_1 za 2 M ($20 \times 0,1$). Ako je opaženi objekt nepomičan, u 10h 06min naći će se u toj poziciji. Može se izabrati i drugo vrijeme, npr. za brže brodove nakon 3 min plovidbe.

c) Nakon 6 min plovidbe odnosno 2 M prevaljenog puta vlastitog broda, ucrtu se druga relativna pozicija nepoznatog objekta M_2 ($\omega=29,0^\circ$, $d=6,0$ M). Pozicija M_2 pada u točku M_2' što znači da je objekt (brod) nepomičan. Analogno se ucrtu i pozicija M_3' i pozicija M_3 ($\omega=46^\circ$, $d=5,0$ M). Vektor $\vec{M_1M_2}$ odnosno $\vec{M_1M_3}$ označuje put relativnog gibanja nepomičnog objekta odnosno kursnu crtu i prevaljeni put vlastitog broda (D_r) za proteklo vrijeme ($\Delta t=12$ min): $K_R=0^\circ$, $D_R=4$ M i $v_R=20$ čv; (kurs se čita na vanjskoj stupanjskoj podjeli dijagrama; ako se $\vec{M_1M_3}$ povuče iz središta dijagrama, a brzina (v_R) izračuna na temelju formule:

$$V = D_R' \cdot 60 / \Delta t [\text{min}]$$

Ako točka M_2 padne izvan točke M_2' , odnosno M_3 izvan točke M_3' , objekt (brod) plovi; $\vec{M_1M_2}$ v_R odnosno $\vec{M_1M_3}$ pokazuje relativno gibanje toga objekta (broda).

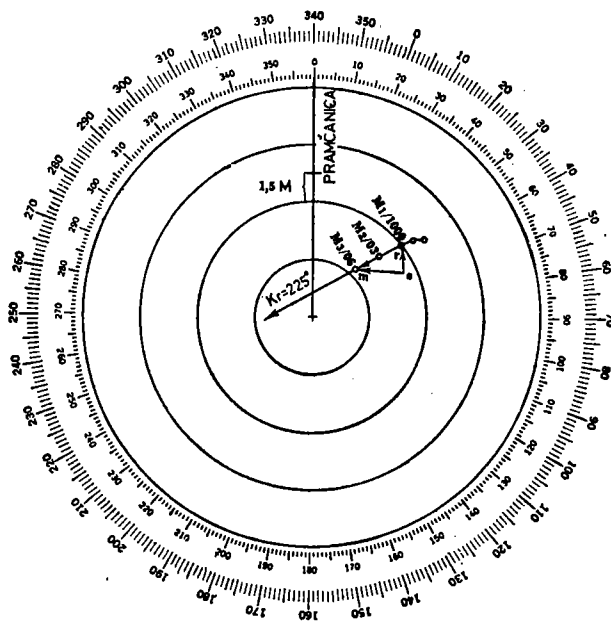
d) Produžena spojnica $\vec{M_1M_2}$ ne vodi prema središtu dijagrama (na vlastiti brod R), što znači da ne prijeti opasnost sudara.

7.2.5. Određivanje kursa i brzine promatranog broda. Grafičko rješenje objašnjava sljedeći primjer (sl. 7.11.):

Vlastiti brod (R) plovi u kursu $K_R=340^\circ$ brzinom $v_R=15$ čv. Ljestvica je mjernog područja 12 M. Motrenjem nepoznatog broda M, između 09h 48min, utvrđeno je da je on do 10h 00min plovio promjenljivom brzinom, a vjerojatno i kursom. U vremenu od 10h 00min do 10h 06min radarskim motrenjem izmjerene su ove vrijednosti:

10 00 M_1 : $\omega=31^\circ$, $d=6,0$ M; 10 03 M_2 : $\omega=27^\circ$, $d=4,8$ M; 10 06 M_3 : $\omega=22^\circ$, $d=3,4$ M.

Traži se: kurs i brzina broda M (nakon što je brod M ustalio kurs i brzinu).



Sl. 7.11. Određivanje kursa i brzine promatranog broda prema obodnoj (perifernoj) metodi

Postupak prema obodnoj (perifernoj) metodi (sl. 7.11.):

Odabran je postupak brzog plotiranja, nakon što je promatrani brod (M) nastavio ploviti ustaljenim kursom i ustaljenom brzinom. Uzet je vremenski razmak dva puta po 3 minute, tj. od 10h 00min do 10h 06min. Budući je brzina vlastitog broda $v_R=15$ čv, prevaljeni put vlastitog broda za 6 minuta iznosi $D_r=1,5$ M. Taj se prevaljeni put na radarskom zaslonu može unijeti putem promjenljive elektronske kružnice daljine, na način da se kružnica dovede na najbližu početnu točku, npr. na 6 M. Na radarskom se videozaslonu označi točka sjecišta te kružnice i osvijetljene pramčanice. Zatim se postupak ponovi, ali tako da se udaljenost poveća za 1,5 M i tako dobivena točka obilježena na pramčanici (udaljena od središta 7,5 M). Dužina od 1,5 M prenese se na plastičnu kliznu redalicu, odnosno kursor-ploču.

Motrenjem od 10h 00min do 10h 06min utvrđeno je da brod M dalje plovi ustaljenim kursom i ustaljenom brzinom. U crtaju se relativne pozicije za svake tri minute M_1 (10 00), M_2 (10 03) i M_3 (10 06) i na temelju njih ucrtaju i relativni put, koji produžen prema središtu videozaslona određuje relativni vektor \vec{r}_m .

U točki M_1 postavi se rub klizne redalice paralelno s crtom pramčanice, odnosno središnja crta kursor-ploče na crtu pramčanice. U smjeru kursa vlastitog broda ($K_R=340^\circ$) povuče se vektor \vec{e}_r (1,5 M) tako da vrh vektora završava u M_1 . Time su od-

ređene dvije stranice trokuta vektora (\vec{e}_r i \vec{e}_m), a treća stranica trokuta \vec{r}_m predstavlja vektor gibanja promatranog broda (M) za 6 minuta. Kurs broda M očitava se sa stabilizirane vjetrulje (na vanjskoj stupanjskoj podjeli) postavljanjem crta kursor-ploče paralelno sa stranicom trokuta vektora \vec{e}_m . Brzina broda M u čvorovima (\vec{e}_m) procjenjuje se prema dužini vektora vlastitog broda (\vec{e}_r) čija je brzina poznata. U ovom slučaju ona će iznositi u čvorovima 10 puta više nego što iznosi dužina vektora \vec{e}_m u nautičkim miljama.

Rješenje: $K_M=252^\circ$ i $v_M=25$ čv.

Napomena: U nekim slučajevima bit će praktičnije ucrtati vektor vlastitog broda s ishodištem u točki m . U tom slučaju put (kurs) vlastitoga broda za 6 minuta crta se iz točke M_3 (10 06) u smjeru 340° , tj. crta se druga polovica paralelograma vektora; konstruiranjem trokuta vektora treća stranica pokazuje kurs i prevaljeni put promatranog broda (M).

Postupak ako se isti primjer rješava prema središnjoj metodi:

Položaj vlastitog broda (R) zamišlja se u središtu radarskog dijagrama (videozaslona). Prema mjerenjima u 10h 00min, 10h 03min i 10h 06min ucrtaju se položaji promatranog broda (M_1 , M_2 i M_3) i na temelju njih odrede elementi relativnog gibanja (mjerilo 2:1).

Iz točke $R(e)$ ucrtaju se vektor gibanja vlastitog broda ($K_R=340^\circ$, $v_R=15$ čv), a iz točke r vektor relativnog gibanja. Spojnica točaka e i m određuje vektor gibanja promatranog broda (\vec{e}_m): $K_M=252^\circ$, $v_M=25$ čv.

7.2.6. Najbliža točka mimoilaženja. Rješenje objašnjava sljedeći primjer:

Vlastiti brod (R) plovi u $K_R=60^\circ$. Mjerno područje odgovara ljestvici od 12 M. Od 22h 00min do 22h 12min radarom se motri nepoznati brod (M) i dobivaju ovi podaci:

22 00 M_1 : $\omega=39^\circ$, $d=9,0$ M; 22 06 M_2 : $\omega=37,5^\circ$, $d=7,5$ M; 22 12 M_3 : $\omega=35,5^\circ$, $d=6,0$ M.

Traže se: a) relativni kurs i brzina približavanja brodova; b) azimut i udaljenost najbliže točke mimoilaženja brodova; c) procijenjeno vrijeme mimoilaska.

Postupak (sl. 7.12.):

a) U središtu dijagrama označi se pozicija vlastitog broda (R), a zatim se ucrtaju relativne pozicije nepoznatih objekata M_1 , M_2 , M_3 , uzimajući mjerilo (ljestvicu) 12 M.

b) U crtane se točke spoje i spojnicu produži prema središtu dijagrama. Smjer spojnice \vec{M}_1M_3 pokazuje smjer relativnog gibanja – relativni kurs $K_{rel}=225^\circ$.

Izmjeri se relativni prevaljeni put (daljina) između bilo koje dvije ucrtane točke, ali je bolje da te dvije točke imaju što duži vremenski razmak. U ovom je slučaju razmak $\vec{M}_1M_3 = 3$ M, a vrijeme $\Delta t=12$ min. Na osnovi tih vrijednosti (3 M i 12 min) iz logaritamskog monograma odnosa vremena, brzine i prevaljenog puta dobije se relativna brzina $v_R=15$ čv, ili jednostavnije, budući da je 12 min = 1/5 sata, $v_R=15$ čv.

c) Iz središta dijagrama (R) ucrtaju se okomica na produženu spojnicu \vec{M}_1M_2 i tako dobije točka mimoilaženja (prolaza) koja se može označiti sa TM (TP) odnosno CPA (Closest Point of Approach - CPA).

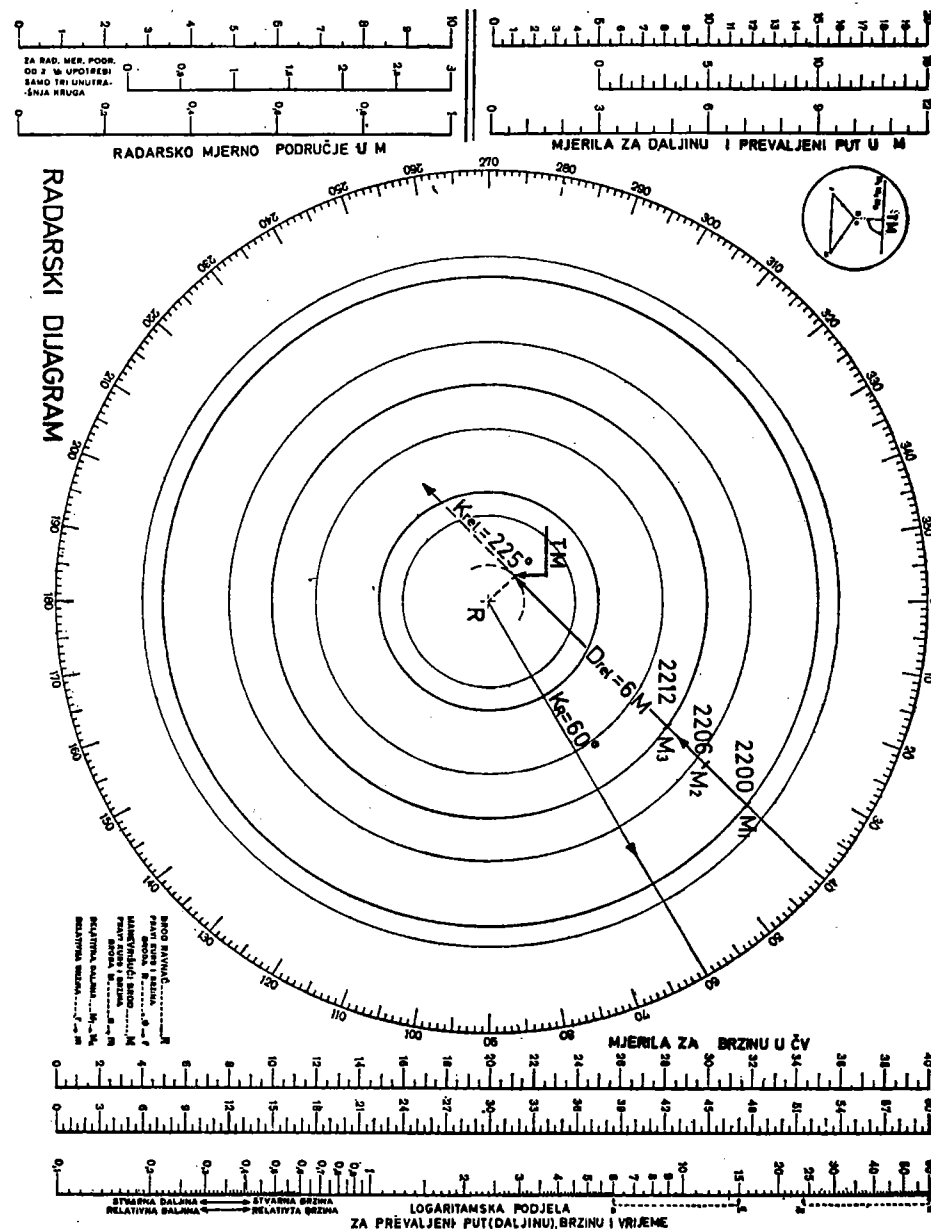
Spojnica središta dijagrama i točke mimoilaženja određuje azimut mimoilaženja i udaljenost mimoilaženja: $\omega=315^\circ$, $d=1,0$ M.

d) Izmjeri se relativna udaljenost D_{rel} od točke M_3 do točke mimoilaženja. Na osnovi $D_{rel}=6$ M i $v_r=15$ čv, uporabom logaritamskog monograma, izračuna se vrijeme

potrebno da se prevali taj put $\Delta t=24$ min. Procijenjeno vrijeme mimoilaženja brodova (t_2) jest 22h 12min + 00h 24min = 22h 36min.

Rješenje:

a) $K_{rel}=225^\circ$ i $v_r=15$ čv; b) $\omega=315^\circ$ i $d=1,0$ M; c) $\Delta t=24$ min i $t_2=22$ h 36min.



Sl. 7.12. Određivanje najbliže točke mimoilaženja

Napomena: Ucrtavanjem samo dviju točaka M_1 i M_2 ne može se dobiti siguran podatak o kursu i brzini. Poželjno je točke M crtati za iste vremenske razmake (obično 3 ili 6 min). Jednaki prevljeni putovi za jednako vrijeme i ležanje točaka M_1, M_2, M_3, \dots na istom pravcu pokazuju da brod M plovi stalnim kursom i brzinom. Rješenje ne vrijedi ako brod M mijenja kurs ili brzinu.

Postupak rješavanja ovog zadatka isti je, bilo da se rješava na radarskom dijagramu ili izravno na radarskom zaslonu, na refleksnoj ploči ili sličnom radarskom pomagalu. Četiri ucrtane kružnice na dijagramu (sl. 7.12.) odgovaraju stalnim daljinskim kružnicama na radarskom zaslonu. Točka dodira produžene spojnice $\overline{M_1M_3}$ s promjenljivom daljinskom kružnicom daje najbližu točku mimoilaženja, a time azimut i udaljenost promatranog broda u trenutku mimoilaženja.

Vrijeme mimoilaženja može se procijeniti i ako izmjerimo koliko puta dužina $\overline{M_1M_3}$ ide u dužinu D_{rel} (u ovom slučaju dva puta).

Kad bi objekt bio nepomičan, točke M_1, M_2 i M_3 ležale bi na pravcu paralelnom s crtom pramčanice, ali smjera suprotnog kursu vlastitog broda (u ovom slučaju 240°). Razmaci među točkama M_1, M_2 i M_3 odgovaraju prevljenom putu vlastitog broda za te vremenske intervale.

7.2.7. Mimoilaženje brodova na određenu udaljenost. Moguća su tri slučaja (ovisno o odnosu brzina među brodovima), a svaki od njih može se riješiti obodnom (perifernom) ili središnjom metodom.

Postupak prema obodnoj metodi objašnjavaju sljedeći primjeri:

a) *Moguća brzina vlastitog broda veća je od brzine promatranog broda.*

Vlastiti brod (R) plovi kursom $K_R=188^\circ$ i brzinom $v_R=18$ čv. Vidljivost 2,0 M. Između 17h 30 min i 17h 36min radarom je promatran brod M i dobiveni su ovi podaci:

17 30 M_1 : $\omega=153^\circ$, $d=10,3$ M; 17 36 M_2 : $\omega=153^\circ$, $d=8,8$ M.

Plotiranjem je utvrđeno da kursevi promatranog (M) i vlastitog broda (R) konvergiraju i da prijete opasnost od sudara (relativni kurs vodi brod M na brod R). Zapovjednik broda R, i ako može zadržati postojeći kurs, odlučio je promijeniti kurs u desnu stranu kad brod M bude udaljen 6,5 M.

Traži se kurs broda R ako se plovi brzinom 18 čv, da se mimo broda M prođe po pramcu na udaljenosti 3,0 M. Ljestvica mjernog područja 12 M.

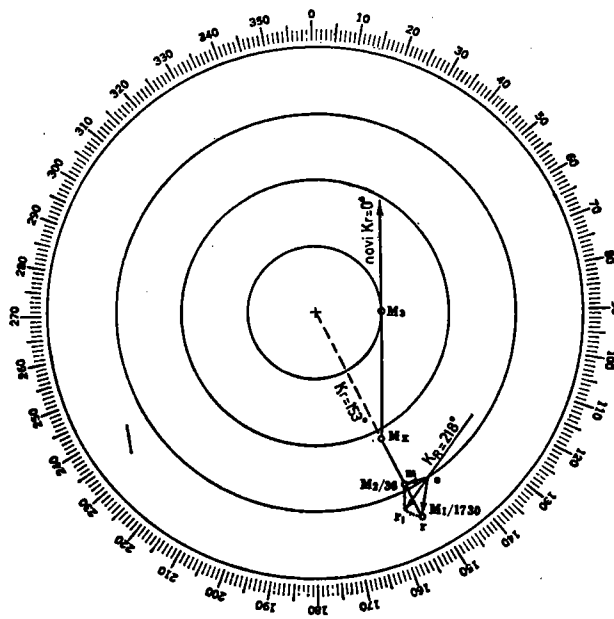
Postupak (sl. 7.13.a):

Nastavljajući s plotiranjem, na radarskom zaslonu traži se pravi kurs i brzina drugog broda ($K_M=260^\circ$ i $v_M=11$ čv) i ucrtava se točka M na relativnom smjeru 153° , od R udaljena 6,5 M. Na ljestvicu promjenljive kružnice daljine postavi se udaljenost 3,0 M koja predstavlja željenu udaljenost mimoilaženja (na slici najmanja kružnica). Iz točke M povuče se tangenta na tu kružnicu i dobije točka M_3 . Iz točke M_x mogu se povući dvije tangente, ali samo crtanjem tangente na točku M_3 moguće je riješiti postavljeni zadatak. Druga tangenta daje rješenje ako se želi da drugi brod prođe ispred pramca vlastitog broda, što je suprotno *Pravilima o izbjegavanju sudara na moru* i pomoračkoj praksi.

Iz točke ishodišta trokuta vektora e , konstruiranog za pronalaženje pravog vektora kursa i brzine broda M (\vec{em}), opiše se luk s polumjerom 1,8 M koji odgovara prevljenom putu (dužini vektora) vlastitog broda za 6 min ($18/10 = 1,8$). To je zbog toga što vlastiti brod pri manevriranju neće mijenjati brzinu.

S pomoću kursor-ploče (s paralelnim crtama), kroz točku M_2 povuče se crta paralelna s crtom novog relativnog puta ($\overline{M_xM_3}$) tako da siječe luk ucrtan iz točke ishodišta

vektora (\vec{e}). Sjecište ucrtanog luka i crte povučene kroz M_2 određuju točku r_1 , a time i novi pravi vektor vlastitog broda (\vec{e}_R). Kurs kojim valja ploviti od trenutka kad se brod M nađe u poziciji M_X očita se na vjetrulji u visini središnje crte ploče kurora, ako je najbliža crta na ploči postavljena paralelno s vektorom \vec{e}_R .



Sl. 7.13.a. Rješenje zadatka toč. 7.2.7. (a). prema relativnoj metodi.

Rješenje: $K_R=218^\circ$.

Napomena: Ako je brzina promatranog broda (M) veća od brzine vlastitoga broda, rješenje ima dva kursa s brzinom $v_R=18$ čv. Općenito, prednost ima onaj kurs koji daje brži dolazak na točku mimoilaženja.

Nakon promjene kursa vlastitog broda (R), gibanje drugog broda (M) prikazuje se plotiranjem uzduž novog relativnog puta ($\overline{M_X M_3}$). Neprekidno plotiranje, i nakon promjene kursa vlastitog broda, jedna je od prednosti radarskog zaslona sa stabiliziranom slikom.

b) *Moguća brzina vlastitog broda manja je od brzine promatranog broda.*

Vlastiti brod (R) plovi u kursu $K_R=340^\circ$ brzinom $v_R=15$ čv. Motrenjem i plotiranjem od 03h 00min do 03h 06min utvrđeno je da motreni brod (M) plovi u $K_M=249^\circ$ brzinom $v_M=25$ čv:

03 00 M_1 : $\omega=31^\circ$, $d=10,5$ M; 03 06 M_2 : $\omega=28^\circ$, $d=7,5$ M.

Ako oba broda nastave ploviti nepromijenjenim kursovima i brzinama, točka mimoilaženja bit će u smjeru 310° na udaljenosti 1,5 M. Zaključeno je da je za sigurnost broda ta točka preblizu i da valja mimoići motreni brod po krmi na 3,0 M.

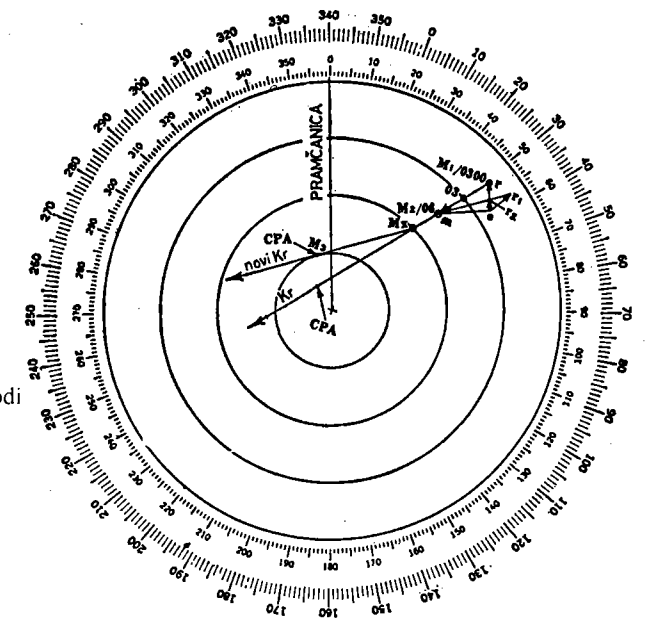
Traži se kurs vlastitog broda (R) bez promjene brzine ($v_R=15$ čv), ako se kurs promijeni udesno kad udaljenost drugog broda bude 6,0 M.

Postupak (sl. 7.13.b).

Do dobivanja točke r_1 postupak je identičan kao i u prethodnom slučaju. Budući da je brzina drugog broda (v_M) veća od brzine vlastitog broda (v_R), ucrtani luk u dvije točke siječe crtu povučenu iz M_2 . Svaka točka određuje vrh mogućeg novog pravog vektora vlastitog broda, a u ovom slučaju postoje dva vektora: \vec{r}_1 i \vec{r}_2 . Jedan od njih daje

veću brzinu relativnog gibanja (duži relativni vektor) nego drugi i taj se načelno izabire za rješenje zadatka. U zadatku je postavljen uvjet promjene kursa udesno, što zahtjeva izbor vektora \vec{e}_R koji ujedno daje i veći relativni vektor (\vec{m}_1).

Rješenje: $K_R=30^\circ$.



Sl. 7.13.b. Rješenje zadatka toč. 7.2.7.(b.) po relativnoj metodi

Napomena: Analizom rješenja može se zaključiti, ako vlastiti brod (R) nastavlja ploviti svojim pravim kursom, da sjecište pravog vektora vlastitog broda \vec{e}_R s crtom povučenu kroz M_2 i paralelno s novim relativnim putem označuje smjer vektora \vec{e}_2 , tj. $K_R=340^\circ$. Pošto je \vec{e}_2 približno polovica vektora \vec{e} , nastavkom plovidbe (približno s polovicom ranije brzine vlastitog broda), bez promjene kursa, neće se ništa promijeniti, tj. brod će stići na izabranu točku mimoilaženja brodova. Manja promjena kursa udesno, zajedno sa smanjenjem brzine, bit će korisna da se nadoknadi gubitak brzine u vožnji.

S *nestabiliziranom* radarskom slikom, orijentiranom prema pramcu, mogu nastati poteškoće zbog premještanja grafičkog rješenja (plotiranja) prilikom promjene kursa. Neke se refleksne ploče mogu ručno ili automatski zaokretati za vrijednosti promjene kursa. Ako takva mogućnost ne postoji, promjenenom kursu vlastita broda potrebno je brisati postojeće relativno plotiranje čim vlastiti brod nastavi ploviti ustaljenim kursom. Okretanjem ručice promjenljiva kružnica daljine dovede se na polumjer 3,0 M. Tangenta povučena iz točke M_X na tu kružnicu ($\overline{M_X M_3}$) pokazuje novi relativni put (kurs) vlastita broda. Paralelno s tim valja provjeriti slijedi li i drugi brod taj relativni put.

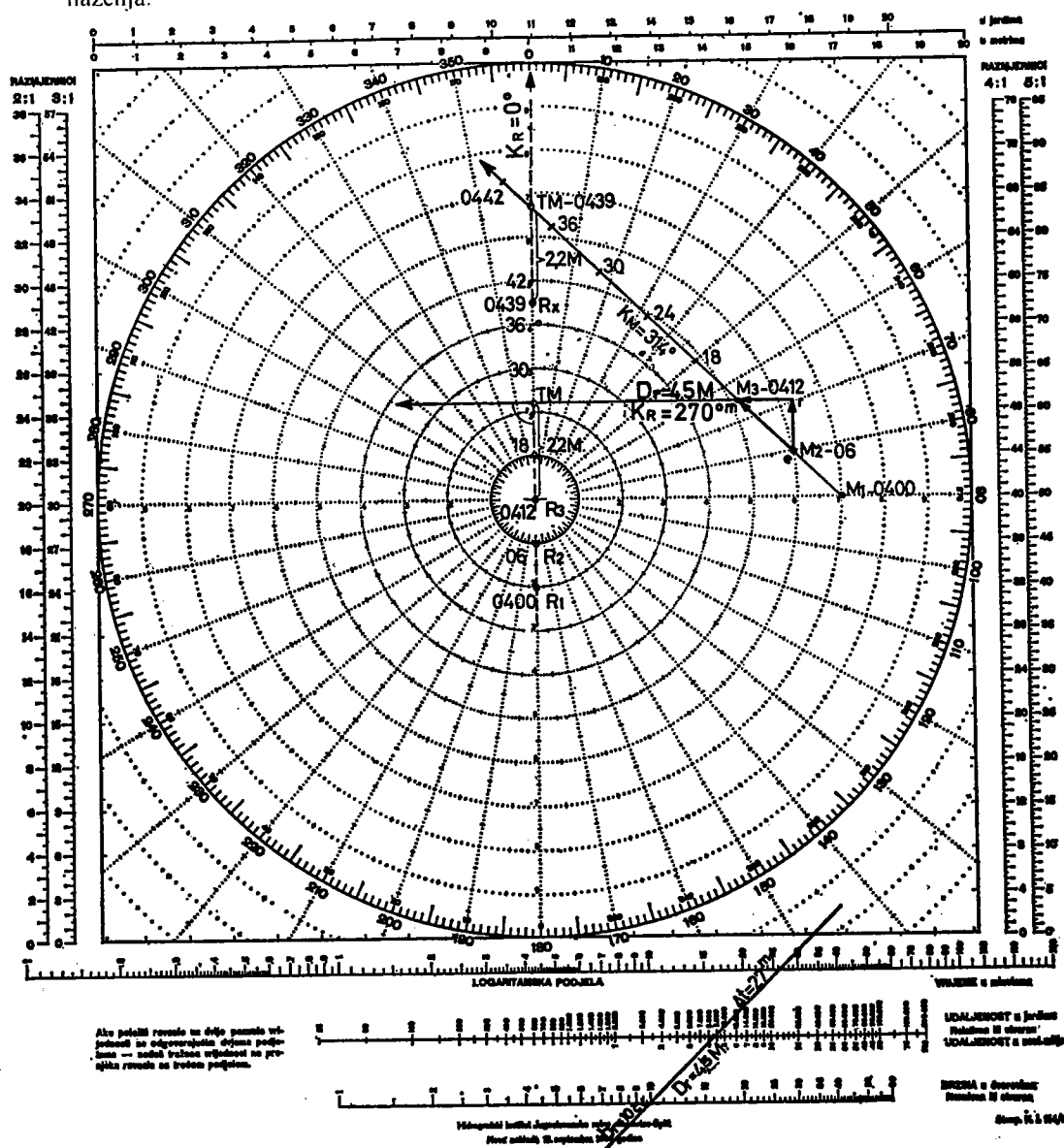
Sljedeći primjer pokazuje kombinirano rješavanje zadatka prema navigacijskoj (pravoj) i relativnoj metodi.

Vlastiti brod (R) plovi u $K_R=000^\circ$ brzinom $v_R=10$ čv. Motri se drugi brod (M); izmjereni azimuti i udaljenosti tog broda daju niz pozicija u navigacijskoj (pravoj) metodi plotiranja:

04 00 M_1 : $\omega=74^\circ$ i $d=7,3$ M; 04 06 M_2 : $\omega=71^\circ$ i $d=6,3$ M; 04 12 M_3 : $\omega=65^\circ$ i $d=5,3$ M.

Iako oba broda plove konvergentnim kursovima, do sudara neće doći jer se vrijednost azimuta broda M stalno smanjuje.

Traži se: a) najbliža točka mimoilaženja brodova; b) približno vrijeme mimoilaženja.



Sl. 7.14.a. Određivanje točke i vremena trajanja mimoilaženja promatranog broda subočice na određenu radarsku udaljenost – kombinirana prava i relativna metoda

Postupak (sl. 7.14.a):
 Primijenivši navigacijsku metodu rješavanja zadatka, pozicije brodova M i R vremenski su usklađene, pa svaki dio puta između dviju susjednih pozicija označuje pravi vektor brzine (prevaljenog puta): $K_M=314^\circ$, $v_M=15$ čv. Zbog toga se najbliža točka mimoilaženja može dobiti određivanjem zbrojenih pozicija za svaki brod posebice u raz-

macima od 6 min. Iz sl. 7.14.a. vidi se da će u 04h 39min brod M biti u točki mimoilaženja (TM), a brod R u točki R_x . Brod M proći će tada ispred pramca broda R na udaljenosti od 2,2 M.

Budući da su prevaljeni putovi između susjednih pozicija M_1M_2 , M_2M_3 ... konstantni, konstantna je i prava brzina broda M. Ako uzmemo vrijeme 04h 12min, kad se brod R nalazi u središtu dijagrama (R_3), točka M_3 – 04h 12min azimutom i daljinom označuje položaj promatranog broda M prema vlastitom brodu R u tom trenutku. To omogućuje da se jednostavnijim postupkom, crtanjem trokuta vektora (*erm*), unaprijed odredi približna udaljenost i vrijeme mimoilaženja brodova. Trokut vektora dobiva se tako da se iz točke M_2 u 04h 06min ucrtava pravi vektor vlastitog broda ($\vec{er}=10 \times 0,1=1M$); s vrha vlastitog vektora (\vec{r}) povuče se pravac koji ide vrhom vektora drugog broda (M_3 u 04h 12min) i dobije relativni vektor \vec{rm} koji produžen daje relativni put gibanja (D_r).

Rješenje: Najbliža točka mimoilaženja (TM) dvaju brodova nađe se spuštanjem okomice s pozicije R_3 na relativni kurs ($K_r=270^\circ$).

Dužina relativnog vektora \vec{rm} za 6 min iznosi 1 M, što znači da je relativna brzina $v_r=10$ čv. Relativni put od točke M_3 do točke mimoilaženja (TM) iznosi 4,5 M. Dakle, procijenjeno će vrijeme mimoilaženja brodova biti nakon 27 min, tj. u 04h 39min.

c) Moguće brzine jednog i drugog broda izjednačene su.

Vlastiti brod (R) plovi u $K_R=280^\circ$ brzinom $v_R=20$ čv. Radarom (mjerno područje 10 M odnosno mjerilo 1:1) motri se drugi brod (M) i izmjere ovi podaci: 17 10 M_1 : $\omega=324^\circ$, $d=12,5$ M; 17 13 M_2 : $\omega=324^\circ$, $d=11,1$ M; 17 16 M_3 : $\omega=324^\circ$, $d=9,8$ M.

Traži se: a) brza odluka o opasnosti sudara; b) u slučaju opasnosti označiti točku sudara (S); c) odluka hoće li se za sprečavanje sudara odabrati promjena kursa ili brzine, (izračun potrebnih elemenata); d) najmanja udaljenost mimoilaženja brodova, novi kurs (brzina) i vrijeme povratka u stari kurs.

Postupak (sl. 7.14.b):

Brodovi plovi konvergentnim kursovima i azimut na drugi brod ($\omega=324^\circ$) ostaje nepromijenjen. To znači da prijete opasnost sudara. Ako bi brodovi i dalje plovili istim kursovima i brzinama, do sudara bi došlo u točki S u 17h i 37min.

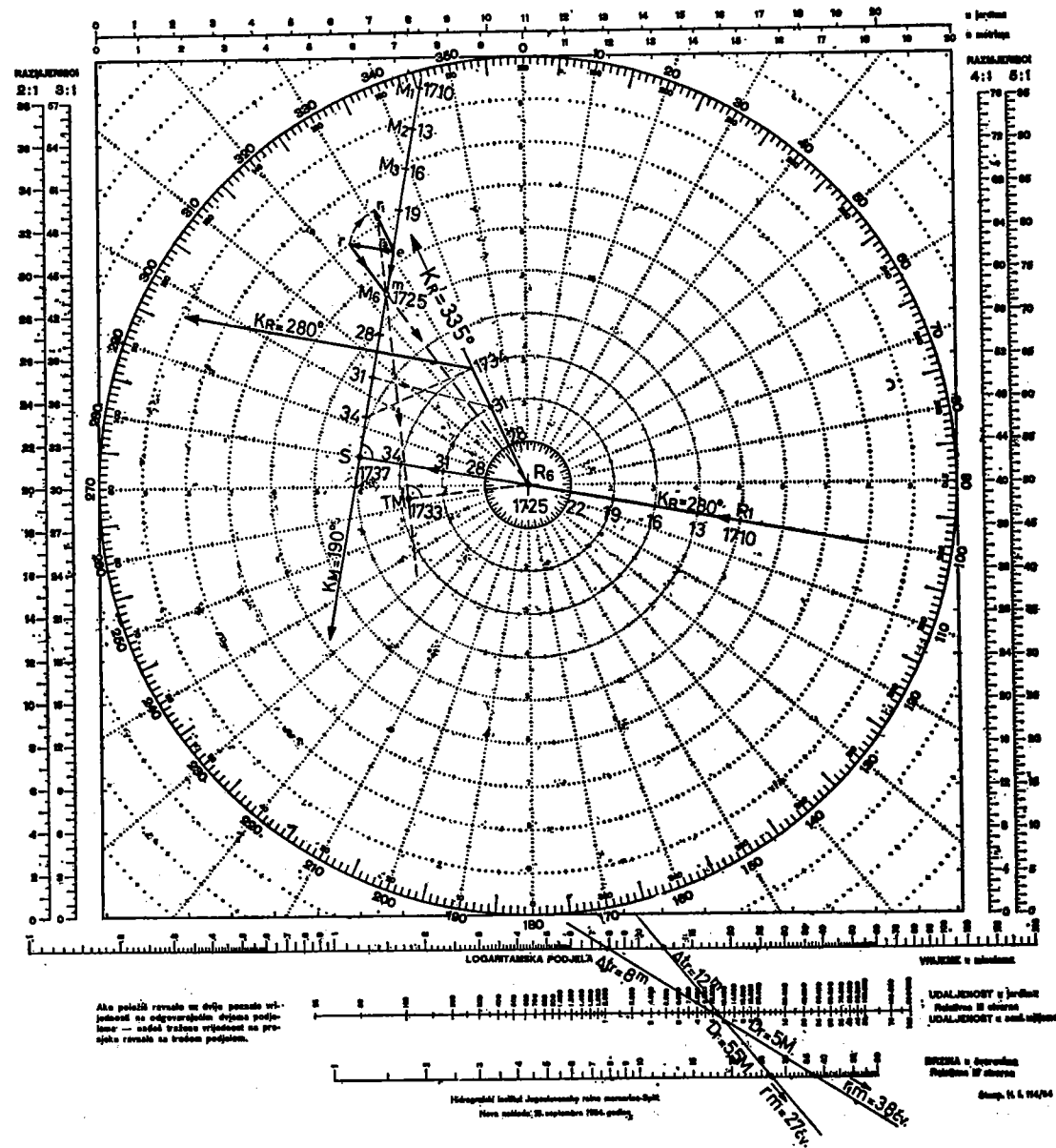
Prema pravoj (navigacijskoj) i relativnoj središnjoj metodi postupa se analogno već objašnjenome. Relativni vektor (\vec{rm}) produžen iz točke M_6 prolazi točno središtem dijagrama (R_6), što znači da postojeća situacija sigurno dovodi do sudara. Odlučeno je da se manevar izbjegavanja sudara izvede promjenom kursa udesno za 55° ; novi $K_R=335^\circ$. Plovidbom u protukursu broda M kao najsigurnijem nepotrebno bi se izgubilo vrijeme, a odabranim novim kursom sigurno se izbjegava sudar. Motrenjem i plotiranjem provjerava se pozicija broda M i u trenutku kad udaljenost među brodovima počinje rasti (17h 34min: $d > 2,8$ M) brod R vraća se u raniji kurs.

Ako se želi unaprijed odrediti najmanja udaljenost mimoilaženja, npr. 2,8 M, zadatak se praktičnije rješava konstrukcijom novog trokuta vektora ($m_r e$) za međusobni položaj brodova u 17h 25min (R_6 i M_6).

Postupak je sljedeći:

Iz točke M_6 spusti se tangenta na kružnicu od 2,8 M. Spojnica $\overline{M_6TM}$ predstavlja novi relativni put. Ako se ta spojnica produži u suprotnom smjeru, a iz točke e opiše luk čiji je polumjer \vec{er} , dobije se novi trokut vektora (er_1m). U tom trokutu vektor \vec{er}_1 pravi je vektor gibanja vlastitog broda; njegov smjer određuje novi kurs R, tj. $K_R=335^\circ$. Ako

bismo manevar željeli obaviti zadržavanjem kursa ($K_R=280^\circ$), a smanjenjem brzine, rješenje nam daje trokut vektora \vec{er}_m . Vektor \vec{er}_2 ima smjer 280° , a kako njegova dužina iznosi $1/3$ vektora \vec{er} nova brzina broda R bit će $20/3$, a to daje $v_R=6,7$ čv. Brod M u tom će slučaju prijeći ispred pramca broda R u 17h 33min na udaljenosti od 2,8 M.



Sl. 7.14.b. Određivanje kursa i drugih elemenata za manevar mimoilaženja promatranog broda na najmanju radarsku udaljenost – kombinirana prava i relativna metoda

Prednost središnje (relativne) metode jest u krupnijem mjerilu stranica trokuta vektora pa se zbog toga rabi pri grafičkom rješavanju zadataka na dijagramu. Međutim, pri neposrednom plotiranju na radarskom zaslonu zauzima prostor koji je posebice važan pri izbjegavanju sudara na moru. To pokazuje sljedeći primjer:

Vlastiti brod plovi u $K_R=150^\circ$ i $v_R=15$ čv. Radarom se motri brod s desne strane: 13 00 M₁: $\omega_1=210^\circ$, $d=14,0$ M; 13 12 M₂: $\omega_2=210^\circ$, $d=10,0$ M.

Odlučeno je da se sudar izbjegne manevarom promjene kursa uz zadržavanje brzine tako da se brod M mimoide na 3 M udaljenosti s početkom u 13h 15min.

Postupak (mjerilo 2:1):

Na temelju izmjerenih radarskih azimuta i udaljenosti do broda M, unesu se na dijagramu uzastopne relativne pozicije M₁ i M₂. Spojnica $\overline{M_1M_2}$ određuje relativni kurs i relativni prevaljeni put za interval 12 min, tj. određuje vektor relativnog gibanja: $K_{rel}=30^\circ$ i $v_{rel}=20$ čv. Produžena spojnica M₁M₂ prolazi kroz središte dijagrama, što ukazuje na opasnost sudara: M_2R iznosi 10 M pa će vrijeme sudara biti u 13h 42min.

Ucrta se kurs vlastitog broda $K_R=150^\circ$ i na njega nanese brzina $v_R=15$ čv; \vec{er} predstavlja vektor gibanja vlastitog broda. Iz točke r ucrtta se relativni kurs (pravac paralelan s $\overline{M_1M_2}$) i na njega nanese relativna brzina $v_{rel}=20$ čv; \vec{rm} predstavlja vektor gibanja drugog broda: $K_M=76^\circ$ i $v_M=18$ čv.

Položaj promatranog broda u 13h 15min bit će u M_x, tj. na relativnom kursu za 1 M od točke M₂. Iz točke M_x u smjeru vlastitog kursa (jer drugi brod prolazi ispred pramca vlastitog broda) povuče se tangenta na kružnicu mimoilaženja polumjera 3 M i dobije točka M₃. Spojnica $\overline{M_xM_3}$ određuje novi relativni kurs. Iz točke m (brod M nije mijenjao kurs i brzinu) povuče se pravac paralelan s novim relativnim kursom. Presjecišta tog pravca s kružnicom brzine vlastitog broda točke su r₁ i r₂ i one određuju dva nova trokuta vektora. Za rješenje zadatka dolazi u obzir trokut vektora *mer*: vektorom \vec{er} određen je novi kurs vlastitog broda, $K_R=198^\circ$, a vektorom \vec{r}_m nova relativna brzina $v_{rel}=29$ čv.

U početku manevra (13h 15min) drugi brod motri se pod pramčanim kutom 60° desno ($L=210^\circ - 150^\circ$), a nakon završetka promjene kursa pod kutom 12° . Okret prema drugom brodu s promjenom pramčanog kuta 48° jasan je znak za manevar izbjegavanja sudara prolazom po krmi drugog broda. Drugi brod proći će u točki P koja se nalazi ispred pramca vlastitog broda u 13h 22min ($13\ 15 + 00\ 07$; $\Delta t = \overline{M_xP}/v_{rel}$) na udaljenosti 6 M. Na željenu najmanju udaljenost 3 M brodovi će se mimoći u točki M₃ u 13h 33 min, tj. 11 min nakon presijecanja kursnih crta oba broda u točki P.

7.3. Automatsko radarsko plotiranje – ARPA/RADAR

7.3.1. Opća načela. Radarski uređaj ARPA (engl. *Automatic Radar Plotting Aid*) s ugrađenim elektroničkim procesnim računalom optimalan je uređaj za brze izračune i neposredno izvođenje manevra izbjegavanja sudara na moru. Omogućuje automatsko praćenje odabranih plovila unutar radarskog obzora i kontinuiranu procjenu situacije na radarskoj slici, na temelju pravih i relativnih odnosa kursnih vektora tih brodova prema vlastitom brodu. Radar s protusudarnom slikom olakšava rad časniku na plovidbenoj straži i omogućuje mu da više pazi na sigurnost svog broda. Bez takva uređaja navigator je prisiljen da na temelju samo jednog odabranog objekta obavi grafičko plotiranje,

utvrdi rizik sudara i izračuna potrebne elemente za manevar izbjegavanja sudara; točnost ovisi i o osobnim pogreškama kojih nema u primjeni automatskog radarskog plotiranja. Postupa se slično kao pri grafičkom plotiranju (na dijagramu ili neposredno nad radarskim zaslonom).

Uređaj ARPA koji ispunjava preporuke IMO-a ima ove značajke*:

- istodobno prati najmanje 20 (pri automatskom unošenju podataka), odnosno 10 objekata (pri ručnom unošenju podataka);

- najmanji promjer zaslona brodskog radara je 406 mm, a mjerno područje makar 3 i 12 M ili 4 i 16 M; relativno prikazivanje radarske slike orijentirano je prema pravom sjeveru (uključuje i mogućnost dobivanja ekscentrične radarske slike);

- podatke o kursu i brzini promatranog plovila određuje s pomoću pravih i relativnih vektora;

- interval praćenja objekata prije odluke o maneuvru ne smije biti kraći od 8 min, prethodno određivanje kursa i brzine plovila u intervalu 1 minute, a s najvećom točnošću unutar 3 minute;

- alfanumerički i/ili digitalni prikaz parametara za vlastiti broda (kurs i brzina) i za svaki prateći objekt (trenutačna udaljenost i azimut, CPA i TCPA, pravi kurs i brzina);

- mogućnost simulacije manevra izbjegavanja sudara unutar određenog vremena (npr. 12 min za tip *Databridge 7 Norcontrol*);

- svjetlosno ili zvučno upozorenje o dolasku jasno izdvojenog plovila na odabranu graničnu udaljenost (stražarska kružnica), odnosno o dolasku na unaprijed određenu udaljenost mimoilaženja (točku CPA), ili pak o isteku predviđenog vremena za mimoilaženje (TCPA) te o nestanku praćenog objekta.

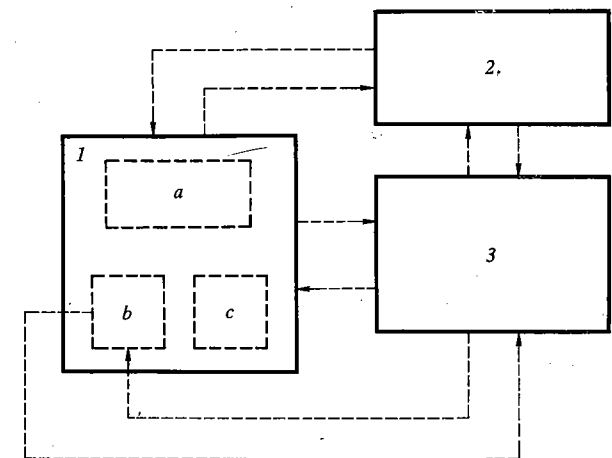
Sustav ARPA/RADAR sastoji se od uređaja za biranje i uređaja za praćenje objekata, pokazivača s videozaslonom (ekran) za prikaz sintetske protusudarne radarske slike, te pokazivača s kontrolnim uređajem; svim dijelovima upravlja procesor električnog računala. Svi sustavi ARPA rade na sličnom načelu. Međusobno se razlikuju samo u tehničkoj izvedbi i u sintetskim oznakama na radarskom zaslonu. Uređaj prati i filtrira dobivene podatke na kojima se temelji određivanje bitnih navigacijskih elemenata (pozicije, kursevi, brzine) pratećih objekata, koji se odslikavaju na radarskom zaslonu (brodovi i plovila uopće, plutače i važne navigacijske oznake).

Sintetske oznake i simboli grafički odslikavaju vrijednosti parametara (vektora) gibanja vlastitog broda i drugih promatranih objekata; oni su temelj izbora manevra izbjegavanja sudara. Podaci se dobivaju bez izračuna, neposredno grafičkom interpolacijom i ekstrapolacijom na radarskom zaslonu ili se očitavaju s alfanumeričkog, odnosno digitalnog pokazivača; temelj su im ručno (kodnom tipkovnicom) ili automatski uneseni podaci o vlastitom brodu s navigacijskih osjetila (girokompas, brzinomjer, radar). Automatskim biranjem objekata ne može se propustiti niti jedan objekt, ali primaju se i prate nepotrebni objekti, a podaci koji se dobivaju mogu katkad biti i kompromisni. Pri ručnom biranju čovjek upravlja uređajem i sam bira objekte. Većina uređaja sustava ARPA ima obje mogućnosti biranja objekata.

* Zbog važnosti uređaja sustava ARPA za plovidbenu sigurnost broda, Međunarodna pomorska organizacija (*International Maritime Organization – IMO*) propisala je da od 1980. godine svi novi brodovi veći su od 10 000 dwt moraju biti opremljeni sustavom ARPA, kao i postojeći tankeri veći od 40 000 dwt; od 1985. to vrijedi i za postojeće tankere veće od 100 000 dwt.

Sl. 7.15. Ustroj sustava za automatsko radarsko plotiranje ARPA

1 – jedinica veze-sučelje (interface) između radara i elektroničkog računala, a – ekstrator kvantizator, b – upravljački blok, c – vremenski sinkronizator sustava; 2 – navigacijski radar; 3 – elektroničko mikroprocesno računalo

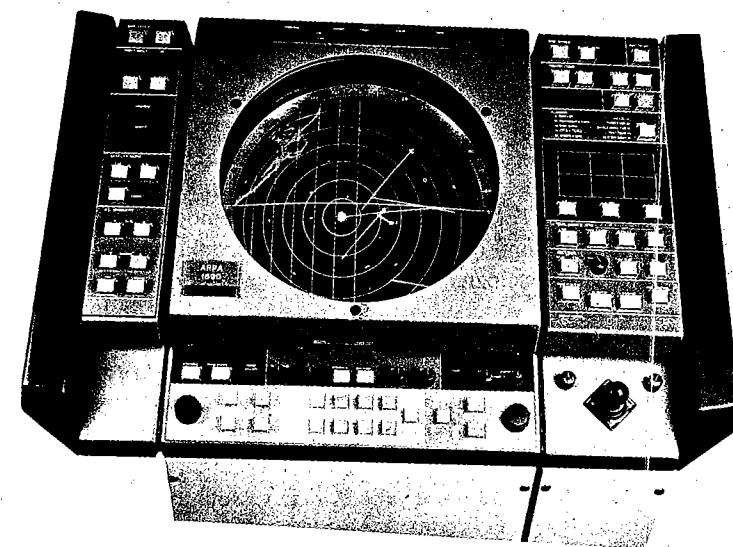


Postoje različiti radarski sustavi s uređajem ARPA:

- uz standardni radarski pokazivač dodan je i pomoćni pokazivač (*slave display*) u ARPA izvedbi, ili je to matični pokazivač u ARPA izvedbi

- dvojni sustav radara (*dual system*) u kojeg radari rade na frekvencijskom X-opsegu (3 cm) i S (10 cm) ili dvojni sustav s pokazivačem ARPA u sklopu jednog od dva radara (redovito u S-opsegu, frekvencija 10 cm).

Sustav ARPA bez obzira na tehničku izvedbu uređaja, osim što časniku na plovidbenoj straži pruža sve podatke za neposredan uvid u navigacijsku situaciju, posebice daje podatke prijeko potrebne za siguran manevar izbjegavanja sudara brodova, uz mogućnost prethodne simulacije odabranog manevra. To su redovito isti podaci koji se dobivaju grafičkim plotiranjem, i to neposredno s protusudarne radarske slike ili posebnih digitalnih pokazivača.



Sl. 7.16. ARPA/RADAR RACAL DECCA – protusudarne radarske slike

Sl. 7.16. prikazuje ARPA sustav tvrtke RACAL – DECCA. Suvremeni prijamnik ima ugrađen videoprocetor i procesno elektroničko računalo, a može se uključiti u dvojni radarski sustav; prava ili relativna radarska slika (s kompasnom stupanjskom vjetru-ljom), stabilizirane su prema meridijanu (sjeveru), a mogu biti stabilizirane i prema kursu; relativna slika može biti i nestabilizirana (orijentirana prema pramcu). Katodna cijev ima zaslon promjera 30 cm (12 palaca) ili 40 cm (16 palaca)– u ARPA uređaju isključivo 40 cm; trajanje impulsa ovisi o odabranoj ljestvici mjernog područja (kratki 0,05 μ s i 0,25 μ s, dugi 0,25 μ s i 1,0 μ s); automatsko praćenje do 20 objekata (na zaslonu mrlje), a moguć je i ručni odabir objekta. Upitom, pritiskom na tipku READ, na zaslonu digitalno se ispisuju podaci o nepoznatom objektu: CPA, TCPA, BEARING (azimut), RANGE (udaljenost), COURSE (kurs) i SPEED (brzina)

Brod redovito ima tehničku dokumentaciju za ugrađeni tip sustava ARPA u kojoj se nalaze i upute za rukovanje i održavanje. Zato će se u knjizi objasniti temeljna načela pojedinih sustava, koja se odnose na manevar izbjegavanja sudara na moru primjenom automatskog radarskog plotiranja.

7.3.2. Sustav ARPA/RADAR DECCA. Jedan je od prvih sustava automatskog radarskog plotiranja na temelju kursnih vektora odabranih brodova i vlastitog broda, koji se pokazuju na radarskom zaslonu s posebnom protusudarnom radarskom slikom. Vlastiti brod nalazi se u središtu radarskog zaslona, ali se može dobiti i ekscentrična radarska slika. Kratke crte (dužine do 25 mm), koje lepezasto konvergiraju prema vlastitom brodu, pokazuju relativne kursne vektore brodova koji vode sudaru; duga svijetla crta označuje crtu pramčanicu (kursnu crtu) vlastita broda (sl. 7.17.). Iako ovaj sustav omogućuje praćenje svih objekata unutar radarskog obzora, praktičnije je, osobito pri osobnom odabiru, pratiti ograničen broj plovila (redovito 3–4). Praćenje plovila je automatsko, a izbor pojedinih plovila obavlja časnim na plovidbenoj straži. Vektori za pojedine mrlje objekata na radarskoj slici biraju se posebnom tipkom. Dužine odslikanih vektora odgovaraju prevaljenim putovima za odabrani vremenski interval (6, 12, 18, 24, 30 min). Rizik je sudara veći što više konvergiraju prema vlastitom brodu relativni vektori prikazanih plovila, odnosno ako se vrhovi pravih vektora pratećih objekata i vlastitog broda opasno približe jedan drugome.

Pri uporabi sustava *DECCA* postupak je ovaj: Unese se granična (sigurna) udaljenost za izbjegavanje sudara (stražarska kružnica) jer od nje ovisi početak praćenja plovila i uključivanje signala upozorenja. Objekti se automatski prate, a elektroničko računalo zbraja njihove kurseve. Pritiskanjem na posebnu tipku aktiviraju se sintetske elektronske oznake (vektori). Točke njihova ishodišta s pomoću tipke ili ručice (*joystick*) postavljaju se na mrlje na zaslonu odslikanih brodova. Gibanja mrlja duž elektronskih oznaka (spojnica točke ishodišta oznake i čela mrlje objekta) relativna su i neposredno pokazuju kurseve plovila koji vode sudaru ili mimoilaženju. Kad se mrlja plovila približi graničnoj udaljenosti (stražarskoj kružnici), odnosno nakon isteka određenog vremena, aktivira se svjetlosno-akustički signal upozorenja. Ostale mrlje predočuju brodove koji mimoilaze vlastiti brod na određenu udaljenost. Najmanja udaljenost mimoilaženja dobiva se plotiranjem. Ucrta se relativan kurs približavanja. Promjenjiva daljinska kružnica (*Variable Marker Range-VMR*) proširi se dok ne dodirne produženu kursnu crtu. Točka dodira pokazuje točku mimoilaženja (CPA) i najmanju udaljenost mimoilaženja (u ovom slučaju ispred vlastitog broda).

Prebacivanjem sustava na rad za simulaciju manevara, mrlje plovila na radarskom zaslonu gibaju se novim kursevima. Za to vrijeme kratki vektori na mrljama pojedinih

plovila (na radarskom zaslonu) pokazuju pravo gibanje (stvarni kurs i brzinu). Elektronska pramčanica vlastitog broda okreće se u skladu sa simuliranim kursom. Taj postupak omogućuje časniku na plovidbenoj straži da odabere optimalan kurs za manevar izbjegavanja sudara.



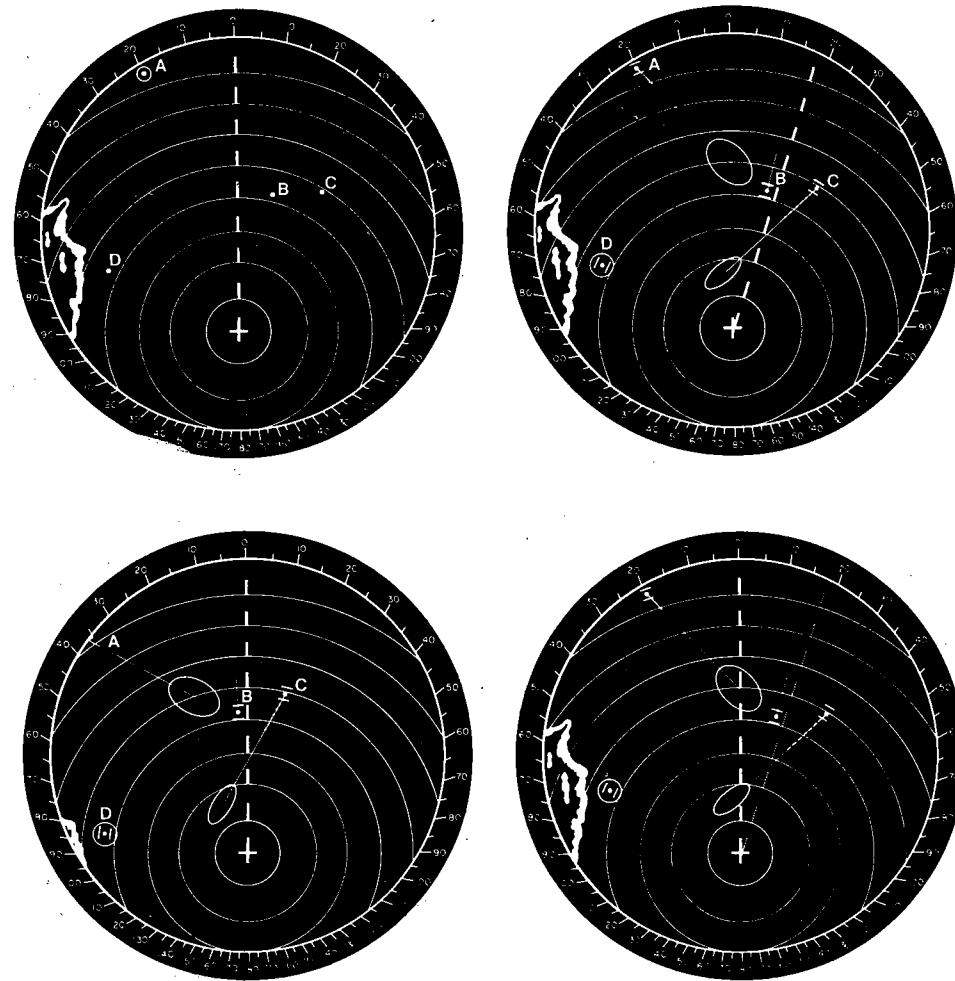
Sl. 7.17. Protusudarna radarska slika na zaslonu radara ARPA/RADAR *DECCA* lijevo – početno stanje: četiri mrlje brodova s elektronskim oznakama; mrlja s dugačkom crtom jest vlastiti brod i njegova kursna crta; desno – stanje nekoliko minuta kasnije: dvije mrlje na elektronskim oznakama prikazuju brodove opasne za sudar; ostale mrlje jesu neopasni brodovi

7.3.3. Sustav ARPA/RADAR SPERRY. Taj se protusudarni radarski sustav za automatsko plotiranje temelji na programiranim odnosno potencijalnim opasnim zonama oko brodova koji se prate unutar radarskog obzora. Vlastiti brod mora izbjegavati tu zonu da bi održao sigurnu udaljenost i time izbjegao sudar.

S pomoću kontrolne ručice (*joystick*) navigator uključuje podsustav za praćenje. Kao simbol praćenja odabranog objekta iznad mrlje na radarskoj slici javlja se mala kružnica u elektronskoj tehnici. Ukopčavanjem pak posebne sklopke (*ship acquire*) radar preuzima automatsko praćenje 20 i više plovila. Nakon 8 radarskih impulsa (24 μ s) na videozaslonu pokazivača javlja se točkasti kursni vektor s ishodištem u mrlji koja oslikava prateće plovilo. Njegov smjer određuje kurs broda, a dužina određuje prevaljeni put za 6 minuta. Nakon idućih 30 radarskih impulsa javlja se elektronska crta koja spaja trenutačnu poziciju (mrlju na videozaslonu) opaženog plovila s točkom mogućeg sudara (PPC – *Point of Possible Collision*), kad bi oba plovila nastavila ploviti nepromijenjenim kursom i brzinom. Točke PPC određuje elektroničko računalo na temelju vremena potrebnog da radarski impulsi prijeđu put do opaženog plovila, tj. na načelu Dopplerova efekta. S obzirom na vrlo male vremenske razlike između uzastopnih mjerenja, rezultati dobiveni računalom nisu dovoljno pouzdani za računanje točke mogućeg sudara. Zbog toga se za predviđenu zonu opasnosti (PAD – *Predicted Area of Danger*) uzima elipsa (sl. 7.18.). Kurs za izbjegavanje sudara može se odrediti s pomoću elektronskog smjerala ili ga automatski računa sam uređaj.

Vlastiti brod redovito je prikazan izvan središta zaslona i njegova je pramčanica

usmjerena prema vrhu zaslona. Kursni vektor vlastita broda isprekidana je dužina koja odgovara prevaljenom putu za 6 minuta. Vektori na mrljama pratećih plovila prikazuje prave kurseve, a mrlje se gibaju relativnim kursovima. Najmanja udaljenost presretanja ili mimoilaženja procjenjuje se prema križanju kursnog vektora vlastitog broda s programiranom predviđenom zonom opasnosti (PAD). Objekti se odabiru ručno s pomoću posebnog elektronskog kruga, a njihov je broj ograničen kapacitetom memorije elektroničkog računala (redovito 4). Oko mrlje pratećeg plovila javlja se oznaka (*marker*), i ako ne postoji opasnost od sudara, na zaslonu se vidi samo ta oznaka. U protivnom, nakon kratkog vremena javlja se kratki kursni vektor pratećeg plovila, a nešto kasnije i vektor s elipsom (točka sudara je središte elipse – PAD); opasnost od sudara postoji kad kursna crta vlastitog broda siječe elipsu opasnosti. Podaci se ažuriraju nakon jedne minute.

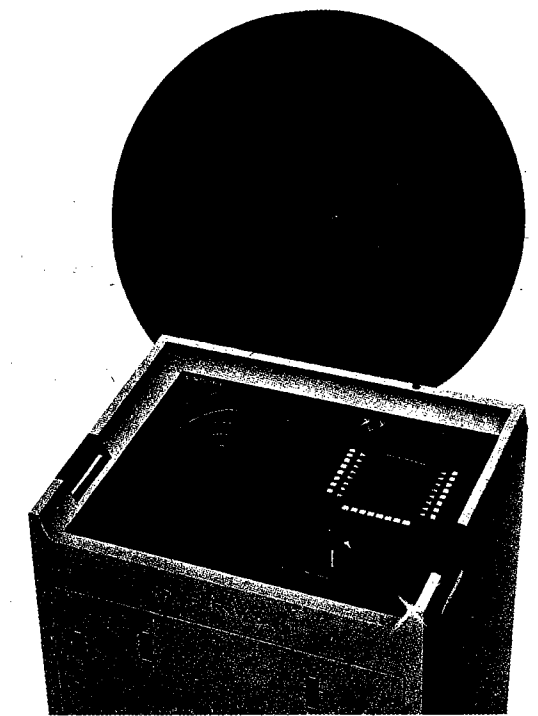


Sl. 7.18. Opasni objekti i zone (PAD) u sustavu ARPA/RADAR SPERRY
 + – pozicija vlastitog broda; A, B, C i D – opaženi objekti; A, B i C – opasni (praćeni) objekti;
 B i D – neopasni objekti

Sustav SPERRY ne može simulirati manevar izbjegavanja sudara, jer je predviđanje buduće situacije implicitno ugrađeno u sustav zona opasnosti. S obzirom na to da promjena brzine uzrokuje pomak točke mogućeg sudara (PPC), sustav uključuje simulaciju promjene brzine; vektor i elipsa opasnosti (PAD) trenutačno se mijenjaju ovisno o situaciji nastaloj promjenom brzine vlastitog broda. Promjena kursa vlastitog broda (manevar izbjegavanja sudara) na videozaslonu prikazuje se postupnim otklonom pramčanice. Dovođenjem broda u kurs (nakon manevra), pramčanica (kursni vektor vlastitog broda) zauzima položaj ovisno o kursu.

Tvrtka Sperry razvila je i savršeniji sustav automatiziranog radarskog plotiranja CAS II (*Collision Avoidance System*). Problem izbjegavanja sudara rješava se također na temelju predviđanja zone opasnosti (PAD), ali s nešto izmijenjenim sintetskim oznakama; opasna zona umjesto elipse ima oblik izduženog šesterokuta (sl. 7.19.). Navigator ne mora računati s dužinom vektora i prelaziti s relativnih na prave kurseve da izdvoji određene objekte i sl. S jedinstvenom sigurnosnom granicom zone opasnosti (PAD) sustav se temelji na kružnoj granici opasnosti; bez obzira na kvadrant kursa približavajućeg objekta, radarska slika na zaslonu s opasnom zonom (PAD) nedvojebeno pokazuje kad je potrebno obaviti manevar izbjegavanja sudara te kako ga valja izvesti.

Sl. 7.19. Pokazivač sustava ARPA/RADAR SPERRY CAS II



Sperry CAS II posebna je automatizirana navigacijska jedinica s videozaslonom, koja radi u kombinaciji s brodskim radarom, girokompasom i brzinomjerom. Ima samo dva izvora podataka: jedan videozaslon s elektronskim oznakama za izbjegavanje sudara sličan radarskom (PPI *display*), a drugi sličan TV-zaslonu (*data page*) s ispisanim podacima. Rad sustava koordiniraju i nadziru tri mikroprocesora (glavni, prateći i za pokazivač podataka). Uređaj se aktivira pritiskom na određenu tipku; s pomoću nadzornog

upravljača (*joystick acquire*) odabire se do 20 plovila i na mrlju odabranog objekta dovodi prateća sintetska oznaka koja na tom mjestu ostaje dok se ne završi program pretrage ili je rukovatelj uređajem ne poništi. Nakon izvršenih izračuna mikroprocesori stalno daju trenutačne podatke o vlastitu brodu (kurs i brzina) i o odabranom broju pratećih plovila (udaljenost, azimut, brzina, kurs, CPA i TCPA). Uređaj za uzbunjivanje upozorava navigatora svaki put kad podaci o pratećem plovilu nisu dovoljni ili se gube; daje optičke i zvučne signale za dvije situacije:

- prethodno, kad sustav odluči da je stvarna točka mimoilaženja (CPA) za bilo koji prateći objekt bliža od odabrane (prethodno unesene u sustav), odnosno kad je vremenski interval do te točke (TCPA) manji od 18 minuta

- pred neposrednom opasnošću od sudara, kad se vremenski interval smanji na 12 minuta.

Sustav ima uređaj za samotestiranje (BITE – *Built in Test Equipment*) koji kodiranim signalom na videozaslonu upozorava na eventualnu pogrešku ulaznih podataka (radar, girokompas, brzinomjer) ili na pogrešku unutar vlastitog sustava.

Speery CAS II ima još dvije dodatne mogućnosti:

- da automatski otkriva i registrira plovila koja nisu unutar područja pretraživanja, upozorava navigatora da registrira netraženi objekt (*Guard Ring/Mode*) ili automatski registrira objekt (*Guard Ring/Auto-Acquisition Mode*)

- da odabere ulazne podatke iz bilo koja dva radara koji rade u sustavu CAS II; za vrijeme guste oborine rad se uređaja poboljšava aktiviranjem radara koji radi u frekvencijskom opsegu S (10 cm).

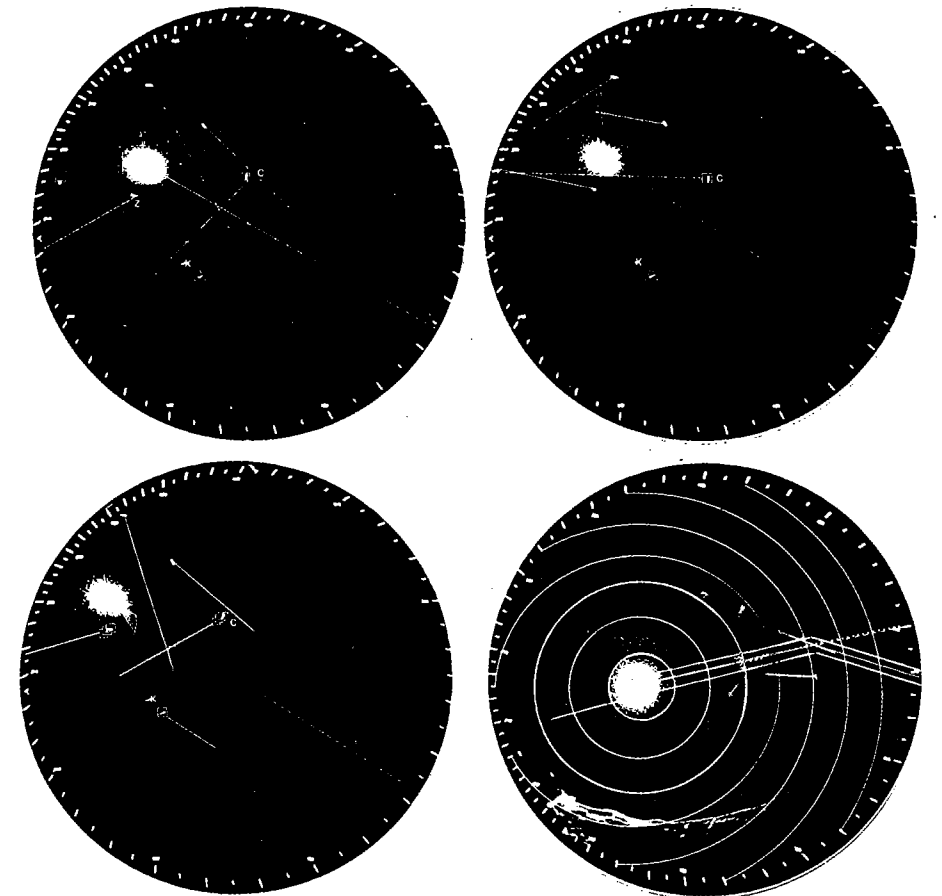
7.3.4. Sustav ARPA/RADAR NORCONTROL. Taj kompjutorizirani uređaj za automatsko radarsko plotiranje, osim redovite radarske slike na videozaslonu, pokazuje i protusudarnu radarsku sliku; sintetske oznake za plotiranje superponiraju se iznad panoramske slike. Radi automatski, a podatke dobiva od brodskih osjetila (radar, girokompas, brzinomjer) ili ih ručno unosi navigator. Njegove operativne značajke jesu: videozaslon s mjernim područjem 3, 6, 12 i 24 M; alfanumerički pokazivač koji bilježi podatke o vlastitom brodu (geografske koordinate pozicije i vrijeme, kurs i brzinu broda, najmanju udaljenost – CPA i vrijeme mimoilaženja – TCPA) i pratećem objektu (pravi kurs i brzina, udaljenost točke mimoilaženja – CPA i vrijeme do točke mimoilaženja – TCPA); upozorenje o promjeni kursa i brzine; elektronsko smjeralo; elektronski marker daljine i azimuta; izbor dužine vektora za vremenski interval 6, 12, 18, 24 ili 30 min; automatsko optičkozvučno upozorenje o opasnosti sudara; ručna simulacija manevra izbjegavanja sudara; program za testiranje pogreške ili kvara u sustavu.

Situacija na radarskom zaslonu može biti prikazana u pravom ili relativnom sustavu. Početna radarska slika redovito je relativna, a vektori pravi. Promjena radarske slike i aktiviranje vektora obavlja se pritiskom na posebnu tipku; odmah se javlja nova slika, bez ostataka stare slike. Prateća opasna plovila odabire navigator i potrebne podatke unosi u elektroničko računalo s pomoću jednog elektroničkog kruga pod nadzorom posebnog polužnog upravljača (*joystick*). Nakon 20 do 30 s pokazuje se na radarskom zaslonu vektor brzine odabranog plovila. Navigator može brisati vektor ako se objekt otcijeni kao nevažan. Tada se iznad mrlje plovila na zaslonu javlja *trokut*, koji se i dalje prati bez vektora, ali se pritiskom na tipku "promjena stanja" vektor može vratiti na mrlju koja odgovara promatranom plovilu. Signal upozorenja uključit će se svaki put kad se praćeno plovilo, unutar 30 min koje unosi navigator, približi na udaljenost manju od one koja odgovara najbližoj točki mimoilaženja (CPA). Paralelno s tim, takvo će se plovilo

na radarskom zaslonu označivati *bljeskajućim kvadratom*. Ako takvo plovilo mijenja kurs ili brzinu i prekoračuje kritične granice CPA i TCPA, vektor i signal upozorenja ponovno će se uključiti. Mrlja na zaslonu označena slovom *iks* (x) ukazuje da je plovilo registrirano, ali bez vektora. Plovila van granice opasnosti (CPA) su *bez oznake* (sl. 7.20.).

Navigator može izvesti simulaciju manevra izbjegavanja sudara postupnom promjenom kursa. Promatranjem radarske slike odabire se optimalan kurs kojim će se izbjegniti sudar s promatranim plovilom. Preporučeni kurs pokazuje alfanumerički pokazivač; automatski su uzete u obzir i manevarske osobine vlastitog broda, mrtvo vrijeme i vrijeme trajanja manevra.

Na sustav NORCONTROL može se priključiti: daljinski pokazivač, uređaj za bilježenje izmjerenih i registriranih podataka, pokazivač memoriranih podataka o ranijim pozicijama pratećih plovila, autodetektirajući uređaj. Neki tipovi sustava (npr. DATA-BRIDGE 7) omogućuju programiranje plovidbene rute, što osobito olakšava približavanje obali s otvorenog mora. Oko odabrane plovidbene rute, na radarskom zaslonu se odlikava pojas ograničen sigurnosnim granicama. Pri izlasku broda iz određenih granica na radarskom se zaslonu javlja poseban signal upozorenja.



Sl. 7.20. Protusudarne radarske slike u sustavu ARPA/RADAR NORCONTROL

a) pravo gibanje i pravi vektori (slika orijentirana prema sjeveru); prateći brod C (označen kvadratom) siječe kurs motriteljeva broda i njegov kurs vodi bliže od najmanje udaljenosti mimoilaženja (CPA);

b) brod X se prati ali bez vektora, brodu Δ je vektor iščeznuo; pravo gibanje i relativni vektori (slika orijentirana prema sjeveru); motreni brod će presjeći kurs motriteljeva broda na 1,5 M za oko 12,5 min; situacija se brzo procjenjuje ako se slika (b) uspoređi sa prethodnom slikom (a);

c) simuliranje manevra izbjegavanja sudara postupnom promjenom kursa udesno: kurs broda označen vektorom u trenutku iščeznuća simbola nad opasnim brodovima vodi izvan opasnosti (pokazuje se na digitalnom pokazivaču);

d) plovibena ruta s označenim sigurnosnim granicama: akustični signal označava izlazak broda iz postavljenih granica; mrlja u središtu ekscentrične radarske slike nastala je zbog utjecaja odraza od morske površine (*sea clutter*).

7.3.5. Sustav ARPA/RADAR DIGI PLOT. Jedan je od čestih uređaja za automatsko plotiranje, koji se priključuje na postojeći radarski sustav. Analizira svaku pojedinu mrlju na radarskoj slici, razlikuje mrlje kopna prema njezinoj dužini (granica oko 500 m, koliko je dug najduži brod) i automatski registrira 200 najbližih objekata veličine broda unutar radarskog obzora, odnosno odabranog mjernog područja do 17 M, a na temelju stalnog praćenja plotira 20 (model RM) odnosno 40 (model RR) najbližih objekata. Opasnost od sudara sustav pokazuje relativnim i pravim vektorima.



Sl. 7.21. Pokazivač ARPA/RADAR KELVIN HUGHES

Digiploot na standardnom zaslonu prikazuje radarsku sliku u dvije boje: u zelenoj odslikava kopno i plovila, a u narančastoj boji superponirane sintetske oznake (kružnica označuje brod, a crta kursni vektor, odnosno prevaljeni put za odabrano vrijeme). Izračun vektora obnavlja se svaki put kad radarski snop prijeđe preko pratećeg objekta. Položaj vlastitog broda u sredini je radarskog zaslona. U sustavu plotiranja na pravoj ra-

darškoj slici dužina vektora odgovara odabranom vremenu gibanja pratećeg broda, a smjer vektora kursu promatranog broda.

Osim automatskog praćenja plovila, može se i ručno birati pojedini objekt, što omogućuje i dobivanje dopunskih podataka.

Uz radarsku sliku postoji digitalni ili alfanumerički pokazivač podataka potrebnih za izbjegavanje sudara (udaljenost i azimut, kurs i brzinu pratećeg plovila, CPA i TCPA te kurs i brzinu vlastitog broda). Brzina vlastitog broda unosi se u električko računalo ručno ili neposredno iz brzinomjera, a girokompas izravno unosi kurs (točnost $\pm 1^\circ$). Da bi se analizirala situacija koja će nastati pri promjeni kursa ili brzine vlastitog broda, provodi se simulacija pokusnog manevra, ali tada se vlastiti brod pomiče izvan središta zaslona.

Sličan uređaju DIGI PLOT je ARPA/RADAR KELVIN HUGHES (sl. 7.21.)

PITANJA:

- Objasnite sustave plotiranja, kada se koji rabi, prednosti i nedostatke pojedinog sustava.
- Na koji se način određuje da li na radarskoj slici opaženi objekt plovi ili je nepomičan?
- Objasnite uporabu radara s protusudarnom slikom: a) u analizi situacije; b) pri izbjegavanju sudara; c) pri određivanju udaljenosti mimoilaženja.
- S pomoću navigacijskog sustava plotiranja objasnite grafički postupak računanja: a) točke sudara odnosno točke mimoilaženja (azimut, udaljenost, vrijeme); b) kursa i brzine nepoznatog plovila; c) kursa vlastitog broda i trajanje manevra za mimoilaženje drugog broda na određenoj udaljenosti odnosno odabranoj točki.
- Primjenom relativnog sustava plotiranja objasnite grafički postupak računanja: a) točke sudara odnosno točke mimoilaženja (azimut, udaljenost, vrijeme); b) kursa i brzine nepoznatog plovila; c) kursa vlastitog broda i trajanje manevra za mimoilaženje drugog broda na stanovitoj udaljenosti odnosno odabranoj točki.
- Objasnite uporabu radara s protusudarnom slikom: a) u analizi slučajeva; b) pri izbjegavanju sudara; c) pri određivanju udaljenosti mimoilaženja.
- Objasnite postupnost u analizi radarske slike radi izvođenja manevra izbjegavanja sudara s drugim brodovima.
- Objasnite postupnost manevra izbjegavanja sudara s drugim brodom od trenutka njegova zapažanja do mimoilaženja na sigurnu udaljenost koristeći se radarom.
- Analizirajte situaciju na radarskoj slici ako se opaženo plovilo nalazi: a) u pramčanim sektorima vlastitog broda; b) u bočnim sektorima; c) u krmenim sektorima; d) točno po pramcu; e) točno po krmi.
- Objasnite načela automatskog radarskog plotiranja uporabom jednog od opisanih sustava.
- Objasnite elemente koje daje radarska slika, odnosno pokazivač uređaja za automatsko radarsko plotiranje.
- Koja je prednost automatskog radarskog plotiranja pred grafičkim plotiranjem?

ZADACI:

- Plovi se brzinom 12 čv u kursu $K_p=90^\circ$. Radarom se motri nepoznati brod: 11h 00min ($L=31^\circ$, $d=9,5$ M); 11h 06min ($L=27^\circ$, $d=8,1$ M); 11h 11min ($L=22^\circ$, $d=7,0$ M); 1h 15min ($L=17^\circ$, $d=6,2$ M); 11h 20min ($L=9^\circ$, $d=5,2$ M). Traži se: a) relativni kurs nepoznatog broda; b) najmanja udaljenost na kojoj će motreni brod proći ispred našeg pramca ako ne mijenjamo kurs; c) pravi kurs broda koji se približava; e) brzina broda koji se približava.
- Plovi se sa $K_p=250^\circ$ i brzinom $v=15$ čv. Radarom se motri nepoznati brod: 06h 00min ($L=60^\circ$, $d=2,0$ M); 06h 03min ($L=60^\circ$, $d=6,5$ M); 06h 06min ($L=60^\circ$, $d=6,0$ M).

Traži se: a) relativna brzina i vrijeme susreta; b) kurs i brzina nepoznatog broda; c) koji kurs od 04h 12min moramo slijediti da prodemo na udaljenosti od 2 M od tog broda.

3. Vlastiti brod plovi u $K_p=311^\circ$, brzinom $v=17$ čv. Mjerno područje radara 20 M. Motrenjem s pomoću radara dobiju se ovi podaci: 14h 30min ($\omega=280^\circ$, $d=16,0$ M); 14h 36min ($\omega=274^\circ$, $d=13,6$ M); 15h 42min ($\omega=265^\circ$, $d=11,4$ M);
Traži se: a) relativan kurs i brzina; b) točka mimoilaženja (azimut i udaljenost); c) vrijeme mimoilaženja; d) relativan put od pozicije opaženog broda u 15h 42min.
4. Vlastiti brod plovi u kursu $K_p=40^\circ$ brzinom $v=12$ čv. Mjerno područje 20 M. Mjerenjem s pomoću radara dobiju se ovi podaci: 10h 30min ($\omega=176^\circ$, $d=11,5$ M); 11h 00min ($\omega=180^\circ$, $d=8,2$ M); 11h 28min ($\omega=188,5^\circ$, $d=5,2$ M);
Traži se: a) udaljenost i vrijeme mimoilaženja; b) vrijeme i udaljenost u trenutku prolaza promatranog broda po krmi vlastitog broda; c) azimut i udaljenost od promatranog broda u 12h 00min.
5. Vlastiti brod plovi u kursu $K_p=051^\circ$ brzinom $v=12$ čv. Mjerno područje 15 M. Motrenjem s pomoću radara dobiju se ovi podaci: 17h 06min ($\omega=295^\circ$, $d=14,7$ M); 17h 21min ($\omega=295^\circ$, $d=13,4$ M); 17h 44min ($\omega=295^\circ$, $d=11,4$ M); 18h 54min ($\omega=295^\circ$, $d=6,2$ M); 18h 59min ($\omega=294,5^\circ$, $d=4,9$ M); 19h 08min ($\omega=285^\circ$, $d=3,7$ M); 19h 19min ($\omega=263^\circ$, $d=2,5$ M).
Traži se: a) udaljenost i vrijeme mimoilaženja prema poziciji u 17h 44min; b) kurs i brzina promatranog broda prema poziciji u 17h 44min; c) udaljenost i vrijeme mimoilaženja prema poziciji u 19h 19min; d) kurs i brzina promatranog broda prema poziciji u 19h 19min.
6. Vlastiti brod plovi u $K_p=080^\circ$, brzinom $v=12$ čv. Mjerno područje 15 M. Motrenjem s pomoću radara dobiju se ovi podaci: 16h 35min ($\omega=28,0^\circ$, $d=14,5$ M); 16h 44min ($\omega=38,5^\circ$, $d=13,2$ M); 17h 06min ($\omega=40,0^\circ$, $d=10,0$ M).
Traži se: a) vrijeme i udaljenost mimoilaska; b) kurs i brzina drugog broda.
Na 8,0 M udaljenosti vlastiti brod mijenja kurs ulijevo da poveća udaljenost mimoilaženja na 3,0 M.
Traži se: c) procijenjeno vrijeme promjene kursa i azimut drugog broda u tom trenutku; d) novi kurs vlastitog broda; e) vrijeme mimoilaženja na novoj poziciji; f) vrijeme kada će vlastiti brod biti po krmi drugog broda.
7. Vlastiti brod plovi u kursu $K_p=274^\circ$ brzinom $v=15,5$ čv. Mjerno područje 20 M. Motrenjem s pomoću radara dobiju se ovi podaci: 20h 15min ($\omega=8^\circ$, $d=14,4$ M); 20h 39min ($\omega=6^\circ$, $d=10,1$ M); 20h 53min ($\omega=4^\circ$, $d=7,6$ M).
Traži se: a) udaljenost i brzina mimoilaženja; b) kurs i brzina promatranog broda.
Kada je udaljenost smanjena na 6,0 M, vlastiti brod započinje manevar tako da udaljenost mimoilaženja bude 4,0 M po krmi drugog broda.
Traži se: c) procijenjeni azimut promatranog broda kada on bude na udaljenosti 6,0 M; d) procijenjeno vrijeme kada će promatrani brod biti na udaljenosti od 6,0 M i kada će vlastiti brod započeti manevar da prođe na novu udaljenost mimoilaženja 4,0 M.
Vlastiti brod može mijenjati kurs udesno i zadržati brzinu 15,5 čv ili smanjiti brzinu i zadržati kurs 274° .
Traži se: e) koji je novi kurs vlastitog broda ako se zadrži brzina od 15,5 čv; f) koja je nova brzina ako vlastiti brod zadrži kurs 274° ; g) procijenjeno vrijeme kada će promatrani brod sijeći put ispred pramca vlastitog broda za oba slučaja.
7. Vlastiti brod plovi u kursu $K_p=52^\circ$ brzinom $v=8,5$ čv. Mjerno područje 20 M. Motrenjem pomoću radara dobiju se slijedeći podaci: 15h 42min ($\omega=52^\circ$, $d=18,5$ M); 15h 44min ($\omega=52^\circ$, $d=17,5$ M); 15h 49min ($\omega=52^\circ$, $d=15,0$ M); 15h 50min ($\omega=52^\circ$, $d=14,5$ M).
Traži se: a) udaljenost i vrijeme mimoilaženja; b) kurs i brzina drugog broda.

U 15h 55min mijenja se kurs udesno tako da se s promatrani brod mimoide na 2,0 M sa svoje lijeve strane.

Traži se: c) procijenjeni azimut promatranog broda u trenutku kada vlastiti brod mijenja kurs; d) procijenjena udaljenost do promatranog broda u trenutku kada vlastiti brod mijenja kurs; e) novi kurs vlastitog broda.

Vlastiti brod nastavlja radarom motriti drugi brod:

U 15h 59,0min ($\omega=50^\circ$, $d=10$ M); 16h 04,5min ($\omega=43,4^\circ$, $d=7,4$ M); 16h 06,5min ($\omega=40^\circ$, $d=6,5$ M); 16h 09,0min ($\omega=34^\circ$, $d=5,5$ M).

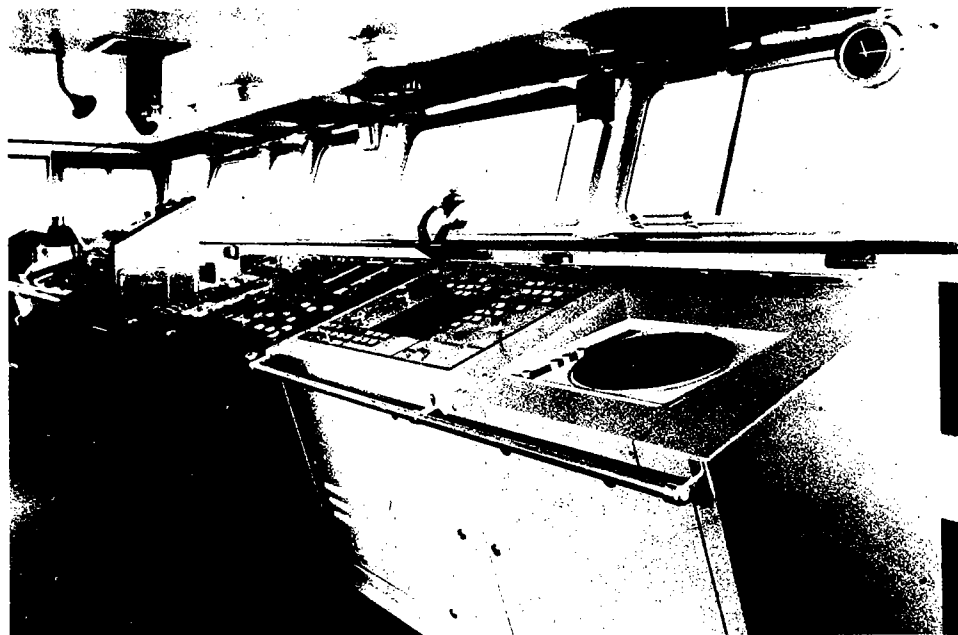
Traži se: f) kurs i brzina promatranog broda prema poziciji u 16h 09min; g) udaljenost mimoilaženja prema poziciji u 16h 09min.

8. Integrirani brodski sustav i automatizacija

8.1. Načela i uporaba integriranog sustava

8.1.1. Načela sustava. U više od 70% slučajeva udesa na moru (oko 50% nasukavanjem) uzrok je nautička pogreška, tj. pogreška u očitavanju podataka s kompasa i radara, kriva procjena situacije ili neadekvatan izbor manevra zbog pomanjkanja ili zasićenosti podataka koje daju različiti navigacijski prijammnici. Posebice se to događa pri plovidbi u posebnim uvjetima (npr. u opasnim područjima, područjima s gustim prometom, pri slaboj vidljivosti i sl.). Stoga je bilo prijeko potrebno naći elektronički navigacijski sustav radara u sprezi s ostalim navigacijskim osjetilima, koji će osloboditi navigatora suvišnih podataka, odnosno koji će od svih prikazanih podataka odabrati, pratiti, analizirati i za danu situaciju prikazati najvažnije podatke, a ako je potrebno i upozoriti navigatora na opasnost od sudara ili nasukavanja. To časniku straže omogućuje da više prati situaciju i na vrijeme pristupi optimalnom manevru. Sve to pridonosi uštedi goriva i skraćuje vrijeme plovidbe.

Elektronički sustav koji ispunjava takve zahtjeve nazvan je: *integrirani navigacijski sustav (Integrated Navigation System – INS ili Ship's Integrated Navigation System – SINS)*, odnosno *integrirani protusudarni navigacijski sustav (Integrated Anti-Collision Navigational System)*, *integrirani mostni sustav (Integrated Bridge System – IBS)* ili *most podataka (Data Bridge – DB)*. U takvom sklopu nalaze se i uređaji za automatsko upravljanje pogonskim postrojenjem. Jedinica koja čini takav sustav nalazi se u zapovjedničkom mostu ili neposredno u posebnoj kabini, ali i kao udaljena jedinica (*Remote Units*).



Sl. 8.1. Integrirani navigacijski sklop u pultu zapovjedničkog mosta

Glavni dio sustava jest središnje elektroničko računalo posebne konstrukcije ili opće brodsko računalo (najčešće analogno-digitalnog tipa) u sprezi s navigacijskim osjetilima. Njegov je zadatak da podatke prikupljene od osjetila obradi prema odabra-

nom programu, odnosno prema trenutačnim potrebama časnika na plovidbenoj straži. Računalo ima tri modula: *procesor* – kontrolira sve pomoćne jedinice koje s podacima opskrbljuju sustav, kao i sva osjetila koja daju podatke, obavlja potrebne izračune i rezultate prenosi na pokazivače sustava (sličan TV-videozaslonu); *memorija (disk storage)* – pohranjuje primljene programirane podatke i omogućuje sustavu obavljanje pojedinih funkcija bez intervencije poslužitelja; *sučelje (interface)* – prima i obrađuje signale svih osjetila, uvodi ih u elektroničko računalo, povratno ih prima od računala i pretvara u signale koji će aktivirati odgovarajući dio sustava.

Pouzdanost izračunom dobivenih podataka u sustavu ovisi o točnosti ulaznih podataka koja elektroničkom računalu daju pojedina osjetila ili se unose ručno. Stoga, osim redovitog kinematičkog računanja zbrojene pozicije prema podacima osnovnih osjetila, računalo u kratkim vremenskim razmacima obavlja dva nova zadatka:

- statistički uspoređuje podatke koje prenose realna brodsko osjetila s podacima unesenim u memoriju elektroničkog računala na temelju programiranog matematičkog modela, a zatim, odabirom statističkih podataka određuje optimalnu trenutačnu zbrojenu poziciju broda

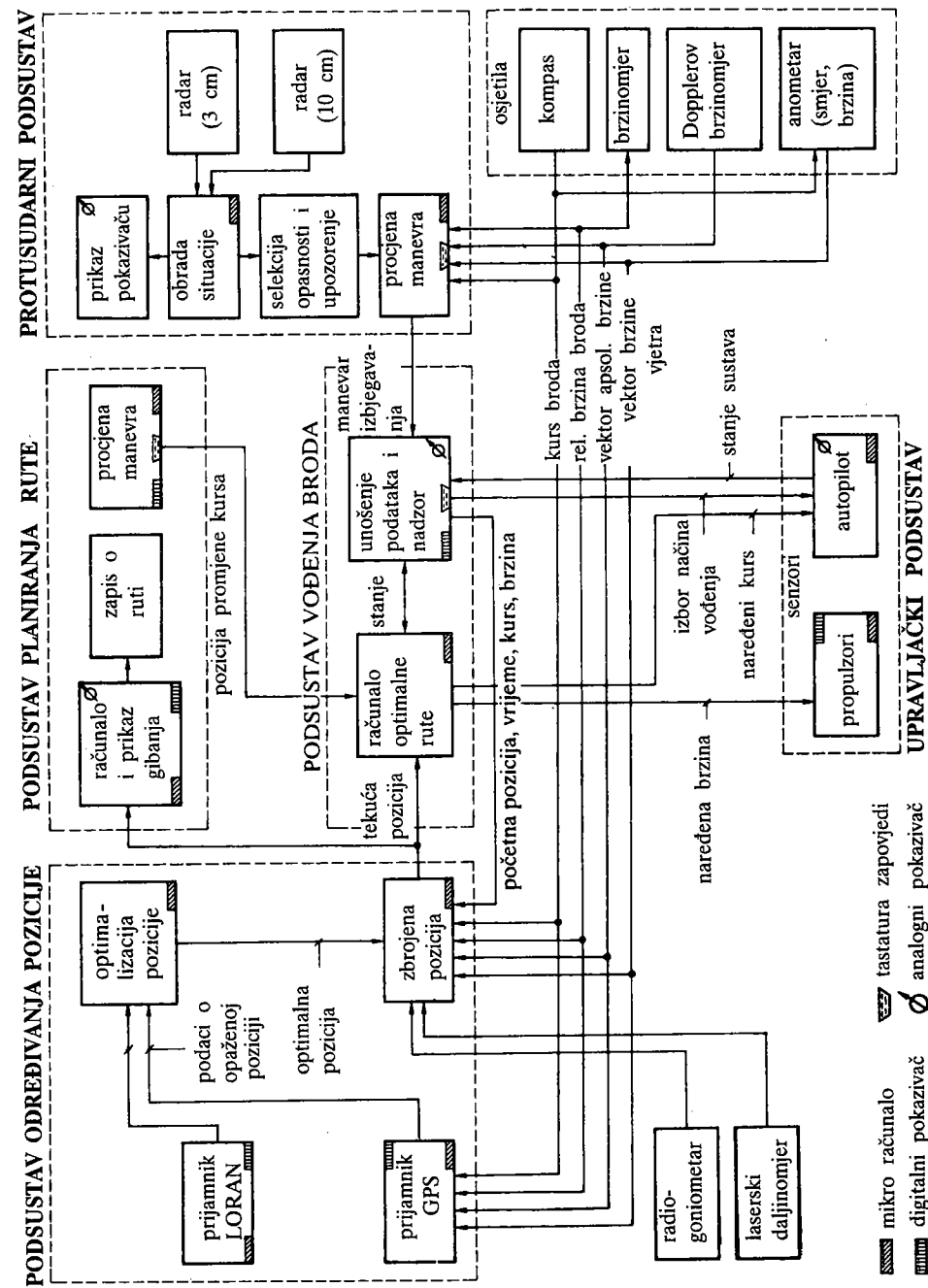
- optimalnu poziciju broda povremeno uspoređuje s pozicijom koju daje prijammnik satelitskog sustava (GPS), koja ne ovisi o osnovnim navigacijskim osjetilima (brzinomjer, kompas), što povećava točnost svake iduće pozicije.

U vrlo složenih sustava elektroničko mikroprocesno računalo rabi se i za popravak pogrešaka u vezi s orbitama navigacijskih satelita, Dopplerovim pomakom frekvencija i sl.

Iako integrirani navigacijski sustav prati i analizira navigacijsku situaciju, odabire i upućuje na optimalna rješenja te omogućuje automatsko upravljanje brodom, posebice pri programiranoj navigaciji, o izboru i početku manevra brodom ipak odlučuje časnik na plovidbenoj straži.

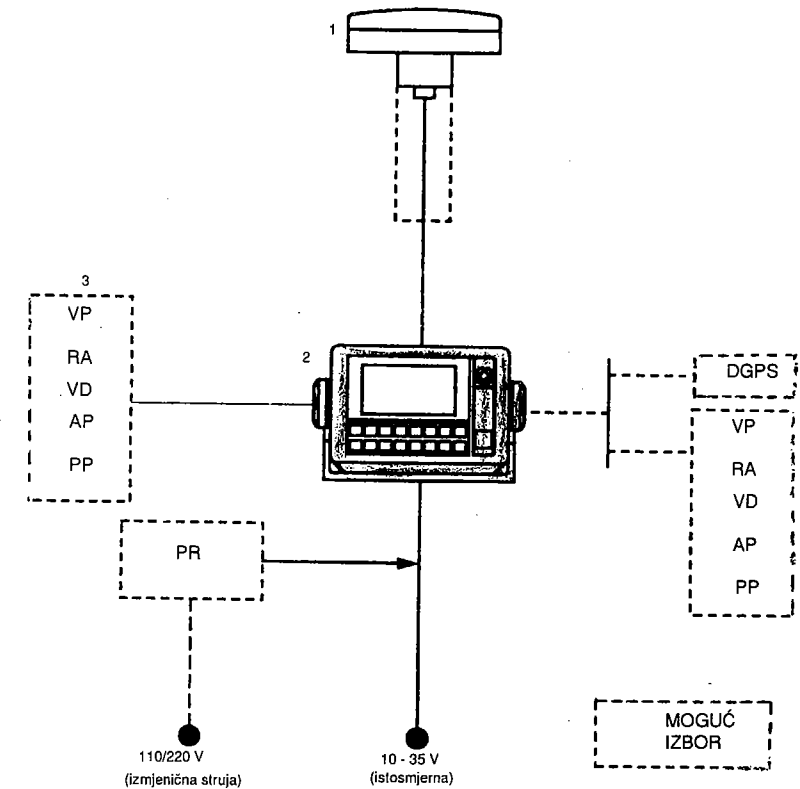
8.1.2. Ustroj integriranog sustava. U jednostavnoj integriranoj navigacijskoj jedinici, središnje (opće) brodsko elektroničko računalo povezuje više podsustava (sklopova). U složenom sustavu zasebno računalo može imati svaki podsustav, na primjer: *navigacijski (Datasailing, Dataposition)*, *za izbjegavanje sudara (Anti-Collision System)*, *za vođenje broda (kormilarenje) i upravljanje (manevriranje) brodom (Datapilot)*. U podsustavu zbrojene navigacije kao temeljna navigacijska osjetila uključeni su: kompas (elektronički, girokompas), autokormilo (giropilot), Dopplerov ultrazvučni brzinomjer (*Doppler Sonar Log Navigation and Docking System*) te elektronička realna osjetila (radar, loran –C, Navstar GPS). U najsloženijim sustavima (na ratnim brodovima) temeljno je osjetilo inercijalni navigacijski uređaj, čiji se podaci putem procesnog elektroničkog računala uspoređuju s podacima navigacijskog satelitskog sustava. Radarski navigacijski prijammnik uključen je u ulaznom dijelu mreže integriranog sustava, a radarski pokazivač (s protusudarnom slikom na videozaslonu) na njezinom izlaznom dijelu (Sl. 8.2.).

Za automatsko upravljanje (kormilarenje i manevriranje) brodom, integrirani navigacijski sustav sadrži posebnu upravljačku jedinicu (podsustav) koja se oslanja na podsustav planiranja optimalne rute i podsustav vođenja broda.



Sl. 8.2. Ustroj navigacijskog elektroničkog navigacijskog sustava

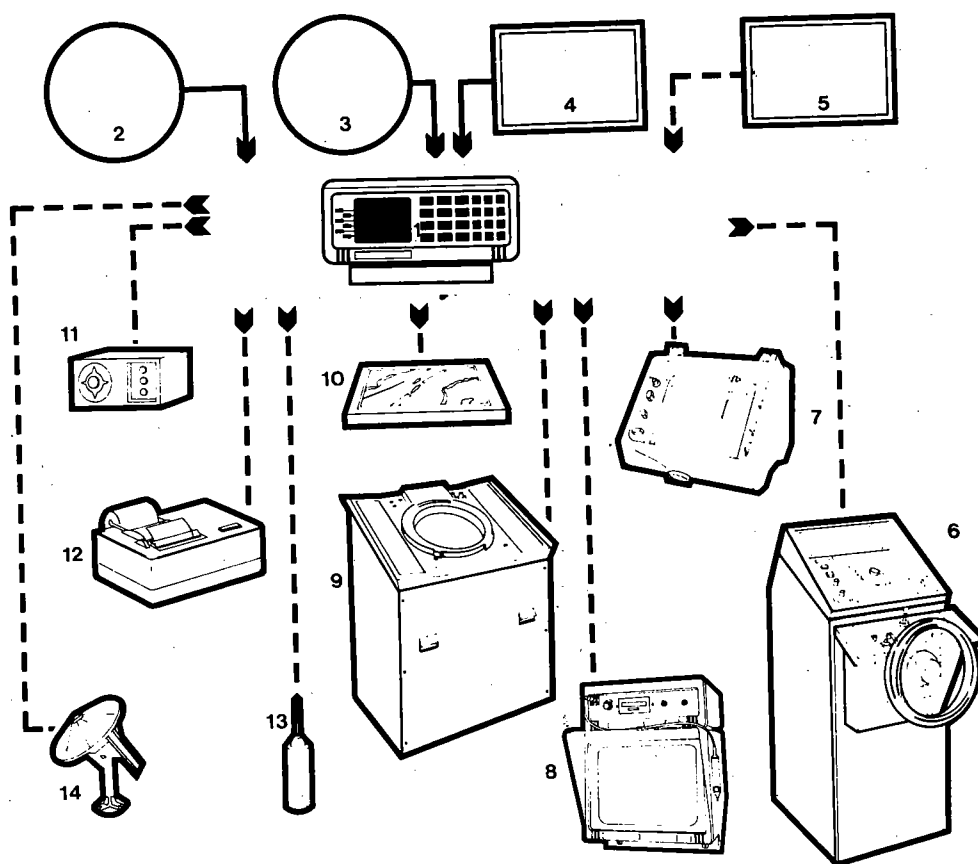
Česta je uporaba, na primjer, integrirane navigacijske jedinice u čijem se sklopu nalazi prijamnik GPS, kao matična jedinica, i videorisač (sl. 8.3.). Odabirom navigacijske elektronske karte (optički diskovi u memoriji prijavnika), na zaslonu pokazivača vizualizira se plovidbeno područje uz prikaz temeljnih navigacijskih podataka koje daje satelitski sustav GPS. Pomoću posebne tipke (polužice) pozicionira se videorisač u odgovarajući dio videozaslona i zatim pomoću njega očitaju potrebni podaci (npr. geografske koordinate pozicije broda, azimuti i udaljenosti odabranih objekata i sl.



Sl. 8.3. Mogući ustroji integriranog navigacijskog sklopa s matičnom jedinicom GPS
1 – GPS antena; 2 – prijamnik GPS, 3 – međusklopovi (osjetila) prema odabiru; DGPS – sklop diferencijalnih popravaka; VP – videorisač (ploter); RA – radar; VD – Dopplerov ultrazvučni brzinomjer; AP – autopilot; PP – pisac podataka; PR – ispravljač

Posebice je česta integrirana navigacijska jedinica: GPS – ultrazvučni Dopplerov dubinomjer – kartografski videorisač. Na videozaslону pokazivača matične jedinice, osim podataka koje daje sustav GPS, mogu se programirati i signali upozorenja pri prijelazu granične (sigurne) izobate, pri nailasku jata riba (značajno za ribarske brodove) i sl.

Sl. 8.4. prikazuje ustroj jednog integriranog navigacijskog sustava, koji je kompatibilan za priključak potrebitih navigacijskih uređaja (osjetila), kao i uređaja (sklopova) za automatsko upravljanje brodom.



Sl. 8.4.- Sklop integriranog navigacijskog sustava RACAL/DECCA MNS 2000
 1 – navigacijski procesor; 2 – girokompas; 3 – brzinomjer; 4 – prijamnik sustava GPS Navstar;
 5 – prijamnik LORAN C sustava; 6 – giropilot; 7 – risač kursa; 8 – radar; 9 – ARPA/RADAR;
 10 – automatski navigacijski zbirni stol ili kartografski videorisač; 11 – autopilot (giropilot);
 12 – pisač podataka (printer); 13 – radioplutača SAT EPIRB; 14 – zemaljski obalni satelitsko-
 telekomunikacijski terminal (CES)

8.1.3. Uporaba integriranog navigacijskog sustava. Osim određivanja pozicije broda, sustav omogućuje i planiranje optimalne rute i vođenje broda po odabranoj ruti, a to uključuje i programiranu plovidbu (npr. po optimalnoj meteorološkoj ruti, ortodromskoj ili kombiniranoj ortodromskoj/loksodromskoj ruti i sl.).

Elektroničko je računalo unutar mreže sustava povezano s određenim navigacijskim osjetilima i s glavnim pokazivačem (redovito s videozaslonu), čime je osigurana neposredna veza između rukovatelja sustavom (časnikom na plovidbenoj straži) i računala, a preko njega i sustavom u cijelosti.

Prije otplovljenja iz luke, s pomoću kodne tipkovnice u računalo se unose ovi podaci: geografske koordinate polazne pozicije broda, koordinate pozicije dolaska, odnosno koordinate točaka promjene kursa (međutočke pri plovidbi po ortodromi) te brzina broda. Na temelju tih podataka elektroničko računalo neposredno računa i na

videozaslonu pokazuje početni kurs, udaljenost i vrijeme dolaska u odredište i u točke promjene kursa.

U plovidbi časnik na plovidbenoj straži očitava podatke s videozaslona pokazuje odnosno s alfanumeričkog pokazivača, a s pomoću kodne tipkovnice ili teleprintera (*teletype*) daje sustavu upute i opskrbljuje ga podacima dobivenim osobnim motrenjima (terestričkim, astronomskim i dr. izračunima). Ovisno o plovidbenoj situaciji, elektroničko računalo od časnika na plovidbenoj straži (rukovatelja sustavom) traži dopunske podatke za programirane izračune ili upozorava na pogreške i moguće opasnosti. Na temelju unesenih podataka elektroničko računalo izračunava geografske koordinate trenutačne pozicije broda, a ovisno o vrsti integriranog sustava, i druge parametre važne za sigurnu plovidbu.

Određivanje pozicije broda. Sustav se može uključiti na izračun opažene (prave) pozicije broda ili zbrojene pozicije broda, što ovisi o području plovidbe i o plovidbenim uvjetima. Opažene pozicije sustav izračunava na temelju podataka dobivenih neposredno od radara (azimut i udaljenost od objekta) i od hiperbolnih navigacijskih sustava. Izračunane geografske koordinate pozicije broda računalo uspoređuje prema podacima satelitskog navigacijskog sustava (GPS) ili na temelju ručno unesenih podataka od strane časnika na plovidbenoj straži (npr. geografske koordinate astronomske pozicije, radiopozicije i sl.). Zbrajanjem kurseva od polazne ili ranije opažene pozicije, integrirani sustav stalno određuje zbrojenu ili procjenjenu poziciju. Svaka opažena pozicija uspoređuje se sa zbrojenom pozicijom, a na osnovi njihovih međusobnih odnosa određuju se smjer i brzina struje, odnosno kut ukupnog zanošenja broda. Ti se podaci rabe za daljnje vođenje zbrojene navigacije, koja se temelji na kursu preko dna i brzini preko dna.

Plovidba na temelju istaknutih obalnih objekata. Pri približavanju obali na kojoj se nalazi dobro uočljiv radarski objekt, sustav na temelju radarskih azimuta i udaljenosti neprekidno određuje pozicije broda. Geografske koordinate tako dobivenih pozicija pohranjuju se u memoriju elektroničkog računala s pomoću kodne tipkovnice ili automatski, iz elektroničkih osjetila. Približavanje obali moguće je i na temelju zbrojene pozicije broda, ali je to manje pouzdano.

Odabir optimalne plovidbene rute. Program planiranja rute omogućuje memoriranje planova plovidbe za buduće potrebe navigatora ili pak računala. Sustav može memorirati rutu s određenim brojem kurseva (do 15). Pojedino putovanje može biti određeno s jednom ili više ruta. Za svaki kurs navigator utvrđuje: geografske koordinate posljednje točke promjene kursa, vrstu plovidbe (npr. loksodromska, ortodromska, miješana plovidba) i pojas rute unutar koje je plovidba sigurna s obzirom na situaciju i točnost rješenja zadatka na navigacijskoj karti. Na temelju tih podataka elektroničko računalo automatski računa kurseve i udaljenosti između pojedinih točaka promjene kursa.

Praćenje plovidbene rute. Brod redovito ne slijedi sasvim točno planiranu plovidbenu rutu. Programiranjem plovidbe sustav od navigacijskih osjetila (npr. GPS) stalno dobiva tekuće pozicije broda. Na temelju tih pozicija i memorirane rute, računalo utvrđuje odstupanje broda od planirane rute. Ako pretpostavljeno odstupanje prelazi granične vrijednosti (koje je odredio navigator), to se pokazuje na videozaslonu matične jedinice. Signali upozorenja da se brod približuje točki promjene kursa daju se na programiranim udaljenostima. Popravci kurseva zbog utjecaja struje i vjetera na brod prijeko su potrebni da bi brod slijedio planiranu rutu. Njih računa računalo i pokazuje ih na videozaslonu pokazivača sustava.

Plovidba ograničenim vodama. Mogućnost određivanja širine plovidbene rute pridonosi mjerama predostrožnosti od eventualnog nasukavanja. Ako u plovidbi brod

pređe određene sigurnosne granice, navigator se upozorava zvučnim i optičkim signalima, a u nekih sustava i pokazivanjem granica plovidbenog pojasa na videozaslonu matične jedinice navigacijskog sklopa.

Vrste kormilarenja. Moguće je ručno kormilarenje, autokormilarenje na temelju ručnog unošenja podataka i kormilarenje s pomoću tipke (vremensko) u svim sustavima plovidbe (loksodromska, ortodromska, miješovit); kurs kroz vodu automatski se pravi za eventualni kut zanošenja zbog vjetra, odnosno morske struje. Giropilotom upravlja elektroničko računalo; stalnim uspoređivanjem kursa prema girokompasu s kursem prema planiranoj ruti (kursem preko dna), računalo kontrolira kut zanošenja, a, ako je potrebno, na temelju izračunanog popravka uključuje giropilot koji upravlja kormilom dok brod ne uđe u željeni kurs (vidjeti pogl. 8.4).

Izbjegavanje sudara. Protusudarni podsustav automatski s pomoću elektroničkog računala računa kurseve i brzine brodova unutar radarskog obzora i na vrijeme upozorava na brodove od kojih prijeti opasnost od sudara. Temelj tim izračunima jesu: udaljenosti i azimuti (pramčani kutovi) praćenih plovni objekata, brzina vlastita broda (prema brzinomjeru ili unijeta ručno) i kurs vlastita broda (prema kompasu). Računalo provjerava jesu li primljene jeke povremene ili stalne. Prati stalne jeke, s posebnom pozornošću na njihovu jačinu, i na videozaslonu radara označuje sve one koje ne prelaze dužinu od 500 m (dužina najvećeg broda). To omogućuje izračun kursa i brzine promatranog broda, određivanje točke mimoilaženja (CPA), vremena mimoilaženja (TCPA) i pramčanog kuta (azimuta) u tom trenutku. Način prikazivanja tih podataka ovisi o vrsti sklopa integriranog sustava.

8.2. Automatizacija na trgovačkom brodu

8.2.1. Opća načela. Pod brodskom automatizacijom podrazumijevamo upravljanje propulzijskim sustavom, uređajima, mehanizmima, brodskom energijom i pojedinim procesima, odnosno integralnim jedinicama bez čovjekova neposrednog sudjelovanja, ali uz potpun uvid u stanje i mogućnost utjecaja na tijek događaja uporabom informatičkog brodskog sustava.

Temelj suvremene globalne automatizacije jest integrirani brodski elektronički sustav koji obuhvaća: daljinski nadzor i daljinsko upravljanje, automatsku zaštitu, automatsku regulaciju, automatsko upravljanje svim brodskim procesima, uključno i automatsko vođenje broda.

Na suvremenom brodu automatizacija može biti djelomična ili potpuna, a primjenjuje se na sve temeljne brodske procese. U brodskog propulzijskog sustava odnosi se na glavni pogonski kompleks i na pomoćne uređaje. Najveća se automatizacija postiže tzv. nezaposjednutom strojarnicom, pri čemu se upravljanje i nadzor cjelokupnog pogona u plovidbi obavlja sa zapovjedničkog mosta, odnosno upravljačkog mjesta. Automatizacija smanjuje broj članova posade, a povećava ekonomično iskorišćivanje broda i njegovu sposobnost za plovidbu.

Automatizacija se primjenjuje u navigaciji, u upravljanju, odnosno manevriranju brodom, pomorskim telekomunikacijama te u vođenju brodskog poslovanja. U procesima koji se odnose na brodski teret, automatizacija se primjenjuje radi povećanja sigurnosti pri rukovanju teretom, posebice u vezi s rasporedom tereta, trimovanjem broda i naprežanjem brodske konstrukcije.

8.2.2. Automatsko kormilarenje. Automatskim djelovanjem na kormilo, uređaj u vezi s kompasom (autopilot) ne dopušta brodu da nekontrolirano promijeni kurs. Sklopovi sustava mogu biti različiti, ali svima je načelo rada slično. Glavni dijelovi jesu: kompas (vidjeti pogl. 1.1.-1.4), uređaj za kormilarenje, uređaj za pokretanje i ploča za upravljanje (sl. 8.5.).

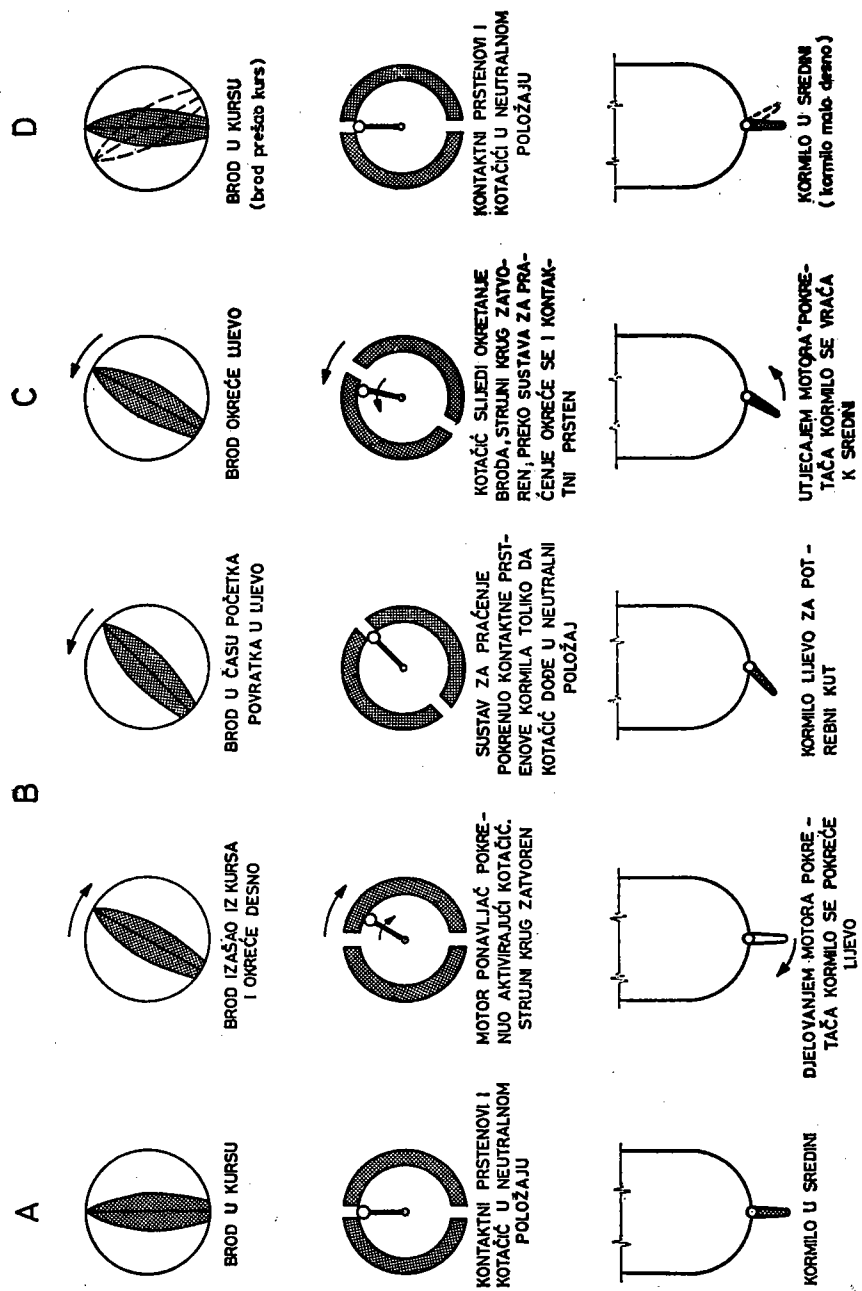
Uređaj za kormilarenje smješten je u posebnoj stalki (pultu) koji se nalazi u kormilarnici. Sadrži dijelove za upravljanje kormilom (ručno – s pomoću kormilarskog kola ili poluge i automatsko), regulator kormila za vremenske prilike, regulator početnog kuta kormila i kompasni ponavljač. Na ploči, u gornjem dijelu stalka, nalaze se: regulator osvjetljenja vjetrovlje kompasnog ponavljača i aksiometra, preklopke i tipke za upravljanje uređajem te signalni indikatori koji ukazuju na ispravnost rada uređaja.

Motorprimač (primač kursa) radi prema načelu kompasnog ponavljača i djelovanjem (na kormilarsko kolo) zamjenjuje kormilara. S jedne je strane u daljinskoj sprezi s odašiljačem kursa (osjetilom) u matičnom kompasu, a s druge strane sa sustavom za praćenje rada uređaja za kormilarenje (servomotor i kontaktni sustav), koji svaku promjenu kursa sinkrono prenosi na uređaj za pokretanje kormila.

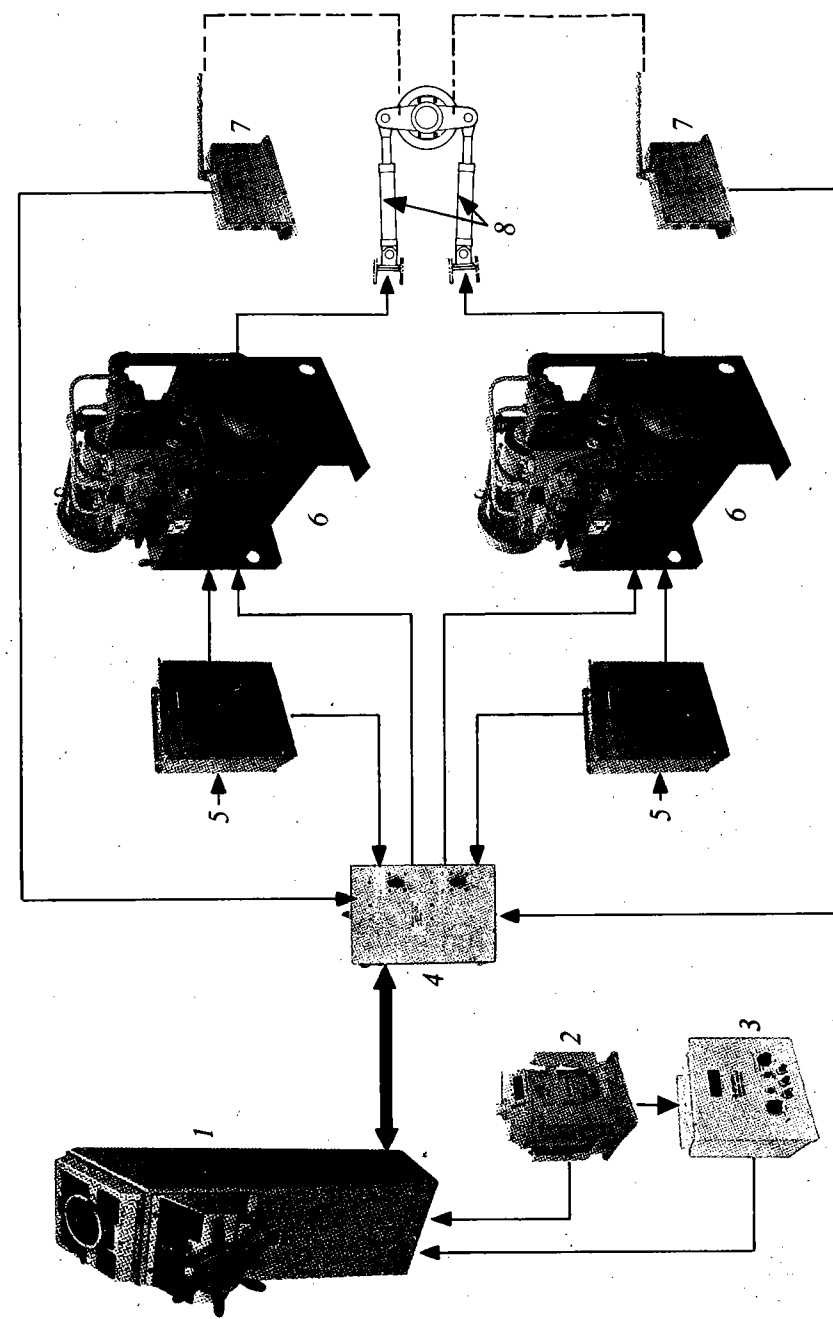
Kormilarsko ručno kolo (kormilarska poluga) preko prijenosnog sustava pokreće prstene kontaktnog sustava i kazaljku aksiometra koja sinkronizirano prati položaj (kut) kormila. *Regulator kormila za vremenske prilike* pravi mrtvi kut između motorponavljača i kontaktnog sustava i na taj se način izbjegava reagiranje giropilota na slučajnu promjenu kursa, koja bi mogla nastati zbog udara vjetra ili morskih valova na brod. Ako je vrijeme lijepo, regulator se postavlja na ništicu (0°) i tada uređaj reagira i na najmanju promjenu kursa. Ostali položaji dopuštaju da brod odstupi iz kursa za određeni kut, a da uređaj za pokretanje kormila (kormilarski stroj) ostane bez odaziva na tu promjenu. Postavljanjem *regulatora početnog kuta kormila* u optimalan položaj podešava se kut kormila (ovisno o manevarskim osobinama broda i uvjetima plovidbe), potreban da se brod vrati i zadrži u određenom kursu, koji je u okretanju prešao. To se postiže automatskim prebacivanjem kormila na suprotnu stranu, umjesto njegovim zadržavanjem u sredini (0°), kako to radi dobar kormilar.

Posebno preklopkom (ručicom) sustav se uključuje u rad, odnosno isključuje iz rada, a isto tako i odabire vrsta njegova rada (ručno ili automatski). Kad se preklopka (ručica) postavi u položaj "ručno", oslobađa se motorponavljač i kormilarski uređaj je spreman za ručno kormilarenje (s pomoću kormilarskog kola, odnosno poluge). Međutim, postavljanjem preklopke u položaj "giro", uključuje se motorponavljač, stavlja u rad regulator za vremenske prilike i regulator početnog kuta kormila, pa sustav kormilarenja dalje radi automatski pod nadzorom kompasa. Noviji sustavi, koji uključuju i druga vanjska osjetila (GPS i videokartografski risač), omogućuju ne samo automatsko kormilarenje već i automatsko navođenje i vođenje broda po planiranoj ruti.

Uređaj za pokretanje. Nalazi se u krmenom brodskom preboju, u neposrednoj blizini ruda kormila. Sadrži dijelove za pokretanje kormilarskog stroja te dijelove za sinkronizaciju rada uređaja za pokretanje s uređajem za kormilarenje. Ustroj uređaja redovito je hidraulički, električni ili elektrohidraulički.



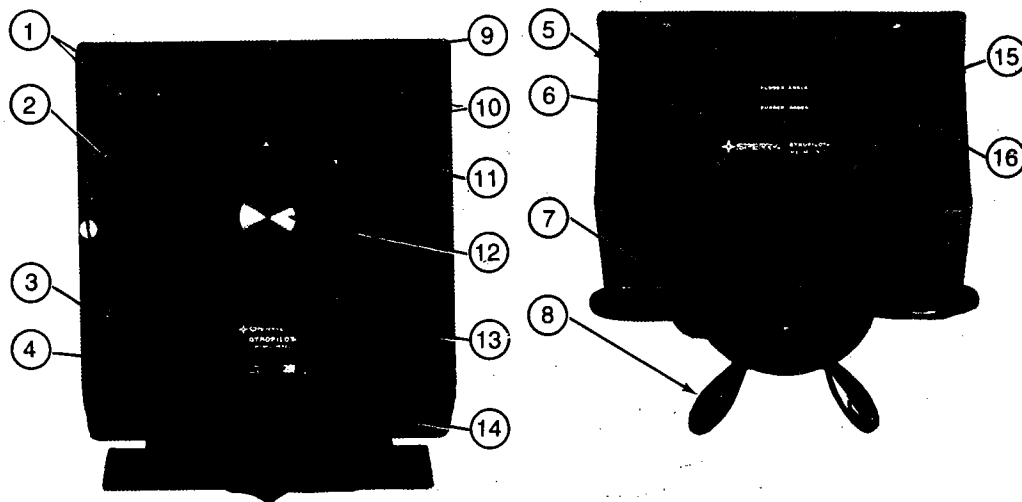
Sl. 8.5. Načelo i faze automatskog kormilarenja
A – brod u kursu; B – rad uređaja kad brod izađe iz kursa;
C – rad uređaja pri povratku broda u kurs; D – brod ponovno u kursu (malo prešao kurs)



Sl. 8.6. Ustroj sustava giropilota *Sperry SSSC*
1 – upravljački dio; 2 – girokompas MK 37; 3 – digitalni kompasni ponavljač; 4 – kutija s preklopkama za odabir vrste kormilarenja; 5 – preklopka motora; 6 – pumpna jedinica; 7 – povratna veza (prijašnje stanje); 8 – hidraulični sustav prijenosa na rudo kormila

Rad sustava pri odabiru automatskog kormilarenja. Dok brod slijedi kurs, sustav je u neutralnom stanju, kontaktni je valjak između prstena (sl. 8.5. – A). Čim brod skrene iz kursa (npr. udesno), motorponavljač pokrene aktivirajući točkić na stranu skretanja broda, kontaktni poluprsteni ostaju nepomični i time je zatvoren strujni krug sustava za praćenje (položaj B). Servomotor aktivira uređaj za pokretanje koji obrće kormilo na stranu protivnu od skretanja broda (u naznačenom slučaju, ulijevo). Paralelno s tim, jedan sinkroni (selsinski) sustav prenosi obrtanje osovine kormila na kontaktne poluprstene i obrće ih prema kontaktnom točkiću. Kad oni dođu u neutralan položaj, kormilo se zaustavi na stranu pod kutom (ograničava ga regulator kuta kormila) koji je dovoljan da vrati brod u prijašnji kurs (položaj C). Okretanjem broda na stranu kormila (ulijevo), analogno gore objašnjenome, na istu se stranu obrće i kontaktni kotačić, ponovno se zatvara strujni krug sustava za praćenje pa se kormilo vraća (prema sredini) dok se brod ne vrati u prvobitni kurs; to biva u trenutku kad kontaktni prsteni dođu u neutralni položaj (na slici D). Ako brod ponovno skrene iz kursa, ponavlja se već navedeni slijed radnji.

Za veće i česte promjene kursa, posebice u protukurs, pri manevru otplovljivanja i uplovljivanja, kormilarski sustav redovito se postavlja za ručno kormilarenje. Rad se uređaja razlikuje u tome što se putem kormilarskog kola prsteni kontaktnog sustava pokreću ručno, a motorponavljač i ostali dijelovi prijenosnog sustava su isključeni. Na ponovno automatsko kormilarenje prelazi se tako da se brod dovede u određeni kurs i kormilo postavi na sredinu, a preklopka (ručica) za odabir vrste rada sustava prebaci u položaj "giro".



Sl. 8.7. Upravljački dio giropilota Sperry SSSC – Tiller Gyropilot

1 – tipka za reguliranje osvijetljenja; 2 – tipka za sinkronizaciju kompasnog ponavljača; 3 – nadzorni modul (ručno, električno ili specijalno kormilarenje); 4 – pokazivač kutne brzine okretanja broda (0,1%); 5 – preklopka za izbor lijevog ili desnog kormila; 6 – pokazivač kuta kurmila; 7 – nadzorna tipka (sustava i osvijetljenja ploča); 8 – kormilarsko kolo; 9 – digitalni kompasni pokazivač; 10 – signal upozorenja (optički, zvučni) pri izlasku broda iz kursa preko uvjetovane vrijednosti (2°–10°); 11 – pramčanica; 12 – vjetrušnja kompasnog ponavljača; 13 – sigurnosna sklopka za izravno (mehaničko) ukopčavanje/iskopčavanje lijevog/desnog kormila; 14 – nadzor uvjetovanog reagiranja kormila (mala/velika brzina broda, prazan/nakrcan brod, vremenski uvjeti plovidbe, nadzor dopuštene granice skretanja broda iz kursa i sl.); 15 – izbor sustava kormilarenja (giro/ručno); 16 – pokazalo stvarnog kuta kormila

Kurs se može mijenjati ručno, okretanjem kormilarskog kola, i ako je kormilarski uređaj postavljen za automatski rad, jer je preko prijenosnog sustava (diferencijala i zupčanika) spojen s kontaktnim sustavom. Kormilarsko kolo ima 6 ručica (svakoj ručici odgovara 1/6 obrtaja kola). Promjer je zupčanika takav da se pri okretaju ručnog kola za jednu ručicu kurs promjeni za 0,5° prema strani okretanja. Ako se želi popraviti kurs npr. 3°, potrebno je kormilarskim kolom načiniti puni krug obrtanja i brod će se vratiti u određeni kurs.

Ploča za upravljanje sadrži električne dijelove s preklopkama i tipkama za upravljanje autokormilom (giropilotom) i za nadzor njegova rada. Ovisno o programu plovidbe, odnosno vrsti manevra, omogućuje odabir optimalnog načina kormilarenja: automatsko (giropilot), ručnoelektrično i ručnohidraulično.

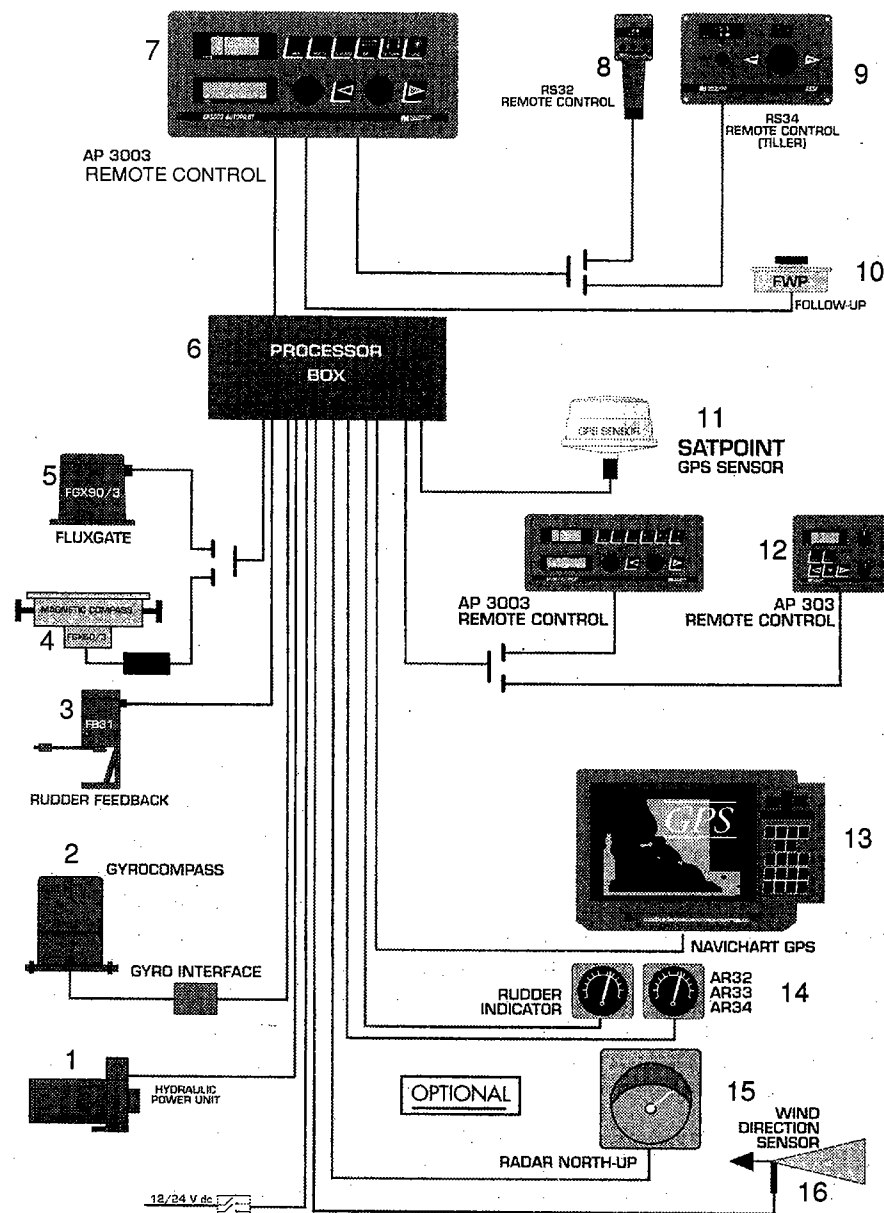
Suvremeniji tip giropilota je SSSC – Tiller Gyropilot, namijenjen brodovima svih vrsta i veličina. (Sl. 8.7.). Upravljačka jedinica manjih je dimenzija i stoga praktična za ugradnju u zapovjednički most. Omogućuje ručnoelektrično i automatsko kormilarenje. Kormilarenje električnim putem obavlja se pomicanjem kontaktne ručice (desno/lijevo). Za brzu promjenu kursa, valja primijeniti ručnoelektrični način kormilarenja.

8.2.3. Elektronički autopilot. Upravljanje brodom po programiranoj plovidbenoj ruti s osloncem isključivo na kompas (girokompas), na kojem su u načelu bili ustrojeni klasični autopiloti, svodilo se isključivo na održavanju plovidbenog kursa, tj. kormilarenje, bez mogućnosti automatskog vođenja i samonavođenja (*salfe tracing*) broda. Pri plovidbi pod utjecajem vjetera, odnosno morske struje, kompas pokazuje kurs kroz vodu, a brod slijedi put koji odgovara kursu preko dna [$K_{pd}=K_p+(\pm Z_a)$]; također postoji razlika za ukupni kompasni popravak [$k_u=(\pm\vartheta)+(\pm var)$] između kompasnog kursa i pravog kursa [$K_p=K_K+(\pm k_u)$]. Suvremeni elektronički sustav (autopilot) omogućuje automatsko kormilarenje brodom, samonavođenje i vođenje broda po programiranoj plovidbenoj ruti. Posebne su prednosti elektroničkog autopilota: male dimenzije, osjetljivost u promjeni kursa, omogućuje manevar promjene kursa do 360°, brzo postavlja i ustaljuje brod u novi kurs, dobro održava kurs i pri plovidbi u zanošenju, jednostavno prelazi s ručnog na automatsko kormilarenje i obratno.

Redovito je autopilot sastavni dio navigacijskog integriranog sustava. Izdvojen u sklopu s drugim elektroničkim osjetilima (posebice GPS-om, kartografskim videorisničem s elektronskim navigacijskim kartama) čini manju samostalnu integriranu jedinicu.

Središnji dio uređaja (npr. NAVICONTROL AP 3003) je mikroprocesorska jedinica (*Procesor Unit*), koja obrađuje signale primljene od pojedinih osjetila (senzora): davača kuta kormila (*Ruder Feederback*) i elektromagnetnog (elektroničkog) kompasa, odnosno girokompasa (uvjetno), te od osjetila GPS i kartografskog videorisniča (sl.8.8.). Pretežito se u taj autopilot ugrađuje *elektronički kompas (Flux Gate)* koji ima vrlo dobru magnetsku osjetljivost i mogućnost samokompenziranja devijacije (koeficijenta B° i C°), ako se brod okrene dva puna kruga (360°).

Nadzornoupravljačka jedinica (Control Unit), osim tipki i preklopki za rukovanje uređajem, ima i dva osvijetljena alfanumerička LCD videozaslona: *gornji (MODE)* označuje odabranu vrstu rada autopilota (npr. A – automatski, 179° – kompasni kurs); *donji (INFO)* pokazuje stvarne plovidbene parametre kad je GPS osjetilo uključeno u položaj AUX (npr. geografske koordinate trenutačne pozicije broda, kurs i brzina broda preko dna) i upozorava signalima (*Alarm Signals*) na eventualne pogreške (nedostatke) u radu sustava.



Sl. 8.8. Automatski elektronički autopilot NAVICONTROL AP 3003

- 1 – jedinica hidrauličnog sustava (pumpa); 2 – girokompas; 3 – odašiljač kuta kormila; 4 – magnetni kompas; 5 – elektronički (elektromagnetni) kompas; 6 – mikroprocesorska jedinica; 7 – glavna nadzorno-upravljačka jedinica; 8 – prijenosni ručni upravljač; 9 – udaljena upravljačka jedinica; 10 – nadzor kormila; 11 – GPS antena (osjetilo); 12 – daljinsko-upravljačka jedinica u dvojnem sustavu; 13 – videokartografski risač GPS; 14 – pokazivač kuta kormila; 15 – radarska slika orijentirana prema meridijanu (N); 16 – krilce anemometra (smjera vjetra)

U većih brodova (s više paluba) moguće je u sustav (tzv. *Dual System*) ugraditi i dodatnu nadzorno-upravljačku jedinicu (*Remote Control*; npr. autopilot AP 3003 ili AP 300), koja ima jednake tehničke značajke kao i glavna nadzorna jedinica (*Master Control Unit*), ali su međusobno neovisne. Ona ne služi samo za praćenje plovidbe već i za upravljanje brodom s mjesta udaljenog od zapovjedničkog mosta. Daljinski se može upravljati i iz samog zapovjedničkog mosta, ako se na glavnu nadzorno-upravljačku jedinicu priključi (na dodatnom električnom kabelu) daljinski ručni upravljač (*Hand Remote Control*). Praktičan je jer omogućuje časniku na plovidbenoj straži slobodno kretanje po zapovjedničkom mostu, uz potpuni nadzor i upravljanje autopilotom.

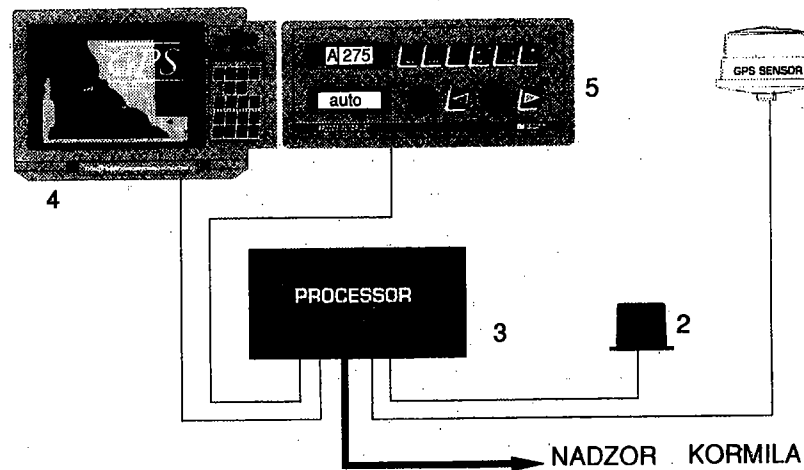
Prosječni manevarsko-navigacijski parametri, koji odgovaraju većini trgovačkih brodova, redovito su tvornički uneseni u autopilot, ali moguća je i prilagodba osobinama pojedinog broda. Na primjer, za autopilot AP 3003, tvorničko stupnjevanje tih parametara jest: odziv kormila (*RUDD*) – 3; početni kut kormila (*COUNTER RUDDER*) – 0; regulator za vremenske prilike, odnosno stanje mora (*SEA*) – 3; granični kut kormila – 25°; kutna promjena kursa (*TURN RATE*) – 6°/s; magnetski kompas (*FLUX GATE*) – *MAGNETIC*. Pri rukovanju uređajem valja se pridržavati tvorničkih uputa.

Automatsko samonavođenje i programirano vođenje broda u plovidbi, a ne samo automatsko kormilarenje, objasniti će se na primjeru elektroničkog integriranog navigacijskog sklopa NAVICONTROL (sl. 8.9.). Njega čine: uređaj za samonavođenje – autopilot, navigacijska satelitska radiojedinica sa 6-kanalnim GPS osjetilom i elektronički kartografski videorisač (NAVICHART 300 AT). Na temelju vrlo točnih satelitskih (GPS) pozicija broda, automatski se izračunavaju (putem elektroničkog računala) i na videozaslonu automatski prikazuju: geografske koordinate (LAT, LON), kurs broda preko dna (COG) i brzina preko dna (SOG) te udaljenost (DIST) i smjerovi (RIL) do sljedeće međutočke (WP), odnosno ukupna udaljenost do pozicije odredišta; na temelju ukupnog popravka kompasa (uključno i kut zanošenja), automatski se izračunavaju i kompasni kursevi (od jedne do druge međutočke promjene kursa) za programiranu i na videozaslonu risača ucrtanu plovidbenu rutu. Na svako odstupanje broda od programiranog kursa, uređaj automatski upozorava posebnim signalima (optički/zvučni) i ispisom na videozaslonu. Sadržaji svih upozorenja, kao i potrebni navigacijski podaci, očitavaju se na trajno osvijetljenim LCD videozaslonima nadzorno-upravljačke jedinice autopilota i na videozaslonu integrirane navigacijske jedinice GPS/elektronički kartografski risač (sl.8.9.).

Samonavođenje na plovidbenu rutu. To omogućuje kartografski videorisač (npr. NAVICHART 300), na čijem je LCD zaslonu ucrtana programirana ruta s osloncem na GPS osjetilo (preklopka na AUX) i na međunarodni *Standard 0183*. Nakon što je odabrana plovidba samonavođenjem (*selftracking*) i ručica MODE postavljena u određeni položaj (COMP, PWR, AUTO ili AUX), pritiskom na tipku SET s INFO videozaslona mogu se očitati geografske koordinate trenutne pozicije broda, a ponovnim pritiskom također kurs i brzina broda preko dna. Brod se automatski samonavodi na prvu (polaznu) točku (WP0) označena simbolom TARGET, a zatim započinje plovidba po programiranoj rutu. Na otvorenom moru, za početak automatske navigacije dovoljno je ručicu MODE s položaja COMP ili AUTO prebaciti u položaj označen NAV.

Praćenje programirane plovidbene rute. Na određenoj udaljenosti (za NAVICONTROL 3003 je 0,3 M), uređaj automatski odabire sljedeću međutočku na programiranoj rutu; istodobno zvučnim signalom i signalom na videozaslonu nadzorno-upravljačka jedinica autopilota najavljuje promjenu kursa broda. Približavajući se točki promjene kursa, kartografski videorisač prenosi autopilotu podatke potrebne za usmje-

ravanje broda u kurs prema sljedećoj točki rute. Takvo automatsko praćenje rute ponavlja se do dolaska broda na konačno odredište (programiranu poziciju dolaska). S dolaskom na tu poziciju, kartografski videorisač isključuje se pritiskom na tipku CLEAR.



Sl. 8.9. Integrirana navigacijska jedinica NAVICONTROL-COLUMBUS

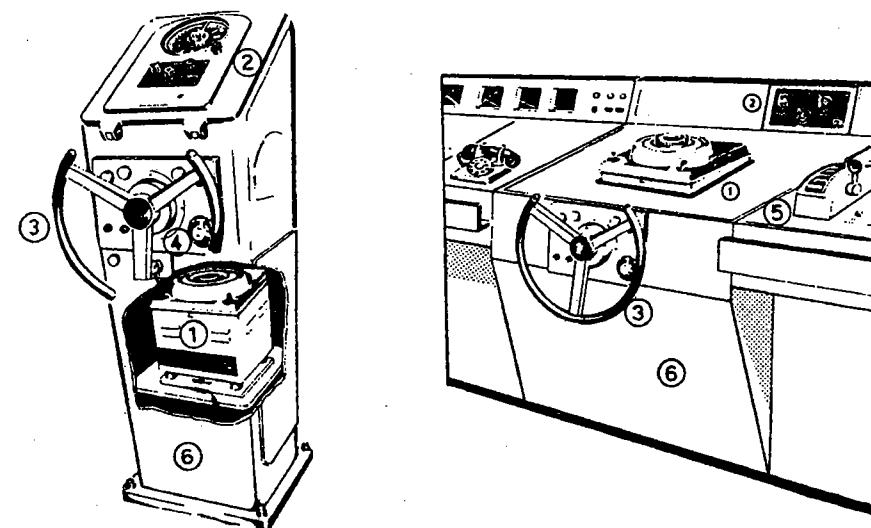
- 1 – GPS osjetilo – antena; 2 – elektronički kompas; 3 – procesorska jedinica;
4 – GPS/videokartografski risač; 5 – nadzorno-upravljačka jedinica – autopilot AP 3003

Nadzornoupravljačka jedinica (Control Unit), osim tipki i preklopki za rukovanje uređajem, ima i dva osvijetljena alfanumerička LCD videozaslona: gornji (MODE) označuje odabranu vrstu rada autopilota (npr. A – automatski, 179° – kompasni kurs); donji (INFO) pokazuje stvarne plovidbene parametre kad je GPS osjetilo uključeno u položaj AUX (npr. geografske koordinate trenutne pozicije broda, kurs i brzina broda preko dna) i upozorava signalima (Alarm Signals) na eventualne pogreške (nedostatke) u radu sustava.

U većih brodova (s više paluba) moguće je u sustav (tzv. Dual System) ugraditi i dodatnu nadzorno-upravljačku jedinicu (Remote Control; na primjer autopilot AP 3003 ili AP 300), koja ima jednake tehničke značajke kao i glavna nadzorna jedinica (Master Control Unit), ali su međusobno neovisne. Ona ne služi samo za praćenje plovidbe već i za upravljanje brodom s mjesta udaljenog od zapovjedničkog mosta. Daljinski se može upravljati i iz samog zapovjedničkog mosta, ako se na glavnu nadzorno-upravljačku jedinicu priključi (na dodatnom električnom kabelu) daljinski ručni upravljač (Hand Remote Control). Praktičan je jer omogućuje časniku na plovidbenoj straži kretanje po zapovjedničkom mostu, uz potpuni nadzor i upravljanje autopilotom.

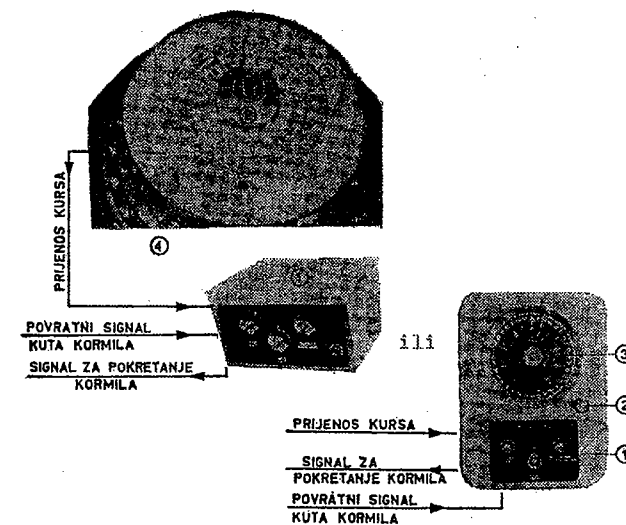
Prosječni manevarsko-navigacijski parametri, koji odgovaraju većini trgovačkih brodova, redovito su tvornički uneseni u autopilot, ali moguća je i prilagodba osobinama pojedinog broda. Na primjer, za autopilot AP 3003, tvorničko stupnjevanje tih parametara jest: odziv kormila (RUDD) – 3; početni kut kormila (COUNTER RUDDER) – 0; regulator za vremenske prilike, odnosno stanje mora (SEA) – 3; granični kut kormila – 25°; kutna promjena kursa (TURN RATE) – 6°/s; magnetski kompas (FLUX GATE) – MAGNETIC. Pri rukovanju uređajem valja se pridržavati tvorničkih uputa.

Njemačka tvrtka Anschütz izrađuje više tipove uređaja za automatsko kormilarenje (autopilota) pod nazivom Compilot. Tipovi elektroničkog autopilota redovito se temelje na girokompasima tipa Standard VI i VII. Mogu biti ugrađeni u samostalnom u staku ili u zapovjedničkom pultu (sl. 8.10.).



Sl. 8.10. Sustav autopilota Anschütz – u kormilarskom staku i u zapovjednom pultu

- 1 – girokompas Standard VI; 2 – elektronička upravljačka jedinica; 3 – kormilarsko kolo;
4 – preklopka za odabir vrste kormilarenja; 5 – strojni telegraf; 6 – stalak odnosno zapovjedni pult



Sl. 8.11. Ustroj elektroničkog autopilota Anschütz

- 1 – elektroničko računalo; 2 – odabir kursa; 3 – girokompasna vjetrulja ili kompasni ponavljač;
4 – girokompas

8.3. Navigacijska vježbaonica ARPA

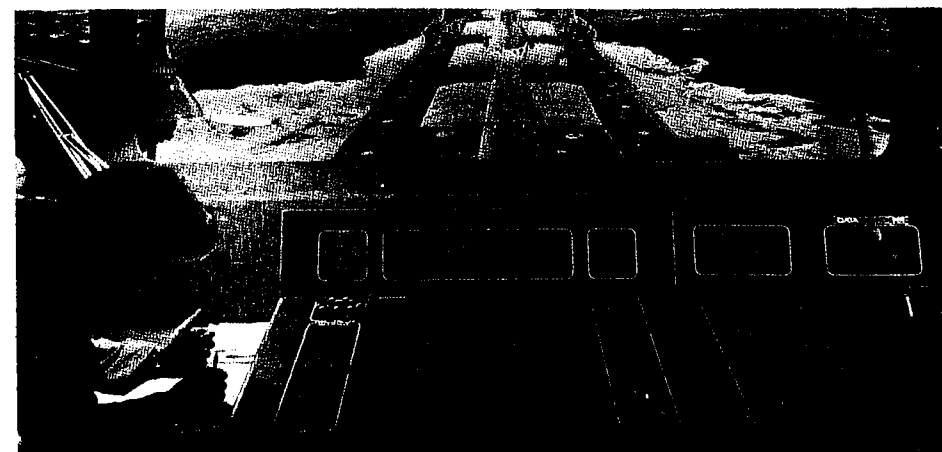
8.3.1. Opća načela. To je složeni sklop određenih naprava ili uređaja, koji zamjenjuje obuku i uvježbavanje rukovatelja, odnosno zadaća na brodu, u stvarnim uvjetima. Tehnička rješenja, vanjski izgledi i raspored upravljačkih elemenata (ploča) zrcalno su slični onima na brodu, a neka pojava što prati stvaran proces zamjenjuje se simuliranom. Voditelj (instruktor) obuke s pomoću simulatora razrađuje situacije i unosi određene pojave što bliže stvarnim uvjetima, kako bi mogao objektivno i kvalitativno ocjenjivati stupanj obučenosti poslužitelja (osoblja).

Temelj simulatora čini: procesno elektroničko računalo dovoljnog kapaciteta i brzine (*hardware*), optimalan matematički model simuliranog procesa i programi za njegovo odvijanje u stvarnoj situaciji (*software*). Najvažniji je uvjet da simulator vjerno oponaša prirodne procese i optimalno prikazuje rezultate u takvim uvjetima.

Kabina brodske navigacijske vježbaonice (trenažera) redovito izgleda kao kormilarnica i u njoj su u pultovima smještene jedinice svih navigacijskih uređaja s elementima za upravljanje brodom (pogonskim strojevima, kormilom), odnosno za nadzor općeg stanja na brodu (balasta, protupožarnog sustava i sl.). U mnogih se navigacijskih vježbaonica sprijeđa tzv. kormilarnice na sferičnom platnu projicira panorama okoliša, koja poslužiteljima pruža osjećaj broskog ugođaja (sl. 8.13.). Prikaz situacije na videozaslону radarskog pokazivača i određeni navigacijski elementi generiraju se u simulatoru, a podržani su elektroničkim računalom kako bi analitički bili što vjerniji situaciji u naravi.

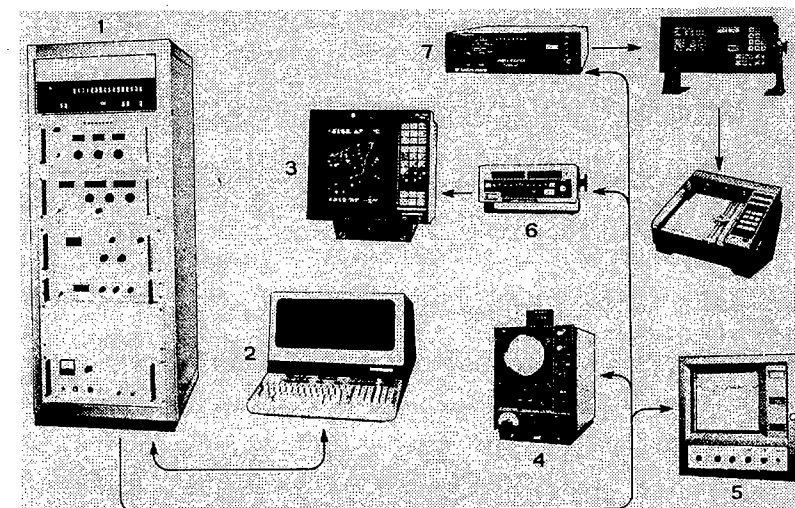
8.3.2. Radarski navigacijski simulator. To je glavni elektronički uređaj u sastavu brodske (navigacijske) vježbaonice, koji omogućuje uvježbavanje i najsloženijih situacija (bliske onima koji se u plovidbi uočavaju na brodu) i za matematičke modele različitih tipova brodova (npr. veliki tanker – u balastu i nakrcan, brod za rasute terete, kontejnerski brod, brod za opći teret i sl.). Uz simulator redovito se nalazi uređaj ARPA, instruktorska jedinica, stolovi s navigacijskim kartama i procesno elektroničko računalo (za oblikovanje vježbe). Poslužitelji s improviziranih navigacijskih mostova, odnosno kabina (*data bridge*), "vode brod" i rješavaju postavljene zadatke u simuliranim uvjetima. Na radarskom zaslonu pojavljuje se obalna topografija plovidbenog područja (memorirana u disketama s elektronskim kartama, a odabire ih instruktor); zamišlja se da brod (predstavljen matematičkim modelom) na kojemu se nalazi poslužitelj plove po odabranoj ruti, a instruktor u tijeku vježbe unosi različite matematičke modele, koji predstavljaju druge brodove unutar radarskog obzora. Na radarskom zaslonu ti se brodovi pojavljuju kao jeke (mrlje), a ovisno o opasnosti sudara označene su posebnim simbolima koje nadzire elektroničko računalo.

Promjenom kursa i brzine tih brodova, instruktor ih dovodi u različite situacije prema zamišljenom vlastitom brodu. Mogu se simulirati i vanjski utjecaji na plovidbu (različiti barički sustavi ili određena vremenska situacija, vjetar i stanje mora, smjer i brzina morske struje, različiti tehnički kvarovi – na zaslonu se javljaju kao smetnje). Poslužitelj (osoba koja se obučava) u zapovjedničkom mostu (kabini) u simuliranim uvjetima rješava postavljene zadatke na temelju stečenih znanja (prakse) iz navigacije i meteorologije, manevriranja brodom, izbjegavanja sudara i sl. Instruktor prati postupke pojedinih poslužitelja i prema potrebi ih ispravlja, a mijenjanjem plovidbenih parametara putem elektroničkog računala unosi nove situacije, počevši od jednostavnih prema najsloženijima.



Sl. 8.13. Pročelje vježbaonice ARPA/RADAR s navigacijskim simulatorom *NORCONTROL*

Navigacijski simulatori omogućuju da se kormilari, časnici plovidbene straže i zapovjednici brodova pripreme i steknu vještinu upravljanja brodom čija manevarske osobine još ne poznaju dobro, odnosno da tu vještinu zadrže i nakon duže odsutnosti s broda. Najčešće su u uporabi navigacijski simulatori tvrtki: *Norcontrol*, *Kelvin Hughes*, *Decca*, *Sperry*. Potpuno su kompjutorizirani (uključuje generator obalne crte), omogućuju simuliranje raznih manevara brodom, radarske slike i elemente koje daju suvremeni navigacijski uređaji (osjetila)*.



Sl. 8.14. Ustroj navigacijske vježbaonice ARPA/RADAR

1 – radarski navigacijski simulator; 2 – nadzorno-upravljačka jedinica; 3 – kartografski videoorisač; 4 – automatski radiogoniometar; 5 – ehograf; 6 – prijammnik sustava LORAN-C; 7 – alternativna navigacijska jedinica; 8 – satelitski prijammnik; 9 – automatski risač kursa (autoploter)

* Više o tome: P. Komadina i Vranić: *ARPA-Automatsko radarsko plotiranje*, Pomorski fakultet-Rijeka

IMO-va Konvencija o standardima obrazovanja, stjecanja ovlaštenja i obavljanju navigacijske straže pomoraca, tzv. STCW Code (Standards of Training Certification and Watchkeeping for seafarers) 1997. godine propisala je obvezu obrazovanja pomoraca, posebice članova brodske posade u sastavu plovidbene straže, polaganje ispita i stjecanje ovlaštenja u svezi rukovanja radarom, a posebice uređajem ARPA. U vezi s tim propisani su i ostali programi koje članovi brodske posade povremeno izobrazbom moraju svladati u vježbaonici da bi zadržali sposobnost obavljanja poslova za već stečene ovlasti**.

PITANJA:

1. Što čini navigacijski integrirani sustav i u čemu je njegova prednost?
2. Što je zadatak elektroničkog računala, posebice procesora, u integriranom navigacijskom sustavu?
3. Objasnite uporabu navigacijskog integriranog sustava.
4. Objasnite međusobnu povezanost te zadaću klasičnih i elektroničkih uređaja (osjetila) u sklopu integriranog navigacijskog sustava.
5. Objasnite temelje automatizacije pojedinih navigacijskih procesa na trgovačkom brodu.
6. Što je autopilot (giropilot) i na kojim načelima se temelji njegov rad?
7. Koje su prednosti elektroničkog giropilota?
8. Objasnite elektronički integrirani navigacijski sklop (kompas, GPS, videokartografski risač) za automatsko upravljanje brodom: a) u samonavođenju broda na programiranu rutu; b) u vođenju broda po programiranoj ruti; c) zadaće i značenje klasičnih navigacijskih metoda u tom sustavu.

** Vidjeti: Narodne novine RH br. 103/1998.

LITERATURA

A. Simović: Terestrička navigacija; F. Simović: Suvremena pomagala u navigaciji (skripta VPŠ-Rijeka); I. Ivanović – A. Simović – S. Ilić: Terestrička navigacija; F. Benković–M. Piškorec – Lj. Lako – K. Čepelak – D. Stajić: Terestrička i elektronska navigacija; J. Sušanj: Instrumenti elektroničke navigacije: I. (Radar i radarsko osmatranje) i II. (Hiperbolički i satelitski navigacijski sustavi); Kuzmanić – Matušić: Navigacijski radar i radarska navigacija; Svetislav Kristić: Elektronski sistemi za hiperbolnu navigaciju; Hrvatski hidrografski institut, Split: Radionavigacijska služba i Radioslužba; LZ "Miroslav Krleža", Zagreb: Pomorska enciklopedija i Pomorski leksikon; Bole, A.G.–Jones, K. D.: Automatic Radar Plotting Aids Manual; Bowditch: American Practical Navigator; Brown, Son and Ferguson: Radar Observer Handbook; Burger W.: Radar Observing Handbook for Merchant Navy Officers; Admiralty: Admiralty Navigation Manual; Capasso: Navigazione (I i II); Capasso – Fede: Navigazione I; Conrad – Steppes: Lehrbuch der Navigation; Dutton: Navigation and Nautical Astronomy; Dutton: Navigation and Piloting; Gyant – Klinkert: The Ships Compass; INMARSAT: Maritime Communications Handbook; IMO: GMDSS Handbook; IMMO: NAVTEX Manual; Istituto idrografico della Marina Italiana: Manuale del' ufficiale di rotta; Jansky: The loran C-system of navigation; Leskov – Baranov – Govrjok: Navigacija; Magnavox Research Laboratory USA: Mini system satellite Navigation; Pavlov: Radionavigacija na moru; R. Motte: Weather Routing of Ships; Schinananow: Seekarte, Kompas und Radarschrim; Skiba: Suvremenije giperboličeskije sistemi dal'nej radionavigaciji; Sonenberg: Radar and Electronic Navigation; Weems: Marine Navigation; Wylie: The Use of Radar at Sea; Priručnici za plovidbu u hrvatskoj nakladi (DHI i HHI) i inozemnih izdanja. Razne navigacijske publikacije na hrvatskom i inozemnim jezicima. Prospekti i katalozi proizvođača navigacijskih uređaja i pomagala (Anschütz, Decca odn. Decca-Racal, Furuno, Kelvin-Hughes, Marconi, Norcontrol, Raytheon, Sperry i dr.).

ELEMENT d.o.o., Zagreb

Za nakladnika: Silva Elezović

Tiskanje dovršeno u studenom 2000., naklada 1000 primjeraka