

4. Mjerenja pravaca i kutova u navigaciji

Opcenito o kompasima

Kompas je instrument kojim se identificira meridijan. upotreba u Evropi pocela je sredinom trinaestog stoljeca. Dugo vremena koristio se magnetski kompas i tek u dvadesetom stoljecu pocele su se primjenjivati druge metode za identifikaciju meridijana.

Kompasi se mogu podijeliti po svojim fizickim obilježjima, po nacinu rada elementa kojim se identificira meridijan, po nacinima stabilizacije, po upotrebi. Prema fizickim osobinama svi kompasi mogu se podijeliti na:

- magnetske
- amagnetske

Magnetski kompasi koriste Zemljin magnetizam za postavljanje u pravcu sjeverojužnice. Amagnetski kompasi koriste neke druge prirodne pojave za identifikaciju sjeverojužnice, uglavnom rotaciju Zemlje odnosno prividna kretanja nebeskih tijela

Prema namjeni kompasi mogu biti:

- glavni
- kormilarski
- rezervni
- za brodice
- rucni

Kompas je sastavljen od dijelova koji, osim osnovnog svojstva, to jest identifikacije meridijana, omogucavaju i stabilan rad, mirnocu, povecavaju osjetljivost, omogucavaju mjerenja i td. Glavni dijelovi kompasa su:

- osjetljivi element kojem je osnovna namjena pokazivanje pravog, magnetskog ili kompasnog sjevera, a za tu svrhu mogu se koristiti razlicite fizicke pojave,
- element za pokazivanje kursa omogucava identifikaciju kursa odnosno kuta izmedu meridijana i pravca kretanja broda,
- element za odredivanje azimuta omogucava smjeranja azimuta objekata, odnosno kuta izmedu meridijana i smjera prema objektu
- kompenzacijski elementi neutraliziraju štetna djelovanja na osjetljivi element i u velikoj mjeri poboljšavaju svojstva kompasa
- elementi za prijenos podataka omogucavaju prijenos podataka o kursu na druge navigacijske instrumente
- pomocni elementi opcenito poboljšavaju rad kompasa ili omogucavaju lakše rukovanje.

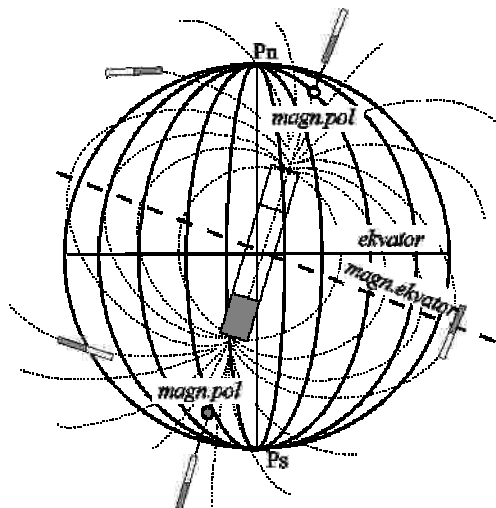
Geomagnetizam i geomagnetski elementi

Geomagnetizam je magnetizam Zemlje. Slobodno obješena na magnetskom ekvatoru uravnotežena magnetska igla stalno ce pokazivati istu tocku na horizontu, a promjenom magnetske geografske širine jedna strana magneta nagnut ce se pod horizont. O nastanku Zemljina magnetizma postoji nekoliko hipoteza po kojima se magnetizam pripisuje naslagama feromagnetskih materijala u zemljinoj kori, elektricnim strujama u zemljinoj kori zbog strujanja fluida, i fizickim svojstvima tijela koje rotira. Vjerojatno Zemljin magnetizam nastaje zbog svih tih utjecaja. Svi planeti u suncevu sustavu imaju više ili manje izražena magnetska svojstva, neki od njih, na primjer Jupiter, imaju vrlo jaka magnetska svojstva koja mogu onemogućiti rad instrumenata na letjelicama.

Slobodno obješena magnetska igla na površini Zemlje zauzimala bi razlicite položaje: na magnetskom ekvatoru postavila bi se paralelno u odnosu prema na magnetskim polovima postavila bi se okomito u odnosu na horizont, a na nekoj geografskoj pokazivala bi nagib u

odnosu na horizont. Drugim riječima magnetska igla postaviti će se u smjeru zamišljene crte koja spaja magnetske polove Zemlje, a koja se zove magnetska silnica.

Na točkama Zemlje koje se nalaze jednako udaljene od oba magnetska pola magnetska igla bit će paralelna s horizontom: crta koja spaja te točke zove se magnetski ekvator (slika 35). Magnetski ekvator ne podudara se sa geografskim ekvatorom.



Slika 35.

Magnetski polovi su mjesta na površini zemlje u kojima se slobodno ovješena magnetska igla postavlja okomito na horizont. Kao i magnetski ekvator magnetski se polovi ne poklapaju s geografskim. To zapravo i nisu polovi već površine s polumjerom od oko 150 nautičkih milja koje stalno mijenjaju položaj, a njihov položaj krajem dvadesetog stoljeća je za sjeverni magnetski pol:

$$\varphi = 78^\circ \text{ N}, \quad \lambda = 98^\circ \text{ W},$$

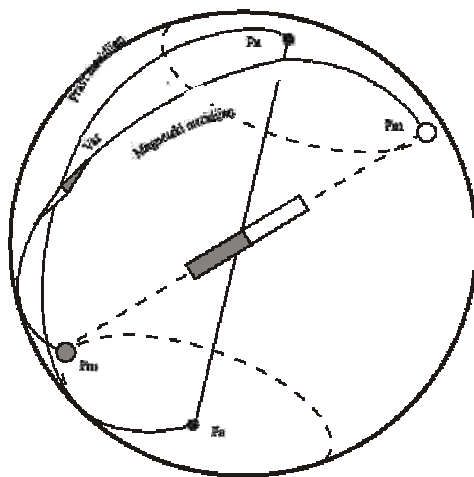
a za južni:

$$\varphi = 72^\circ \text{ S}, \quad \lambda = 140^\circ \text{ E}$$

Jedna od važnih značajki zemljinog magnetizma je njegov polaritet: prema određenom zemaljskom polu okrenut će se uvijek ista strana magneta. Zbog jednostavnosti dogovoreno je da ona strana magnetske igle koja se okrene prema sjeveru ima sjeverni, pozitivan ili crveni magnetizam. Budući da sjeverni kraj magnetske igle privlači magnetizam suprotnog polariteta, može se zaključiti da se na sjevernoj hemisferi nalazi južni magnetski pol, označen negativnim predznakom i plavom bojom, a na južnoj hemisferi nalazi se sjeverni magnetski pol označen pozitivnim predznakom i crvenom bojom. Također je važno napomenuti da zemaljski magnetizam može u feromagnetskim materijalima inducirati polaritet suprotnog predznaka, tako da će se na onoj strani feromagnetskog štapa koja je okrenuta južnom magnetskom polu inducirati sjeverni magnetizam i obratno.

Budući da se ne poklapaju položaji geografskih i magnetskih polova ne poklapaju se ni pravi i magnetski meridijan. Ta dva meridijana na nekoj točki površine Zemlje razlikuju se za kut koji se zove magnetska deklinacija ili varijacija (slika 36).

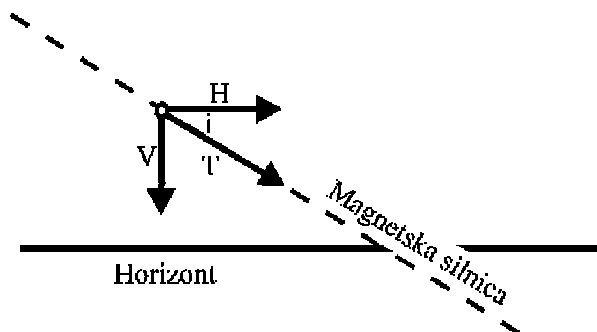
Varijacija može imati pozitivan ili negativan predznak: ako se magnetska igla svojim sjevernim krajem otkloni istočno od pravog meridijana, odnosno ako južni magnetski pol nalazi istočno od sjevernog geografskog pola varijacija ima pozitivan predznak; ako se magnetska igla svojim sjevernim krajem otkloni zapadno od pravog meridijana, odnosno ako je južni magnetski pol zapadno od sjevernog geografskog pola varijacija ima negativnu vrijednost. U plovnim područjima varijacija može iznositi i do $\pm 30^\circ$. Između geografskog i magnetskog pola varijacija iznosi 180° . Vrijednost varijacije u punom iznosu utječe na razliku između pravog i magnetskog kursa. Zbog toga je nužno u svakom trenutku poznavati vrijednost magnetske varijacije. Podaci o tome nalaze se u mnogim navigacijskim publikacijama (karte gomagnetskih elemenata, pilotske karte, peljari i td.), ali se varijacija najčešće proračunava na potrebnu godinu iz podataka koji su prikazani u navigacijskim Merkatorovim kartama, neovisno o tome o kakvim kartama i kojim mjerilima se radi.



Slika 36.

Vrijednost magnetske varijacije na kartama je prikazana za godinu kad je navigacijska karta izdana, a promjene su prikazane u godišnjem porastu ili padu vrijednosti. Pritom valja imati na umu da porast ili opadanje označavaju promjenu u apsolutnom smislu: je varijacija pozitivna porast znaci da ce njezina pozitivna vrijednost rasti, a opadanje znaci da ce njezina vrijednost opadati; ako je varijacija negativna porast znaci da ce negativna vrijednost varijacije rasti, a opadanje znaci da ce negativna varijacija postajati u apsolutnom smislu postajati manja. riječima, porast varijacije znaci udaljavanje magnetskog od pravog meridijana prema istoku ili zapadu, a opadanje znaci približavanje magnetskog meridijana pravom.

Ostali geomagnetski elementi su: totalni intenzitet i horizontalna i vertikalna komponenta te inklinacija (slika 37).



Slika 37

U nekoj točki magnetske silnice jakost magnetskog polja izražena je vektorom koji predstavlja ukupnu jakost magnetskog polja. Taj se vektor zove *totalni intenzitet* (T), a može se podijeliti u dvije komponente: *horizontalnu* (H) koja magnetsku iglu drži u smjeru sjeverojužnice, i *vertikalnu* (V) koja magnetsku iglu nagnje pod horizont. Kut pod kojim magnetska silnica sjece ravninu horizonta zove se *inklinacija* (i). Iz slike se može vidjeti:

$$H = T \cos i \quad V = T \sin i \quad \operatorname{tg} i = \frac{V}{H}$$

Vrijednost horizontalne komponente zemaljskog magnetizma pada od magnetskog ekvatora, gdje je najveća, prema magnetskim polovima u kojima je njezina vrijednost 0. Vertikalna komponenta raste od magnetskih polova, u kojima je najveća, do magnetskog ekvatora na kojem nema vertikalne komponente. Inklinacija 0° je na magnetskom ekvatoru, a 90° na magnetskim polovima.

Varijacija, inklinacija, totalni intenzitet te vrijednosti horizontalne i vertikalne komponente mogu se naci u geomagnetskim kartama. Vrijednosti mogu biti prikazane svojim apsolutnim vrijednostima ili izolinijama. Izolinije su crte koje spajaju iste geomagnetske vrijednosti.

Crte koje spajaju mjesta iste magnetske varijacije zovu se *izogone*. *Agona* je crta nulte vrijednosti magnetske varijacije. U stvarnosti agonu predstavlja meridijan na kojem je smješten magnetski pol.

Crte koje spajaju mjesta s istim vrijednostima inklinacije zovu se *izokline*. Crta s nultom vrijednošću inklinacija zove se *aklina*, a s obzirom da na njoj nema inklinacije to je zapravo magnetski ekvator. Aklina ima približno oblik sinusoide s ekstremima u $\varphi = 10^\circ \text{N}$ i $\varphi = 15^\circ \text{S}$, a sa zemaljskim (geografskim) ekvatorom sijece se u dvije točke s geografskim dužinama $\lambda = 20^\circ \text{W}$ i $\lambda = 170^\circ \text{E}$.

Crte koje spajaju sva mjesta iste vrijednosti totalnog intenziteta zovu se *izodiname*. Horizontalna komponenta totalnog intenziteta na magnetskom ekvatoru ima vrijednost $H = 24 \text{ A/m}$, na magnetskim polovima $H = 0$. Najveća je u Andamanskom moru (Burma, Sumatra, Nikobari, Andamani) gdje postiže vrijednost $H = 32 \text{ A/m}$. Vertikalna komponenta najveća je na magnetskim polovima gdje je jednaka totalnom intenzitetu $V = T = 55 \text{ A/m}$, dok je na magnetskom ekvatoru $V = 0$.

Anomalije u Zemaljskom magnetizmu nastaju ako u slojevima Zemljine površine postoje feromagnetski minerali. Najveća je Kurska anomalija, na Jadranu najjače anomalije javljaju se kod Jabuke i Visa, a manje kod Cresa i Lošinja.

Magnetske promjene mogu biti *pravilne (periodicne)* i *nepravilne (neperiodicne)*. Periodicne promjene nastaju zbog promjena položaja magnetskih polova odnosu na neku točku (*sekularne promjene*), a posljedica sekularnih promjena je godišnji porast ili opadanje vrijednosti varijacije, ili zbog rotacije Zemlje oko vlastite osi odnosno zbog utjecaja Sunca (*dnevne ili sunceve promjene*). *Neperiodicne promjene* kratkotrajne su i velike izmjene magnetskog polja na citavoj površini Zemlje, a uslijed magnetskih oluja uzrokovanih atmosferskim elektricitetom.

Geomagnetski elementi mjere se različitim instrumentima, a najviše su u upotrebi magnetski teodoliti, deklinatori i inklinatori. Deklinatorima se mjeri vrijednost magnetske varijacije, a ta se vrijednost može izmjeriti do $0,3^\circ$ točno. Inklinatorima se mjere vrijednosti magnetske inklinacije.

Vrste i dijelovi magnetskih kompasa

Prema nacelu rada rada osjetljivog elementa svi se kompasi mogu podijeliti u:

- magnetski
- induksijski
- magnetoelektronski
- elektromagnetski
- magnetostriksijski
- termomagnetski

U upotrebi su samo magnetski i induksijski

Prema načinu stabilizacije osjetljivog elementa magnetski kompasi mogu se podijeliti na suhe i likvidne, a prema namjeni na brodu dijele se na:

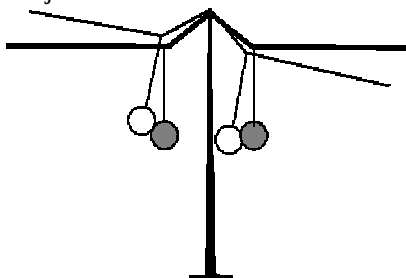
- glavni kompas smješten je na najpovoljnijem dijelu broda, najčešće na krovu kormilarnice, a prema njemu drže se kursovi te određuju pozicije,
- kormilarski kompas služi za održavanje kursa,
- rezervni kompas najčešće je smješten pored rezervnog kormilarskog uređaja,
- za brodice koristi se na camcima za spašavanje
- ručni kompas upotrebljava se na manjim camcima.

Konstrukcija magnetskog kompasa sadrži elemente za identifikaciju meridijana, kompenzaciju magnetskih utjecaja broda, stabiliziranje osjetljivog elementa i ostalih dijelova (slika 38). Svi dijelovi moraju biti od nemagnetskih materijala.



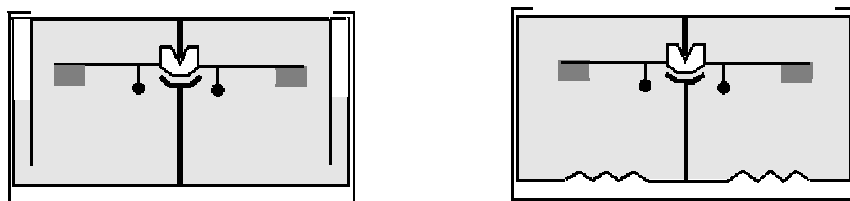
Slika 38.

Ruža magnetskog kompasa je osjetljivi element s amagnetskim klobucicom koji ima safir kao ležaj, stupicom s vrhom od iridija i magnetskim iglama. Težište ruže spuštено je u odnosu na uporište stupica (slika 39). Može biti uprta ili obješena, a smještena je u kotlu. Ispod ruže smješten je sustav magnetskih igala, a sve zajedno sacinjava osjetljivi element magnetskog kompasa. Ruža ima kružni aluminijski prsten na koji je ucvršćena, napravljena je od svile, cvrstog papira ili impregniranog platna. Podijeljena je na stupnjeve i vjetrove.



Slika 39

Kotao kompasa je posuda sa staklenim poklopcem u koju smještena ruža. Radi stabilizacije kotao je snabdjeven kardanskim sustavom i utegom, a radi identifikacije kursa na njegovom obodu smještena je vertikalna nit koja se nalazi u uzdužnici broda, označuje pramcanicu. Pramcanica se okreće zajedno s brodom dok je oznaka nule na ruži stabilizirana u meridijanu, tako da se može registrirati svaki odklon uzdužnice broda od meridijana. Osim oznake pramcanice na kotlu se može nalaziti i oznaka krme, kao i dvije bocne oznake. Ako kompas ima likvid dno kotla je elastično (slika 40). U tom slučaju ruža je uprta i snabdjevena plovcima koji ruži daju potreban uzgon.



Slika 40

Stalak magnetskog kompasa izraden je od nemagnetskog najčešće kvalitetnog drva. U stalku je smješten kotao s ružom i svi ostali elementi kompasa (kompenzacijski sustav, sustav osvjetljenja i kardan). Zbog zaštite ruže stalak ima poklopac (kapu) od nemagnetskog materijala u koju je smješteno rezervno osvjetljenje. Dno stalka ucvršćeno je vijcima za pod kormilarnice.

Kompenzacijski elementi smješteni su u stalku kompasa sastoje se od vertikalnog drvenog

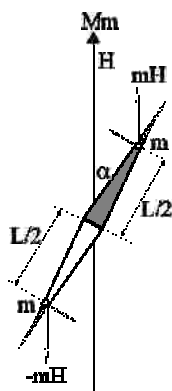
elementa s okomitim prerezom za smještaj stalnog vertikalnog magneta (nagibnog korektora), uzdužnim i poprecnim za smještaj kompenzacijskih stalnih magneta, dvije kugle bocno od ruže za kompenzaciju magnetskih djelovanja horizontalnih mekoželjeznih elemenata (D korektori) i mekoželjeznog štapa ispred ili iza ruže za neutralizaciju magnetskih utjecaja vertikalnih mekoželjeznih elemenata (Flindersov štap).

Kardanski sustav stalno održava vodoravan položaj kotla s osjetljivim elementom. Napravljen je od nemagnetskog materijala, a sacinjavaju ga dva prstena od kojih je jedan ograničen u poprečnoj a slobodan u uzdužnoj osi dok je drugi ograničen u uzdužnoj a slobodan u poprečnoj osi. Na takav način kotao je uvijek u horizontalnom položaju.

Svojstva magnetskog kompasa su osjetljivost, mirnoca i stabilnost.

Osjetljivost je svojstvo kompasne ruže da reagira na što manju promjenu kursa pokazivanja. Kvalitetan kompas mora osjetiti promjenu kursa od svega $0,3^\circ$.

Osjetljivost ovisi o magnetskom momentu inercije (M) vrijednost kojeg uvjetuje jakost horizontalne komponente Zemaljskog magnetizma i jakost magneta na magnetskoj ruži (slika 41).



Slika 41.

Na magnetsku iglu dužine L uprtu u točki $L/2$, ako se otkloni okomito na smjer djelovanja Zemaljskog magnetizma djelovat će moment ovisan o jakosti magneta (m) i jakosti horizontalne komponente Zemaljskog magnetizma (H):

$$M = M_1 + (-M_2) = M_1 - M_2 = \frac{L}{2} H m - (-\frac{L}{2} H m) = L H m$$

Ako se magnetska igla iz magnetskog meridijana otkloni za kut α moment će biti izražen sinusom kuta otklona (vidljivo na slici):

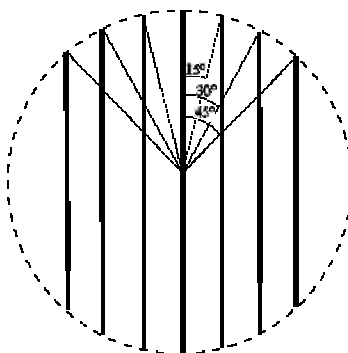
$$M = M_1 + (-M_2) = M_1 - M_2 = \frac{L}{2} H m \sin \alpha - (-\frac{L}{2} H m \sin \alpha) = L H m \sin \alpha$$

Prema tome moment povratka ili osjetljivost (M) ovisan je o jakini magneta (m), njegovoj dužini (L), jakosti horizontalne komponente (H) i kutu otklona magnetske igle iz pravog meridijana (α). Osjetljivost se može povećati povećanjem broja magneta (momenti magneta se zbrajaju).

Mirnoca je svojstvo magnetske ruže da ne oscilira oko vertikalne osi. Uzroci tih oscilacija mogu biti magnetski (promjena polova vertikalne komponente stalnog broskog magnetizma u odnosu prema položaju magnetske ruže, a zbog valjanja broda) ili mehanicki (rad strojeva ili trešnja zbog posrtanje odnosno valjanja broda). Period oscilacija (T) zbog magnetskih uzroka ovisan je o momentu tromosti ruže kompasa (I), jakosti horizontalne komponente Zemljina magnetizma (H) i magnetskog momenta (M):

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$$

Povećanje mirnoce postiže se pravilnim rasporedom magneta ispod ruže. Magneti moraju biti razmješteni u obliku kruga i međusobno raspoređeni tako da prikloni kut u središtu kruga bude 0° za jedan magnet, 30° za par magneta, 15° i 45° za dva para 15° 30° i 45° za tri para magneta (slika 42).



Slika 42.

Suhi kompasi imaju duže igle koje omogućavaju bolju osjetljivost, ali im je loša strana slabija mirnoca. Kod likvidnih kompasa koriste se kraci magneti. Najbolji je magnet oblika prstena jer ima veću osjetljivost, veću mirnocu, manji utjecaj kompenzacijskih elemenata, manju devijaciju i veću stabilnost.

Stabilnost je svojstvo da se ruža što brže vrati u horizontalan položaj (što manje oscilacije oko horizontalne osi). Horizontalnost ruže postiže se mehaničkim neutraliziranjem vertikalne komponente stalnog brodskog magnetizma, odnosno pravilnim postavljanjem vertikalnog kompenzacijskog stalnog magneta (nagibnog korektora). Budući da se vertikalnim stalnim magnetom kompenzira i jedan dio brodskog magnetizma kojeg izazivaju vertikalni mekoželjezni elementi, a čija se magnetska indukcija mijenja promjenom geografske širine, kod dobro kompenziranog magnetskog kompasa stabilnost može biti potpuna (ako se ne mijenja zemljopisna širina) nepotpuna (ako se mijenja zemljopisna širina). Pri tome nepotpuna stabilnost postiže se spuštanjem težišta ruže u odnosu na uporište (kod suhih kompasa) odnosno podizanjem težišta ruže u odnosu na uporište (kod likvidnih kompasa). Potpuna stabilnost postiže se kompenzacijom komponente stalnog brodskog magnetizma na više različitih geografskih širina.

Smjerna sila i instalacija kompasa na brodu

Smjerna sila je ona sila koja drži iglu u pravcu magnetskog meridijana na kopnu ili kompasnog meridijana na brodu. Na kopnu je smjerna sila jednaka horizontalnoj komponenti Zemaljskog magnetizma i ne mijenja se, dok je na brodu je slabi ili ojačava brodski magnetizam.

Smjerna sila na brodu uzima se kao aritmetička sredina smjernih sila u svim kursovima i uvijek je manja od horizontalne komponente zemaljskog magnetizma. *Koeficijent smjerne sile* dobije se kao međusobni odnos oslabljene smjerne sile na brodu (H') i smjerne sile na koju ne utječe brodski feromagnetizam, odnosno smjerne sile na kopnu (H):

$$I = \frac{H'}{H}$$

Na brodu koeficijent smjerne sile može iznositi $\lambda = 0,6$ do $0,9$ a povećava se kompenzacijom.

Zbog štetnih utjecaja na smjernu silu i zbog izazivanja devijacije u blizini magnetskog kompasa ne smije se nalaziti feromagnetni materijali:

- vertikalni mekoželjezni elementi na manje od 3 m,
- pokretne željezne mase na udaljenosti manjoj od 10 m,
- elektromotori na udaljenosti manjoj od 5 m,
- toplinski strojevi na udaljenosti manjoj od 10 m.

U nacelu magnetski kompas uvijek mora biti smješten u uzdužnicu broda. Poželjno je da se s mjesta gdje se nalazi kompas vidi što veći dio horizonta.

5. Devijacija magnetskog kompasa

Osobine magnetskih materijala

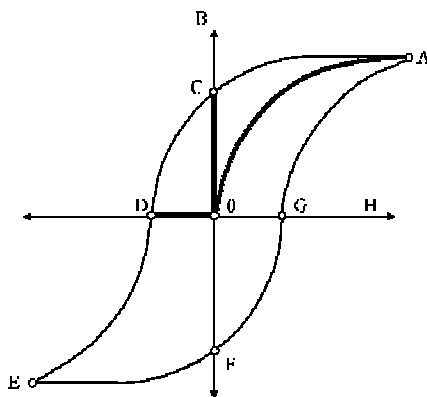
Pod djelovanjem vanjskog magnetskog polja elektroni u atomima materijala pocinju se polarizirati u smjeru djelovanja vektora vanjskog magnetskog polja materijal poprima određena magnetska svojstva. Stupanj magnetiziranosti zove se magnetska indukcija (B), izražava se u Teslama a jedan tesla je indukcija homogenog magnetskog polja koje djeluje od jednog njutna na ravni vodič dužine jednog metra ako je u vodiču struja jakosti jednog ampera. Indukcija se može izračunati iz izraza:

$$B = \mu H \cos \alpha$$

Faktor μ zove se magnetska permeabilnost materijala. Permeabilnost je svojstvo tvari da provodi magnetski protok (fluks) o čemu ovisi magnetska indukcija. Sve su tvari (s obzirom na permeabilnost) podijeljene na:

- dijamagnetske ($\mu < 1$) koje ne pokazuju magnetska svojstva,
- paramagnetske ($\mu > 1$) koje pokazuju slaba magnetska svojstva,
- feromagnetske ($\mu \gg 1$) koje pokazuju jaka magnetska svojstva

Na slici 43 prikazana je krivulja magnetiziranja feromagnetskog materijala, takozvana *petlja histereze*.

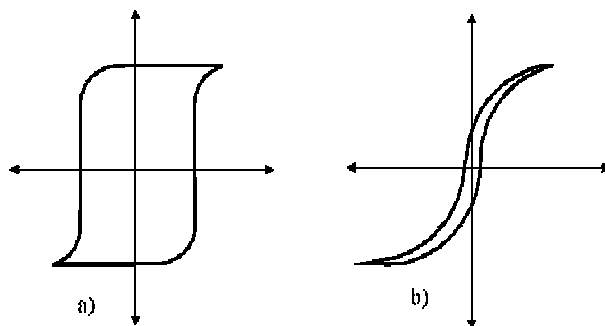


Slika 43.

Ako se feromagnetski materijal nalazi pod utjecajem magnetskog polja (H) poprimat će vlastiti magnetizam (B). Povećanjem jačine magnetskog polja magnetiziranje materijala teći će krivuljom OA , sve do trenutka dok se svi elektroni u feromagnetskom materijalu ne polariziraju⁴, a kad se to dogodi u feromagnetskom materijalu neće više rasti magnetizam. To područje krivulje histereze je *područje magnetske indukcije*. Ako jačina magnetskog polja počne slabiti inducirani magnetizam će opadati, ali ne po istoj krivulji već po krivulji koja je na slici označena od A do C . Nakon što jačina vanjskog magnetskog polja postane nula u feromagnetskom materijalu zaostat će jakost induciranog magnetizma jačine od O do C . Taj se zaostali magnetizam naziva *remanentnim magnetizmom*. Ako se zaostali (remanentni) magnetizam u feromagnetskom materijalu želi neutralizirati potrebno je promijeniti polaritet vanjskog magnetskog polja. Jačina magnetskog polja potrebna da se određeni feromagnetski materijal razmagnetizira zove se *koercitivna sila* i na slici predstavlja vrijednost od O do D . Ako se i dalje pojačava vanjsko magnetsko polje početi će magnetiziranje materijala suprotnog polariteta, dok se ponovo ne polariziraju svi elektroni. Ako se sad vanjsko magnetsko polje smanji snaga induciranog magnetizma smanjivat će se po krivulji DFG . Ciklus magnetske indukcije završit će se zatvaranjem krivulje histereze čija površina određuje magnetska svojstva određenih materijala.

Histerezna petlja feromagnetskih materijala može poprimiti različite oblike (slika 44).

⁴ Polariziraju se zapravo skupine elektrona u količini takozvane Weisove domene.



Slika 44.

Široka petlja histereze karakteristika je tvrdih magnetskih materijala (petlja oznacena s a) na slici. Uska petlja histereze karakterizira meke magnetske materijale. Polutvrđi magnetski materijali imaju petlju histereze čija je površina između histereznih petlji prethodne dvije vrste materijala.

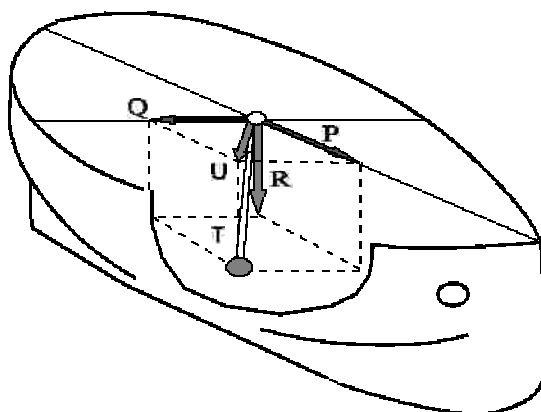
Brod je izgrađen od željeza, a s obzirom na magnetska svojstva i na razmatranja, brodsko željezo može se podijeliti na:

- tvrdo brodsko željezo (manja permeabilnost, velika koercitivna sila, velik remanentni magnetizam, velika površina histereze),
- meko brodsko željezo (mala koercitivna sila, velika permeabilnost, mali remanentni magnetizam, mala površina histereze),
- polutvrdo meko željezo s magnetskim svojstvima između tvrdog i mekog.

Prema tome osim pod utjecajem Zemaljskog magnetizma magnetski kompas bit će i pod utjecajem broskog magnetizma.

Brodski magnetizam

Za vrijeme gradnje brod ne mijenja svoj položaj u prostoru tako da su njegovi dijelovi izloženi utjecaju Zemaljskog magnetizma, a budući da je materijal od kojeg se brod gradi (željezo, celik, legure željeza) feromagnetski materijal, kompletna konstrukcija broda izložena je magnetskoj indukciji. Negdje u trupu broda, ovisno o tome u kojem je kursu građen i na kojoj magnetskoj širini, formira se stalni pol broskog magnetizma koji je na slici 45 kao vektor (T) a koji se (kao rezultanta) može podijeliti na vertikalnu (Q) i horizontalnu (U) komponentu.



Slika 45.

Horizontalna komponenta (U) može se podijeliti na uzdužnu (P) i poprečnu (Q). Na taj način ukupni utjecaj induciranog magnetizma može se razmatrati djelovanjem na magnetsku iglu u uzdužnici broda, poprečnici broda i vertikali broda.

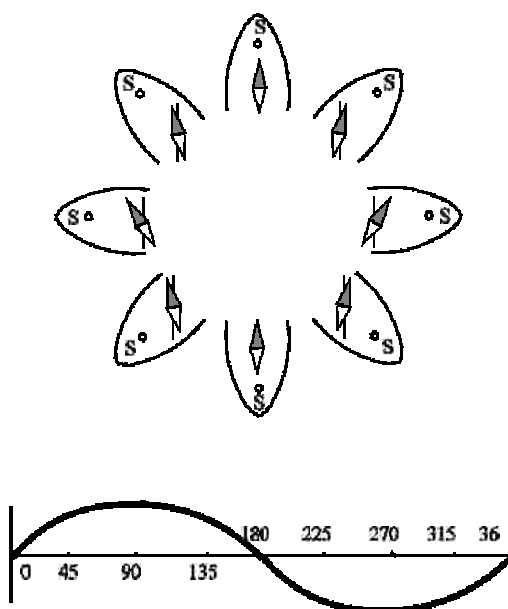
Inducirani brodski magnetizam bit će ovisan o magnetskoj tvrdoci feromagnetskih materijala, masi tih materijala, kursu gradnje i magnetskoj širini na kojoj je građen. Polaritet će ovisiti o kursu gradnje: ako je brod građen u sjevernim kursovima na prednjem dijelu broda inducirat će se sjeverni magnetizam (jer je na sjevernoj hemisferi smješten južni magnetizam, a polaritet induciranog magnetizma suprotan je polaritetu totalnog intenziteta).

Utjecaj uzdužne komponente (P) na devijaciju

Devijacija je odklon magnetske igle iz magnetskog meridijana zbog utjecaja broorskog magnetizma. Pozitivna je ako je magnetska igla otklonjena prema istoku, a negativna ako je otklonjena prema zapadu.

Smjerna sila je horizontalna komponenta zemljinog magnetizma koja drži iglu kompasa u magnetskom meridijanu.

Ako se ispred magnetskog kompasa nalazi inducirani južni magnetski pol (ako je brod građen u južnim kursovima), utjecaj tog magnetizma izazivat će odklon magnetske igle i devijaciju ovisno o kursu plovidbe (slika 46).



Slika 46.

U kursu 0° pol induciranog magnetizma nalazit će se ispred kompasa i neće izazivati skretanja. U kursu 45° negativni pol broorskog magnetizma privući će pozitivni pol magneta kompasne igle i otkloniti je prema istoku izazivajući pozitivnu deklinaciju. U kursu 90° taj će odklon biti najveći, a u kursu 135° odklon će biti jednak kao i u kursu 45°. U kursu 180° polovi broorskog magnetizma djeluju u istom smjeru u kojem djeluje i Zemljin magnetizam, ali su suprotnog polariteta, tako da će slabiti smjernu silu, ali neće izazivati odklon kompasne igle. U kursu 225° polovi istog predznaka međusobno će se odbijati i devijacija će biti negativna. U kursu 270° negativna vrijednost deklinacije bit će najveća, dok će u kursu 315° biti jednaka kao i u kursu 225°. Očito je da će se devijacija mijenjati po krivulji koja ima oblik sinusoide. Ako se najviša vrijednost devijacije (devijacija u kursu 90°) oznaci kao koeficijent B stalnog broorskog magnetizma, devijacija izazvana uzdužnom komponentom u bilo kojem kursu moći će se izračunati iz izraza:

$$d = B \sin K_k$$

Ova devijacija bit će pozitivna u kursu 90° ako je brod građen u južnim kvadrantima (u drugom ili trećem kvadrantu), a u tom će kursu biti negativna ako je brod građen u sjevernim kvadrantima (u prvom ili četvrtom kvadrantu).

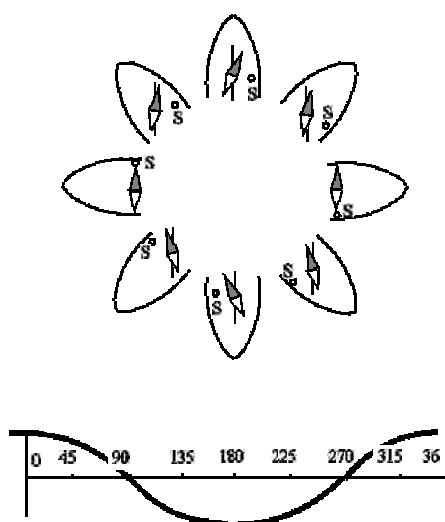
Utjecaj uzdužne komponente stalnog broorskog magnetizma na magnetski kompas može se

kompensirati umetanjem stalnog magneta koji će neutralizirati uzdužnu komponentu stalnog brodskog magnetizma. Prema tome taj magnet mora biti postavljen ispod kompasa i u uzdužnici broda s crvenom stranom prema naprijed ako je brod građen u drugom ili trećem kvadrantu, a s plavom stranom prema naprijed ako je brod građen u prvom ili četvrtom kvadrantu. Kompenzacija se mora izvršiti u kursu u kojem je utjecaj uzdužne komponente stalnog brodskog magnetizma najveći, dakle u kursovima 90° ili 270°.

Smjerna sila pod utjecajem uzdužne komponente stalnog magnetizma pojačana je u sjevernim kursovima, a oslabljena u južnim (za brod koji je građen u južnim kvadrantima). Najviše je ojačana u kursu 0° a oslabljena u kursu 180°. U kursovima 90° i 270° smjerna sila nije ni oslabljena ni ojačana: mijenja se po kosinusoidi.

Utjecaj poprecne komponente (Q) na devijaciju

Devijaciju nastala utjecajem poprecne komponente stalnog brodskog magnetizma i njezinu promjenu u različitim kursovima objašnjava slika 47.



Slika 47.

Na slici je prikazan utjecaj poprecne komponente stalnog brodskog magnetizma za brod koji je građen u istocnim kvadrantima (u prvom ili drugom kvadrantu) tako da mu je na desnoj strani induciran južni (negativni) pol. U kursu 0° odklon magnetske igle na istok bit će najveći jer se sjeverni pol magnetske igle i južni pol brodskog magnetizma privlače dok se istovremeno južni pol magnetske igle i južni pol brodskog magnetizma odbijaju. U kursu 45° taj će odklon biti manji nego u kursu 0°, a u kursu 90° neće ga biti iako će brodski magnetizam slabiti smjernu silu. U kursu 135° južni pol magnetske igle i južni pol brodskog magnetizma uvjetovat će odklon magnetske igla prema zapadu, koji će biti najveći u kursu 180°, dok će u kursu 225° biti jednak kao i u kursu 135°. U kursu 270° odklona magnetske igle neće biti, a smjerna sila bit će ojačana. U kursu 315° devijacija će biti pozitivna i imat će jednaku vrijednost kao i u kursu 45°. Očito je da će se devijacija mijenjati po krivulji koja ima oblik kosinusoide. Ako se najviša vrijednost devijacije (devijacija u kursu 0°) oznaci kao koeficijent C stalnog brodskog magnetizma, devijacija izazvana poprecnom komponentom u bilo kojem kursu moći će se izračunati iz izraza:

$$d = C \cos K_k$$

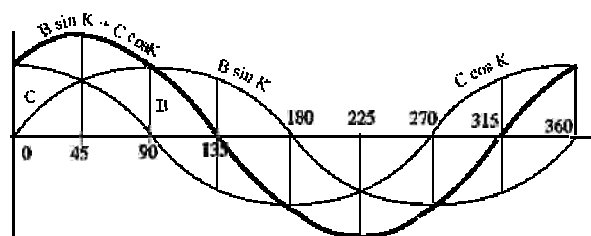
Ova devijacija bit će pozitivna u kursu 0° ako je brod građen u istocnim kvadrantima (u prvom ili drugom kvadrantu), a u tom će kursu biti negativna ako je brod građen u zapadnim kvadrantima (u trećem ili četvrtom kvadrantu).

Utjecaj poprecne komponente stalnog brodskog magnetizma na magnetski kompas može se

kompensirati umetanjem stalnog magneta koji će neutralizirati poprečnu komponentu stalnog brodskog magnetizma. Prema tome taj magnet mora biti postavljen ispod kompasa i u poprečnici broda s crvenom stranom prema desnom boku ako je brod građen u prvom ili drugom kvadrantu, a s plavom stranom prema desnom boku ako je brod građen u trećem ili četvrtom kvadrantu. Kompensacija se mora izvršiti u kursu u kojem je utjecaj uzdužne komponente stalnog brodskog magnetizma najveći, dakle u kursovima 0° ili 180° .

Smjerna sila pod utjecajem poprečne komponente stalnog brodskog magnetizma pojačana je u zapadnim kursovima, a oslabljena u istocnim (za brod koji je građen istocnim kvadrantima). Najviše je ojačana u kursu 270° a oslabljena u kursu 90° . U kursovima 0° i 180° smjerna sila nije ni oslabljena ni ojačana: mijenja se po sinusoidi.

Uzdužna i poprečna komponenta stalnog brodskog magnetizma izazivaju, dakle, pravilnu devijaciju koja će se zbog utjecaja uzdužne komponente mijenjati funkcijom sinusa kompasnog kursa, a zbog utjecaja poprečne komponente funkcijom cosinusa kompasnog kursa. Zajedničko djelovanje bit će zbroj utjecaja obje komponente, a grafički se može prikazati kao krivulja superponirana od sinusoide i cosinusoide (slika 48).



Slika 48

Vrijednost devijacije u bilo kojem kursu može se, shodno izloženom izračunati iz:

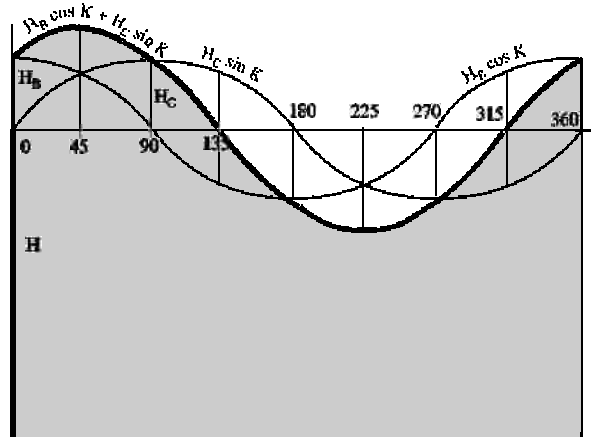
$$d = B \sin K + C \cos K$$

Buduci da potpuno istovjetnu devijaciju izazivaju i neki mekoželjezni elementi brodske konstrukcije, zbog razlikovanja koeficijenti B i C mogu se oznaciti kao B_1 i C_1 , tako da se devijacija izazvana uzdužnom i poprečnom komponentom stalnog brodskog magnetizma može dobiti iz:

$$d = B_1 \sin K + C_1 \cos K$$

Smjerna sila pod utjecajem uzdužne komponente stalnog magnetizma mijenja se po kosinusoidi a pod utjecajem poprečne komponente stalnog brodskog magnetizma mijenja se po sinusoidi. Ako se najveći utjecaj u kursu 0° oznaci sa ΔH_B , a najveća promjena u kursu 90° sa ΔH_C , smjerna sile u bilo kojem kursu pod utjecajem tih komponenti (H') može se izračunati iz izraza:

$$H' = H + \Delta H_B \cos K + \Delta H_C \sin K$$



Slika 49

Promjena smjerne sile na brodu pod utjecajem horizontalnih komponenti stalnog brodskog magnetizma prikazana je na slici 49. Vidi se da za brod koji je građen u drugom kvadrantu najveća smjerna sila bit će u kursu 45°, a najmanja u kursu 225°.

Vrijednost smjerne sile na brodu određuje se *Kelvinovim deflektorom*. To je posebna naprava s magnetima kojima se smjer može proizvoljno mijenjati. Kotao magnetskog kompasa odnese se na kopno, magnetski deflektor montira se iznad ruže a magneti deflektora postave se okomito u odnosu na magnete kompasne ruže. Pomicanjem deflektorskih magneta kompasna ruža dovede se da pokazuje 45°, čime se utjecaj deflektora izjednači s utjecajem horizontalne komponente Zemaljskog magnetizma. Tako uravnotežena magnetska ruža se donese na brod te se prati njezin otklon koji će biti utoliko veći od 45° koliko je smjerna sila na brodu manja od horizontalne komponente Zemaljskog magnetizma na kopnu. Iz kuta otklona (α) može se izračunati koeficijent smjerne sile na brodu (λ), to jest odnosa smjerne sile na brodu (H') i smjerne sile na kopnu (H):

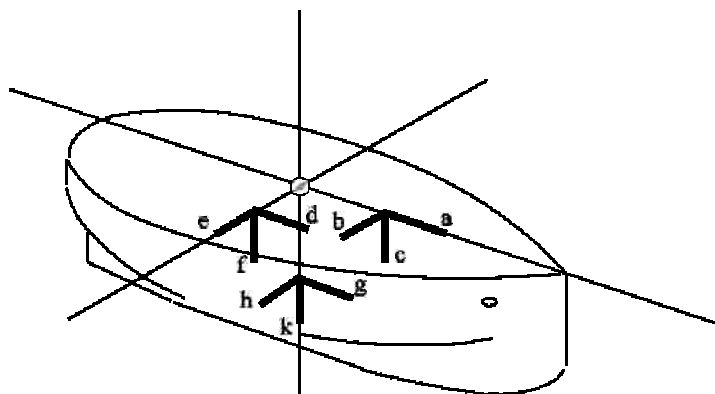
$$\lambda = \frac{H'}{H} = \operatorname{ctg} \alpha$$

Vertikalna komponenta stalnog brodskog magnetizma (R) nema utjecaja na magnetski kompas sve dok brod ravno pliva, ali ako se brod nagne pol inducirane vertikalne komponente projicira se po strani, odnosno ispred ili iza kompasa i izaziva devijaciju. Budući da pri plovidbi nemirnim morem brod valja i posrće, pol vertikalne komponente stalnog brodskog magnetizma u odnosu prema kompasu mijenja svoj položaj i izaziva oscilacije magnetske igle. Te oscilacije mogu biti tolike da ponekad potpuno onemogućavaju upotrebu magnetskog kompasa zbog čega je kompenzacija vertikalne komponente stalnog brodskog magnetizma nužnost. Kompenzacija se izvodi posebnim postupkom uz pomoć *Kelvinove vage* (opisano u daljnjim poglavljima).

Prolazni brodski magnetizam

Karakteristika mekih magnetskih materijala je velika permeabilnost, mali remanentni magnetizam i mala koercitivna sila. Zbog toga ti materijali lako poprimaju magnetizam, ali ga isto tako lako i gube. Stupanj magnetiziranosti ovisit će o njegovom položaju u odnosu na magnetske silnice: ako je mekoželjezni štap paralelan s magnetskim silnicama njegova magnetiziranost bit će najveća, a ako je okomit na smjer magnetskih silnica magnetizam se neće inducirati.

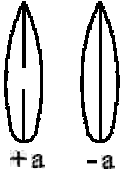
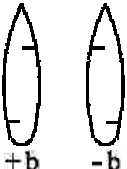
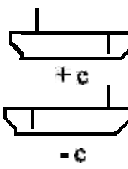
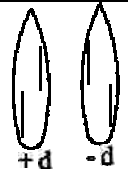
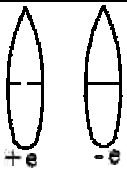
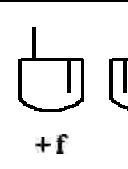
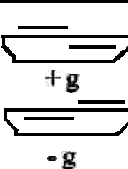
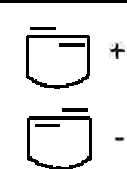
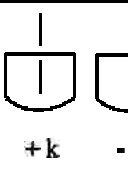
Osim tvrdih magnetskih materijala brodska konstrukcija sastavljena je i od mekoželjeznih materijala koji, u odnosu na magnetsko polje Zemlje, poprimaju položaje ovisno o kursu u kojem brod plovi. Svi mekoželjezni materijali mogu, u odnosu na ružu magnetskog kompasa zauzimati položaj prema pramcu ili prema krmi, na desnoj ili lijevoj strani odnosno ispod ili iznad kompasa, a mogu biti uzdužni, poprecni ili vertikalni (slika 50).



Slika 50.

Mekoželjezni elementi raspoređeni prema slici različito utječu na magnetsku iglu. S obzirom na

njihove utjecaje svi mekoželjezni elementi brodske konstrukcije mogu se rastaviti na parametre prikazane na slici 51.

	Položeni uzdužno	Položeni poprečno	Položeni vertikalno
Djeluju uzdužno	 +a -a	 +b -b	 +c -c
Djeluju poprečno	 +d -d	 +e -e	 +f -f
Djeluju vertikalno	 +g -g	 +h -h	 +k -k

Slika 51.

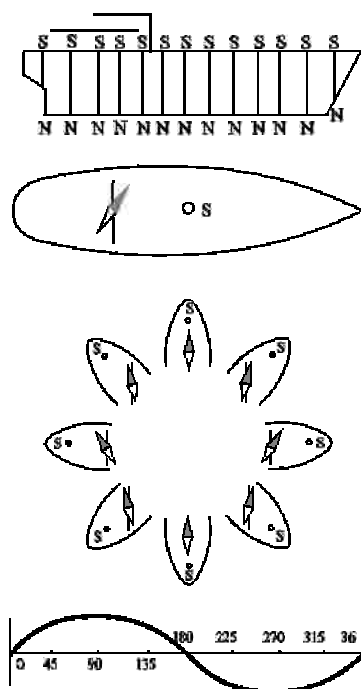
S obzirom na različite položaje prema magnetskoj igli svaki parametar izaziva različitu deklinaciju. U praksi, željezne mase broda najčešće su simetrično raspoređene tako da nesimetrični parametri b , d , f , g i h uglavnom na brodu ne postoje, a ako i postoje (uglavnom kao dijelovi brodske konstrukcije koji su položeni dijagonalno) njihov se resultantni utjecaj može rastaviti na komponente koje će izazivati posebnu vrst devijacije (koeficijent E). Ipak, na nosacima aviona mekoželjezni elementi tipa f nesimetrično su raspoređeni u odnosu na kompas, s obzirom da je zapovjednički most s kompasom na nosacima aviona smješten na boku broda. Na brodu uglavnom ne postoje ni elementi koji bi mogli pripadati parametrima $+a$, $+e$ i $-k$, tako da na magnetski kompas djeluju mekoželjezni elementi tipa $-a$ i $-e$ (elementi uzdužne i poprecne cvrstoce, rebra, pregrade, sponje itd), $+c$ ili $-c$ (jarboli), nesimetrično raspoređeni željezni dijelovi čiji se utjecaji mogu kao komponente rastaviti na tipove b i d (na primjer dijagonalno položene dizalice ili samarice), te vertikalni elementi tipa $+k$.

S obzirom da devijaciju izazivaju elementi čiji magnetizam zavisi o njihovom položaju prema magnetskim silnicama Zemlje i koji se, prema tome, mijenja u zavisnosti od kursa odnosno geomagnetske širine, i kompenzacijski elementi moraju imati svojsva. Zbog toga se utjecaji mekoželjeznih elemenata brodske konstrukcije kompenziraju mekoželjeznim kompenzacijskim elementima suprotnog predznaka (mekoželjezni magnetizam parametra $-c$ kompenzira mekoželjezni magnetizam parametra $+c$, mekoželjezni magnetizam parametra $-e$ kompenzira mekoželjezni parametar $+e$ i td).

Utjecaj parametra c na devijaciju i na smjernu silu

Mekoželjezni elementi parametra c su vertikalni mekoželjezni štapovi smješteni u uzdužnici broda, najčešće jarboli, ali i ostali elementi brodske konstrukcije, na primjer vertikalni željezni profili u skladištima, a koji pojačavaju cvrstocu brodske konstrukcije. Zbog njihovog uspravnog položaja, na određenoj geografskoj (odnosno geomagnetskoj) širini zadržat će uvijek jednak položaj u odnosu na silnice Zemaljskog magnetizma, bez obzira na kurs plovidbe. Zbog toga će se inducirani magnetizam mijenjati jedino promjenom geografske širine. S obzirom da na određenoj geografskoj širini ne mijenjaju magnetizam i da se nalaze u uzdužnici broda utjecaj ovih mekoželjeznih štapova bit će

identican utjecaju uzdužne komponente stalnog broskog magnetizma (slika 52).



Slika 52.

Vidi se da izazvana devijacija ima oblik sinusoide i da se mijenja identično devijaciji koju izaziva uzdužna komponenta stalnog broskog magnetizma (koeficijent B). Iz tog razloga devijacija nastala zbog utjecaja vertikalnih mekih željeza parametra c najveća je u kursovima 90° i 270° . Vrijednost devijacije u kursu 90° označuje se s B_2 , a devijacija pod utjecajem tih tipova željeza u bilo kojem kursu može se izračunati iz:

$$d = B_2 \sin K_k$$

Zajedničko djelovanje uzdužne komponente stalnog broskog magnetizma (koeficijent B_1) i mekoželjeznih štapova parametra c (koeficijent B_2) ne mogu se međusobno razlučiti sve do trenutka dok brod znatno ne promijeni geomagnetsku širinu. Njihov zajednički utjecaj na magnetski kompas može se izračunati iz:

$$d = (B_1 + B_2) \sin K_k$$

Kompensacija koeficijenta B_2 vrši se vertikalnim mekoželjeznim štapom suprotnog predznaka: ako devijaciju izazivaju mekoželjezni profili u uzdužnici i prema pramcu (u odnosu na smještaj magnetskog kompasa) taj će utjecaj neutralizirati mekoželjezni štap smješten u uzdužnici broda i prema krmi (u odnosu na magnetski kompas). Taj mekoželjezni štap smješta se u posebno ležište ispred (ili iza) magnetskog kompasa, a zove se *Flindersov štap*.

I utjecaj na smjernu silu identican je utjecaju uzdužne komponente stalnog broskog magnetizma: mijenja se po kosinusoidi, najveće pojačanje je u kursu 0° , najveće slabljenje je u kursu 180° , a utjecaja na smjernu silu nema u kursovima 90° i 270° .

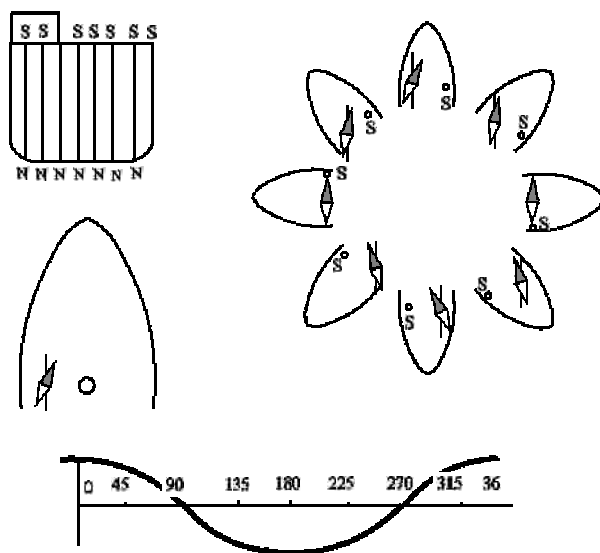
Promjenom geomagnetske širine položaj vertikalnih štapova u odnosu na silnice Zemaljskog magnetizma, a time i na veličinu induciranog magnetizma se mijenja. Na magnetskom ekvatoru vertikalna željeza bit će okomita na smjer silnica, tako da se u njima neće inducirati magnetizam, i sva devijacija u kursovima 90° i 270° odnosit će se na utjecaj uzdužne komponente stalnog broskog magnetizma. Prema tome samo na magnetskom ekvatoru mogu se u potpunosti razdvojiti utjecaji koeficijenata B_1 i B_2 : sva devijacija koja se na magnetskom ekvatoru pojavi u kursovima 90° i 270° kompenzira se uzdužnim stalnim magnetima, a sva devijacija koja se na nekoj geomagnetskoj širini

javi nakon toga kompenzira se Flindersovim štapom.

Promjenom geomagnetske hemisfere polaritet inducirano magnetizma se mijenja.

Utjecaj parametra f na devijaciju i na smjernu silu

Mekoželjezni elementi parametra f su vertikalni mekoželjezni štapovi smješteni u poprecnici broda, na primjer vertikalni željezni profili u skladištima, a koji pojačavaju cvrstocu brodske konstrukcije. Kao i željeza parametra c zbog njihovog uspravnog položaja na određenoj geomagnetskoj širini zadržat će uvijek jednak položaj u odnosu na silnice Zemaljskog magnetizma, bez obzira na kurs plovidbe. Zbog toga će se inducirani magnetizam i kod parametra mijenjati jedino promjenom geografske širine. S obzirom da se nalaze u poprecnici broda utjecaj ovih mekoželjeznih štapova bit će identican utjecaju poprecne komponente stalnog broorskog magnetizma (slika 53), uz napomenu da na trgovačkim brodovima ovaj utjecaj ne postoji budući da je kompas smješten u sredini broda, pa su mekoželjezni okomiti elementi simetrično raspoređeni, a utjecaji se međusobno kompenziraju. Zapravo meka željeza parametra f mogu se nalaziti jedino na nosacima aviona budući da na tim brodovima kompasi smješteni na boku a ne u središtu broda.



Slika 53.

Devijacija ima oblik kosinusoide i mijenja se identično devijaciji koju izaziva poprecna komponenta stalnog broorskog magnetizma (koeficijent C). Devijacija nastala zbog utjecaja vertikalnih mekih željeza parametra f najveća je u kursovima 0° i 180° . Vrijednost devijacije u kursu 0° označuje se s C_2 , a devijacija pod utjecajem tih tipova željeza u bilo kojem kursu može se izračunati iz:

$$d = C_2 \cos K_k$$

Zajedničko djelovanje poprecne komponente stalnog broorskog magnetizma (koeficijent C_1) i mekoželjeznih štapova parametra f (koeficijent C_2) također se ne mogu razlučiti sve do trenutka dok brod znatno ne promijeni geomagnetsku širinu. Njihov zajednički utjecaj na magnetski kompas može se izračunati iz:

$$d = (C_1 + C_2) \cos K_k$$

Kompenzacija koeficijenta C_2 vrši se još jednim Flindersovim štapom smještenim bocno od magnetskog kompasa i to na onu stranu na koju je smješten i kompas (ako je kompas na desnom boku onda desno od kompasa i obratno).

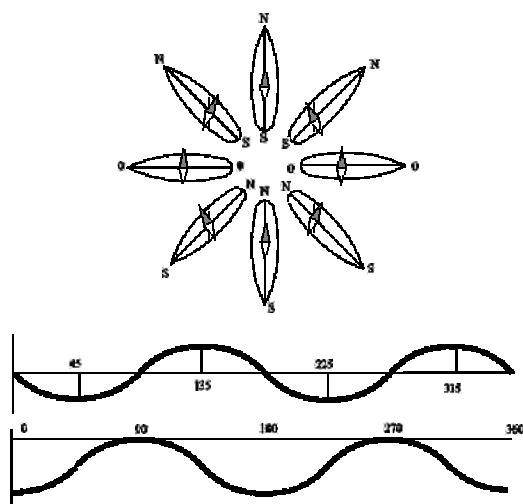
Utjecaj na smjernu silu također je identican utjecaju

komponente stalnog broorskog

magnetizma: ima oblik sinusoide i najviše pojačava smjernu silu u kursu 90° , a slabi u kursu 270° (na sjevernoj geomagnetskoj hemisferi).

Utjecaj parametra - a na devijaciju i na smjernu silu

Mekoželjezni elementi parametra $-a$ među najzastupljenijima su na brodu. Paralelno s uzdužnicom broda razmještena su meka željeza tipa a , d i g . Na simetrično izgrađenom brodu utjecaje parametra $+d$ kompenziraju željeza parametra $-d$, a mekoželjezne štapove parametra $+g$ kompenziraju željeza parametra $-g$. Međutim na svim brodovima zastupljeno je željezo koje je postavljeno uzdužno ispod kompasa (parametar $-a$), a ne postoje kompenzacijski utjecaji parametra $+a$ jer takvi na brodu ne postoje (uzdužni mekoželjezni štapovi koji se prekidaju na mjestu na kojem je montiran kompas). Utjecaj parametra $-a$ na devijaciju magnetskog kompasa i na smjernu silu prikazan je na slici 54.

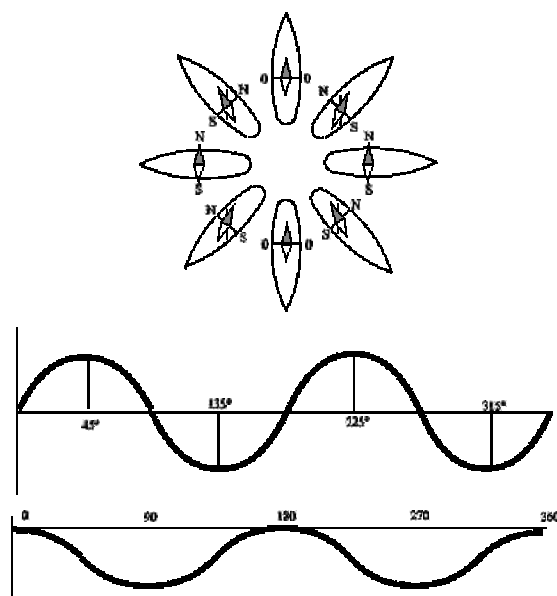


Slika 54.

Kad brod plovi u kursu 90° u uzdužnom mekoželjeznom štapu neće se inducirati magnetizam jer je okomit na silnice Zemaljskog magnetizma, tako da u 90° parametar $-a$ neće izazivati devijaciju i neće imati utjecaja na smjernu silu. Najveća indukcija bit će u kursovima 0° i 180° , a u tom slučaju ispred kompasa će se inducirati sjeverni magnetizam (jer na sjeverni kraj djeluje južni magnetizam sjevernog magnetskog pola). Devijacija se neće pojaviti iz razloga što se inducirani polovi i magnetska igla nalaze u smjeru djelovanja magnetske silnice Zemaljskog magnetizma, ali će zbog toga smjerna sila biti maksimalno oslabljena. U interkardinalnim kursovima pojaviti će se devijacija koja će u kursovima 45° i 225° imati najveću negativnu vrijednost, a u kursovima 135° i 315° najveću pozitivnu vrijednost. Smjerna sila bit će oslabljena u svim kursovima a najveće slabljenje bit će u kursovima 0° i 180° .

Utjecaj parametra - e na devijaciju i na smjernu silu

U poprecnici broda razmještena su meka željeza tipa d , e i f . Na simetrično izgrađenom brodu utjecaje parametra $+d$ kompenziraju željeza parametra $-d$, a mekoželjezne štapove parametra $+f$ kompenziraju željeza parametra $-f$, osim na brodovima na kojima je kompas asimetrično smješten (nosaci aviona) kad ti tipovi mekog željeza izazivaju devijaciju koja je najveća u kursovima 0° i 180° (koeficijent C_2). Međutim na svim brodovima zastupljeno je željezo koje je postavljeno poprečno ispod kompasa (parametar $-e$), a ne postoje kompenzacijski utjecaji parametra $+e$ jer na brodu ne postoje (poprečni mekoželjezni štapovi koji se prekidaju na mjestu na kojem je montiran kompas). Utjecaj parametra $-e$ na devijaciju magnetskog kompasa i na smjernu silu prikazan je na slici 55.

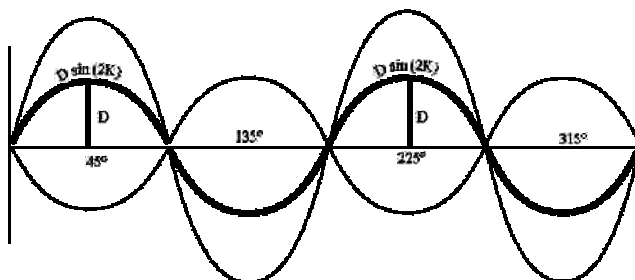


Slika 55.

Kad brod plovi u kursu 0° u poprecnom mekoželjeznom štapu neće se inducirati magnetizam jer je okomit na silnice Zemaljskog magnetizma, tako da u kursu 0° parametar $-e$ neće izazivati devijaciju i neće imati utjecaja na smjernu silu. Najveća indukcija bit će u kursovima 90° i 270° , a u tom slučaju ispred sjevernog pola kompasne igle inducirat će se sjeverni magnetizam (jer na sjeverni kraj djeluje južni magnetizam sjevernog magnetskog pola). Devijacija se neće pojaviti iz razloga što se inducirani polovi i magnetska igla nalaze u smjeru djelovanja magnetske silnice Zemaljskog magnetizma, ali će zbog toga smjerna sila biti maksimalno oslabljena. U interkardinalnim kursovima pojavit će se devijacija koja će u kursovima 45° i 225° imati najveću pozitivnu vrijednost, a u kursovima 135° i 315° najveću negativnu vrijednost. Smjerna sila bit će oslabljena u svim kursovima a najveće slabljenje bit će u kursovima 90° i 270° .

Zajednicki utjecaji parametara $-a$ i $-e$

Kao što se iz slika 54 i 55 može vidjeti mekoželjezni štapovi parametara $-a$ i $-e$ izazivaju pravilnu kvadrantalnu devijaciju koja je najveća u interkardinalnim kursovima, a predznaci su im suprotni. Prema tome inducirani magnetizam parametra $-a$ kompenzira dio inducirano magnetizma parametra $-e$ i obratno. Kad bi inducirani magnetizam imao jednak učinak magnetsku iglu zajednicki utjecaji međusobno bi se potpuno neutralizirali. Ali s obzirom na činjenicu da je utjecaj parametra $-e$ veći zbog veće blizine induciranih polova, zajednicki utjecaj uzrokovat će devijaciju koja će imati srednju vrijednost oba utjecaja (slika 56).



Slika 56.

Devijacija nastala zajednickim utjecajima parametara $-a$ i $-e$ mijenja se kvadrantalno, nema je u

kardinalnim, a najveća je u interkardinalnim kursovima. Ako najveći pozitivni iznos devijacije (u kursovima 45° i 225°) označimo kao koeficijent D onda se devijacija u bilo kojem kursu može izračunati iz:

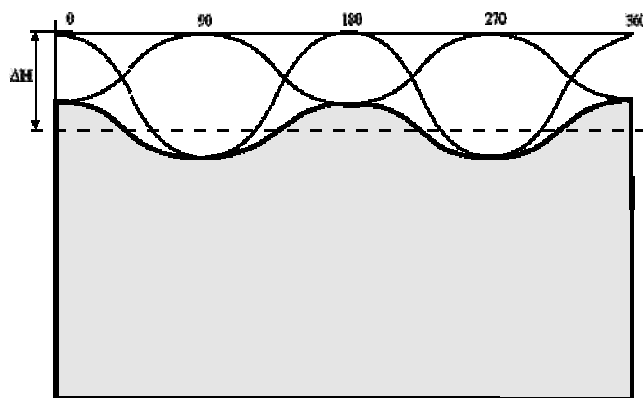
$$d = D \sin (2K_k)$$

Kad jace na devijaciju utjece parametar $-e$ koeficijent D je pozitivan, što je najčešći slučaj na brodovima. Ako na devijaciju jace utjece parametar $-a$ koeficijent D ima negativni predznak.

Princip kompenzacije razvidan je iz prethodnih razmatranja: ako prevladava utjecaj parametra $-e$ kompenzacija se vrši koeficijentom $+e$, to jest mekoželjeznim štapovima u poprecnici broda koji se prekidaju na mjestu kompasa. U praksi se umjesto mekoželjeznih štapova koriste mekoželjezne kugle postavljene sa strane kompasa. S obzirom da kompenziraju utjecaje koeficijenta D te se kugle zovu D korektori.

Ako prevladava utjecaj parametra $-a$ on će se kompenzirati željezima parametra $+a$, tako da će u tom slučaju kugle (D korektori) biti smještene u uzdužnici broda.

Smjerna sila pod zajedničkim utjecajem parametara $-a$ i $-e$ mijenja se shodno grafikonu na slici 57.



Slika 57.

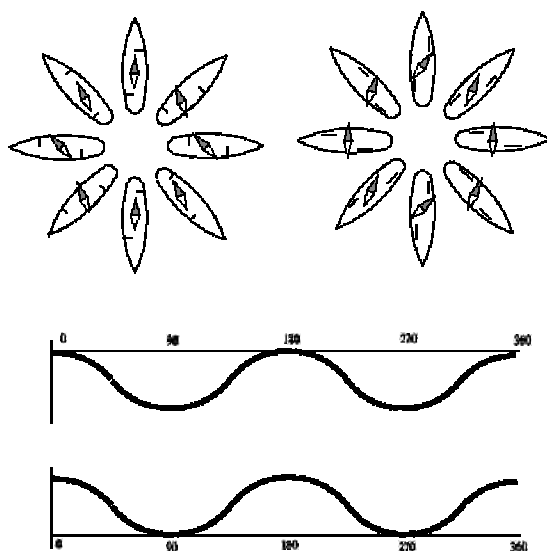
Smjerna sila pod utjecajem parametara mekog željeza tipa $-a$ i $-e$ smanjena je u svim kursovima i to za srednju vrijednost ΔH oko koje se mijenja također kvadrantalno i to s funkcijom $\cos (2K)$ ako prevladava magnetizam parametra $-e$, a ako su utjecaji oba parametara izjednačeni smjerna sila u svim će kursovima biti umanjena za konstantnu vrijednost koja odgovara vrijednosti ΔH na slici.

Utjecaj parametara b i d na devijaciju i smjernu silu

Tipovi mekih željeza koji odgovaraju parametrima b i d na brodu sa simetričnim rasporedom elemenata opreme i cvrstoce uglavnom ne postoje, odnosno simetričnim rasporedom takvih željeza utjecaji se međusobno kompenziraju. Ipak, na nekim vrstama brodova može se naći nesimetričan raspored dijelova opreme, na primjer brodovima za prijevoz generalnih ili teških tereta dizalice mogu biti postavljene dijagonalno. U tom se slučaju oni mogu prikazati kao prekinuti ili neprekinuti horizontalni štapovi mekog željeza koji presijecaju palubu s jednog boka na drugi pod kutom od 45°, a njihovi utjecaji mogu se razmatrati rezultatima koje imaju karakteristike parametara b i d . Utjecaj tih parametara razvidan je sa slike 58.

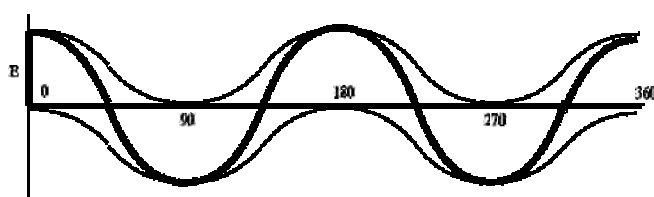
Kao što se na slici može vidjeti pod utjecajem mekoželjeznih parametara tipa $+b$ devijacija će u svim kursovima biti negativna, najveću vrijednost postići će u kursovima 90° i 270° a neće je biti jedino u kursovima 0° i 180° jer su mekoželjezni štapovi parametra $+b$ u tom slučaju okomiti na magnetske silnice. Naprotiv, pod utjecajem mekoželjeznih parametara tipa $+d$ devijacija će u svakom kursu biti pozitivna, najveću vrijednost postići će u kursovima 0° i 180°, a neće je biti u kursovima 90° i 270°.

Ako su mekoželjezni štapovi raspoređeni u obliku parametara $-b$ i $-d$ predznaci će biti obrnuti: parametar $-b$ izazivat će pozitivnu devijaciju a parametar $-d$ negativnu.



Slika 58.

Zajednicki utjecaj parametara $+b$ i $+d$ može se dobiti superponiranjem grafikona njihovih utjecaja na iglu magnetskog kompasa (slika 59).



Slika 59.

Devijacija pod utjecajem nepravilno raspoređenih mekoželjeznih parametara $+b$ i $+d$ mijenja se kvadrantalno s funkcijom kosinusa dvostruke vrijednosti kursa. Najveću pozitivnu vrijednost postiže u kursovima 0° i 180° , a najveću negativnu u kursovima 90° i 270° . Nema je u interkardinalnim kursovima. Ako se vrijednost devijacije u kursovima 0° ili 180° oznaci kao koeficijent E vrijednost devijacije u bilo kojem kursu može se izračunati iz izraza:

$$d = E \cos (2K_k)$$

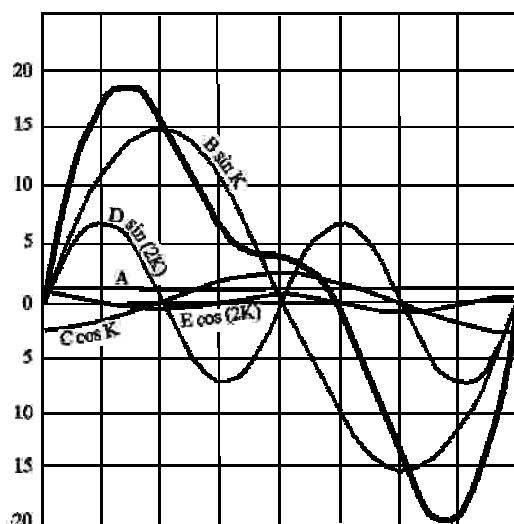
Ako zajednicku devijaciju izazivaju parametri $+b$ i $+d$ koeficijent E bit će pozitivan. Ako zajednicku devijaciju izazivaju parametri $-b$ i $-d$ koeficijent E imat će negativnu vrijednost. Ako devijaciju izazivaju mekoželjezni štapovi parametara $+b$ i $-d$, odnosno $-b$ i $+d$ kao reezultanta zajednickog djelovanja dobit će se ravna crta koja predstavlja određenu stalnu vrijednost devijacije. Zato se takva devijacija naziva *konstantna devijacija*, a označava se kao koeficijent A . Ako devijaciju izazivaju parametri $+b$ i $-d$ koeficijent A je negativan, a ako devijaciju izazivaju parametri $-b$ i $+d$ koeficijent A bit će pozitivan.

Zajednicki utjecaj stalnog i prolaznog brodskog magnetizma

Zajednicki utjecaj svih parametara stalnog i prolaznog brodskog magnetizma je zbroj svih devijacija (slika 60). Sveukupno na devijaciju djeluju:

- konstantna devijacija parametara $+b$ i $-d$ ili $-b$ i $+d$ i njima pribrojeni svi nemagnetski utjecaji

- (kriva montaža kompasa, pogrešno pokazivanje pramcanice, pogrešno montirana ruža itd),
- devijacija zbog utjecaja stalnog brodskog magnetizma (koeficijenti B i C),
- pravilna kvadrantalna devijacija (koeficijent D),
- nepravilna kvadrantalna devijacija (koeficijent E).



Slika 60.

Zajednicki utjecaj može se izracunati matematickim zbrojem svih devijacija:

$$d = A + (B_1 + B_2) \sin K_k + (C_1 + C_2) \cos K_k + D \sin (2K_k) + E \cos (2K_k)$$

Devijacija pod zajednickim utjecajem svih parametara stalnog i prolaznog brodskog magnetizma na slici je prikazana rezultantom.

6. Kompenzacija magnetskog kompasa

Pripreme

Kompenzacija je postupak kojim se neutralizira štetni utjecaj brodskog magnetizma na magnetski kompas. Postupkom kompenzacije neutraliziraju se inducirani polovi brodskog magnetizma, pojačava se smjerna sila i smanjuje ili poništava devijacija. Nekompenzirani magnetski kompas praktično je neupotrebljiv, ne samo zbog izazvanih devijacija koje mogu biti vrlo velike, već i zbog činjenice da se značajno mijenjaju svojstva magnetskog kompasa: zbog utjecaja vertikalne komponente magnetska igla postaje nemirna kod valjanja; zbog slabljenja smjerne sile osjetljivost je vrlo smanjena i magnetska igla postaje troma; promjene kursa vrlo su nejednakomjerne itd.

Prije početka kompenzacije nužno je poduzeti određene koje će postupak kompenzacije olakšati, a samu kompenzaciju prilagoditi uvjetima plovidbe kad se magnetski kompas zapravo i koristi.. Posebno je potrebno povesti računa o slijedecim postupcima:

- ako je brod bio dugo vezan u jednom kursu potrebno ga postaviti na sidrište ili plutacu i pustiti ga neka se određeno vrijeme slobodno okreće čime će se demagnetizirati jedan dio inducirano magnetizma,
- sve pomicne dijelove (samarice, dizalice) postaviti u položaj kakav će biti u plovidbi,
- motor mora biti zagrijan i u stanju u kakvom će biti tijekom plovidbe,
- brod mora plivati na ravnoj kobilici,
- iz okoline kompasa odstraniti sve feromagnetske dijelove.

Kompenzacija se vrši stalnim magnetima (uzdužna, poprečna i vertikalna komponenta stalnog

brodskog magnetizma) te mekoželjeznim kuglama (D korektori) i mekoželjeznim vertikalnim štapom (Flindersov štap). Kod kompenzacije potrebno je postaviti stalne horizontalne magnete tako da ne magnetiziraju D korektore, a nagibni korektor tako da ne magnetizira Flindersov štap. Najbolje je upotrijebiti jake magnete koje se stavljaju što niže u odnosu na ružu magnetskog kompasa.

Kompenzacija se vrši logicnim redoslijedom, od najvećih utjecaja prema najmanjim. Pritom posebnu poteškocu predstavlja kompenzacija onih utjecaja koji se međusobno ne mogu razlučiti: koeficijenta B_1 i B_2 (koeficijente C_1 i C_2 nije potrebno razdvajati jer se koeficijent C_2 javlja jedino kod kompasa koji nisu montirani u uzdužnici, što je slučaj samo kod nosaca aviona). Ako je kompas već bio kompenziran flindersov štap (kojim se kompenzira utjecaj B_2) postavi se na mjesto na kojem se nalazio i ranije. Ako brod nije ranije kompenziran položaj Flindersovog štapa odredi se iz položaja na brodu blizancu (ako postoji) brodu slične konstrukcije. Ako ni to nije moguće Flindersovim štapom kompenzira se 5° devijacije u kursu 90° .

Redoslijed kompenzacije je sljedeći:

1. Flindersov štap (po spomenutim principima) postaviti u položaj koji će predstavljati suprotan polaritet (ako devijaciju izazivaju meka željeza parametra $+c$ štap postaviti u položaj $-c$ i obratno),
2. D korektori se postave u približni položaj, prema položaju na brodu blizancu ili brodu sa sličnim rasporedom, a ako takav ne postoji u središnji položaj,
3. kompenzira se nagibna pogreška,
4. kompenzira se utjecaj koeficijenta B_1 ,
5. kompenzira se utjecaj koeficijenta C ,
6. kompenzira se utjecaj koeficijenta D točno.

Kompenzacija nagibne pogreške vrši se pomoću posebne sprave (Kelvinova vaga). Ostale utjecaje moguće je kompenzirati na dva načina: metodom poznatih koeficijenata i metodom nepoznatih koeficijenata.

Približne vrijednosti koeficijenata

Za izračun približnih vrijednosti pojedinih koeficijenata potrebno je izračunati devijacije u svim kardinalnim i interkardinalnim kursovima (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). Iz tih vrijednosti moguće je izračunati koeficijente.

Koeficijent A:

$$A = \frac{1}{8} (d_N + d_{NE} + d_E + d_{SE} + d_S + d_{SW} + d_W + d_{NW})$$

Koeficijent B:

$$B = \frac{(\pm d_E) - (\pm d_W)}{2}$$

Kao što je prethodno rečeno koeficijent B sastavljen je od B_1 i B_2 , a oni se mogu međusobno približno odvojiti tako da se Flindersovim štapom kompenzira se oko 5° ukupne vrijednosti koeficijenta B (u kursu E ili W). Točno se njihove vrijednosti mogu kompenzirati jedino prijelazom magnetskog ekvatora, i to na način da se kompenzira citava vrijednost koeficijenta B stalnim uzdužnim magnetima (jer nema utjecaja mekoželjeznih vertikalnih dijelova), a promjenom geomagnetske širine sva nastala devijacija u kursu E ili W kompenzira se Flindersovim štapom.

Koeficijent C:

$$C = \frac{(\pm d_N) - (\pm d_S)}{2}$$

Koeficijent D:

$$D = \frac{(\pm d_{NE}) + (\pm d_{SW}) - (\pm d_{SE}) + (\pm d_{NW})}{4}$$

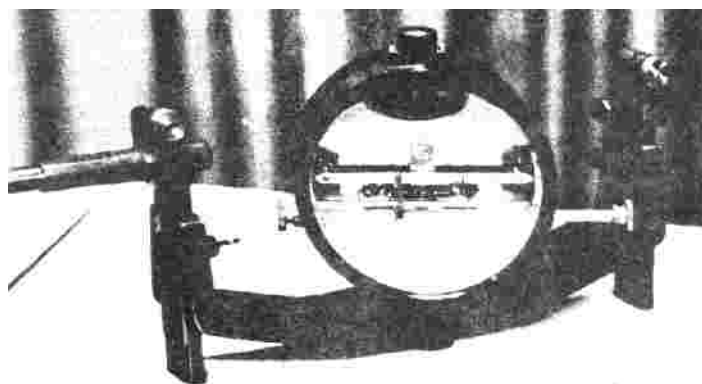
Koeficijent E:

$$E = \frac{(\pm d_N) + (\pm d_S) - (\pm d_E) + (\pm d_W)}{4}$$

Koeficijent E na normalno građenim brodovima (bez nesimetričnih dijelova mekoželjeznih štapova tipa b i d) je malen pa se kod kompenzacije najčešće zanemaruje.

Kompenzacija nagibne pogreške

Kad se broj nagne na kompas djeluje vertikalna komponenta stalnog brodskog magnetizma, a osim vertikalne komponente stalnog brodskog magnetizma devijaciju izazivaju i meka željeza parametra -e koji kod nagnuća djeluju vertikalno jednom komponentom. Devijacija nastala nagibom broda zove se *nagibna pogreška* i vrlo je neugodna jer izaziva oscilacije magnetske igle. Pritom kod kompenzacije utjecaj parametara -e kompenziraju D korektori, tako da se mora kompenzirati samo onaj dio utjecaja koji pripada vertikalnoj komponenti brodskog magnetizma. Taj se utjecaj kompenzira stalnim magnetom koji se zove *nagibni korektor*, a uz pomoć *Kelvinove vage* (slika 61).



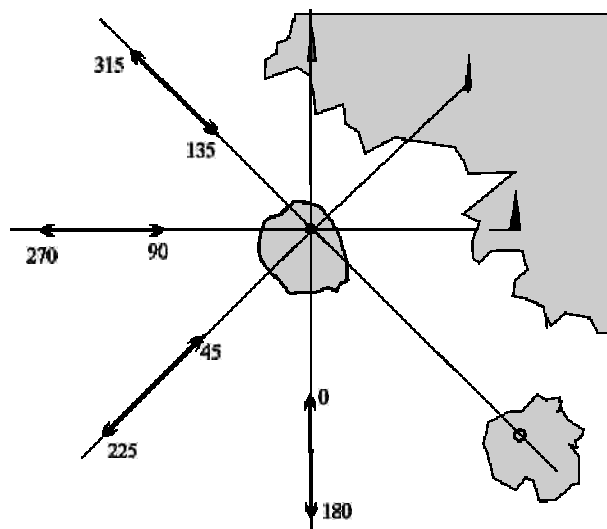
Slika 61.

Kelvinova vaga stabilizira se na kopnu. Bez utjecaja brodskog magnetizma Kelvinova vaga postavi se u smjeru magnetskih silnica, tako da se njezina inklinacijska igla postavi koso u odnosu prema ravnini horizonta. Posebnim utezima dovede se u horizontalni položaj i tako stabilizirana donese se na brod te postavi na mjesto kompasa. Kad ne bi bilo utjecaja vertikalne komponente inklinacijska igla ostala bi vodoravna, a pod utjecajem vertikalne komponente stalnog brodskog magnetizma ona se ponovo postavi koso u odnosu na horizont. U vodoravan položaj dovede se vertikalnim stalnim magnetom koji se zove *nagibni korektor*, i na takav način kompenzira se utjecaj vertikalne komponente stalnog brodskog magnetizma.

Zbog jasanja horizontalne komponente zemaljskog magnetizma ako se plovi prema magnetskom ekvatoru utjecaj vertikalne komponente postaje sve manji, pa bi nagibni korektor trebalo spuštati. U praksi se to ne radi.

Kompenzacija metodom nepoznatih koeficijenata

Kompenzacija nepoznatim koeficijentima vrši se na posebnim poligonima na kojima su označeni magnetski kardinalni i interkardinalni pokriveni smjerovi: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW s točnošću do najviše $\pm 5^\circ$. Kompenzacija magnetskog kompasa vrši se bez poznavanja vrijednosti pojedinih koeficijenata (slika 62).



Slika 62.

Koeficijent B_1 kompenzira se nakon što je Flindersovim štapom kompenzirano 5° devijacije, i to na način da se plovi se u pokrivenom smjeru E i uzdužnim stalnim magnetima kompenzira se uzdužna komponenta stalnog brodskog magnetizma. Tom kompenzacijom osim uzdužne komponente stalnog brodskog magnetizma kompenzirat će se i dio utjecaja stalne komponente A i dio utjecaja mekoželjeznih masa koeficijenta E. Zbog toga se nakon kompenzacije u kursu 90° okreće u kurs 270° te istim ili drugim uzdužnim magnetom kompenzira samo polovina devijacije.

Koeficijent C kompenzira se na način da se plovi se u smjeru N i poprecnim stalnim magnetima kompenzira se poprečna komponenta stalnog brodskog magnetizma. Tom kompenzacijom osim poprecne komponente stalnog brodskog magnetizma kompenzirat će se i dio utjecaja stalne komponente A te dio utjecaja mekoželjeznih masa koeficijenta E. Zbog toga se nakon kompenzacije u kursu N okreće u kurs S te istim ili drugim poprecnim magnetom kompenzira samo polovina devijacije.

Koeficijent D kompenzira se na kraju. Plovi se u pokrivenom smjeru NE i kompenzira kvadrantalna devijacija pomakom D korektora. Zatim se plovi u pokrivenom smjeru SE te, zbog činjenice da je kompenziran i dio koeficijenata A i E, kompenzira se polovica preostale devijacije također pomakom D korektora.

Koeficijenti A i E u praksi su toliko mali da se njihovi utjecaji ne kompenziraju. Ipak, ako postoji znatniji iznos stalne devijacije (koeficijent A) on se može kompenzirati zakretom stalka kompasa.

Kompenzacija metodom poznatih koeficijenata

Kod kompenzacije metodom poznatih koeficijenata prethodno se moraju odrediti devijacije u kardinalnim i interkardinalnim kursovima te izračunati vrijednosti pojedinih koeficijenata. D korektori postavljaju se na vrijednosti koje daju posebne tablice u koje se ulazi s vrijednostima koeficijenata D i E te geografskom dužinom. Zatim se plovi u kursu blizu 90° te uzdužnim magnetima neutralizira vrijednost poznatog koeficijenta B. Pri tome prethodno je potrebno kompenzirati 5° devijacije Flindersovim štapom. Ploveci u kursu blizu 0° ponovi se postupak kompenzacije koeficijenta C poprecnim stalnim magnetima. Utjecaji mekoželjeznih štapova parametara -a i -e (koeficijent D) konačno se kompenzira ploveci u kursu bliskom 45° , i to pomicanjem D korektora.

Nakon kompenzacije obavezno je izvršiti kontrolu preostale devijacije te sastaviti dijagram i tablicu devijacije. Dijagram i tablica devijacije moraju se nalaziti na mostu.