

Tehnika rukovanja brodom s dinamičkim pozicioniranjem

Jelavić, Branimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:330920>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-02**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for
permanent storage and preservation of digital
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

BRANIMIR JELAVIĆ

**TEHNIKA RUKOVANJA BRODOVIMA S
DINAMIČKIM POZICIONIRANJEM**

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA

TEHNIKA RUKOVANJA BRODOVIMA S
DINAMIČKIM POZICIONIRANJEM

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:

Kap. Marijan Zujić, mag. ing.

STUDENT:

Branimir Jelavić

(MB:0171268269)

SPLIT, 2019.

SAŽETAK

Dinamičko pozicioniranje je sustav pomoću kojeg plovni objekt održava željeni kurs i poziciju isključivo uz uporabu svojih vlastitih potisnika i vijaka. Sam sustav je prilično kompleksan te osim raznih osjetnika obuhvaća i računalni program koji obrađuje dobivene podatke, te potisnike i kormila koji su izvršni organ cijele operacije. Dinamičko pozicioniranje se koristi najviše na odobalnim naftnim platformama, ali i na brodovima koji prate podvodne ronilice, na istraživačkim plovilima, brodovima za kružna putovanja, te brodovima koji polažu kabele. Tehnika rukovanja dinamičkim pozicioniranjem se razlikuje od jednog do drugog plovila i ovisi o njegovim radnim operacijama kao i o obilježjima samog plovila. Cilj ovog rada je predstaviti različite tehnike upravljanja kao i same elemente sustava dinamičkog pozicioniranja. Ovaj sustav se konstantno unaprjeđuje i biva sve učinkovitiji.

Ključne riječi: *dinamičko pozicioniranje, upravljačka konzola, osjetnici, potisnici*

ABSTRACT

Dynamic positioning is a system which allows a vessel to maintain the desired heading and position solely by using its own thrusters and propellers. The system itself is quite complex, and besides various sensors it also includes a computer program that processes the data obtained as well as thrusters and rudders which serve as executive organs of the entire operation. Dynamic positioning is most commonly used on offshore oil platforms, but also on ships that track underwater vehicles, research vessels, cruisers, and cable-laying ships. The technique of dynamic positioning differs from one vessel to another, depending on its operations and its very features. The aim of this paper is to present different management techniques as well as the elements of the dynamic positioning system. This system is constantly improving and becoming more efficient.

Keywords: *dynamic positioning, control console, sensors, thrusters*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SUSTAV DINAMIČKOG POZICIONIRANJA	2
2.1. POJAM I ZNAČAJKE DINAMIČKOG POZICIONIRANJA	2
2.2. PREDNOSTI I NEDOSTACI DP SUSTAVA	4
2.2.1. Prednosti DP sustava	4
2.2.2. Nedostaci sustava za dinamičko pozicioniranje	5
3. ELEMENTI SUSTAVA DINAMIČKOG POZICIONIRANJA	6
3.1. FUNKCIJE DP SUSTAVA	6
3.1.1. Izvršni sustav	6
3.1.2. Mjerni sustav	6
3.1.3. Upravljačko-informacijski sustav	7
3.1.4. Energetski sustav	8
3.2. ELEMENTI DP SUSTAVA	8
3.2.1. Kontrolni elementi	10
3.2.2. Reference okoliša	11
3.2.3. Oprema za određivanje pozicije	12
3.2.4. Reference kursa.....	19
3.2.5. Podsustav propulzije i potisnika.....	19
3.2.6. Energetski podsustav	22
3.2.7. Operater DP sustava.....	23
4. TEHNIKA RUKOVANJA DP BRODOVIMA	24
4.1. PRINCIP RADA DINAMIČKOG POZICIONIRANJA	24
4.2. SUSTAV UPOZORENJA	25
4.3. OPERATIVNI MODELI	26
4.3.1. Ručno upravljanje pomoću upravljačke palice (JSMH).....	27
4.3.2. Automatsko upravljanje pomoću upravljačke palice (JSAH).....	27
4.3.3. Automatsko dinamičko pozicioniranje	28
4.3.4. Pozicioniranje uz minimum snage.....	29
4.3.5. Praćenje putanje	30
4.3.6. Praćenje daljinski upravljanih ronilica (ROV).....	30
4.3.7. Autopilot	31

4.3.8. Automatsko kretanje plovila.....	32
4.3.9. Upravljački model.....	33
4.4. PRIMJENA DP	33
5. ZAKLJUČAK	35
LITERATURA	36
POPIS SLIKA.....	38
POPIS KRATICA	39

1. UVOD

Dinamičko pozicioniranje se počelo razvijati 60-ih godina 20. st. zbog sve većih potreba za naftom te pronalaska brojnih njenih povodnih izvora. Dotadašnji načini održavanja pozicije plovila su postali neučinkoviti jer je bušenje trebalo obavljati na većim dubinama. Ubrzani razvoj tehnologije i razvoj računalnih programa koji su sposobni vršiti izračune na osnovu zadanih parametara bili su odlučujući čimbenici za razvoj sustava dinamičkog pozicioniranja. Ova tehnika upravljanja plovilima nije se zadržala samo na navedenoj primjeni već se koristi i u druge svrhe o čemu će također biti govora u ovom radu.

Predmet istraživanja se referira na konstantno unaprjeđivanje i sve širu uporabu sustava dinamičkog pozicioniranja. Cilj ovog završnog rada je predstaviti različite tehnike upravljanja dinamičkim pozicioniranjem kao i same elemente sustava dinamičkog pozicioniranja.

Ovaj rad se sastoji od pet poglavlja.

Prvo i uvodno poglavlje definira predmet i cilj rada, navodi metode koje se koriste u ovom radu kao i strukturu rada.

Drugo poglavlje definira sustav dinamičkog pozicioniranja, daje njegove osnovne značajke, te predstavlja prednosti i nedostatke korištenja takvog sustava.

U trećem su poglavlju predstavljeni elementi sustava dinamičkog pozicioniranja: kontrolni elementi, reference okoliša, oprema za određivanje pozicije, reference kursa, podsustav propulzije i potisnika, energetski podsustav, te operater DP sustava. Uz navedene elemente predstavljeni su i podsustavi DP sustava klasificirani prema funkciji, a čiji su elementi sastavni dijelovi.

Četvrto poglavlje govori o tehnikama rukovanja brodovima koji koriste dinamično pozicioniranje. Riječ je o brojnim operativnim modelima, tj. načinima, ovisno o konkretnim potrebama plovila koje ga koristi. Istaknut je i sustav upozorenja s tri razine ozbiljnosti problema.

Posljednje, peto poglavlje je zaključak u kojem je izneseno zaključno mišljenje o predmetu ovog rada.

2. SUSTAV DINAMIČKOG POZICIONIRANJA

2.1. POJAM I ZNAČAJKE DINAMIČKOG POZICIONIRANJA

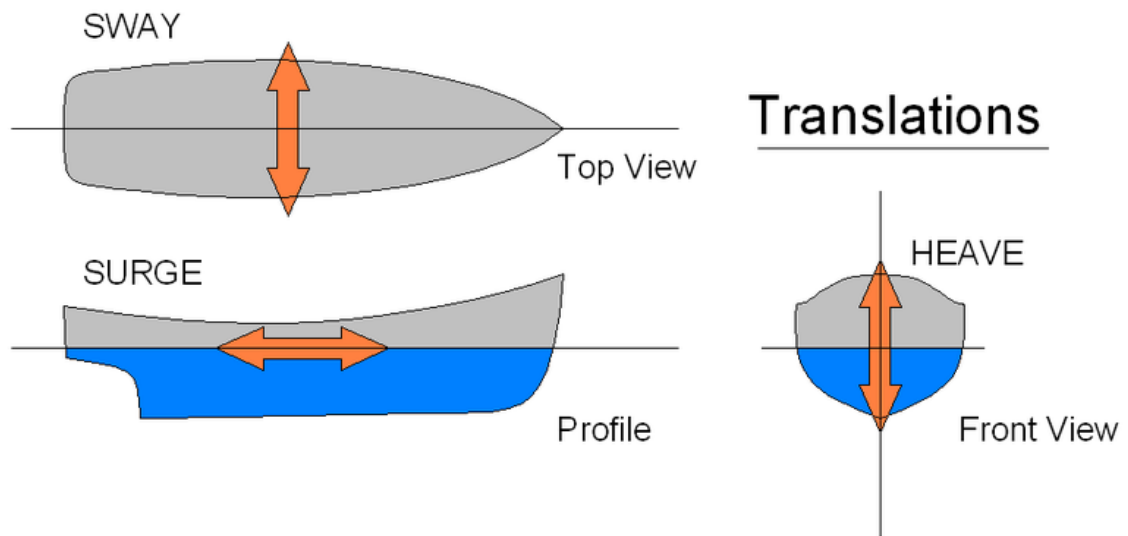
Potreba za dinamičkim pozicioniranjem se javila zbog sve veće potrebe za crpljenjem nafte iz morskih dubina. Do korištenja dinamičkog pozicioniranja, brodovi su običavali održavati poziciju pomoću četiri ili više sidara. Tu je riječ o statičkom pozicioniranju gdje se protusila (koja se suprotstavlja djelovanju vanjskih ili unutarnjih sila na željenu poziciju broda) dobiva od sidara.

Pod pojmom dinamičkog pozicioniranja se podrazumijeva proces održavanja plovila na zadatoj poziciji uz definiranu orijentaciju u prostoru (kurs, kutovi nagiba, uron, itd.), pri čemu se svaka tendencija za promjenom zadanih veličina, uslijed djelovanja vanjskih ili unutarnjih poremećaja, poništava djelovanjem aktivnih sila i momenata intervencijom izvršnih organa [4].

Na tijelo koje slobodno pluta djeluje više sila koje ne dozvoljavaju da ono miruje. Neke od ovih sila su prirodne sile, poput vjetera, morske struje i valova, dok se neke sile javljaju zbog same funkcije broda. Na gibanje broda, dakle, utječu i njegovi kablovi, užad za tegalj, sidra i sl.

Kaže se da plutajuća tijela imaju šest stupnjeva slobode kretanja. Od ovih su tri stupnja linearna, odnosno translatorna (slika 1):

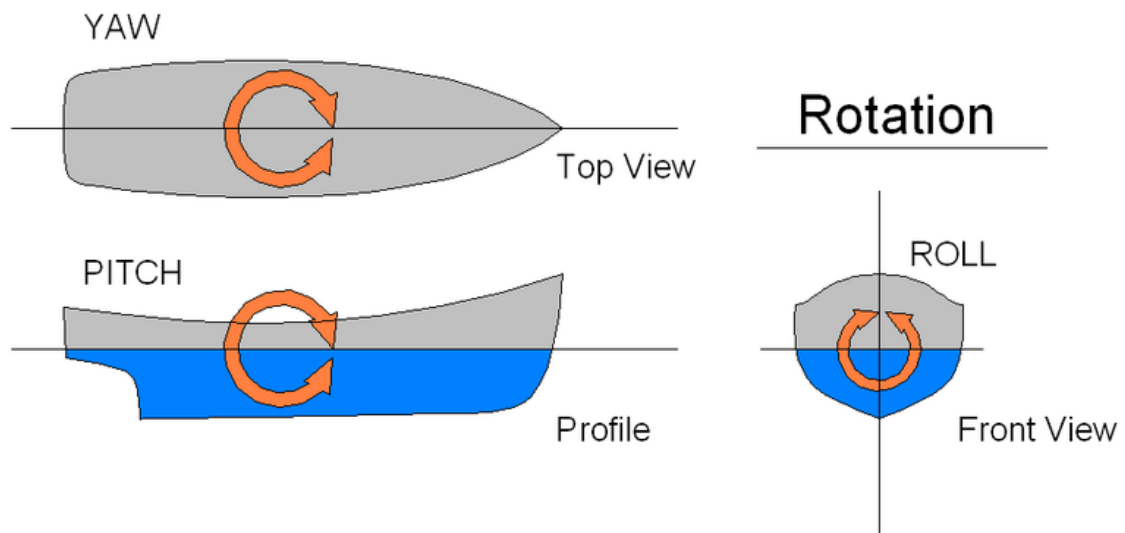
- zanošenje (engl. *sway*),
- poniranje (engl. *heave*) i
- zastajanje/napredovanje (engl. *surge*).



Slika 1. Tri linearna stupnja slobode kretanja broda [19]

Ostala tri stupnja spadaju u rotacijska gibanja (slika 2):

- posrtanje (engl. *pitch*),
- zaošijavanje (engl. *yaw*) i
- ljuljanje (engl. *roll*).



Slika 2. Tri rotacijska stupnja slobode broda [18]

Automatski sustav za dinamičko pozicioniranje ima utjecaj na tri gibanja od ovih navedenih: zanošenje, zastajanje/napredovanje i zaošijavanje. Detalji o postupcima bit će navedeni dalje u radu.

Dinamičko je pozicioniranje, prema definiciji, bitno različito od držanja pozicije plovila vezivanjem za dno sidrenjem po bilo kojem od poznatih sustava. Različito je i od problema plovidbe klasičnog broda, kada je u najboljem slučaju postavljen zahtjev za održavanjem određenih navigacijskih parametara plovidbe i orijentacije u prostoru (brzina plovljenja, kurs, bočni, uzdužni nagib, itd.). Nije rijedak slučaj da se dinamičko pozicioniranje, shvaćeno kao inverzija plovidbe, definira kao problem mirovanja plovila, što je samo dijelom zadaća ovog procesa. U proces dinamičkog pozicioniranja je uvijek uključen i zahtjev da se pozicija i položaj plovila u prostoru kontinuirano kontrolirano mijenjaju, uslijed čega se ne može govoriti o mirovanju plovila nego o njegovu upravljanoj pomjeranju sukladno zahtjevima procesa [5].

Iz ovoga je razvidno da dinamičko pozicioniranje nije isključivo upravljeno održavanju plovila u stanju mirovanja već da je prije riječ o kontroliranom održavanju pozicije plovila u kretanju ili mirovanju.

Sustav dinamičkog pozicioniranja je u svom razvoju prešao dug put do modela sustava koji se trenutno koristi.

2.2. PREDNOSTI I NEDOSTACI DP SUSTAVA

2.2.1. Prednosti DP sustava

Prednosti korištenja sustava za dinamičko pozicioniranje su veće od nedostataka. Veksler [9] ističe prednosti pozicioniranja broda s potisnicima nad sidrenjem:

- a) Trenutačno postizanje pozicije, odnosno njeno ponovno ustanovljavanje. Promjena zadane vrijednosti pozicije obično provodi operater sa svog radnog mjesta, dok bi značajnija promjena položaja za usidreno plovilo zahtijevala repozicioniranje sidara.
- b) Sidra su operativna samo na dubinama do 500 m. Takva ograničenja nisu prisutna kod dinamičkog pozicioniranja.
- c) Nema opasnosti od oštećenja morskog dna što omogućuje siguran i fleksibilan rad na radnim lokacijama na otvorenom moru.
- d) Precizna kontrola položaja i smjera.

Đurđević-Tomaš [1] navodi sljedeće prednosti dinamičkog pozicioniranja:

- nije potreban tegljač,
- brzo pozicioniranje,
- brza reakcija na promjenu vremenskih uvjeta,
- brod plovi,
- neovisnost o dubini i kvaliteti dna sidrišta,
- ne oštećuje pridneni ekosustav,
- ne oštećuje podmorske instalacije te
- površine laznog prostora nema.

2.2.2. Nedostaci sustava za dinamičko pozicioniranje

Prema Veksleru [9], osnovni nedostatak ovog sustava je *„da brod mora biti posebno opremljen za rad u DP-u, te da brodovi s ugrađenim sustavom dinamičkog pozicioniranja troše više energije kako bi ostali u položaju, iako usidrena plovila također moraju trošiti energiju za kontinuirano podešavanje napetosti kod užadi za vez.“*

Uz veću potrošnju goriva i postavljanje, odnosno održavanje opreme za pozicioniranje postoji i rizik od gubitka pozicije što upućuje na nedovoljnu pouzdanost korištenja takvog sustava. Među rizike se ubraja i rizik za ronioce koji rade u blizini broda. Uza sve ovo, korištenje sustava za dinamičko pozicioniranje zahtijeva i dodatno osoblje koje ima posebne kvalifikacije za upravljanje ovim sustavom.

3. ELEMENTI SUSTAVA DINAMIČKOG POZICIONIRANJA

Sustav dinamičkog pozicioniranja je prilično kompleksan jer koristi mehanički i računalni dio istovremeno. Glavni zadatak ovog sustava je održavanje pozicije plovila, a imperativ mu je vlastita pouzdanost.

3.1. Funkcije DP sustava

S gledišta funkcije samog sustava, DP sustav ima četiri podsustava: izvršni sustav, mjerni sustav, upravljačko-informacijski sustav i energetski sustav.

3.1.1. Izvršni sustav

Izvršni sustav dinamičkog pozicioniranja obuhvaća uređaje za stvaranje potisaka, odnosno potisnike. Potisnici se koriste u svrhu zadržavanja pozicije broda, a njihov raspored mora osigurati nesmetanu kontrolu zanošenja, zastajanja/napredovanja i zaošijavanja.

Postoji više konfiguracija potisnika u kojima se pronalazi optimalan modus rada potisnika za potrebe dinamičkog pozicioniranja pojedinog broda. O tome će biti riječi u sljedećem poglavlju.

3.1.2. Mjerni sustav

Mjerni sustav se sastoji od raznih mjernih uređaja, te od sustava koji izračunava potrebne parametre prema podacima dobivenima iz mjernih uređaja.

Globalnim sustavom pozicioniranja (GPS) se utvrđuje pozicija plovila, tj. geografska dužina i širina njegovog položaja na zemaljskoj kugli. Smještanje objekta u jednu točku daje mogućnost sustavu da precizno korigira njegovu poziciju. Reference kursa određuju pokret, nagib i poniranje plovila. Brojni su uređaji i senzori koji mjere ili računaju razne parametre potrebne za utvrđivanje precizne pozicije plovila. Razvojem tehnologije i ovi se sustavi konstantno unaprjeđuju te su sve pouzdaniji, a jednostavniji u konstrukciji i za uporabu.

Anemometar (slika 3) je uređaj koji se koristi za mjerenje brzine i smjera vjetra.



Slika 3. Anemometar [10]

3.1.3. Upravljačko-informacijski sustav

Manduka [5] dijeli upravljačko-informacijski sustav, obzirom na funkcije koje obavlja, na:

- a) vođenje, upravljanje i reguliranje,
- b) automatsko mjerenje i nadzor,
- c) prezentaciju stanja,
- d) automatska zaštita i alarmi,
- e) protokoliranje te
- f) dodatne funkcije.

Upravljačko-informacijski sustav „*integrira sve gore navedene dijelove u programskom obliku tj. informacije iz mjernih sustava, informacije o poremećajima što ih plovilo samo proizvodi te informacije o akvatoriju u kojemu se nalazi plovilo te ih sumira, obrađuje te predviđi slijedeći događaj i poduzme odgovarajuće poteze da se ti poremećaji eliminiraju. Ne koristi se centralizirano upravljanje već se koristi distribuirani sustav sa čvrstom hijerarhijom [2]*“.

Kao i kod ostalih brodskih sustava, i upravljačko-informacijski sustav ima svoj pomoćni sustav koji se uključuje u slučaju otkazivanja bilo kojeg elementa.

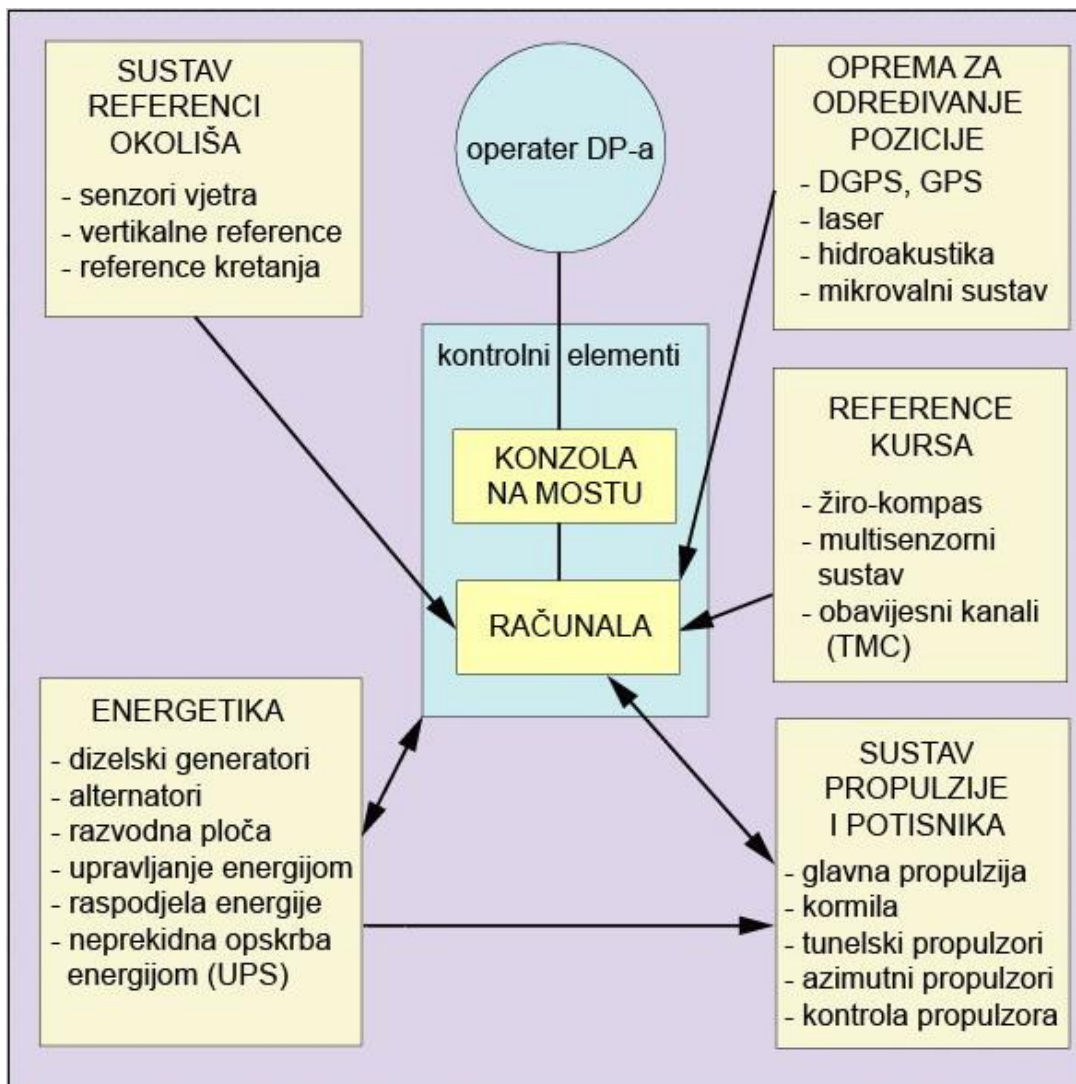
3.1.4. Energetski sustav

Energetski sustav je prilagođen vrsti plovila te mora biti zadovoljavajuće snage i mogućnosti da podrži sustave koje napaja. Najviše se koristi dizelsko-električni energetski sustav zbog svoje ekonomičnosti i primjenjivosti na brodovima raznih namjena. Iz razloga što je pouzdanost ovog sustava nužna za sigurnost broda i posade, na brodovima se često koriste dvojni energetski sustavi, te u slučaju kvara jednog sustava, u pogon se stavlja pomoćni.

Nezaobilazni dio u analizi suvremenih sustava dinamičkog pozicioniranja je analiza energetskih čimbenika (potrošnja, raspoloživost, fleksibilnost i dr.) koji utječu na stvarne performanse ukupnog ponašanja opreme i plovnog objekta u cjelini. Pri tome, posljednje desetljeće je pokazalo punu opravdanost primjene potpune električne propulzije. (...) Klasični sustavi korišteni za dinamičko pozicioniranje plovnih objekata zasnivali su se na izmjeničnim motorima s konstantnom brzinom ili na dvobrzinskim izmjeničnim motorima. S ovim sustavima plovni poriv propulzora se mijenjao promjenom uspona vijka. Novi izmjenični motori s frekvencijskim pretvaračima nude jedinstvene mogućnosti upravljanja porivom propulzora, tamo gdje je neophodno raditi s minimumom kašnjenja od upravljačkog sustava do motora [5].

3.2. Elementi DP sustava

Elementi sustava dinamičkog pozicioniranja su određeni podsustavi prikazani na slici 4.



Slika 4. Elementi DP sustava. Autori: IMCA [17]¹

Generalno je riječ o sljedećim podsustavima:

- 1) kontrolni elementi,
- 2) reference okoliša,
- 3) oprema za određivanje pozicije,
- 4) reference kursa,
- 5) podsustav propulzije i potisnika,
- 6) energetske podsustave te
- 7) operater DP sustava.

¹ osobna izrada studenta prema predlošku

3.2.1. Kontrolni elementi

Osnovni zadatak kontrolnih elemenata je održavati željeni kurs i poziciju plovila jer vanjski uvjeti ometaju zadane parametre kretanja odnosno mirovanja broda. Uz ovu funkciju kontrolnih elemenata ide i funkcija kontrole potrošnje goriva i trošenja potisnika.

Broj računala koja vrše kontrolu i nadzor ovisi o vrsti i potrebama pojedinog plovila. Što je na plovilu više računala to je pouzdaniji i brži njihov rad. Konfiguracije računala mogu biti pojedinačne (simplex), dvostruke ili trostruke. Koja će se konfiguracija primijeniti na plovilu određuju klasifikacijska društva. Plovilo sa simplex konfiguracijom nema nikakvu podršku ukoliko dođe do pada sustava.

Računala su povezana preko lokalne mreže (LAN) i ethernet². Iako računala kontroliraju mnoge funkcije broda, kontrolna računala za DP obavljaju isključivo kontrolu DP sustava.

Centralno računalo obavlja slijedeće funkcije [5]:

- a) upravljanje ukupnom dinamikom plovnog objekta,
- b) obavlja komunikacijom među pojedinim elementima CIS-a,
- c) izvodi potrebne simulacije na matematičkom modelu,
- d) objedinjava i automatizira funkcije nadzora, zaštite i alarma,
- e) obavlja auto-test na razini cjelokupnog CIS-a te
- f) druge funkcije.

Od informacija koje prikupi od referentnih sustava, računalo izračunava potrebne parametre koristeći matematičke modele i Kalmanov filter u tehnici estimacije. Kalmanov filter koristi sve poznate vanjske i unutarnje sile koje imaju utjecaj na plovilo te računa veličinu sila propulzije koja je potrebna da plovilo održi u poziciji. Pod-moduli programa provjeravaju točnost podataka i vrše usporedbu između dobivenih podataka i zadanih vrijednosti. Računalo procesira zadane vrijednosti i odmah primjenjuje na porivni sustav. Ovo je automatski proces koji operater nadgleda.

Upravljačka konzola osim što ima upravljačku funkciju, ima ujedno i zadatak primanja i slanja podataka. Ona je centar dinamičkog pozicioniranja. Konzola održava jednosmjernu komunikaciju s referentnim sustavima koji samo dostavljaju podatke računalu na obradu. Dvosmjernu komunikaciju upravljačka konzola vrši sa sljedećim elementima:

- operaterom,

² ethernet - kabelaška tehnologija koja se koristi za LAN

- energetskim sustavom te
- potisnicima, tj. izvršnim sustavom.

Uglavnom je smještena na prednjoj strani zapovjedničkog mosta iako ima i verzija kad je okrenuta put krme. Na tankerima se DP konzola ponekad smješta u pramčanoj nadzornoj stanici. U svakom slučaju je potrebno da operater koji nadgleda konzolu ima otvoren pogled na okolinu. Naftne platforme zbog svoje konstrukcije nemaju konzolu s otvorenim pogledom, ali se taj problem rješava korištenjem nadzornih kamera. DP operater obavlja potrebne radnje na konzoli pomoću dugmeta, dodirnih zaslona ili računalnim mišem.

Slika 5 prikazuje upravljačku konzolu građenu na principu distribuirane arhitekture koja znatno smanjuje instalaciju kabela jer je svaka jedinica sučelja smještena blizu svog izvora podataka (potisnika, jedinice referentnog sustava i ostalih osjetnika).



Slika 5. Upravljačka konzola DP sustava [20]

U programu DP računala postoje razni protokoli i modeli koji su umreženi te operater ima uvid u stanje svih podsustava. Kako se računalni modeli DP sve više unaprjeđuju postoji funkcija sustava koja među podsustavima automatski odabire točniji podsustav u slučaju devijacije u mjerenjima jednoga od njih.

3.2.2. Reference okoliša

Na upravljanje brodom djeluju tri prirodne sile koje mu mijenjaju kurs i poziciju:

- vjetar,
- valovi i
- morske struje.

Od tri navedena elementa najmanje predvidljiv i stoga najneugodniji je vjetar. Naleti vjetra se teško mogu uklopiti u matematički model jer djeluju kao slučajan proces. Kad se govori o djelovanju vjetra na kurs i poziciju plovila misli se na silu koja ima određeni smjer i brzinu. Kao takva, ta sila potiskuje površinu plovila iznad vodene linije. Konstrukcija nadgrađa broda može uvelike pomoći u neutraliziranju sile vjetra. Svako plovilo s ugrađenim DP sustavom ima ugrađene i senzore vjetra koji određuju njegov smjer i brzinu. Te vrijednosti se pridodaju u izračun čimbenika ometanja kursa i pozicije plovila kako bi se omogućila kompenzacija i neutralizirao eventualni nalet.

Za razliku od vjetra, valovi i morske struje nisu toliko nepredvidljivi i promjenjivi, te je moguće izraditi njihovu računalnu estimaciju. Morska struja općenito sporo mijenja brzinu i smjer tako da je moguće ažurirati podatke u matematičkom modelu. Sustav upravljanja dinamičkim pozicioniranjem ne može utjecati i kompenzirati poniranje, posrtanje i ljuljanje. Ipak, ono što sustav može napraviti je obaviti precizno mjerenje navedenih varijabli, te načiniti izračun kompenzacije za sve ulazne osjetnike referentnih položaja u odnosu na pomak od centra gravitacije plovila. Ova mjerenja obavljaju osjetnici:

- VRS - okomiti referentni osjetnik,
- VRU - okomita referentna jedinica i
- MRU - referentna jedinica za mjerenje kretanja.

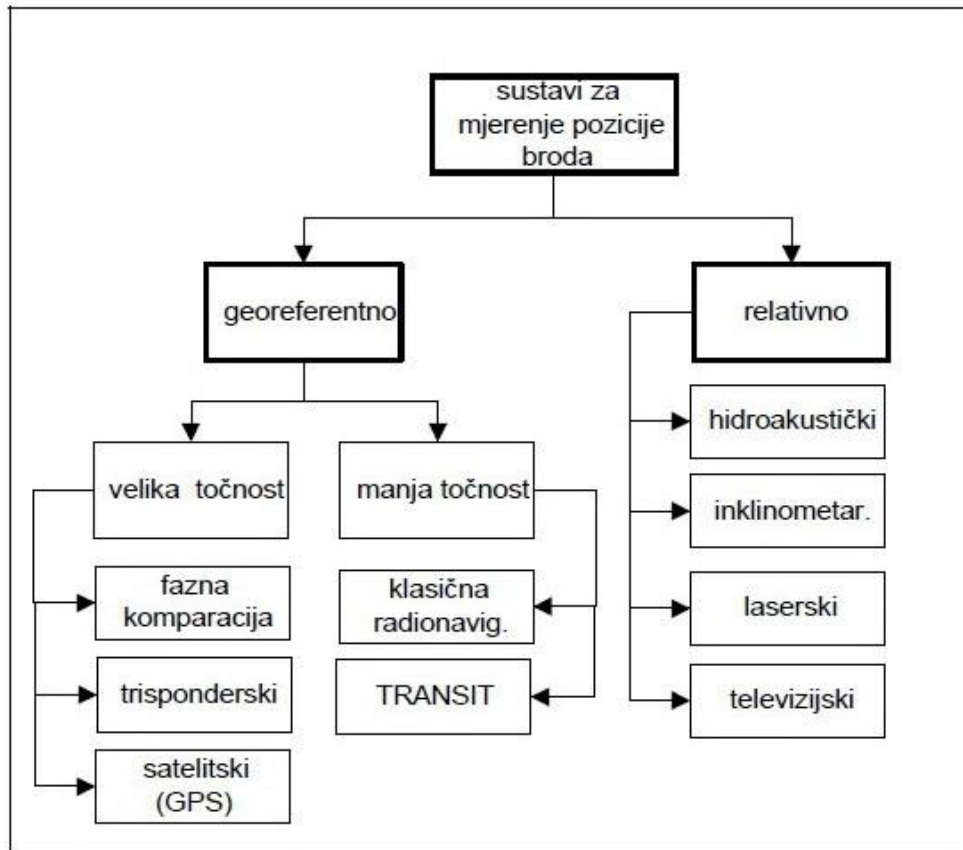
Okomiti referentni osjetnici imaju ugrađen žiroskop i akcelerometre za stabilizaciju objekata u pokretu. Okomita referentna jedinica mjeri poniranje, posrtanje, i ljuljanje, a koristi se za smanjivanje valjanja, kompenzaciju poniranja, te pretvaranje između koordinatnih sustava na plovilu ili platformi. Ova jedinica obično sadrže tri akcelerometra i najmanje dva žiroskopa. Referentna jedinica za mjerenje kretanja mjeri ubrzanja pomoću jednoosnih ili višeosnih osjetnika kretanja koji koriste MEMS žiroskopi.

3.2.3. Oprema za određivanje pozicije

Jedan od bitnih elemenata svakog objekta dinamičkog pozicioniranja je sustav za točno mjerenje pozicije, bilo u georeferentnom koordinatnom sustavu ili relativno prema nekoj proizvoljno odabranoj točki. Do danas je razvijen čitav niz novih uređaja i metoda

za vrlo točno i brzo određivanje pozicije. Tako se danas može već govoriti i o problemu druge vrste: izboru odgovarajućeg uređaja [5].

Jedna od mogućih podjela ovog sustava je prikazana na slici 6. Vrsta sustava koja će se odabrati ovisi o namjeni plovnog objekta i o prirodi posla kojeg obavlja.



Slika 6. Podjela sustava za mjerenje pozicije broda [5]

Plovila koja rade na većim dubinama, kao i ona koja napuštaju svoju poziciju relativno brzo, odabiru uglavnom georeferentne sustave poput trispunderskih i satelitskih. Za razliku od njih, plovila koja su stacionarna dulje vrijeme poput naftnih platformi i sl. koriste hidroakustične ili inklinometarske uređaje.

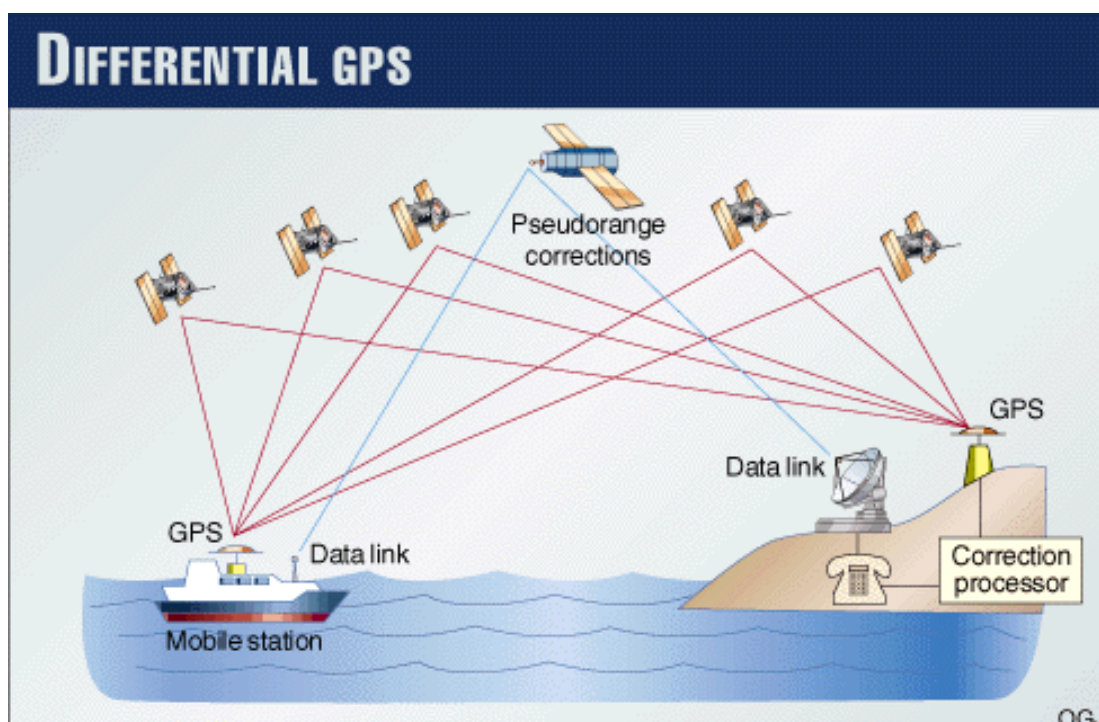
Sustavi koji se mogu koristiti sami ili u kombinaciji jedan s drugim su:

- DGNSS - diferencijalni globalni satelitski navigacijski sustav,
- zategnuto uže (engl. *Taut wire*),
- hidroakustični sustav (HPR),
- laserski sustav te
- RADius radarski sustav.

1. DGNSS

GPS je postao glavni sustav određivanja pozicije zbog širokog područja pokrivenosti, sposobnosti pribavljanja navigacijskih podataka višestrukim korisnicima, zbog relativno male potrošnje energije, malih dimenzija prijemnika, i iz razloga što je ekološki prihvatljiv u smislu da njegovi signali bitno ne ometaju ekosustav. Poziciju određuje koristeći umjetne satelite u orbiti. DGNSS je poboljšanje GPS-a pomoću korištenja poznatih fiksnih pozicija za podešavanje GPS signala. Ove fiksne pozicije su mreža referentnih podataka na zemlji, čiji je precizan položaj poznat. DGNSS koristi te fiksne pozicije za podešavanje GPS signala u stvarnom vremenu kako bi se uklonile pogreške udaljenosti. Uz DGNSS, pogreške mjerenja su se sa 10 m svele na svega nekoliko centimetara.

Ovaj se sustav koristi na plovnim objektima kojima je potrebna velika točnost u pozicioniranju. Slika 7 prikazuje način na koji se putem referentne stanice vrši ispravak pogreške udaljenosti koju dostavljaju sateliti.

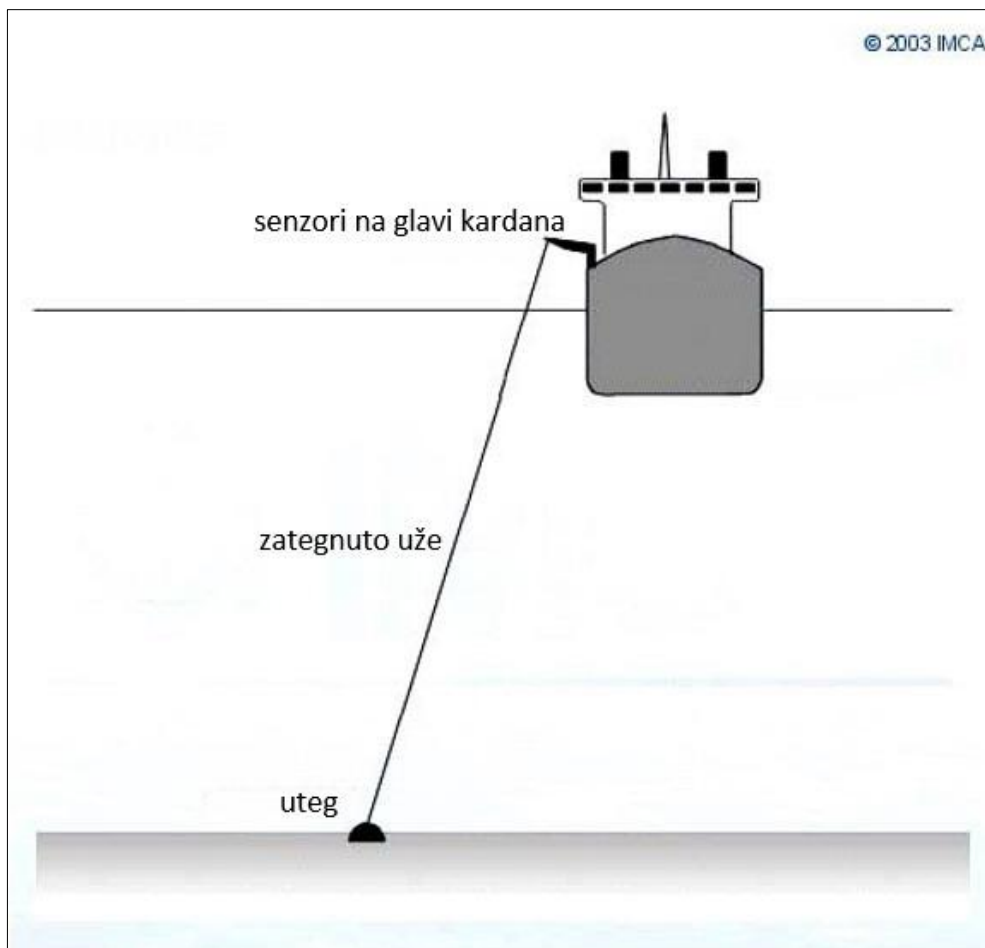


Slika 7. Princip rada DGNSS-a [21]

2. Zategnuto uže

Princip zategnutog užeta je najstariji način pozicioniranja plovila i jedini se koristio prije pojave modernih sustava dinamičkog pozicioniranja. Ovaj princip koristi dizalicu i vitlo na plovilu koje održava konstantnu napetost užeta. Kut pod kojim je postavljeno uže,

te njegova dužina moraju biti poznati kako bi se izračunala kompenzacija vanjskih sila koje nastoje mijenjati poziciju plovila. Na slici 8 je prikazan brod koji principom zategnutog užeta održava svoju poziciju.



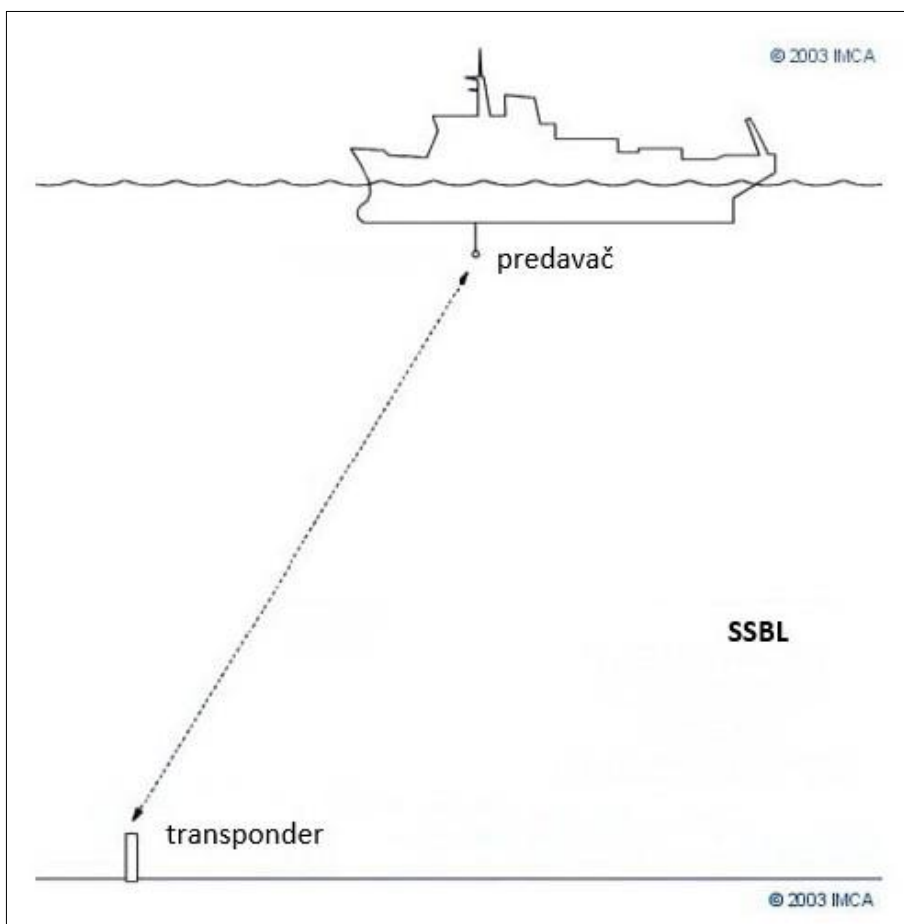
Slika 8. Princip zategnutog užeta. Autori: IMCA [17]

Princip pozicioniranja zategnutim užetom je prilično neprecizan u pogledu zahtjeva za točnošću koje postavljaju operacije koje obavljaju suvremena plovila. Danas se još koristi za pozicioniranje onih plovnih objekata koji se duže vremena zadržavaju na fiksnoj poziciji i to pri dubini od maksimalno 350 m. Kut ne smije prelaziti 20° jer bi u protivnom moglo doći do povlačenja utega po morskom dnu ili čak i do pucanja užeta. Ipak, postoji izvedba ovog principa koja koristi horizontalno uže i fiksnu točku umjesto utega za održavanje plovila u stacionarnom stanju pokraj nekih drugih plovila ili objekata.

3. Hidroakustični sustav

Hidroakustični sustav (HPR), za razliku od dva prethodno navedena sustava, koristi zvuk za pozicioniranje plovnih objekata. Na plovilu je pričvršćen predavač, a na objektu

koji mora biti u određenoj poziciji prema plovilu je montiran transponder. Slika 9 prikazuje brod koji preko predavača odašilje signal transponderu na morskom dnu.



Slika 9. Vrlo kratki akustični sustav (SSBL). Autori: IMCA [17]

Princip rada se temelji na odašiljanju signala predavača prema transponderu koji na taj podražaj reagira i šalje podatke natrag. Što su veći nagib i udaljenost između predavača i transpondera, duži je protok vremena od podražaja do reakcije. Uzimajući sve potrebne parametre u obzir, sustav dinamičkog pozicioniranja računa poziciju i kurs.

Postoje tri vrste hidroakustičnog sustava pozicioniranja obzirom na udaljenost između plovila i transpondera:

- Vrlo kratki akustični sustav (SSBL) - koristi se na udaljenosti između predavača i transpondera manjoj od 1000 m. Može se koristiti jedan ili više transpondera.
- Dugi akustični sustav (LBL) - koristi se za dubine veće od 1000 m. Potrebno je imati najmanje tri transpondera na morskom dnu. Najčešća je konstelacija od pet transpondera postavljenih u obliku pentagona. Ovo je vrlo precizan sustav mjerenja iako je riječ o velikim dubinama.

- Kratki akustični sustav - sličan je LBL, ali za razliku od njega ovaj sustav koristi više predavača na plovilu, a jedan transponder na morskom dnu.

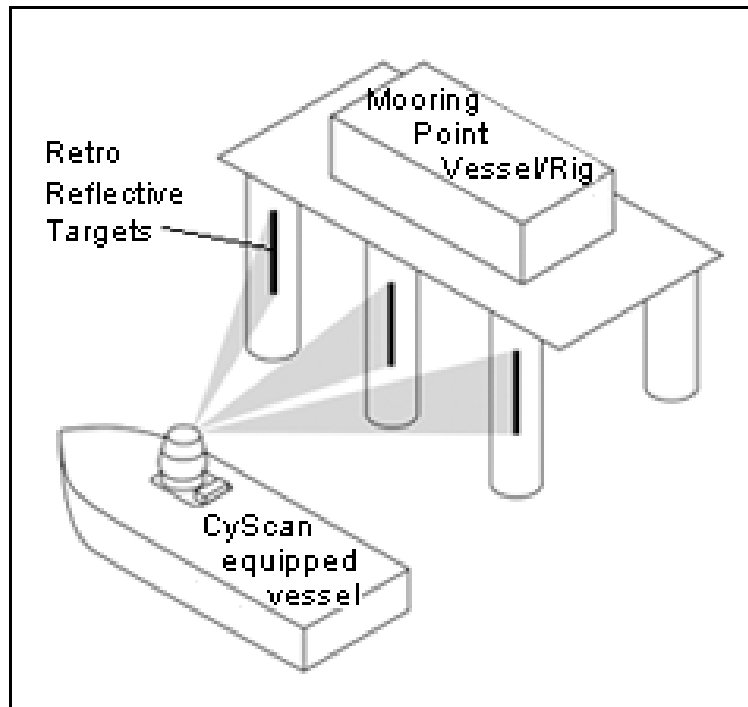
Hidroakustični sustav se najčešće koristi za praćenje daljinski upravljanih ronilica, te kod zadržavanja pozicije naftnih platformi. Sustav je vrlo pouzdan i precizan, ali je kompliciran i zahtjevan za pripremu i primjenu.

4. Laserski sustav

Laserski sustav za procjenjivanje pozicije koristi infracrveni laser ugrađen u kupolu koja je postavljena na što višu točku plovnog objekta. Objekt oko kojeg se mora pozicija zadržati ima na sebi reflektirajuće ploče ili cilindre raznih veličina. Princip rada nalikuje na princip koji koristi radar ili sonar. Dakle, kupola se okreće i pritom šalje laserske zrake koje se potom odbijaju o reflektirajuće ploče. Podaci o kutu odbijanja i udaljenosti se šalju glavnom DP računalu koje zatim računa poziciju.

Laserski sustav se najviše koristi kod mobilnih odobalnih baza koje su stacionarne i trebaju zadržati tu poziciju. Nije pogodan za korištenje u morima s vlažnom klimom jer kiša i magla ometaju dobru vidljivost lasera čiji se upotrebljiv raspon sustava tada znatno smanjuje. U idealnim vremenskim prilikama taj raspon ide do 400 m, dok se pri magli smanjuje na domet vidljivosti golim okom što ga čini neupotrebljivim.

U današnje vrijeme se koriste dva laserska sustava, *Fanbeam* i *CyScan*. Ova dva sustava se razlikuju po *softveru* kojeg koriste, mada je osnovni princip rada jednak. *Fanbeam* pronalazi svoje reflektirajuće ploče na navedeni način i u stalnom je kontaktu s njima, držeći ih u svom vidnom polju. *CyScan*, prikazan na slici 10, okreće kupolu i šalje laserske zrake koje, odbivši se o objekt i reflektirajuće ploče, te vrativši se natrag u kupolu, omogućuju izračun potrebnih parametara.



Slika 10. Princip rada *CyScan* laserskog sustava [14]

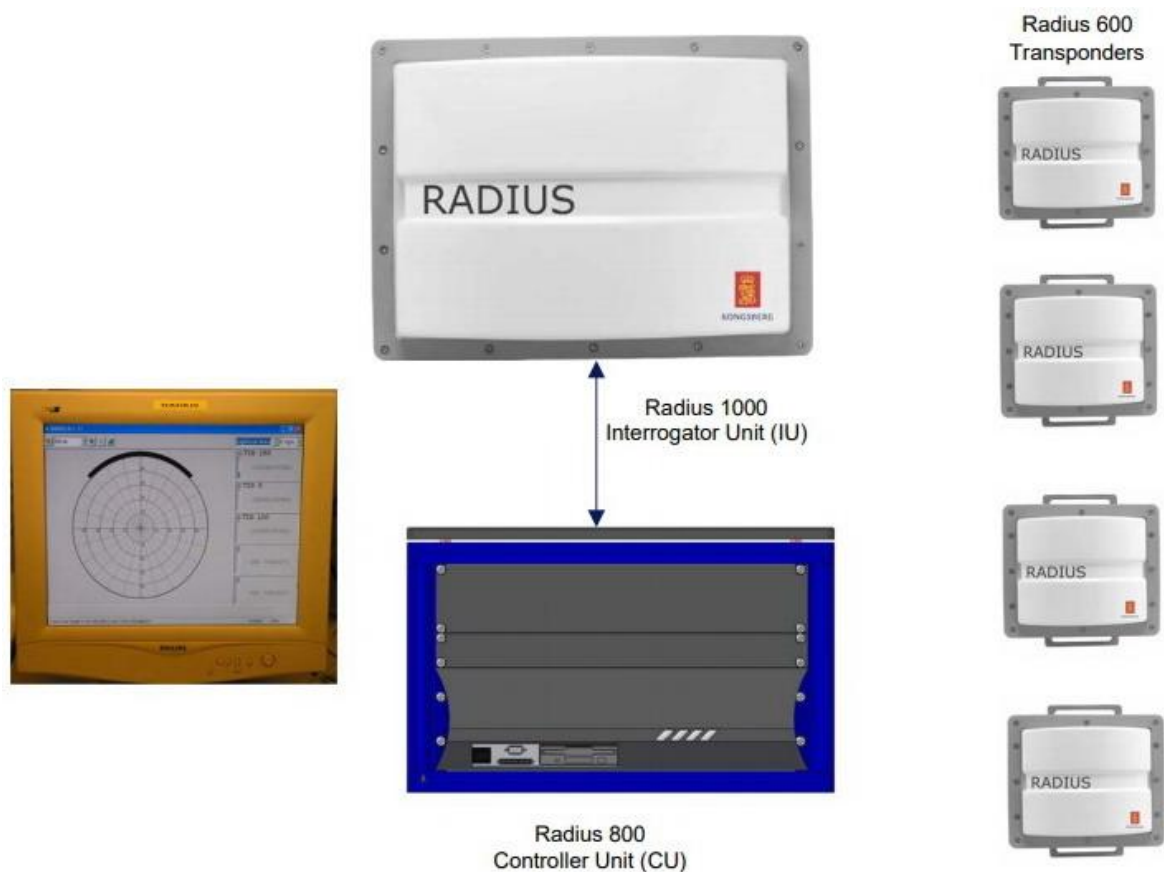
Od navedenih referentnih sustava koje DP sustav koristi, svaki ima svoje prednosti i nedostatke tako da se često pribjegava kombinaciji dvaju ili više sustava kako bi se povećala njihova pouzdanost.

5. RADius radarski sustav

Sustav RADius, kako samo ime nagovještava, određuje poziciju na principu radara. Funkcionalan je na udaljenostima do 1000 m što govori da se koristi na manjim, a ne većim udaljenostima. Uglavnom se kombinira s DGNSS-om kad su sateliti zaklonjeni ili vezu s njima ometaju vremenske neprilike. Prednosti uporabe ovog sustava su sljedeće [22]:

- nema pokretnih dijelova (solidna izrada i niski troškovi održavanja),
- radi u svim vremenskim uvjetima,
- odlična dopuna postojećem GPS-u,
- može ga koristiti više korisnika,
- mogućnost višestrukih transpondera (redundantna mjerenja),
- radijska frekvencija bez licence te
- integritet.

Slika 11 prikazuje dijelove sustava RADius: grafičko sučelje (GUI), prijamnik, kontrolnu jedinicu i transpondere.



Slika 11. Dijelovi RADIUS sustava [22]

3.2.4. Reference kursa

Plovilo obično ima jedan ili više žirokompasa koji podatke prenose do nadzornog sustava dinamičkog pozicioniranja. Veći broj žirokompasa se koristi zbog zalihosti, odnosno za slučaj otkaza ili greške jednog od njih. Plovila koja spadaju u klase opreme 2 ili 3 imaju ugrađena tri žirokompasa. U takvom sustavu DP sustav koristi glasovanje s dva glasa, odnosno podatka s žirokompasa protiv trećeg koji ima otklon. U slučaju takvog otklona, dakle greške, daje se upozorenje operateru DP sustava.

3.2.5. Podsustav propulzije i potisnika

Nakon što je sustav dobio podatke, obradio ih i izračunao koje se radnje moraju poduzeti kako bi se plovilo održalo u željenoj poziciji, potrebno je obaviti fizičke radnje koje bi to omogućile. Dinamičko pozicioniranje plovnog objekta omogućuju njegovi potisnici i propulzija.

Potisnici su raspoređeni tako da ne smetaju sensorima i sustavima za ronjenje. Njihov smještaj i rad omogućuju plovnom objektu kretanje naprijed, natrag, poprečno i oko svoje osi. Uz to potisnici moraju biti dovoljno snažni da se odupru vanjskim utjecajima poput morskih struja i vjetra. O tome kakav će se potisnik ugraditi na plovilo odlučuje sama namjena plovila, njegova veličina, te operativni uvjeti za rad plovila.

Na plovne objekte s DP se mogu ugraditi četiri vrste potisnika:

- vijčani propulzori,
- tunelski potisnici,
- azimutni potisnici te
- cikloidni potisnici.

1) Vijčani propulzori

Vijčani propulzori služe za pogon u smjeru naprijed i natrag. Tijekom plovidbe vijak mora biti dovoljno uronjen u vodu u cilju sprječavanja usisavanja zraka. U slučaju preplitkog postavljanja vijka, prilikom malog pramčanog trima ili propinjanja na valovima dolazi do njegovog izranjanja iznad površine vode, što se nastoji izbjeći. Na dinamički pozicionirane plovne objekte se postavljaju vijci s fiksnim korakom i vijci s promjenjivim korakom. Vijci s promjenjivim korakom se mogu zakretati oko vertikalne osi pomoću posebnog mehanizma. Za zaustavljanje broda ili pak za vožnju krmom, nije potreban posebni prekretni uređaj ili spojka, jer se prekretanjem krila mijenja smjer poriva. Ovaj tip konstrukcije se najviše upotrebljava kod promjenjivih režima plovidbe, kod različitih opterećenja i brodova koji moraju imati dobru upravljivost.

2) Tunelski potisnici

Tunelski potisnici su smješteni u tunelu koji je smješten poprečno u pramčanom ili krmenom dijelu trupa. Pokreću se elektromotorom ili hidromotorom, a ugrađuju se radi bolje okretljivosti i poboljšanja manevarskih sposobnosti broda. Oni olakšavaju pristanak i manevar u luci, te okretanje broda na desnu ili lijevu stranu bez korištenja glavnih porivnika broda. Isključiva im je namjena manevriranje, pa se u tu svrhu može ugraditi i više manjih tunelskih potisnika.

Umjesto tunelskih potisnika koji se smještaju u tunel, kod brodova od 9 do 24 m se često koriste pramčani potisnici koji su montirani eksterno, jer oblik trupa ne dozvoljava upotrebu tunela. Ove potisnike pokreće mali reverzibilni elektromotor koji daje potisak u oba smjera [13].

3) Azimutni potisnici

Azimutni potisnici se nalaze ispod broda, a ne na krmi. Okretni su oko vertikalne osi za 360° tako da ih je moguće postaviti u položaj ispred vertikalnog nosača, ali i iza njega. Na taj način mijenjaju smjer poriva. Imaju izvrsna upravljačka svojstva i zbog toga su najpovoljniji za dinamičko pozicioniranje. Dvije su glavne izvedbe azimutnih potisnika, jedna je s mehaničkom transmisijom i s dizelskim ili dizel-električnim motorom smještenim u trupu broda, a druga izvedba je s električnom transmisijom i s elektromotorom smještenim ispod trupa broda i direktno povezanim s potisnikom. Ovaj posljednji azimutni potisnik se još naziva i azipod.

Slika 12 prikazuje azimutni potisnik.



Slika 12. Azimutni potisnik [15]

4) Cikloidni potisnici

Cikloidni ili *Voith-Schneiderov* potisnik je idealan sustav propulzije za one plovne objekte koji moraju često manevrirati u vodama s ograničenim kretanjem i koji se trebaju često zadržavati na mjestu. Mogu se istaknuti slijedeća obilježja ovih potisnika [3]:

- poriv se može kontinuirano povećavati obzirom na veličinu i smjer, bez promjene brzine te

- kontrola potiska je u pravokutnim koordinatama. Jedan smjer određuje uzdužni potisak, a drugi poprečni potisak.

Cikloidni potisnik se sastoji od četiri do šest lopatica smještenih po obodu, okomito na ploče vodoravnog rotirajućeg kotača. Svojom rotacijom vrši opstrujavanje vode oko lopatica, te stvara poriv čija jačina i smjer ovise o položaju lopatica. Krila ovakvog potisnika su vertikalno profilirana te rotiraju pod upadnim putem, čijom promjenom se mijenja i smjer poriva.

Na plovilima sa sustavom dinamičkog pozicioniranja potisnici moraju biti adekvatno razmješteni kako bi bili u stanju se nositi s vanjskim poremećajima. *„Za tu fazu projektiranja uobičajen je naziv studija sposobnosti (Capability Study). Ona uključuje analizu i procjenu maksimalnih sila i momenata za održavanje pozicije i kursa plovnog objekta za specifični akvatorij (djelovanje vjetra, valova i morske struje).*

Za veće plovne jedinice koriste se grupe propulzora zbog njihove ograničene maksimalne snage. Na plovilima posebne namjene (platforme) propulzivni sustav se ugrađuje na elemente podvodne polu-uronjene konstrukcije (kod dvotrupne verzije - lower hull - to su obično tunelske izvedbe, a kod verzije sa plovkom na svaku nogu - footing - radi se sa okretnim propulzorima). Problem optimiranja razmještaja ili alokacije rješava se kroz studiju ekonomičnosti razmještaja (Economic Allocation Study).

Problemu alokacije treba posvetiti posebnu pažnju u toku projektiranja propulzivnog kompleksa, jer ona ima velike reperkusije na projektiranje sustava upravljanja. Može se pokazati da se, uz neke neznatne promjene alokacije propulzivnog sustava (koje ne narušavaju neke druge konstrukcijske elemente), postiže daleko efikasnije upravljanje u smislu točnosti, uštede energije i dr. [5].“

3.2.6. Energetski podsustav

Energetski podsustav je važan čimbenik u suvremenim sustavima dinamičkog pozicioniranja zbog utvrđivanja njegovog utjecaja na ponašanje plovila i njegove opreme prilikom operacija dinamičkog pozicioniranja. *„Pri tome, posljednje desetljeće je pokazalo punu opravdanost primjene potpune električne propulzije. Nove generacije frekventnih pretvarača, u rasponu 10 - 1800 (kVA), 660 (V), i 1000 - 20000 (kVA), 3300 (V) uključuju GTO tiristore kao i mikroprocesorske sustave upravljanja. Klasični sustavi korišteni za dinamičko pozicioniranje plovnih objekata zasnivali su se na izmjeničnim motorima sa konstantnom brzinom ili na dvobrzinskim izmjeničnim motorima. Sa ovim sustavima plovni poriv propulzora je se mijenjao promjenom uspona vijka. Novi izmjenični motori sa*

frekvencijskim pretvaračima nude jedinstvene mogućnosti upravljanja porivom propulzora, tamo gdje je neophodno raditi sa minimumom kašnjenja od upravljačkog sustava do motora [5].“

Plovila s dinamičkim pozicioniranjem imaju veliku potražnju energije jer je potrebno opskrbiti sve potisnike koji svojim radom kompenziraju nepovoljan rad vjetera i mora. *„Zbog povećanja sigurnosti uz pomoćni generator, svaka kontrolna jedinica DP sustava ima neprekidan izvor električne energije UPS, kako bi izbjegli prekide i fluktuaciju izmjeničnog strujnog kruga. Strujom pohranjuje glavno računalo, upravljačku konzolu, monitore, alarme i uključene referentne sustave. U slučaju ispada brodske strujne mreže, UPS je u stanju putem baterija održati rad spojenih komponenti u trajanju od minimalno 30 minuta [6].“*

3.2.7. Operater DP sustava

Gubitak pozicije plovila može prouzročiti razne sigurnosne rizike i upravo zato su za kontrolu DP sustava zaduženi samo visoko kvalificirani profesionalci. Operater DP sustava ili DPO je odgovoran za korištenje DP sustava u ručnom i automatskom modelu rada. Iako se manipuliranje plovilom od strane DP sustava smatra automatskim, operater je zadužen za njegovo nadgledanje i kontrolu. Ipak, on ima mogućnost mijenjanja parametara i ručnog upravljanja, koristeći se centralnom konzolom.

Uloga operatera dinamičkog pozicioniranja je prilično opsežna. U svom poslu on mora biti vrlo oprezan kako se ne bi pojavili nikakvi problemi dok je sustav u pogonu, a on na radnom mjestu. Svaka nepažnja bi mogla dovesti do problema za plovilo i operacije koje ono vrši.

4. TEHNIKA RUKOVANJA DP BRODOVIMA

4.1. PRINCIP RADA DINAMIČKOG POZICIONIRANJA

Za brod se kaže da ima sposobnost dinamičkog pozicioniranja (DP) ako može održati unaprijed određeni položaj i smjer automatski i isključivo pomoću sile potisnika [8].

Smatra se da ne postoje dva ista sustava dinamičkog pozicioniranja iz razloga što takvi sustavi ovise o masi broda i hidrodinamičkim parametrima. Stoga se sustavi dinamičkog pozicioniranja modeliraju za svaki brod posebno.

Princip rada ovakvog sustava se temelji na automatskom održavanju pozicije i kursa uz pomoć brodske propulzije. Integralni dijelovi sustava su pozicijski referentni sustavi, žiroskopi i sustavi za mjerenje pomaka u prostoru (MRU i VRU). Pomoću podataka koji se dobiju iz referentnih sustava, sustav dinamičkog pozicioniranja izračunava silu koja je potrebna sustavu upravljanja broda da se odupre onim silama koje brod izbacuju iz željene pozicije. Ove sile koje ometaju željenu poziciju broda su sile vjetra, morskih struja, valova i sl., ali i podvodnih kablova ili druge podvodne opreme koja utječe na poziciju broda.

Brodu koji održava zadanu poziciju dinamičkim pozicioniranjem već je aktiviran pogon pa se aktivnost samoga pogonskog sustava prilagođava potrebi djelovanja protiv struje i vjetra, i nije potrebno dodatno vrijeme da bi se pogonski sustav aktivirao. Ograničenje u tom načinu odnosi se na one iznimne snage vjetra i struje koje pogonski sustav ne može kompenzirati. Brod koji održava poziciju dinamičkim pozicioniranjem ima, u ovom načinu rada, smanjenu snagu propulzije, što također treba uzeti u obzir [1].

Gotovo sva plovila s dinamičkim pozicioniranjem koriste računala i nekoliko mikroprocesora. Vrijeme stabilizacije se ne vrši odmah nakon uspostavljanja položaja plovila ili nakon nekog većeg manevra i promjene kursa ili pak ako se naglo promijene vremenski uvjeti. Stabilizaciju je optimalno započeti najmanje 30 minuta nakon zauzimanja pozicije ili ostalih nabrojanih radnji i uvjeta. Dalji tijek stabilizacije ovisi o izmjerenim parametrima i izračunima sustava DP. Zadatak operatera DP je održavanje opreme za DP i briga da svaka komponenta funkcionira sukladno radnim granicama.

Iako postoji potpuno automatski model rada na DP sustavu, operateri najčešće biraju automatski model s korištenjem ručnog daljinskog upravljača. Ručni model rada podrazumijeva korištenje poluge ili upravljačke palice kao i skupina dugmadi postavljenih

na upravljačkoj ploči. Upravljačka palica može biti postavljena neovisno od konzole i obvezni je dio najmanjeg upravljačkog uređaja DP sustava. Podaci na upravljačkoj konzoli su lako dostupni i jednostavno prikazani. Takvi podaci uključuju sljedeće: stanje i snaga potisnika, raspored proizvodnje i distribucije električne energije, status i performanse referentnog osjetnika, trenutnu poziciju i stanje alarma. Na slici 13 se vidi upravljačka ploča *Beier IVCS 4000* s upravljačkom palicom, monitorom i integriranim radiom.



Slika 13. Upravljačka ploča DP sustava [16]

Uređaji koji mjere ljuľanje i poniranje se smještaju u odvojenim prostorima u blizini središta za rotaciju broda. Ukoliko iz nekog razloga to nije moguće, DP softver korigira poziciju shodno njihovom položaju.

4.2. SUSTAV UPOZORENJA

DP sustavi prikazuju tri nivoa upozorenja koji su gradirani po ozbiljnosti i kritičnosti situacije. Normalna upozorenja daju obavijest o neznatnim disfunkcijama koje su lako uklonjive i ne ugrožavaju živote ljudi, stanje plovila i/ili morskog okoliša.

Degradirana upozorenja najavljuju ozbiljniju situaciju, dok hitna zahtijevaju i hitnu intervenciju zbog svoje opasne naravi.

Slijede taksativno nabrojane situacije za svaku od ovih razina upozorenja [7]:

1. Normalno upozorenje

- izleti iz mjesta i izlaza unutar prihvatljivih granica,
- snaga i potisni izlazi su unutar granica sposobnosti plovila,
- uvjeti okoline su prihvatljivi,
- minimalni rizik od gubitka položaja i / ili sudara te
- DP redundancija opreme je netaknuta i DP sustav djeluje unutar „najgorih slučajeva“.

2. Degradirano upozorenje:

- izleti iz mjesta ili izlaska iz prihvatljivih granica za više od kratkih ili izoliranih razdoblja,
- snaga i potisni izlazi veći su od granica sposobnosti plovila za više od kratkih ili izoliranih razdoblja,
- uvjeti okoline ili drugi uvjeti smatraju se neprikladnima za nastavak DP operacija,
- neuspjeh u DP opremi koji rezultira gubitkom redundancije i broda koji djeluje izvan graničnih vrijednosti „najgoreg slučaja“ te
- povećani rizik od gubitka položaja ili sudara.

3. Žurno upozorenje:

- nije moguće održavati položaj,
- prijeteća opasnost od sudara,
- svaka druga izvanredna situacija.

4.3. OPERATIVNI MODELI

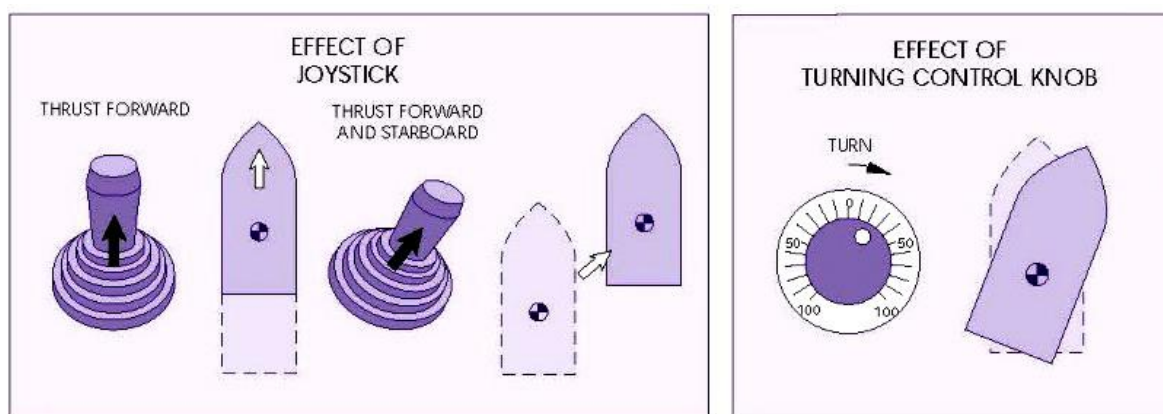
Postoji više operativnih modela ili načina rada DP sustava za uspostavljanje pozicije. Važno je da je prilikom jedne operacije plovilo pod jednim modelom rada, dakle, ne mogu se kombinirati modeli istovremeno. Prije početka rada i odabira načina rada sam sustav provjerava dostupnost odgovarajuće opreme potrebne za operaciju. Osnovni operativni modeli su sljedeći [11]:

- ručno upravljanje pomoću upravljačke palice (JSMH),
- automatsko upravljanje pomoću upravljačke palice (JSAH),
- automatsko dinamičko pozicioniranje (engl. *DP mode*),

- pozicioniranje uz minimum snage,
- praćenje putanje (engl. *track follow*),
- praćenje daljinski upravljanih ronilica (ROV),
- autopilot,
- automatsko kretanje plovila te
- upravljački model.

4.3.1. Ručno upravljanje pomoću upravljačke palice (JSMH)

Ovaj način upravljanja omogućava upravljačkoj palici upravljanje svim odabranim potisnicima. U ovom načinu rada jedino operater unosi naredbe u sustav. Potisak se primjenjuje u smjeru naprijed/natrag, te lijevo/desno. Smjer plovila je upravljen u istom smjeru u kojem je upravljena palica, a snaga potiska ovisi o snazi kojom je palica gurnuta naprijed ili natrag. Kad se priča o smjeru plovila, uvjetno se misli na kretanje jer potisak može imati za cilj pokrenuti plovilo, ali i držati ga stacionarnim kako bi odoljelo silama prirode. Okretni prekidač služi za rotiranje plovila oko svoje osi uz pomoć potisnika predviđenih za to. Slika 14 prikazuje ručno upravljanje palicom, odnosno okretnim prekidačem, te kretanje plovila kao rezultat.

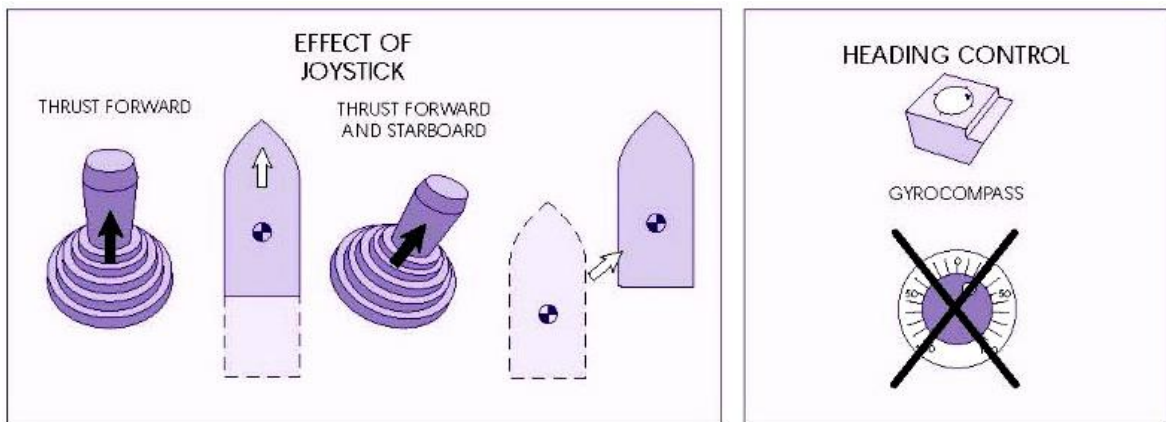


Slika 14. Ručno upravljanje palicom i okretnim prekidačem [12]

4.3.2. Automatsko upravljanje pomoću upravljačke palice (JSAH)

U automatskom načinu upravljanja upravljačka palica također ima kontrolu nad svim potisnicima. Smjer i snagu potiska određuje operater, a kurs kontrolira žirokompas. Potisak se primjenjuje u smjerovima naprijed/natrag, te lijevo/desno. Smjer plovila je upravljen u istom smjeru u kojem je upravljena palica, a snaga potiska ovisi o snazi kojom

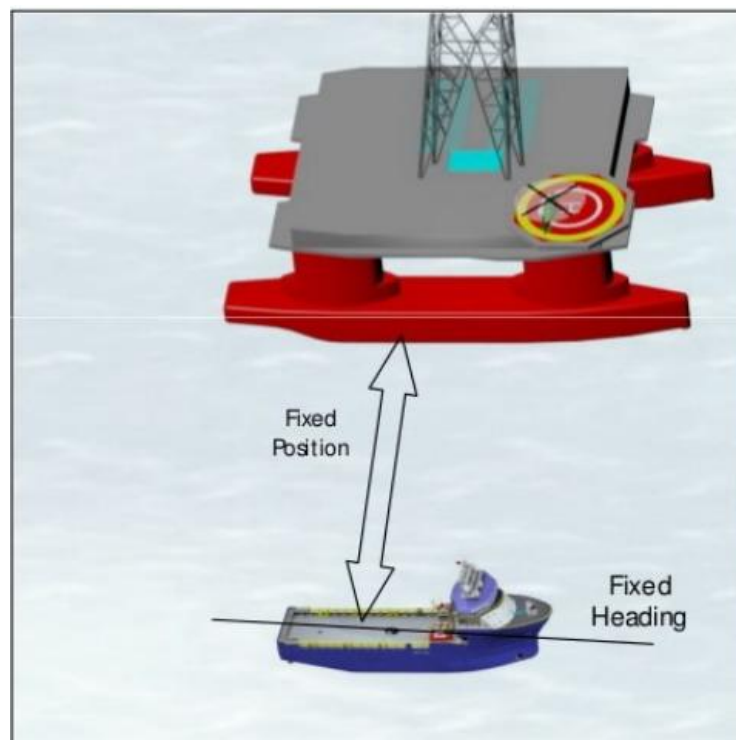
je palica gurnuta naprijed ili natrag. Kurs se određuje automatski pomoću signala koji stiže od žirokompasa, a okretni prekidač je van funkcije (slika 15).



Slika 15. Automatsko upravljanje palicom i žirokompasom [12]

4.3.3. Automatsko dinamičko pozicioniranje

Automatsko dinamičko pozicioniranje (engl. *DP mode*) održava plovilo u pokretu u jednakom položaju u odnosu na neku drugu referentnu točku. Poziciju plovila kontrolira PME, odnosno oprema za nadzor pozicije, a kurs kontrolira žirokompas. Ovaj način rada zahtijeva pogon na pramcu, krmi, te naprijed i natrag. Opisana situacija se vidi na slici 16.

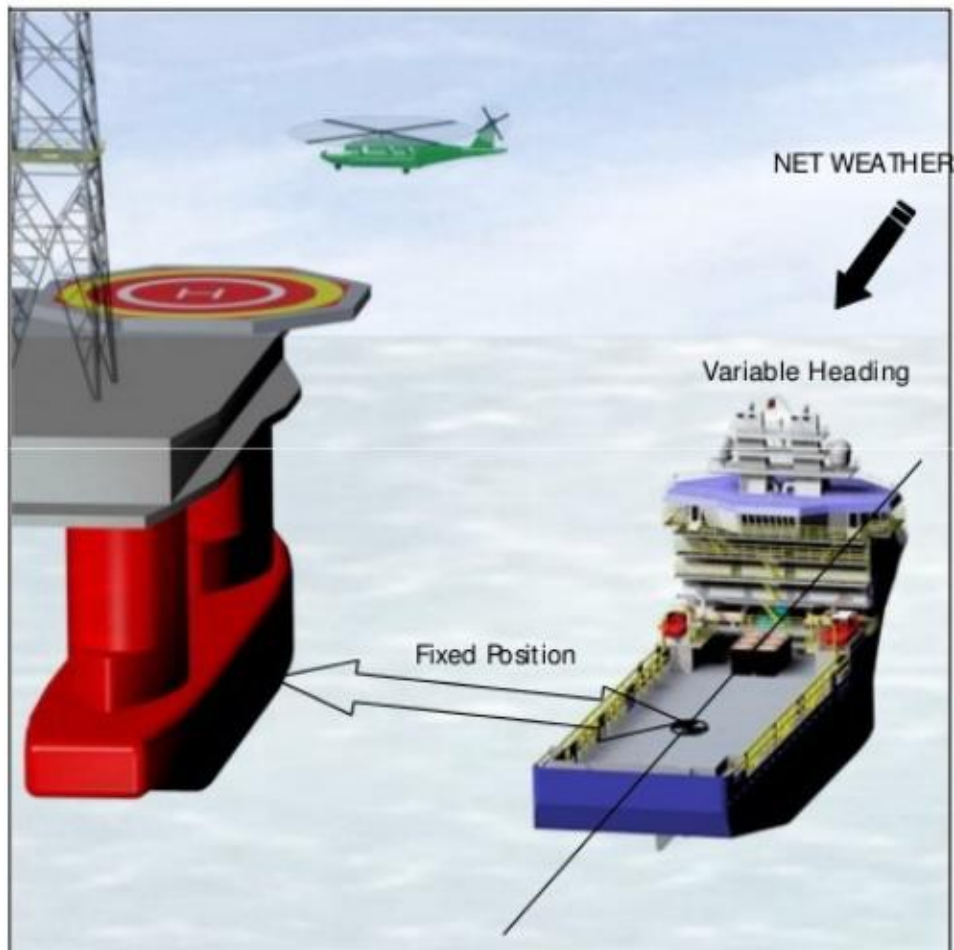


Slika 16. Automatski DP način rada [11]

Kad je odabran ovaj način rada, trenutna pozicija i kurs plovila se uzimaju kao referentna pozicija i referentni kurs. Potisnici na plovilu održavaju poziciju i kurs. Operater može promijeniti poziciju i kurs plovila koristeći komande na konzoli (Promijeni poziciju i Promijeni kurs) [12].

4.3.4. Pozicioniranje uz minimum snage

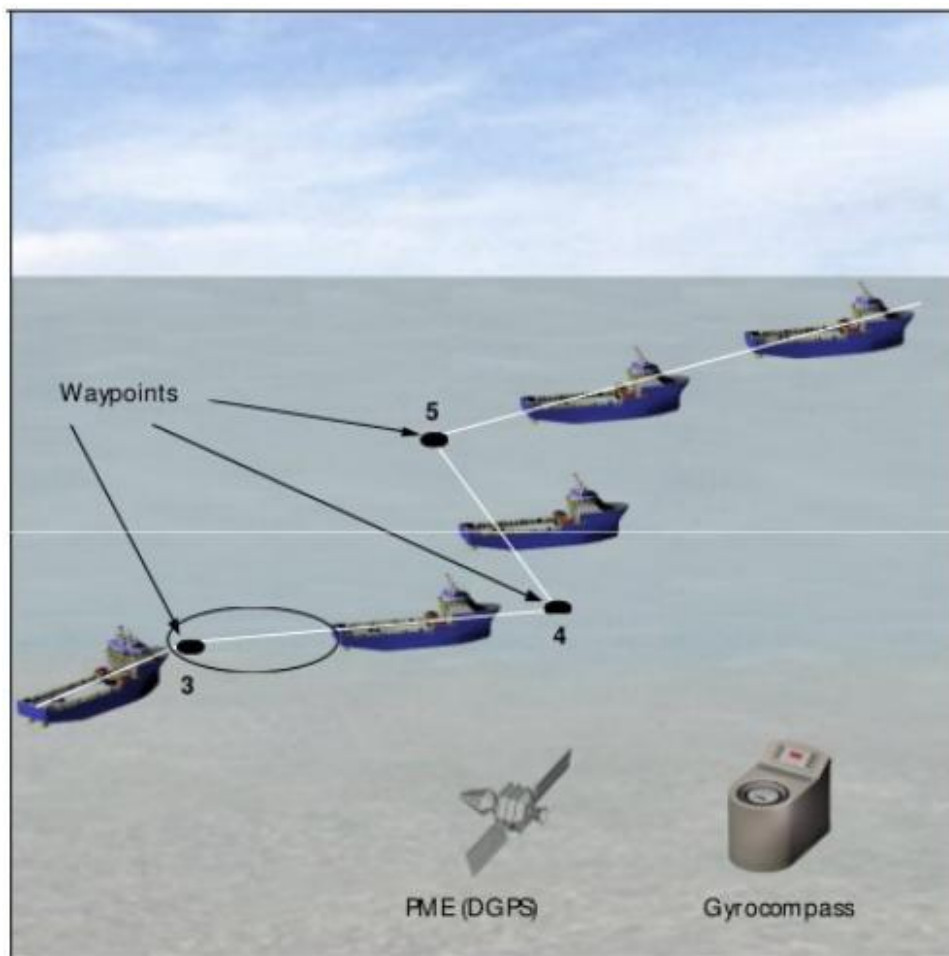
Pozicioniranje uz minimum snage (slika 17) se odnosi na korištenje snage prirodnih sila (vjetar, valovi i struje) kako bi se uštedjelo na gorivu koje je potrebno potisnicima. Oprema za nadzor pozicije (PME) pritom održava poziciju.



Slika 17. Način rada uz minimalnu snagu [11]

4.3.5. Praćenje putanje

Način rada „Praćenje putanje“ (slika 18) zahtijeva automatsku kontrolu osi naprijed/natrag i lijevo/desno. Kurs je unaprijed određen, a koristi se pogon na pramcu, krmu, te naprijed i natrag. Za ovaj način rada potreban je minimalno jedan žirokompas i jedan PME. Obilježja ovog načina rada su: postupno praćenje, praćenje unatrag, do 200 referentnih točaka koje se mogu ucrtati u sustav, kurs je moguće definirati unaprijed, te kontrolirano zaustavljanje.



Slika 18. Način rada „praćenje putanje“ [11]

4.3.6. Praćenje daljinski upravljanih ronilica (ROV)

Kao što sam naziv kaže, u ovom načinu rada plovilo održava svoju poziciju u odnosu na ROV. Kurs, te X i Y osi kontrolira računalo iako operater može podesiti kurs po potrebi. Postoje dva načina praćenja daljinski upravljanih ronilica:

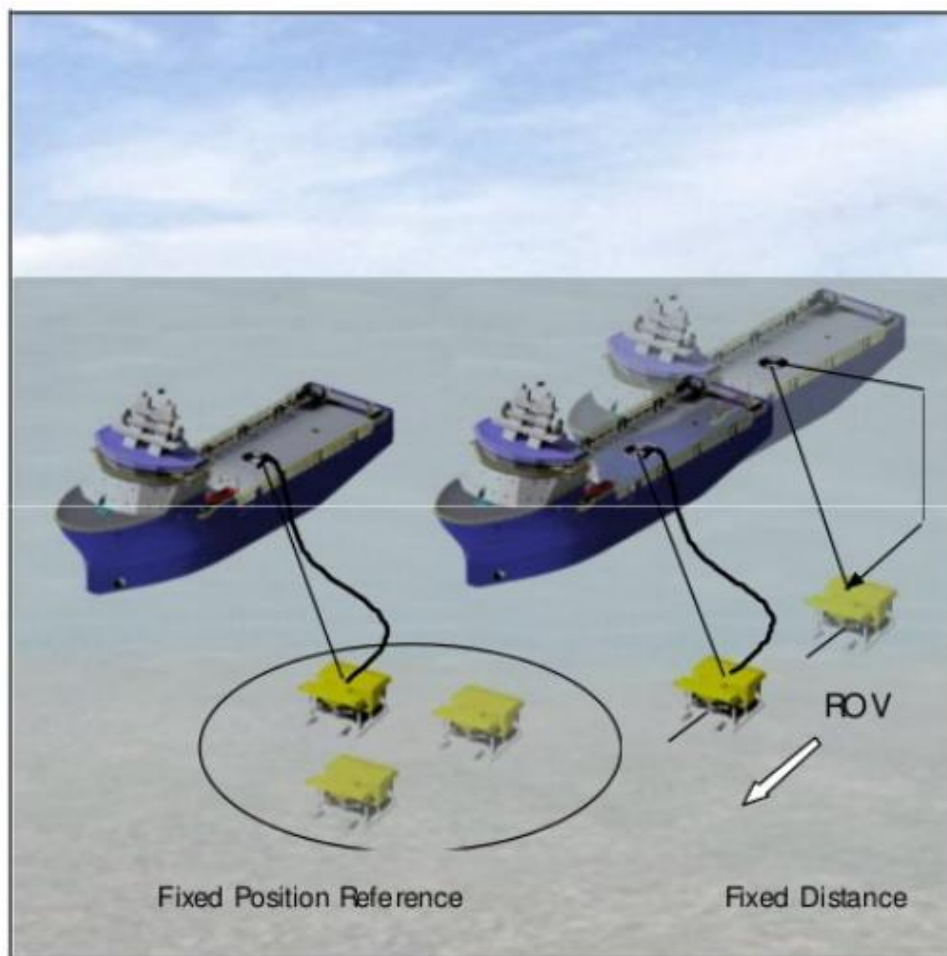
1. Određivanje referentne pozicije

ROV se može kretati unutar definiranog područja. Za to vrijeme plovilo održava istu poziciju. Ukoliko se ROV udalji, plovilo zauzima novu poziciju. Ovaj način rada zahtijeva PME i žirokompas, kao i akustični sustav pozicioniranja. Nije zahtjevan za potisnike, te troši malo energije.

2. Određivanje udaljenosti

Ukoliko ROV prati podvodni kabel ili nešto slično, koristi se način u kojem se kreću i ROV i plovilo koje ga prati. ROV ima odašiljač (engl. *beacon*) pomoću kojeg ga plovilo prati. U ovom načinu je prisutna pojačana aktivnost potisnika.

Slika 19 prikazuje dva načina praćenja daljinski upravljanih ronilica.

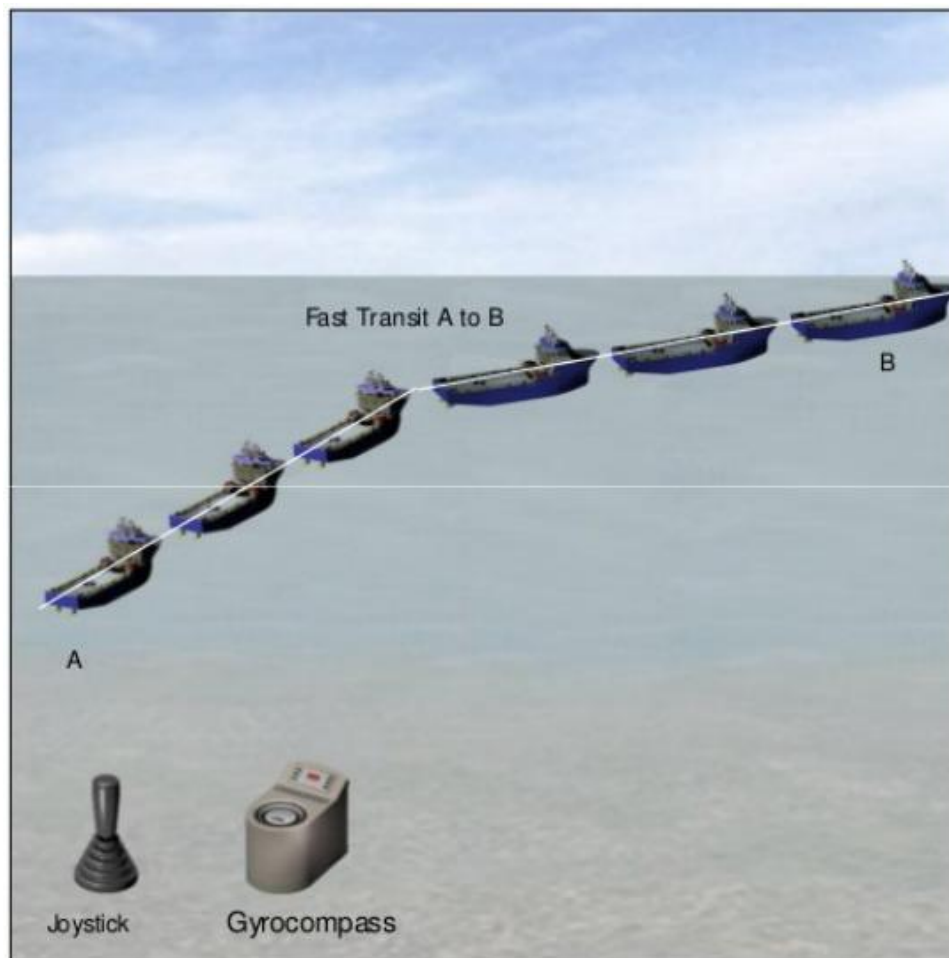


Slika 19. Dva načina praćenja ROV [11]

4.3.7. Autopilot

DP sustav ima interni model upravljanja autopilotom. U ovom načinu se koristi glavni potisnik za propulziju, a upravljanje se vrši putem kormila. Sustav zahtijeva

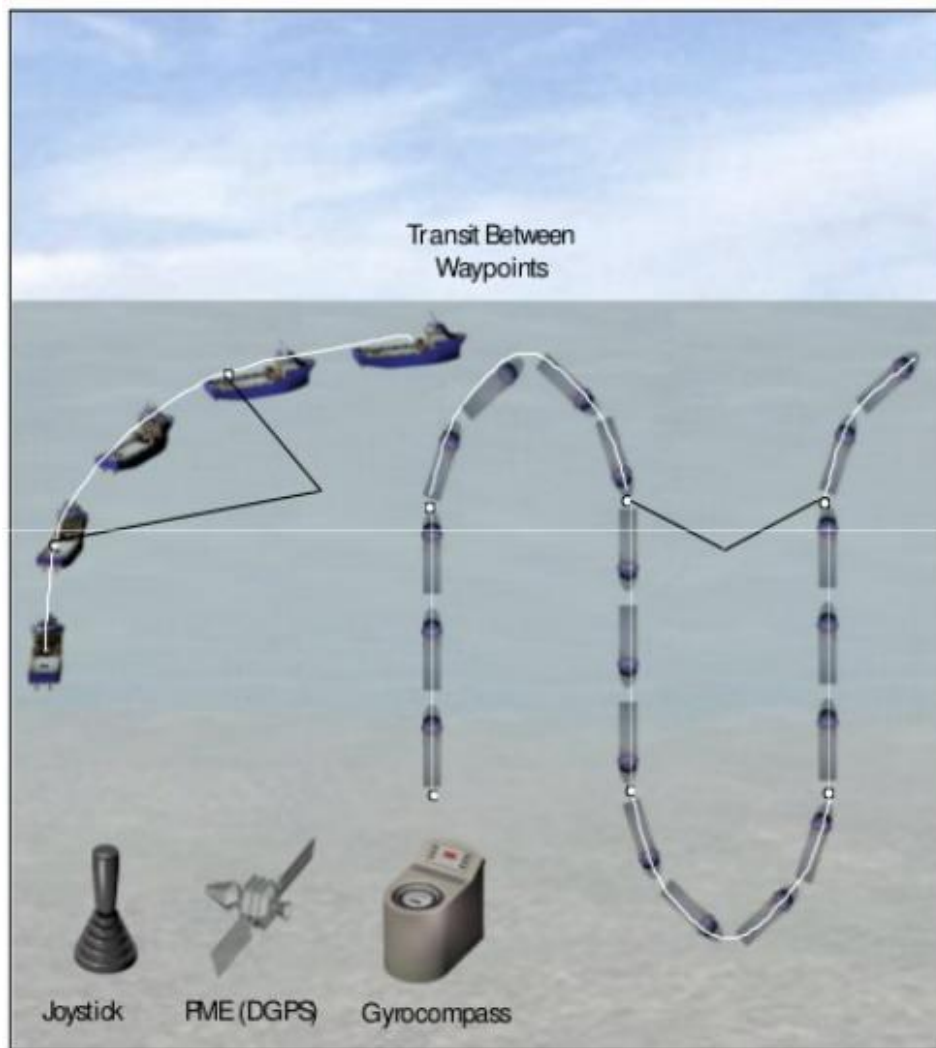
uporabu žirokompasa za održavanje kursa. Slika 20 prikazuje model upravljanja autopilotom.



Slika 20. Model upravljanja autopilotom [11]

4.3.8. Automatsko kretanje plovila

Automatsko kretanje plovila se odnosi na upravljanje plovilom duž putanje koja je definirana s najmanje dvije referentne točke. Ova plovidba podrazumijeva veću brzinu od one koja se primjenjuje u načinu rada „praćenje putanje“. Glavni potisnik se koristi za propulziju, a upravljanje se vrši putem kormila. Tunelski potisnici se ne mogu koristiti jer nisu adekvatni za veću brzinu. DP automatski korigira kurs plovila kako bi se kretalo utvrđenom putanjom. Slika 21 prikazuje način rada „automatsko kretanje plovila“.



Slika 21. Automatsko kretanje plovila [11]

4.3.9. Upravljački model

Upravljački model se aktivira u slučaju da svi referentni sustavi zataje. Ovaj model održava poziciju koristeći predefimirane interne modele. Ne koristi se duže od desetak minuta, te dozvoljava operateru da preuzme kontrolu i nastavi upravljati ručno.

4.4. PRIMJENA DP

Područja primjene dinamičkog pozicioniranja nisu ograničena samo na određeno iskorištavanje mora, već i kod toga ima raznolikosti što se tiče vrste izvršitelja. Ipak, uvijek je riječ o subjektu koji vrši neki posebni zadatak, a ne o običnoj trgovačkoj ili tranzitnoj ulozi brodarstva.

Potreba za dinamičkim pozicioniranjem u smislu definicije javlja se kod izvršenja posebnih zadataka na moru, od kojih su neki gospodarske, a neki vojne naravi, a zajedničko im je svojstvo u tome, da se nikada ne radi o plovidbi kojoj je osnovni cilj savladavanje udaljenosti između polazišta i odredišta na moru. Posebni zadaci iz područja gospodarskih namjena izvršavaju se pomoću plovila koja se mogu svrstati u slijedeće kategorije [5]:

- a) platforme (umjetni otoci) za morsku tehnologiju (engl. *ocean platforms*),
- b) plovila za podvodne radove (polaganje kabela, cjevovoda; spašavanje imovine, podrška ronilačkim radovima itd.),
- c) plutajuća proizvodna postrojenja te
- d) brodovi opskrbljivači, servisni brodovi opće namjene.

Posebna plovila ove vrste za vojne svrhe su:

- a) brodovi za spašavanje i vađenje oštećenih podmornica,
- b) protu-minski brodovi,
- c) plovne logističke baze te
- d) brodovi-nosači sustava za daleko podvodno promatranje.

Iz navedenog je razvidno da je sustav dinamičkog pozicioniranja širio svoju primjenu i na ostale segmente osim na iskorištavanje nafte. Veća komercijalizacija ovog sustava može sniziti cijenu skupih komponenti sustava što je povoljna situacija za korisnike i proizvođače.

5. ZAKLJUČAK

Sustav dinamičkog pozicioniranja se razvio uslijed sve većeg broja istraživanja u podmorju i razvoja u odobalnoj industriji, prvenstveno vađenju podmorske nafte. Pomoću njega plovila mogu zadržati svoj položaj na otvorenom moru time što on pribavlja podatke o prirodnim silama koje bi eventualno utjecale da plovilo izgubi kontrolu i napusti svoju poziciju. Dinamičko pozicioniranje se osobito koristi na istraživačkim brodovima, brodovima koji polažu kablove, te naftnim platformama jer je pogodno za korištenje na većim dubinama kao i u područjima gdje vjetrovi i valovi imaju tendenciju neprestanog mijenjanja. Plovilo s dinamičkim pozicioniranjem na osnovu proračuna sustava dinamičkog pozicioniranja na odgovarajući način mijenja svoj kurs ili poziciju bez obzira u odnosu na glavnu svrhu.

Ovaj sustav je povećao učinkovitost posla na plovilima koja ga koriste time što je u stanju održati plovilo u mirnom položaju, odnosno na određenoj udaljenosti i kursu u odnosu na neki drugi objekt. Vrlo osjetljive i komplicirane operacije se tako mogu obavljati bez opasnosti od iznenadnih skretanja s pozicije. Konvencionalna plovila, dakle ona koja ne koriste DP, nisu u stanju iz sigurnosnih razloga, te zbog vlastitih ograničenja, obavljati složene operacije istraživanja i bušenja podmorja zbog iskorištavanja nafte.

Mada DP sustav ima potpuno automatski način rada, operateri najčešće biraju automatski način s korištenjem ručnog daljinskog upravljača. Ručni način rada se odnosi na korištenje poluge ili upravljačke palice, te dugmadi postavljenih na upravljačkoj ploči. Podaci na upravljačkoj konzoli su lako dostupni i jednostavno prikazani. Takvi podaci uključuju stanje i snagu potisnika, te raspored proizvodnje i raspodjelu električne energije. Uz to je prikazan status i performanse referentnog osjetnika, te trenutna pozicija i stanje alarma.

Ima više operativnih modela ili načina rada DP sustava za uspostavljanje pozicije, a ono što je važno je da prilikom jedne operacije plovilo bude pod jednim režimom rada DP sustava. Sam sustav provjerava dostupnost odgovarajuće opreme potrebne za operaciju prije nego što započne operaciju. Osnovni operativni modeli su uključuju ručno ili automatsko upravljanje pomoću upravljačke palice, automatsko dinamičko pozicioniranje, pozicioniranje uz minimum snage, praćenje putanje, praćenje daljinski upravljanih ronilica, autopilot, automatsko kretanje plovila, te upravljački model.

LITERATURA

Knjige, znanstveni članci i ostala literatura:

- [1] Đurđević-Tomaš, I.; Brajović, M.: *Sidrenje i dinamičko pozicioniranje putničkih brodova za kružna putovanja*, Naše more 56(1-2), Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, 2009.
 - [2] Enge, P.; Walter, T.; Pullen, S. et.al.: *Wide Area Augmentation of the Global Positioning System*, in Proceedings of the IEEE, Vol., 84, No. 8, August 1996.
 - [3] Gross, H.: *Model Vessels with Voith-Schneider propellers*, VOITH SCHIFFSTECHNIK GmbH & Co. KG, 2002.
 - [4] Kristić, V.; Mandžuka, S.: *Upravljanje brodom u režimu dinamičkog pozicioniranja*, Brodarski institut, Zagreb, 1982.
 - [5] Mandžuka, S.: *Automatsko upravljanje plovnim objektima - Izabrana poglavlja*, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2009.
 - [6] Milić, A.; Perović, D.: *Koncept brodskih elektroenergetskih sustava u brodova s dinamičkim pozicioniranjem*, Naše more 62(2), 2015.
 - [7] MTS Dynamic Positioning Committee: *Guidelines on Testing of DP Systems*, 2012.
 - [8] *Rules for classification of ships*, DNV GL Std. Part 6 Chapter 7, Dynamic Positioning Systems, July 2018.
 - [9] Veksler, A., Borrelli, F.; Realfsen, B.: *Dynamic positioning with model predictive control*, IEEE Transactions on Control Systems Technology, (Volume: 24, Issue: 4, July 2016)
- Internet izvori:
- [10] "anemometer" by naitokz is licensed under CC BY-ND 2.0, <https://ccsearch.creativecommons.org/photos/3c430dcd-78f8-4771-b25a-788a5bd7cbe4> (pristupljeno 06. srpnja, 2019.)
 - [11] Aung, Zaw: *DP Dynamic Positioning System for Vessel – Training Presentation*, <https://www.slideshare.net/myanmarjobstudent/dpdynamicpositioningsystemconverteamtraining> (pristupljeno 10. lipnja, 2019.)
 - [12] *Guide to Dynamic Positioning of Vessels*, ALSTOM Power Conversion Ltd., 2000., <https://seatracker.ru/viewtopic.php?t=30868> (pristupljeno 4. lipnja, 2019.)
 - [13] http://en.wikipedia.org/wiki/Bow_thruster (pristupljeno 9. lipnja, 2019.)

- [14] http://navigationservices.co.uk/images/principle_diagram.gif (pristupljeno 8. lipnja, 2019.)
- [15] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c2/Siemens_Schottel_Propulsor.jpg/440px-Siemens_Schottel_Propulsor.jpg (pristupljeno 27. svibnja, 2019.)
- [16] <http://www.beieris.com/products/dynamic-positioning-beier-ivcs-4000/> (pristupljeno 9. lipnja, 2019.)
- [17] http://www.shipseducation.com/info/offshore/images/IMCA%20Introduction%20to%20Dynamic%20Positioning_img_10.jpg (pristupljeno 6. lipnja, 2019.)
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_motions#/media/File:Rotations.png (pristupljeno 24. svibnja, 2019.)
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_motions#/media/File:Translations.PNG (pristupljeno 24. svibnja, 2019.)
- [20] <https://www.sinor-marine.com/products/marine-technologies/> (pristupljeno 3. lipnja, 2019.)
- [21] Oil and Gas Journal, Pennwell,
<http://images.pennwellnet.com/ogj/images/ogj3/9726jco03.gif> (pristupljeno 3. lipnja, 2019.)
- [22] RADius – *A New Contribution to Demanding Close Up DP Operations*, Trond Schwenke, Kongsberg Seatex https://dynamic-positioning.com/proceedings/dp2004/sensors_schwenke_pp.pdf (pristupljeno 9. lipnja, 2019.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Tri linearna stupnja slobode kretanja broda	3
Slika 2. Tri rotacijska stupnja slobode broda	3
Slika 3. Anemometar	7
Slika 4. Elementi DP sustava.....	9
Slika 5. Upravljačka konzola DP sustava.....	11
Slika 6. Podjela sustava za mjerenje pozicije broda.....	13
Slika 7. Princip rada DGNSS-a	14
Slika 8. Princip zategnutog užeta	15
Slika 9. Vrlo kratki akustični sustav (SSBL).....	16
Slika 10. Princip rada <i>CyScan</i> laserskog sustava	18
Slika 11. Dijelovi RADius sustava.....	19
Slika 12. Azimutni potisnik	21
Slika 13. Upravljačka ploča DP sustava.....	25
Slika 14. Ručno upravljanje palicom i okretnim prekidačem.....	27
Slika 15. Automatsko upravljanje palicom i žirokompasom.....	28
Slika 16. Automatski DP način rada.....	29
Slika 17. Način rada uz minimalnu snagu	29
Slika 18. Način rada „praćenje putanje“	30
Slika 19. Dva načina praćenja ROV	31
Slika 20. Model upravljanja autopilotom	32
Slika 21. Automatsko kretanje plovila	33

POPIS KRATICA

CIS (engl. <i>Computer Information Systems</i>)	računalno-informacijski sustavi
DGNSS (engl. <i>Differential Global Navigation Satellite System</i>)	diferencijalni globalni satelitski navigacijski sustav
DP (engl. <i>Dynamic Positioning</i>)	dinamičko pozicioniranje
DPO (engl. <i>Dynamic Positioning Operator</i>)	operater sustava dinamičkog pozicioniranja
GPS (engl. <i>Global positioning System</i>)	globalni sustav pozicioniranja
HPR (engl. <i>Hydroacoustic Position Reference</i>)	hidroakustički sustav
JSAH (engl. <i>Joystick Auto Heading</i>)	automatsko upravljanje pomoću upravljačke palice
JSMH (engl. <i>Joystick Manual Heading</i>)	ručno upravljanje pomoću upravljačke palice
LAN (engl. <i>Local Area Network</i>)	lokalna računalna mreža
LBL (engl. <i>Long Baseline System</i>)	dugi akustični sustav
MEMS (engl. <i>Micro-Electro-mechanical Systems</i>)	senzor koji mjeri kut ili stupanj rotacije
MRU (engl. <i>Motion Reference Unit</i>)	uređaj za mjerenje pomaka u prostoru
PME (engl. <i>position monitoring equipment</i>)	oprema za praćenje pozicije
ROV (engl. <i>remotely operated underwater vehicle</i>)	daljinski upravljana ronilica
SSBL (engl. <i>Super Short Baseline</i>)	vrlo kratki akustični sustav
UPS (engl. <i>uninterruptible power supply</i>)	neprekidan izvor električne energije
VRS (engl. <i>Vertical Reference Sensor</i>)	okomiti referentni senzor
VRU (engl. <i>Vertical Reference Unit</i>)	uređaj za mjerenje vertikalnog pomaka