

Dinamičko pozicioniranje

Schirmer-Ružić, Eduard

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:344172>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL

EDUARD SCHIRMER-RUŽIĆ
DINAMIČKO POZICIONIRANJE
ZAVRŠNI RAD

DUBROVNIK, 2017.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ NAUTIKA

DINAMIČKO POZICIONIRANJE
DYNAMIC POSITIONING

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

mr. sc. NIKŠA MOJAŠ

Student:

EDUARD SCHIRMER-RUŽIĆ

DUBROVNIK, 2017.

Republika Hrvatska
SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
Studij NAUTIKA
Preddiplomski sveučilišni studij (3 godine)

Ur. broj:

Dubrovnik, 8. rujna 2017

Kolegij: TEHNIKA RUKOVANJA BRODA

Mentor: mr. sc. Nikša Mojaš

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: **EDUARD SCHIRMER RUŽIĆ**, student ak. god. 2016/2017.

Zadatak: **DINAMIČKO POZICIONIRANJE**

Zadatak treba sadržavati:

1. Dinamičko pozicioniranje
2. Pozicijski referentni sustavi
3. Uporaba dinamičkog pozicioniranja u offshore-u
4. Uporaba dinamičkog pozicioniranja na brodovima za kružna putovanja

Osnovna literatura:

1. dr.sc Sadko Mandžuka: Automatsko upravljanje plovnim objektima. Izabrana poglavlja, Rijeka, 2009.
2. dipl. ing. Ivica Đurđević-Tomaš, kap. d. pl., dipl. ing. Miloš Brajović, kap. d. pl.: NAŠE MORE : znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, Vol.56 No.1-2 Lipanj 2009.; Sidrenje i dinamičko pozicioniranje putničkih brodova za kružna putovanja, Dubrovnik, 2009.

Zadatak je uručen pristupniku: 15. svibnja 2017.

Rok za predaju završnog rada: 21. rujna 2017.

Mentor:

Pročelnik odjela:

mr. sc. NIKŠA MOJAŠ

doc. dr. sc. Matko Bupić

DINAMIČKO POZICIONIRANJE

DYNAMIC POSITIONING

Sažetak

Ovaj rad nam opisuje fleksibilnost i način rada dinamičkog pozicioniranja. Ideja koja je od temelja promjenila pomorsku industriju, poput nekadašnjeg vijka čija je pojava nezamislivo utjecala na moreplovstvo 18. stoljeća, jest upravo računalo u kombinaciji sa matematičkim algoritmima, što je dovelo do napretka sljedeće generacije plovila. Tehnologija koja je omogućila plovilu da se kreće slobodno u svim smjerovima po površini mora bez obzira na djelovanje morskih struja i vjetera, stvorila je novi spektar specijaliziranih plovila, koja su u stanju obavljati dotad nezamislive operacije, od ledolomaca pa sve do mobilnih odobranih baza koje radi potragom za uljem buše i na dubinama većim od 3000 metara. Sustav koji je u stanju automatski regulirati poziciju, omogućuje sve precizniju plovidbu i otvara nam vrata u nedaleku budućnost, autonomnu plovidbu.

Ključne Riječi

Dinamičko pozicioniranje (DP), Pučinski, Mobilne odobalne baze (MOB), Operator dinamičkog pozicioniranja (DPO), Upravljačko-informacijski sustav (CIS), Globalni položajni sustav (GPS), Hidroakustični referentni sustav (HPR), Zategnuto užje, Laserski referentni sustav, Diferencijalni globalni položajni sustav (DGPS), Azipod propulzor, Bepilotna podmornica (ROV)

Summary

This paper describes the flexibility and working method of dynamic positioning. Surely, computer combined with mathematic algorithms led to the next generation of shipping, as did other great ideas through a long period of time, such as ruder, sail, screw, etc., what all led to big revolutions in the maritime industry, especially the system of dynamic positioning. It is a technology that enables the boat to move freely in all directions on the surface of the sea, regardless of the effects sea currents and wind might have. Furthermore it had created a new range of specialized vessels that are capable of carrying out unimaginable

operations from ice-breakers to mobile offshore drilling units, drilling in depths of up to 3000 meters. Finally, system that is capable of automatically adjusting the position enables more precise navigation and opens the door to nodistant autonomous navigation.

Key words

Dynamic positioning (DP), Offshore, Mobile offshore unit (MOU), Dynamic positioning operator (DPO), Control-information system (CIS), Global positioning system (GPS), Hydroacoustic positioning reference (HPR), Taut wire, Laser reference system, Differential global positioning system (DGPS), Azimuthing Podded Drive, Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV)

Sadržaj

Sažetak	4
1. Uvod	1
2. Dinamičko pozicioniranje	2
2.1 Povijest	2
2.2 Princip rada.....	5
2.3. Elementi sustava.....	8
2.3.1 Upravljačko-informacijski sustav.....	10
2.3.2 Djelovanje okoline.....	12
2.4 Pozicijski referentni sustavi.....	13
2.4.1 DGPS.....	14
2.4.2 Hidroakustični referentni sustav	16
2.4.3 Zategnuto uže	17
2.4.4 Laserski referentni sustav	19
2.5 Brodska energetika	20
2.6 Propulzija.....	22
3.0 Uporaba dinamičkog pozicioniranja u offshore-u	25
3.1 Brodovi za pučinsku opskrbu	26
3.2 Polaganje podvodnih cjevovoda i kablova	27
3.3 Pokretne odobalne jedinice za bušenje.....	29
4.0 Uporaba dinamičko pozicioniranje na brodovima za kružna putovanja	30
5. Zaključak	33

1. Uvod

Ideju za plutajućim objektom imao je vrsni književnik Jules Verne već 1895. godine u svojoj noveli „The Propeller Island¹“ u kojoj se spominje putovanje gudačkog kvarteta koji plove na putu od San Francisca do San Diega na plutajućem objektu koji je bio stabilan poput otoka. Opisuje se plovni objekt ogromnih razmjera kojeg je čovjek stvorio kako bi bezbrižno prešao preko oceana. Kako ćemo ubrzo saznati ovo nije zadugo ostala znanstvena fantastika. Zbog sve veće potražnje za naftom, naftna industrija počela je početkom 60-tih i 70-tih godina prošlog stoljeća, tragati za naftom u dubinama mora. Kako su dotadašnja plovila bila previše neprecizna i, za tako fine operacije, nezgrapna, počelo se razmišljati o novom načinu propulzije. Prvi su se uspjesi pokazali početkom šezdesetih godina, instalacijom četiri propulzora na baržu koja je pomoću nekoliko referentnih točaka i ručnim upravljanjem uspjela zadržati plovilo na željenoj poziciji. U to se vrijeme pojavila nova tehnologija koja je promjenila sve dotadašnje, prva računala koja su bila u stanju rješavati logaritamske račune. Spajanjem tih dviju grana dobiva se plovilo koje je u stanju pomoću referentnih točaka automatski regulirati svoju poziciju i kretati se vektorski u prostoru. Bili su to začeci dinamičkog pozicioniranja. Velika potražnja za brodovima opremljenih tom tehnologijom uzrokovala je nagli rast tržišta i razvoj sustava za dinamičko pozicioniranje. Uvjeti u kojima su takva specijalizirana plovila morala raditi bila su sve zahtjevnija te su sukladno time postajala sve preciznija i sigurnija. Fleksibilnost ovog sustava omogućila je proširenje i na ostale grane pomorstva, gdje se danas sve više koriste. Kombinacije propulzora i DP sustava su gotovo beskonačne i ovise o poslu za koje je plovilo namijenjeno; to mogu biti pokretne odoblane baze za bušenje, plovila za obavljanje podvodnih radova poput polaganja kabela i cjevovoda, brodova za jaružanje, ledolomca, brodova za kružna putovanja itd. Prednosti ovog sustava je velika pokretljivost i maksimalna kontrola plovila u svim uvjetima, sposobnost plovila da ostane stacionarno bez uporabe sidra, što je naftnoj industriji omogućilo bušenje na ogromnim dubinama. Usput, omogućeno je sidrenje i uplovljavanje najvećih brodova u manje luke, koje dotad nisu bile u stanju primiti toliko velike brodove radi njihove neopremljenosti.

¹ Jules Verne, *The Propeller Island*, 1895., znanstveno-fantastična novela

2. Dinamičko pozicioniranje

2.1 Povijest

Otkrićem nafte i njezinih derivata, nafta je postala pokretač industrije devetnaestog stoljeća i od tada obilježava našu svakodnevnice. Tada, novo izumljeni stroj, motor s unutarnjim izgaranjem, koji je koristio taj novi derivat, točnije benzin, kao pogonsko gorivo u pretvaranju potencijalne u kinetičku energiju, pokrenuo je industrijsku revoluciju. Ubrzo se takav način razvijanja energije koristio u svakom dijelu industrije i privatnog života, od pretvaranja električne energije, pokretanja radnih strojeva, brodova, prvih letjelica i automobila. Namjena se činila gotovo beskonačna.

Tako veliko tržište imalo je ogromnu potražnju za crnim zlatom, a time su započele i potrage na svim stranama svijeta pa tako i u dubinama mora. Ekstrakcija sirovine koja se nalazi ispod površine mora nije nimalo jednostavna, pogotovo ako se radi o većim morskim dubinama. Do 1960. godine koristilo se brodove sa četiri ili više sidra (*four point mooring system*) koja bi osiguravala da brod zadrži poziciju i obavlja operaciju bušenja i crpljenja, no ovakav je način pozicioniranja plovila nemoguć pri dubinama od 3000 metara pa čak i više. Tu se javljaju prve ideje dinamičkog pozicioniranja (*dynamic positioning*) DP.

Slika 1: CUSS 1 1



Izvor: <http://dynamic-positioning.com/wp-content/uploads/2014/10/cuss-1.jpg>

Početkom 1960. tih godina Američka nacionalna znanstvena fondacija (NSF) htjela je testirati svojstva zemljine kore u Golfu Meksika. NSF-u je predloženo da iskoriste prenamijenjenu baržu mornarice, montirajući četiri potiskivača (*Thrusters*) na svaku stranu

barže i centralnom konzolom ručno regulirajući brzinu.² CUSS 1 (cf.: **slika 1**) imala je četiri potiskivača po snazi od 250 konjskih snaga, koji su imali mogućnost zaokreta za 360 stupnjeva kojima se ručno upravljalo. Takav način rada trebao je biti u mogućnosti zadržati poziciju unutar kružnog radijusa od 180 metara, unutar polja ograničenog bovama kao markantnih točaka i time omogućiti bušenje na većim dubinama.

Bill Bates, kao voditelj pomorskog odjela Shella, surađivao je sa Continental, Union, Shell and Superior oil companies (CUSS). Uvidjevši potencijal Bascovog projekta, potaknuo je Shell na gradnju manjeg broda za bušenje morskog dna u potrazi za naftom. Upravo takav brod, pod nazivom Eureka, dan je u izgradnju 1960. godine sa Ron Dozierom kao glavnim inženjerom. (cf.: **slika 2**)³.

Eureka je imala dva potiskivača koji su djelovali na električni pogon, a pozicija se prikazivala kao točka na osciloskopu koji je bio priključen na inklinometar, koristeći se nategnutom žicom koja je bila pomoću utega pričvršćena na dno mora kao referentna točka. Za određivanje kursa koristio se žiro kompas (*gyrocompass*).

Uvidjevši da je ovakvim upravljanjem gotovo nemoguće zadržati poziciju u plićim vodama, odlučeno je da će se koristiti nove električne upravljače (*electronic three-mode controller*) koji bi se koristili za automatsko upravljanje glavna tri stupnja slobode: napredovanje, zanošenje i zaošijanje (*surge, sway, yaw*)⁴.

Hughe Aircraft izradio je prototip koji je koristio električne upravljače, kako bi vektorski upravljao izvršnim organima. Investicija, koju je Shell stajala 50 000 američkih dolara, smatra se pionirskom dinamičkog pozicioniranja.

² Howard Shatto, *History of DP*, <http://dynamic-positioning.com/history-of-dp/> (07.04.2017.)

³ Howard Shatto, *History of DP*, <http://dynamic-positioning.com/history-of-dp/> (07.04.2017.)

⁴ dr.sc. Sadko Mandžuka, *Automatsko upravljanje plovnim objektima, izabrana poglavlja, Rijeka, 2009.*

Slika 2: The Eureka



Izvor: <http://dynamic-positioning.com/wp-content/uploads/2014/10/eureka.jpg>

Oba su broda, CUSS 1 i Eureka, testirana 1961. godine. Sustavi ugrađeni na njih pokazali su se doista funkcionalni. CUSS 1 je svojim ručnim upravljanjem uspješno zadržalo poziciju unutar zadane kružnice i znanstvenici su sa dubine veće od 3000 metara prikupili uzorak zemljine kore, dok je u Meksičkom zaljevu testiran sustav na čuvenom Eureka brodu. Nakon uspješnog ručnog manevriranja uključen je elektronični sustav, brod se stabilizirao i automatski zadržao poziciju. Automatiziran sustav radio je besprijeckorno, što je omogućilo vađenje uzoraka nenadanom brzinom. Eureka je višestruko nadmašila svoju konkurenciju, pošto je bila u stanju u samo jednome danu prikupiti devet uzoraka, dok su dotadašnji tradicionalni brodovi bili u stanju prikupiti tek jedan uzorak po danu.

Ubrzo nakon Eureka, ovim se sustavom opremilo sve više brodova, a zatim i prve mobilne odobalne baze (*Mobile Offshore Base*) MOB.

Danas je takvo upravljanje plovilima ključno za odobalno brodarstvo, kao i za ostale grane pomorstva u kojima se nalazi sve više načina implementacije sustava za dinamičko pozicioniranje. Moderna tehnologija poput računala i mnoštvo drugih elektronskih pomagala obilježili su pomorstvo kakvo danas znamo.

2.2 Princip rada

Dinamičko pozicioniranje (*Dynamic positioning*), DP, može se naime definirati kao zadržavanje pozicije i kursa broda u definiranom prostoru, koristeći se izvršnim strojevima plovila⁵. Takvo zadržavanje pozicije omogućava se pomoću aktivnog manipuliranja silama koje neprestano djeluju na plovilo. Sile koje nastoje promijeniti poziciju i kurs plovila, poništavaju se djelovanjem sile koja djeluje jednakim intenzitetom i suprotnom smjeru koristeći se pri tome izvršnim organima.

S obzirom da se vanjski uvjeti kontinuirano mijenjaju djelovanjem vjetra, morskih struja, valova itd. može se reći da je DP zapravo kontrolirana plovidba u kojem je plovilo stacionarno ili manevrira po definiranoj putanji određenom brzinom⁶.

Sustav koji upravlja plovilom u stanju je djelovati na trup plovila vektorom intervencije u svim smjerovima u horizontalnoj ravnini. Svako plovilo ima ukupno šest stupnjeva slobode gibanja, tri translacijska i tri rotacijska (cf.: **slika 3**). Automatski sustav za dinamičko pozicioniranje može djelovati na tri: zaošijavanje, zanošenje i napredovanje. Poziciju broda predstavljaju napredovanje i zanošenje, dok kurs određuje zaošijavanje.

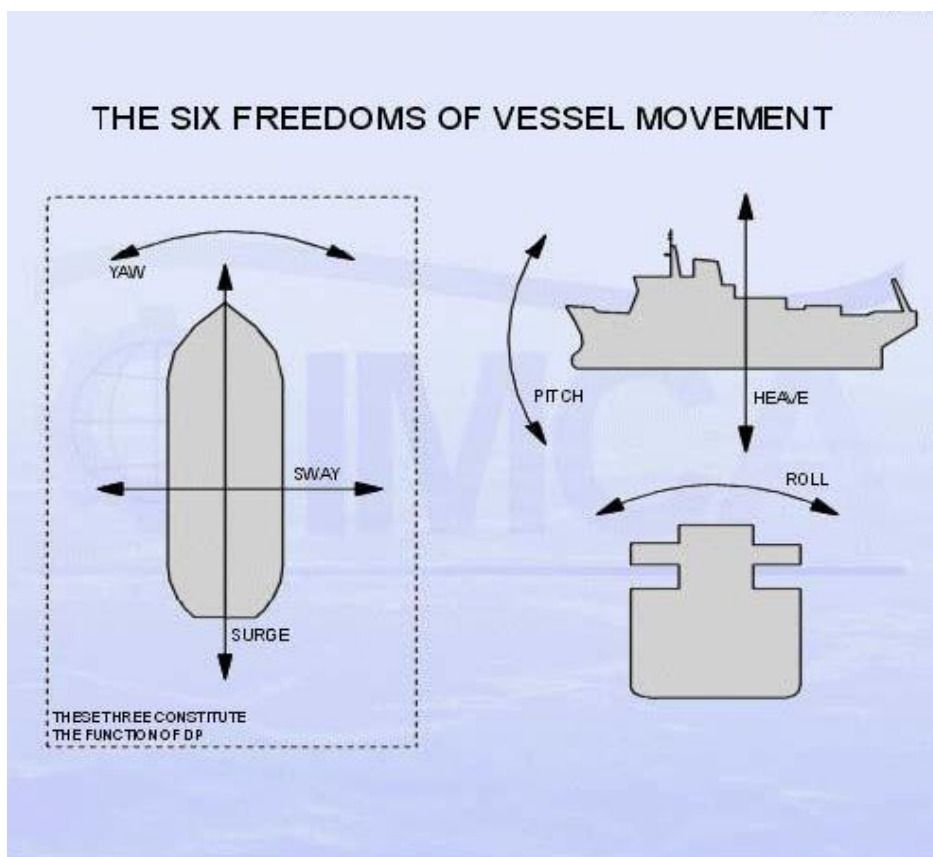
Određivanje pozicije može se odrediti na više načina koristeći pritom referentne vrijednosti (Cf.: 3. Uporaba dinamičkog pozicioniranja u offshore-u) dok se kurs određuje žiro kompasom (*gyrocompass*).

Potreba za DP javlja se pri izvršavanju specifičnih zadataka na moru, bez obzira bile one gospodarske, vojne ili privatne. Spektar namjene ovakvog načina upravljanja plovilom jest jako velik, stoga ga koriste brodovi specijalnih namjena poput onih u odobalnom pomorstvu, kruzeri, nafte platforme, vojni brodovi, pa čak i privatne jahte.

⁵ Toni, Kučić, *Projektiranje i primjena dinamički pozicioniranih mobilnih odobalnih baza*, Rijeka, 2013.

⁶ Sadko, Mandžuka, *Kordinatno upravljanje plovnim objektima, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1992.*

Slika 3: Šest stupnjeva slobode kretanja



Izvor:

http://www.shipseducation.com/info/offshore/images/IMCA%20Introduction%20to%20Dynamic%20Positioning_img_2.jpg

Naime, današnji su sustavi veoma precizni posebice uzimajući u obzir da se koriste najmodernijom tehnologijom, moćnim računalima, preciznim DGPS⁷ i efektivnim propulzorima poput azipoda, što su neki od razloga zašto je ovaj sustav postao ključan za današnji nautički svijet. Tehnologija napreduje tolikom brzinom da su neki brodovi morali ažurirati svoje zastarjele sustave kako bi konkurirala na sve većem i zahtjevnijem tržištu.

DP nije najekonomičniji način zadržavanja pozicije s obzirom da u svakom trenutku generatori moraju biti u uporabi kako bi se stvorila energija da bi sustav bio u funkciji, no tradicionalni način koji uključuje sidra u procesu stabilizacije nije moguće uvijek primijeniti. Skupa oprema, mreža cjevovoda i podvodnih kabela bivaju ugroženi velikim sidrima. Kruzeri s druge strane, njihovim čestim obaranjem sidra znatno narušavaju podvodni ekosustav. Upravo radi ovih razloga brodari se sve češće odlučuju na uporabu DP.

⁷ DGPS (*Differential Global Positioning System*) – nadogradnja GPS sustava zbog povećanja točnosti

Neke od prednosti dinamičkog pozicioniranja su⁸:

- Velike manevarske sposobnosti; nema potrebe za tegljačima, lakše pristajanje
- Brzo i efikasno uspostavljanje pozicije
- Mogućnost operacija na svim dubinama
- Brza reakcija na promjenu vremenskih uvjeta
- Fleksibilnost sustava za obavljanje raznolikih poslova
- Uklanjanje rizik o oštećenju infrastrukture koja je instalirana u podmorju
- Manje operacije mogu se obaviti brzo i ekonomično

Mane dinamičkog pozicioniranja⁹:

- Moguće je izgubiti poziciju u slučaju kvara sustava ili u ekstremnim vremenskim uvjetima
- Viša cijena obavljanja operacije s obzirom na konvecionalne sidrene sustave
- Veća potrošnja goriva
- Propulzori stvaraju rizik za ronioce i podmornice na daljinsko upravljanje (ROV)
- Sustav zahtijeva modernu skupu opremu, kao i stručno osoblje

Tijekom 90-ih godina zabilježen je porast broja plovila s DP. Tržište je svojim zahtjevima, motiviralo brodare u izgradnji i modernizaciji ovakvih plovila koja su promjenila način kretanja na moru.

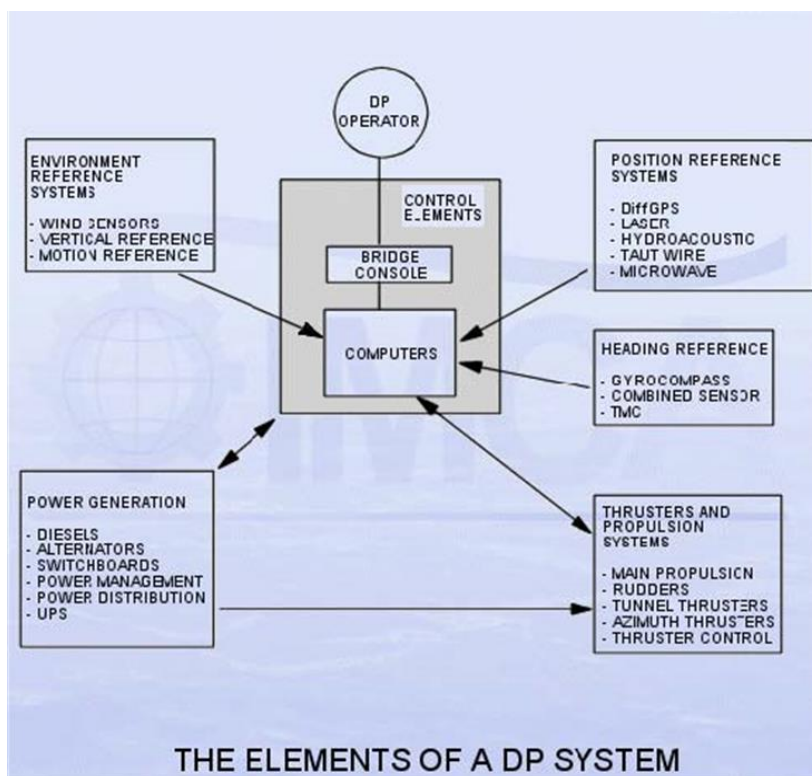
⁸ Ships education, <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-3.html> (07.04.2017)

⁹ Ships education, <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-3.html> (07.04.2017)

2.3. Elementi sustava

Sposobnost plovila da obavlja specijalizirane operacije u teškim odobalnim uvjetima, omogućuje mu složeni sustav koji ujedinjuje sve dijelove broda od kaljuže do mosta, kao i visoko obrazovani kadar osoblja koji njime upravlja. Plovila koja se opremaju za takve poslove započinju s analizom područja u kojem će se plovilo nalaziti, a za graditelja je izrazito važno da je upoznat s uvjetima i silama koje će djelovati na plovilo. Takve su informacije bitne zbog izračuna naprezanja na strukturu plovila i stvaranja matematičkog modela koji je za dinamičko pozicioniranje esencijalan. Matematički model se pohranjuje u glavno DP računalo koji poput mozga, koordinira cjelokupnim sustavom¹⁰. DP računalo pohranjuje podatke iz raznih sustava kao što su (cf.: **slika 4**):

- Podaci o okolišu; senzor vjetra, senzor za vertikalno pomicanje
- Podaci o energetici na brodu; dizelski generatori, alternatori, razvodna ploča, raspolaganje energijom, neprekidna opskrba energijom (UPS)
- Sustav dobivanja pozicije; DGPS, laserski, hidroakustični, mikrovalni itd.
- Dobivanje kursa; žiro kompas, kombinacijom drugih uređaja
- Porivni sustav; glavni propulzori, kormilo, azimut potiskivači, bočni potiskivači



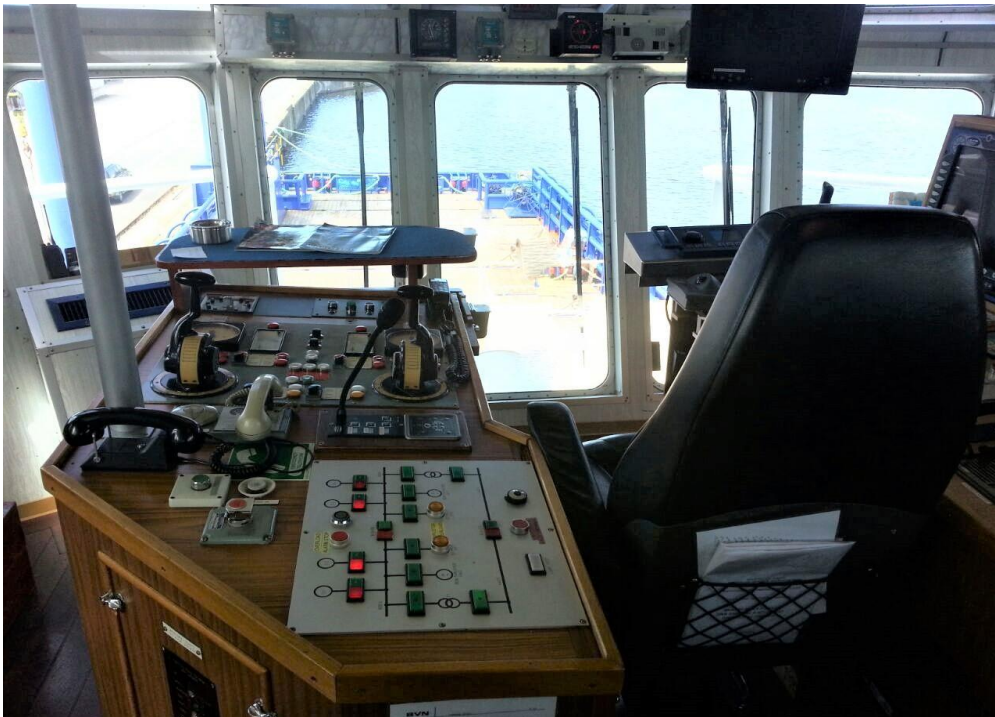
Slika 4: Shematski prikaz sustava za dinamičko pozicioniranje

Izvor:
<https://dynamicpositioning.files.wordpress.com/2011/04/intro02-1.gif?w=425&h=425>

¹⁰ Balchen, J.G., Jenssen, N.A., Mathisen, E. Selid, S., A dynamic positioning based on Kalman filtering and optimal control, modeling, identification and control, Vol. 1; No. 3., 1980.

Koristeći ove referentne podatke, računalo računa razliku između pohranjenih podataka sa periferija i zadanih (*setpoint*) vrijednosti. Rezultat toga je vektor intervencije, sila i smjer koju moraju izvršiti strojevi primjeniti kako bi plovilo ostalo stacionarno. S obzirom da DP plovila moraju biti što preciznija i efikasnija, računala moraju biti u stanju procesuirati zadane vrijednosti i neposredno ih primjeniti na porivne strojeve. Unaprijed izračunati model plovila i područja tome znatno pomaže. Ovakvo manipuliranje plovilom smatra se automatskim, a operater dinamičkog pozicioniranja, DPO ¹¹ nadgleda rad unaprijed postavljenog sustava. U automatskom modelu rada, DPO ima mogućnost mijenjanja parametra i vrijednosti poput brzine intervencije primjerice zbog promjena vanjskih utjecaja. No, operater također ima mogućnost ručnog upravljanja, koristeći se centralnom konzolom (cf.: **slika 5**).

Slika 5: Krmeni dio mosta sa pogledom na DP centralnu konzolu i radnu palubu



Izvor: Privatno

Plovila poput naftnih platformi nemaju mogućnost pregleda nad okolinom te se onda koriste video kamerama i ostalim senzorima za nadziranje.

¹¹ operater dinamičkog pozicioniranja, DPO – osoba koja upravlja sustavom dinamičkog pozicioniranja, DP

2.3.1 Upravljačko-informacijski sustav

Kao glavna komponenta svakog sustava za dinamičko pozicioniranje, potrebno je jedno ili više računala. Broj računala ovisi o zahtjevima koji se postavljaju za plovilo, stoga veći broj računala omogućuje veću sigurnost u slučaju ispada i bržu obradu podataka.

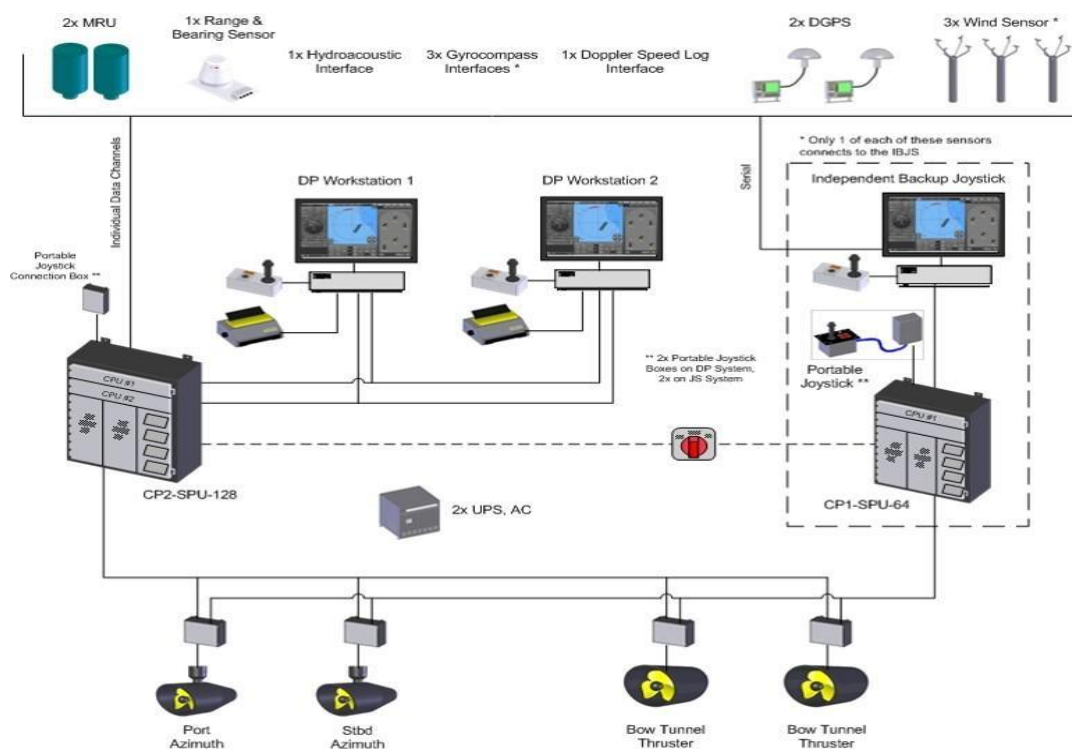
Računala mogu biti postavljena kao samostalno „*simplex*“, u duploj ili čak trostrukoj konfiguraciji. Konfiguracija se određuje po pravilima klasifikacijskog društva, s obzirom kakve će poslove plovilo obavljati. Jedno računalo ne pruža nikakve rezerve ako dođe do ispada sustava, dok u duploj ili trostrukoj konfiguraciji, pri ispada jednog računala rad preuzima funkcionalno, bez gubitka pozicije (*auto-changover*). Sustav sa tri računala omogućuje novi oblik „odlučivanja“. Naime, informacije koje su pohranjene, prolaze logički sklop koji ima mogućnost odbacivanja pogrešaka i time se znatno povećava preciznost (cf.: **slika 6**).

Funkcije koje obavlja ovakav sustav su¹²:

- Automatsko mjerenje i nadzor CIS
- Vođenje i upravljanje dinamikom plovila
- Izvođenje potrebnih simulacija i prezentacija stanja
- Automatska zaštita i alarmni sustavi
- Osigurava komunikaciju među pojedinim elementima CIS-a i protokoliranje istoga
- Dodatne funkcije

¹² dr.sc. Sadko Mandžuka, *Automatsko upravljanje plovnim objektima, izabrana poglavlja, Rijeka, 2009.*

Slika 6: Shema upravljačko informacijskog sustava



Izvor: <http://amimaritime.com/new/wp-content/uploads/2016/03/DP2.jpg>

Prijašnji su se DP sustavi upravljali sa proporcionalno-integralno-derivatnim (PID) regulatorima, međutim takav se sustav pokazao neefikasnim zbog loše adaptacije okoliša i mora. Moderni se sustavi zato koriste upravljačkom strategijom stohastičkog upravljanja uz korištenje Kalmanovih filtera¹³. Kalmanov filter uključuje model sustava koji za estimaciju visokofrekventnih komponenti zahtijeva što precizniji opis plovnog objekta. Uz to sustav zahtijeva brzu digitalnu komunikaciju unutar sustava „data highway“.

Komunikacija između pojedinih računala omogućuje se putem lokalne računalne mreže (*local area network*), LAN. Ovim sustavom mogu bit povezani i drugi sustavi kojima je funkcija upravljanje plovilom. Kontrolno računalo za DP koristi se isključivo za upravljanje plovilom i promjene nad njim mogu poduzeti samo stručne osobe, kako bi se izbjegle moguće komplikacije.

DP računalo direktno je spojeno sa centralnom konzolom (cf.: **slika 6**). DP pruža potpunu preglednost i kontrolu nad cijelim sustavom i radnom okolinom. Na konzoli se nalaze svi gumbi, sklopke, alarmi i ostale aparature koje pomažu operateru. Ujedno,

¹³ Grumble, M. I., Patton, R.J., *The design of dynamic ship positioning control system using stochastic optimal control theory, optimal control application and methods, Vol. 1., No. 11., 1980.*

posebno se ističe komandna ručica koja je potrebna pri ručnom upravljanju plovilima, te omogućuje upravljanje u svim smjerovima.

Brodovi koji se koriste DP sustavom imaju centralnu konzolu smještenu na krmeni dio mosta, koji je sagrađen tako da omogućuje što bolju preglednost nad radnom palubom (cf.: **slika 6**).

2.3.2 Djelovanje okoline

Tri najznačajnije sile kojima priroda djeluje na plovilo mijenjajući mu poziciju i kurs su vjetar, valovi i morske struje¹⁴. Vjetar je najneugodniji element vanjskih poremećaja jer je njegovo djelovanje vremenski promjenjivo i događa se kao slučajan proces, te se zbog toga teško uklapa u matematički model. Sila vjetra opisana je kao smjer i brzina, koja potiskuje ukupnu površinu broda. Takvo se djelovanje može znatno smanjiti pravilnim dizajniranjem nadvođa plovila.

Svim DP sustavima potrebni su senzori vjetra koji određuju smjer i brzinu vjetra. Oni se sastoje od klasičnog anemometra sa kuglicama i smjernom kazaljkom. Vrijednosti se koriste u izračunu, kojima DP sustav kompenzira takav utjecaj kako bi zadržao kurs i poziciju. Zbog velikog utjecaja vjetra na plovilo, sustav se koristi „*feed-forward*“ opcijom, koja omogućuje kompenzaciju istog trena kad dođe do promjene bilo koje od varijabli vjetra.

Mnogi sustavi imaju mogućnost aktivno djelovati na komandnu ručicu, kako bi DPO imao bolji pojam okoline pri ručnom upravljanju.

S druge strane, valovi i morske struje nisu toliko promjenjive varijable poput vjetra, što omogućuje estimaciju djelovanja sila putem računalnog modela i Kalmanovog filtera koji nam predviđaju gibanje translatornih valova. Utjecaj tih sila opisuje se kao sila koja pomiče plovilo sa GPS pozicije, a da to nije vjetar. Na modelu se takvo djelovanje prikazuje kao smjer i brzina djelovanja mora.

Plovilo se djelovanjem svih ovih sila kreće u svim stupnjevima slobode kretanja. Iako DP sustav ne može djelovati na sve, poput ljuljanja (*roll*), posrtanja (*pitch*) i poniranja (*heave*) (cf.: **slika 3**), neophodno je da se vrijednosti mjere, kako bi se koristile u sustavima kojima je

¹⁴ Ochi, M.K., *Marine environment and its impact on the design of ships and marine structures*, SNAME, Transactions, Vol. 101, 1993.

potrebna referenta gravitacijskog središta plovila. Takve se vrijednosti mjere putem *motion reference unit* (MRU)¹⁵.

2.4 Pozicijski referentni sustavi

Sposobnost određivanja pozicije je ključna za DP sustav, te mora biti u stanju brzo i precizno odrediti točnu poziciju kako bi se pogreške svele na minimum. Ovakav sustav zahtijeva brzu obnovu pozicijskih podataka, kako bi se postigla što veća preciznost, stoga je potrebno da se podaci o poziciji obnavljaju svaku sekundu. DPO mora prije svake operacije provjeriti vjerodostojnost podataka koji su dobiveni raznim sustavima, s obzirom da su operacije zahtjevne i često ugrožavaju ljudske živote, okoliš i tuđu imovinu.

DP sustav je u stanju na više načina odrediti poziciju, ovisno o operaciji koja se od sustava zahtijeva, te sukladno s time koristi jedan ili više referentnih sustava za određivanje pozicije, primjerice DGPS, hidroakustika (HPR), laserski (*Fanbeam*, *CyScan*), pričvršćeno uže (*Taut wire*). Glavno DP računalo spojeno je sa svim referentnim sustavima koji su ugrađeni na plovilo i moguće je odrediti koji će od njih biti aktivan za vrijeme rada. Kada se koriste pojedinačno, kao što je to kod DGPS-a, podaci se brzo obrade i primjene. U slučaju da se koristi više sustava istovremeno, računalo ih mora koristiti podjednako ili po uvjetima koje je postavio DPO.

Moderni DP sustavi imaju mogućnost određivanja važnosti jednog referentnog sustava nad drugim. Što je veća važnost dana pojedinom sustavu, imat će i veći učinak na krajnji rezultat određene pozicije. Takve parametre postavlja DPO, ovisno o operaciji. Primjerice, u području gdje se može dogoditi gubitak GPS pozicije, kao što su naftne platforme i ostale velike željezne konstrukcije, koriste se kombinirani laserski i dva DGPS sustava, kako bi se osiguralo zadržavanje pozicije u slučaju da dođe do ispada jednog od njih.

DP se dijeli na nekoliko klasa, zasad tri. Razvoj je započeo s prvostupanjskim DP-om koji je imao sve osnovne uređaje potrebnim za rad. Kasnije, pojavljuje se potreba za uređajima koji u slučaju ispada jednog od vitalnih dijelova, omogućuju plovilu da zadrži poziciju ili da se kreće po određenoj putanji. Takvi se uređaji podrška prvostupanjskom DP što nas u konačnici dovodi do DP klase 2 i klase 3. Oni se moraju koristiti s minimalno tri referentna sustava, kako bi se omogućila primjena logističkih sklopova koji provjeravaju

¹⁵ *Motion reference unit, MRU – skup senzora koji prikupljaju informacije o stanju i kretanju plovila (izvor: <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/61118F926CD5A6E5C125700B0033CF.55?OpenDocument>) (21.04.2017.)*

vjerodostojnost podataka kroz sustav eliminacije. U slučaju da senzor zaprimi vrijednost koja odstupa od druga dva, smatra se greškom i odbacuje iz modela za izračun pozicije. Takav se način automatskog upravljanja omogućio uvođenjem Kalmanovih filtera, koji se koriste matematičkim modelima kako bi unaprijedili preciznost.

2.4.1 DGPS

Najčešći način određivanja precizne pozicije na DP sustavima je putem DGPS-a, koji temelji rad na globalnom pozicijskom sustavu (*Global Positioning System*, GPS). Naime, GPS je sustav za određivanje pozicije putem satelita u orbiti, putem kojih možemo trigonometrijski odrediti našu poziciju na sferi zemaljske površine. S obzirom da je sustav pod vodstvom američke vlasti, limitiran je preciznošću.

Današnja prosječna greška GPS-a sustava za civile iznosi oko 20 metara, a ta je pogreška iznosila 100 metara, sve do 20. svibnja 2000. godine kada je Sjedinjene Američke Države odlučile raskinuti selektivnu dostupnost¹⁶.

Bez obzira na raspoloživost GPS sustava, nedovoljno je precizan za DP i zbog toga se koriste korekcije koja se dobivaju putem referentnih stanica sa poznatim pozicijama na Zemlji, kojeg opisuje WGS 84¹⁷.

Differential GPS iliti diferencijalni globalni položajni sustav, nosi ime prema matematičkoj metodi pri kojoj prikuplja i obrađuje podatke od korisnika i referentnih kopnenih stanica. Precizna pozicija se dobiva na način da se podaci pozicije plovila i GPS satelita uspoređuju sa podacima dobivenim od strane referentnih stanica, koji sadrže telemetrijske ispravke za svaki satelit. Šalju ih na plovilo putem podatkovne linije i pohranjuje u računalo, koje pomoću podataka za korekciju izračuna poziciju koja je precizna na čak nekoliko centimetara¹⁸. (cf.: **slika 7**).

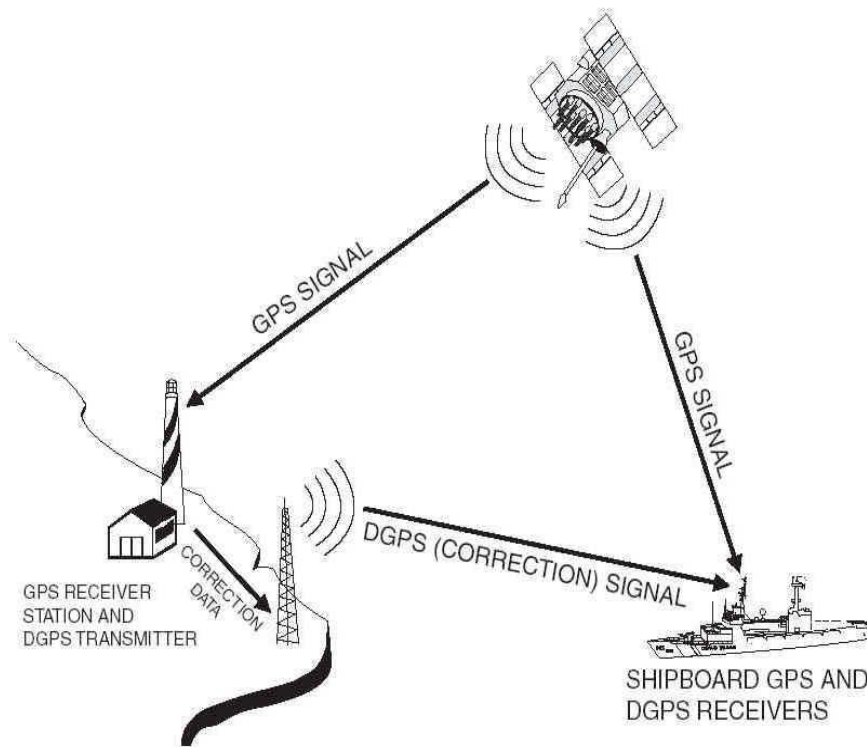
Ovakav način dobivanja pozicije je najbrži i pomoću današnje tehnologije također jedan od najpreciznijih. Koristi se na svim DP plovilima i ostalim plovilima kojima je ključna egzaktna pozicija, poput plovila za istraživanja, hidrografska mjerenja i druge specijalne namjene.

¹⁶ *Ships education*, <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-3.html> (07.04.2017)

¹⁷ *World Geodetic System (WGS) 84 - naziv elipsoida koji se koristi kao referentni koordinatni sustav Zemlje*

¹⁸ *ESRI* <http://www.esri.com/news/arcuser/0103/differential1of2.html> (07.04.2017)

Slika 7: Način rada DGPS sustava



Izvor: https://cultofsea.com/wp-content/uploads/2015/11/img_564ecbef7de65.png

Kako bi DGPS bio funkcionalan mora se unaprijed odrediti operater koji je u stanju pružati sve potrebne korekcije za određeno područje. Za to mu je potrebno nekoliko referentnih stanica preko kojih se može korigirati GPS signal i proslijediti ga do klijenta. Takva se služba skupo naplaćuje i mora se voditi računa da je veza između korisnika i operatera uvijek aktualizirana kako se ne bi dogodio prekid veze tijekom radne operacije.

Smatram da je ovaj sustav najpoželjniji i najidealniji način određivanja pozicije, zahvaljujući brzom djelovanju i velikoj preciznosti. Ipak, mana se krije u činjenici da oslanjanjem na DGPS postajemo ovisni o samim GPS satelitima i njihovom besprijekornom radu što ne mora uvijek biti slučaj. Problemi mogu naići pri radu u blizini Sjevernoj i Južnog pola ili ukoliko Sjedinjene Američke Države svojevoljno odluče „ugasiti“ sustav. Također, korisnici ovise o obalnim bazama od kojih dobivaju korigirane podatke jer bez njih pozicija može varirati i do nekoliko metara, što za operaciju može biti izrazito pogubno.

2.4.2 Hidroakustični referentni sustav

Sustav koji se koristi zvukom za pozicioniranje plovila vrlo je efektivan i koristi se u mnogo operacija. Koristi se predavačem koji je montiran na plovilo i transponderom koji se nalazi na objektu koji je relevantan za operaciju. Predavač odašilje signal na određenoj frekvenciji, koji izaziva reakciju na transponderu koji potom vraća paket podataka natrag na predavača. Vremenska razlika između predavača i transpondera je proporcionalna nagibu i udaljenosti jednog od drugog. Primljenim podacima DP računalo izračunava poziciju i kurs. Ovaj se sustav koristi u slučaju kada je potrebno pratiti podvodnu bespilotnu podmornicu (ROV) ili pri zadržavanju pozicije nad nekim određenim mjestom poput naftnih bušotina.

Razlikujemo tri vrste hidroakustičnog sustava, koje se karakteriziraju po udaljenosti plovila od transpondera.

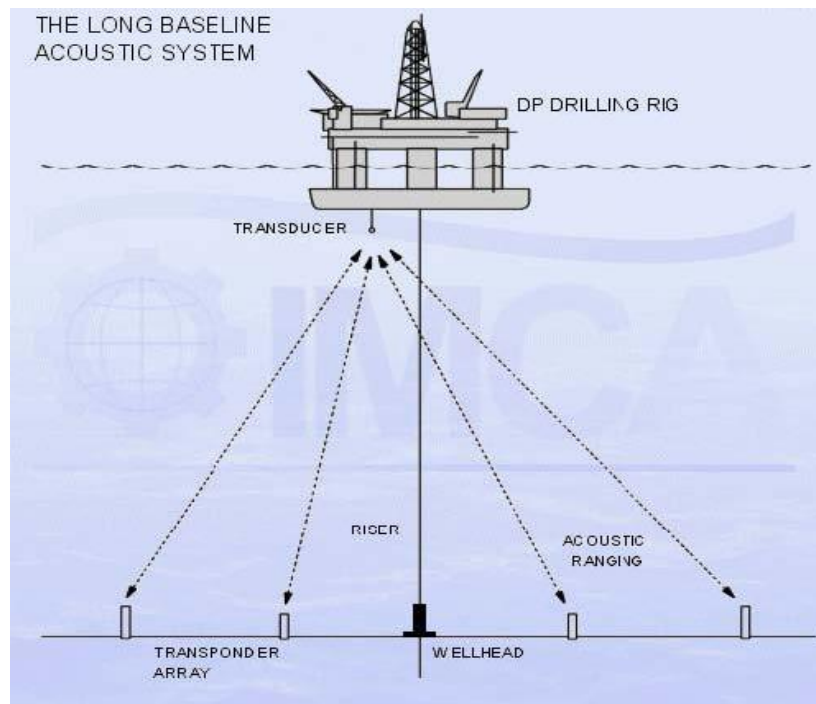
Veoma i jako kratki akustični sustav (*ultra-super short baseline*) SSBL, se koristi kada je udaljenost između predavača i transpondera mala, do 1000 metara udaljenosti (dubinske razlike). Funkcionalnu vezu moguće je uspostaviti sa minimalno jednim transponderom koji je pričvršćen na ROV ili nalazi se na morskom dnu.¹⁹

Dugi akustični sustav (*long baseline system*) LBL, se pak koristi u dubinama većim od 1000 metara. Za njegov rad potrebno je minimalno tri transpondera koji su postavljeni na morsko dno na širem prostoru. Kako bi se postigla veća preciznost, postavljaju se pet transpondera u obliku pentagona u čijem se središtu nalazi bušotina. Takav se sustav najčešće koristi pri stabilizaciji mobilnih odobalnih baza koje se koriste dinamičkim pozicioniranjem, koje na dnu imaju jedan predavač koji komunicira sa transponderima na dnu. Za izračun pozicije potrebna je udaljenost između predavača i transpondera. S obzirom da su pozicije transpondera na dnu fiksne, moguće je trigonometrijski izračunati kut između plovila i transpondera. Preciznost ovakvog sustava nalazi se u nekoliko metara, iako je komunikacija između plovila i transmitera ograničena dubinom i akustičnom sposobnošću vode kao elementa 1,500 m/sek.

Kratki akustični sustav sličan je dugom, no razlikuju se po tome što se koristi više fiksnih predavača koji se nalaze na trupu plovila i jednim transponderom na morskom dnu. Preciznost je veća od veoma kratko akustičnog sustava no i dalje su potrebne korekcije zbog slobode gibanja plovila.

¹⁹ Ships education, <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-3.html> (07.04.2017)

Slika 8: Dugi akustični sustav na mobilnoj odobalnoj bazi sa DP



Izvor:

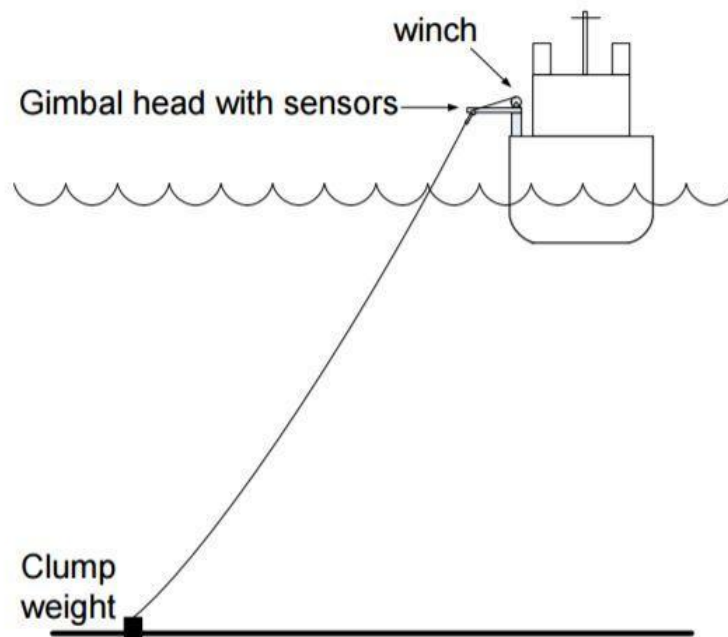
http://www.shipseducation.com/info/offshore/images/IMCA%20Introduction%20to%20Dynamic%20Positioning_img_9.jpg

Iz navedenog proizlazi da se ovakav način referentnog sustava koristi najčešće kao sredstvo pomoću kojeg se pronalazi nafta. Držim da je sustav pouzdan i relativno precizan dok se radi o vrijednostima koje ulaze unutar granica mogućnosti. No njegova je primjena prilično komplicirana. Zahtijeva brojne pripreme i potrebno je duže vrijeme kako bi sustav bio spreman za rad, za razliku od drugih referentnih sustava, primjerice DGPS.

2.4.3 Zategnuto uže

Ovakav se način pozicioniranja plovila koristio u samim zaćecima dinamičkog pozicioniranja, kada nisu postojali moderni sustavi poput DGPS. Koristi se dizalicom s vitlom koje održava stalnu napetost, uže sa utegom i senzor koji nam daje kut užeta prema utegu (cf.: **slika 9**). Kako bi se plovilo zadržalo stacionarno, potrebno je poznavati kut i dužinu otpuštenog užeta kojima se definira pozicija i kompenzirati vanjske uvjete koji namjeravaju promijeniti kut užeta prema utegu.

Slika 9: Pozicioniranje zategnutim užetom



Izvor:

http://www.shipseducation.com/info/offshore/images/IMCA%20Introduction%20to%20Dynamic%20Positioning_img_10.jpg

Ovakav se način pozicioniranja koristi kada se plovilo mora zadržati duže vremena na fiksnoj poziciji i dubini ne većoj od 350 metra. Sustav je dakle limitiran dubinom i kutom, koji ne smije prelaziti 20 stupnjeva kako bi se spriječilo povlačenje utega po morskom dnu i time uzrokovalo promjenu pozicije ili u ekstremnim uvjetima čak puknuće užeta.²⁰

Razne izvedbe ovakvog sustava uključuju i horizontalno nategnuto uže, koje se koristi pri održavanju pozicije kraj drugih plovila ili fiksnih objekata. Princip rada je sličan, no umjesto utega, koristi se fiksna točka na objektu kojim planiramo održati poziciju.

Kao što je prethodno rečeno, ovaj najstariji način referentnog sustava danas se koristi pri najmanjem broju operacija iz razloga što je velika mogućnost pogrešaka. Danas ga zamjenjuju precizniji sustavi poput hidroakustičnog referentnog sustava. Mišljenja sam kako se u današnje vrijeme postupno gubi njegov smisao i sveopća potreba za ovim sustavom zbog efikasnijeg načina pozicioniranja putem DGPS i ostalih referentnih sustava. No njegova je povijest i značaj kojeg je imao, od velike važnosti za razvoj istih, te je u vrijeme svog nastanka predstavljao jedini način održavanja fiksne pozicije.

²⁰ Doug Phillips, Brian Haycock, *Dynamic positioning conference 2014, Sensors session, Taut wire*, http://dynamic-positioning.com/proceedings/dp2014/backup_sensors_phillips.pdf (21.04.2017.)

2.4.4 Laserski referentni sustav

Pozicioniranje DP plovila moguće je postići sustavom koji se koristi laserima za aproksimaciju pozicije. Danas se najčešće koriste dva sustava Fanbeam²¹ i CyScan²², i dok je princip rada isti, ipak se razlikuju po pitanju softvera i opreme koju koriste razni proizvođači. Iako imaju istu ulogu, Fanbeam funkcionira na sljedeći način: pronalazi reflektirajuće ploče i konstantno ih održava unutar svog vidnog polja. Za razliku od njega, CyScan pak čini jedno te isto no ploče pronalazi tako što se okreće oko vlastite osi odašiljući u prostor laserske zrake što rezultira vraćanjem istih koje se odbijaju od traženih objekata i time dobija udaljenost i smjer, poput radara.

Oba sustava za rad koriste infracrveni laserski sustav, koji biva ugrađen u kupolu (cf.: **slika 10**) na što je moguće višu poziciju plovila i reflektirajuće ploče ili cilindri raznih veličina, koje se pričvrste za objekt oko kojeg moramo zadržati poziciju. Način rada je sličan onome radarskog. Kupola s laserom se okreće oko svoje osi i odašilje laserske zrake koje se odbijaju od reflektirajućih ploča i tako određuju kut i udaljenost istih. Ti se podaci tada koriste u glavnom DP računalu za izračun pozicije plovila prema točkama na kojima se nalaze reflektirajuće površine.

²¹ Fanbeam, Geospatial Solutions, <http://geospatial-solutions.com/fanbeam-laser-radar-delivers-dynamic-positioning-to-offshore-vessels/>

²² CyScan, Guidance marine, <http://www.guidance.eu.com/cyscan>

Slika 10: Laserska kupola CyScan sustav



Izvor:

[http://www.guidance.eu.com/assets/_managed/cms/images/Marine/Marine%20products/DSCN0996%20\(Copy\).JPG](http://www.guidance.eu.com/assets/_managed/cms/images/Marine/Marine%20products/DSCN0996%20(Copy).JPG)

Sustav se koristi kada moramo zadržati poziciju kraj stacionarnih objekata, poput mobilnih odobalnih baza (cf.: **slika 10**). Kako bi sustav ispravno radio potrebno je osigurati dobru vidljivost lasera nad reflektivnim pločama. Smetnje mogu biti fizičke, objektom koji zaklanja lasersku zraku ili prirodni čimbenici poput magle, jake kiše i sl. U dobrim vremenskim uvjetima upotrebljiv raspon sustava je 400 metara, dok se pri magli ta vrijednost smanjuje na domet koji mi vidimo golim okom.

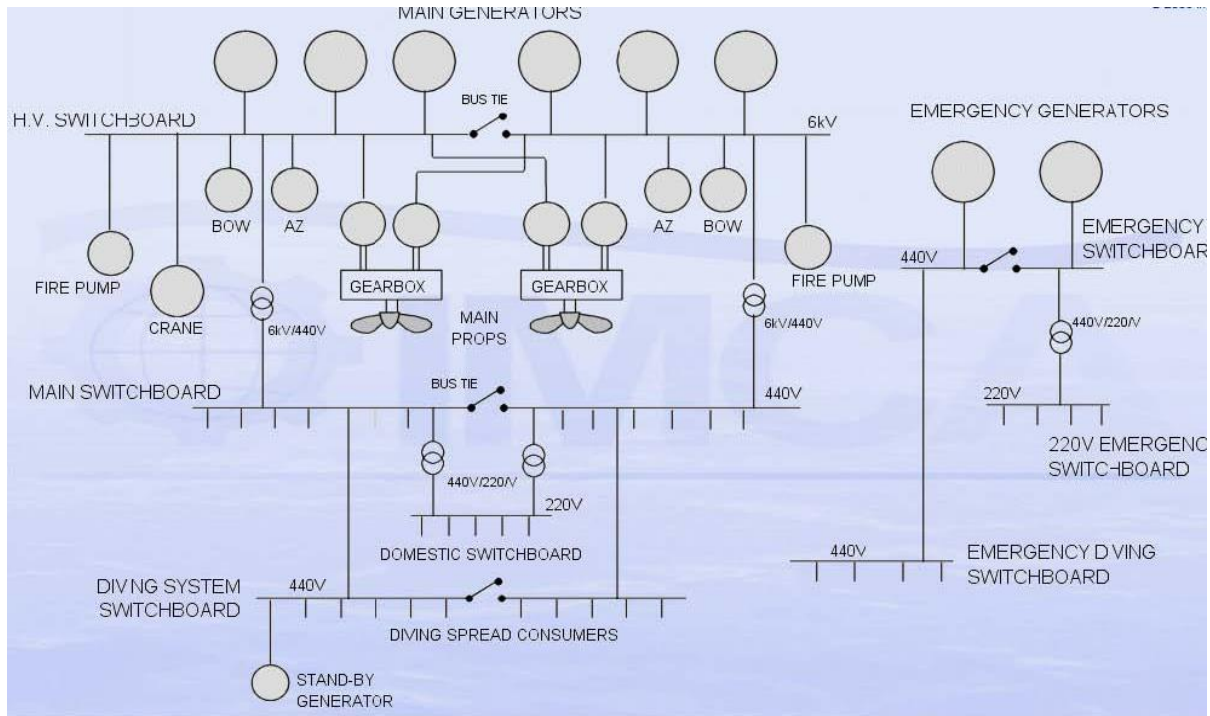
Iz navedenog vidljivo je da je sustav limitiran prirodnim nepogodama te se zbog toga koristi većinom kao pomoćno sredstvo u situacijama kad drugi oblici dobivanja podataka o referentnoj poziciji ne mogu biti dovoljno precizni u blizini primjerice platformi ili drugih plovila.

2.5 Brodska energetika

Neophodno za svaki brod, pa tako i za DP, jest mogućnost stvaranja energije za poriv i opskrbu plovila električnom energijom. Gotovo na svim plovilima sa sustavom za DP koriste se diesel-električni generatori za stvaranje električne energije. Omogućuju preciznu kontrolu nad izvršnim organima, kao i opskrbu svih ostalih sustava, uključujući DP i njegove

referentne sustave (cf.: **slika 11**). Energetski sustavi se izrađuju po individualnim potrebama svakog plovila, uzimajući u obzir vrstu plovila, akvatorij i djelatnost koju planira obavljati.

Slika 11: Shematski prikaz brodskog energetskog sustava



Izvor:

http://www.shipseducation.com/info/offshore/images/IMCA%20Introduction%20to%20Dynamic%20Positioning_img_6.jpg

Energetski sustav ugrađen na DP plovila mora biti u stanju namiriti velike promjene u potražnji energije, s obzirom da je sustav direktno spojen s DP računalom koje izravno reagira na svaku promjenu okoline, te mora biti u stanju opskrbiti propulzore i bočne potiskivače velikom količinom energije potrebne za kompenzaciju mora i vjetra, a pritom paziti na minimalnu potrošnju goriva.

Zbog povećanja sigurnosti uz pomoćni generator, svaka kontrolna jedinica DP sustava ima neprekidan izvor električne energije UPS²³, 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

²³ neprekidan izvor električne energije, UPS - uninterruptible power supply

je u stanju putem baterija održati rad spojenih komponenti u trajanju od minimalno 30 minuta.

24

Stoga, moguće je zaključiti kako je napredak u pogledu brodske energetike doprinio višestruko. Prijelaz s motora s unutarnjim izgaranjem, koji je za propulziju i stvaranje energije koristio kruto gorivo, na diesel-električne generatore omogućio je veću fleksibilnost i bolju koheziju između propulzije i načina kontrole tj. upravljanja plovilom. Diesel-električni generatori znatno pridonose određenim sigurnosnim aspektima jer se koncept stvaranja energije raščlanjuje na više jedinica. Uz to, valja spomenuti i pozitivne karakteristike poput lakšeg servisiranja, veće ekološke prihvatljivosti i uštede prostora. S druge strane, za sada jedina mana ovakvog načina stvaranja poriva jest visoka cijena energenta.

2.6 Propulzija

Svako plovilo je iznimno ovisno o izvršnim organima kojima se koristi, jer njima se određuje kakve će manevarske sposobnosti plovilo posjedovati. Klasična izvedba, vijak, kormilo nije zadovoljavala potrebe dinamičkog pozicioniranja, s obzirom da nije u stanju izvoditi složena translatorna kretanja, koja su ključna za operaciju dinamičkim pozicioniranjem.

Značajno poboljšanje manevarskih sposobnosti plovila pridonijela je ugradnja bočnih potiskivača (*thruster*), koji se ugrađuju u trup broda na provi i na krmu. Djelovanjem sile okomito na orijentacijsku os plovila, ugradnja ovakvih potiskivača omogućila je promjenu kursa plovila bez uporabe vijka i kormila pri manjim brzinama. Kombinacijom ovih sustava kormilo, vijak i bočni potiskivači, upravljajući njima putem DP računala, omogućilo se prostorno kretanje plovila. Računalo pomoću matematičkog modela i podataka iz referentnih sustava, izračunava smjer i silu kojima propulzori kao cjelina, moraju djelovati na okolinu, kako bi plovilo ostalo stacionarno ili se kretalo slobodno po površini. Zbog daljnjeg poboljšanja preciznosti kormila i vijka, koriste se vijci sa zakretnim lopaticama koji pri stalnoj okretnoj brzini mijenjaju korak lopatica i time upravljaju smjerom i intenzitetom djelovanja vijka. Ovakva kombinacija popularna je i na današnjim plovilima opremljenima sa DP, posebice zbog znatno nižih troškova održavanja s obzirom na druge varijante propulzora, poput azipod ili cikloidnih propulzora, te čini sustav idealnim za manje i jednostavnije operacije koje ne zahtijevaju najvišu razinu preciznosti.

²⁴ Milić Aleksandar, Perović Dario, *Koncept brodskih elektroenergetskih sustava u brodova s dinamičkim pozicioniranjem*, *Naše more* 62(2), 2015.

Pri samom početku razvoja DP, koristili su se propulzori koji su bili u stanju okretati se oko svoje osi i time ostvariti poriv i stabilizaciju plovnog objekta u sva tri stupnja slobode. Bili su to začeci današnjeg azipod propulzora, koji je danas najučestaliji način poriva za plovila sa specijalnom namjenom.

Azipod²⁵ (cf.: **slika 12**) je brodska porivna jedinica čiji je smjer sile varijabilan u opsegu od 360 stupnjeva i time ostvaruje kretanje u svim smjerovima. Ovakvim se tipom propulzije dobiva maksimalna pokretljivost plovila zbog čega se koristi u područjima u kojima je potrebna visoka preciznost. Izvedbe ovog sustava mogu biti raznolike i varirati od plovila do plovila uzimajući u obzir operacije koje će se njime obavljati.²⁶

Slika 12: Azimut propulzija



Izvor: http://www.motorship.com/_data/assets/image/0017/423314/vb-azipods1.jpg

Kučište vijka smješteno je izvan trupa plovila u kojem se nalazi elektromotor koji pokreće vijak. Kako bi se dalje poboljšala pokretljivost, koristi se vijak čija su krila

²⁵Azimuthing Podded Drive

²⁶ ABB,

<https://searchext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AJM0050000051&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

promjenjivog uspona. Propulzori takve izvedbe u stanju su promijeniti smjer i intenzitet potiskivanja promjenom stupnja uspona krila.

Pogodnosti ovog sustava su vrhunska upravljivost plovila u svim smjerovima, precizniji i brži pri promjeni upute sa komandnog mosta, te mirniji su pri radu. Obzirom da se nalaze izvan trupa broda i pogonjeni električnom energijom proizvedeno generatorima koji se nalaze na plovilu, ne proizvode toliku buku i vibracije poput klasične izvedbe sa kormilom i vijkom na osovini. Također se utvrdilo da pri odobalnim operacijama ovakav sustav koristi i do 20 posto manje energije nego što bi to plovilo s klasičnom izvedbom, zahvaljujući puno efektivnijoj metodi preusmjerenja medija, a time i samog plovila.

Ove pogodnosti privukle su pažnju ostalih brodara koji se ne bave primarno dinamičkim pozicioniranjem. Radi se o brodovima koji zbog čestog pristajanja u luke zahtijevaju što bolju mogućnost manevriranja, to su primjerice trajekti, ledolomci, kruzeri, mega jahte, pa čak i tankeri, koji su si ovu tehnologiju prilagodili svojim potrebama i proširili tržište za ovakav način propulzije. Pomoću njih veći brodovi poput kruzera i tankera gube potrebu za tegljačima pri ulazak u luku što znatno utječe na sveukupni trošak plovidbe.

Međutim ovakav sustav ima i svojih nedostataka, osim što je nabavna cijena višestruko viša od klasične izvedbe, složena konstrukcija zahtijeva redovno održavanje, koja također povećavaju trošak ovakvog načina propulzije. Nadalje potrebna je kvalificirano osoblje koje je u stanju održavati i upravljati ovim sustavom. Zbog toga se i dalje većina plovila koristi klasičnom izvedbom.

Dinamičko se pozicioniranje također može izvesti u plovilima koja se koriste cikloidnim propelerom²⁷(cf.: **slika 13**). Takav se sustav znatno razlikuje od prethodnih, s obzirom da je os rotacije krila vertikalna. Promjena smjera je rezultat promjene položaja vertikalnih lopatica u toku jednog ciklusa. Plovila koja se koriste ovim načinom propulzije imaju iznimne manevarske sposobnosti te je omjer snage koju ovakav sustav može prenijeti u silu poriva puno veći nego bilo koji drugi način propulzije.

²⁷ Voith Schneider propulsion system

Slika 13: Cikloidni propeleri



Izvor: <http://static.shipbuildingtribune.com/wp-content/uploads/2012/03/Voith-Schneider-Propeller-VSP-from-Voith-Turbo-Schneider-Propulsion-on-the-Platform-Supply-Vessel-Edda-Tram..jpg>

Nedostaci ovog sustava su velika potrošnja i veoma složena izvedba koja nije pogodna za dugu plovidbu i loše more, stoga se koristi najčešće na remorkerima koji mogu iskoristiti njihov puni potencijal.

3.0 Uporaba dinamičkog pozicioniranja u offshore-u

Sustav dinamičkog pozicioniranja se u počecima koristio u vrlo specifičnim granama pomorstva, točnije odobalnim operacijama koje su zahtijevale takvo precizno upravljanje plovila za obavljanje raznih poslova. Visoki budžet koji nosi ta branša pospješila je razvoj DP sustava u potrazi za što boljim i efektivnijim načinom iskorištavanja prirodnih resursa.²⁸

Ova se grana pomorstva, kao što je već prije rečeno, razvila relativno kasno, no zahvaljujući velikim ulaganjima moćnih naftnih kompanija i raznim poticajima pomorske industrije ubrzo je postala najtraženija. Gotovo neiscrpnii izvori nafte ispod površine mora rezultirali su eksponencijalnim rastom ove grane pomorstva i time razvojem novih plovila i tehnika u cjelokupnoj industriji i pomorstvu. Sva plovila kojima je za njihov rad potrebna visoka preciznost okrenuli su se novom rješenju – DP. To se posebice odnosi na brodove za pučinsku opskrbu, brodove za polaganje kablova i podvodnih cjevodovoda, pokretne odobalne jedinice kao i za brodove za kružna putovanja.

Danas, DP u offshoreu jest gotovo nužni segment svakog plovila pošto su operacije postale sve zahtjevnije razvojem tehnologije, ljudskih potreba kao i mogućnosti.

²⁸ cf.: 2.1. Povijest (str. 3.)

3.1 Brodovi za pučinsku opskrbu

Brodovi za pučinsku opskrbu nastali su u samom početku *offshore* industrije, a glavna im je primjena povezati odoblane baze sa kopnom. Kao takvi u stanju su prevoziti većinu potrebnih resursa na pučinu kako bi se mobilne baze opskrbile vodom i hranom za posadu baze, naftnim derivatima, cementom ili bilo kakvim drugim potrebnim materijalom koji su nužni za daljnji rad na pučini. Zbog svoje višestruke namjene neophodno je ova plovila opremiti dinamičkim pozicioniranjem kako bi rad u blizini naftnih platforma bio moguć.

Brodovi se mogu pri gradnji slobodno konfigurirati po želji i potrebama broдача, a ta fleksibilnost ih čini idealnim za ovakve poslove, pošto su poslovi koje će plovilo morati obavljati raznovrsni. Razmještaj izvršnih organa može biti različit, od onog klasičnog pomoću kormila i vijaka pa sve do azipoda koji se ugrađuju na prednji kraj plovila. Kapaciteti tankova, veličina radne platforme, nosivost ugrađenih dizalica i sl., bitni su faktori koji se uzimaju u obzir kad se kreće s izgradnjom ovakvog plovila. Kombinacije sa platformom za spuštanje helikoptera su također danas vrlo tražene s obzirom da se posada može efektivnije izmjeniti u slučaju da plovilo mora ostati duže vremena na pučini.

Takva se plovila također opremaju za rad sa ronionicima i bespilotnim podmornicama koji obavljaju inspekcije na podvodnoj konstrukciji odoblanih baza, razne operacije razminiranja ili popravka raznih podvodnih instalacija poput podvodnih cjevovoda i kabela koji se pružaju oko cijelog svijeta.

Ronionci se koriste u situacijama kad je potrebna ljudska preciznost u manjem akvatoriju i manjim dubinama. Rad s njima zahtijeva maksimalnu pažnju i preciznost stoga se koriste DP sustavi sa najvišim stupnjem sigurnosti, kako bi kontrola nad plovilom i dalje bila osigurana u slučaju pada jednog od sustava. Najveći rizik jesu propulzori, od kojih ronilačko zvono mora bit udaljeno minimalno pet metara kako bi se osigurao siguran rad ronionca.

Bespilotna podmornica ROV²⁹ je uređaj kojim upravlja osoba daljinskim upravljačem i time omogućuje rad na velikim dubinama bez uporabe ronionca i ugrožavanja ljudskih života. Svojom finom robotikom u stanju je izvršiti većinu poslova poput ronionca, no na dubini koja je nedostižna ljudima. Upravitelj ima kontrolu nad uređajem putem komadne ploče koja mu omogućuje upravljanje ROV-om u svim smjerovima kretanja, a pomoću senzora i kamera ugrađenih na ROV dobiva uvid okolinu u kojoj se kreće. Također su ugrađene hvataljke i

²⁹ *Remotely Operated Underwater Vehicle*

druge aparature čijima se ROV može služiti. Ova se tehnologija pokazala veoma bitnom u područjima koja mogu biti vrlo opasna za ronioce poput onih kraj naftnih bušotina, potopljenih mina i sl. i pošto nije vremenski i dubinski ograničena, ekonomski je puno isplativija varijanta. DP sustav na glavnom plovilu u stanju je koristiti akustični transponder, koji je ugrađen na ROV-u i pri tome se koristi pomoću referentnog sustava za DP, te se ta opcija naziva „*follow sub*“ ili „*follow target*“ pri kojemu DP plovilo prati ROV podmornicu sukladno s njezinom brzinom i smjerom.³⁰

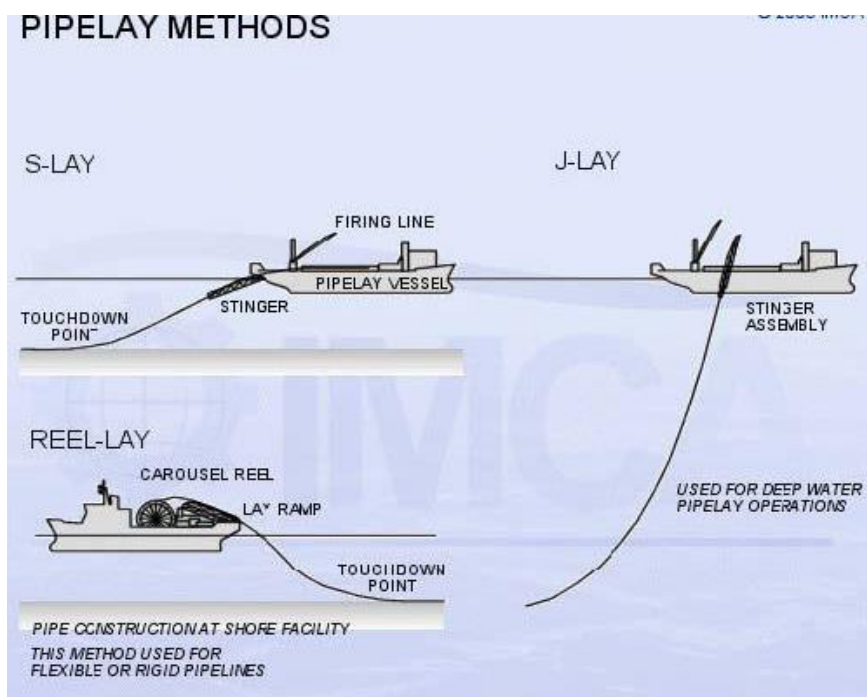
3.2 Polaganje podvodnih cjevovoda i kablova

Cjevovodi se mogu položiti na više načina (cf.: **slika 14**), no najraširenija metoda jest metoda „*S-lay*“ pri kojoj se konstrukcija cjevovoda odvija postepeno, prolazeći uzdužno kroz trup broda. Dijelovi cjevovoda prolaze nekoliko faza zavarivanja prolazeći kroz trup te se zatim nakon kontrole polagano spuštaju na dno. Esencijalno je mjerenje napetosti koju stvara polegnuti dio cjevovoda, jer u slučaju gubitka napetosti konstrukcija pada na dno i riskira se oštećenje konstrukcije. Podaci iz senzora koji mjere napetost pohranjuju se u DP sustavu putem kojeg se regulira poriv, kurs i pozicija, a time i napetost koja rezultira blagim spuštanjem na morsko dno.³¹

³⁰ Ships education, <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-3.html> (07.04.2017.)

³¹ Rigzone, http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=311 (20.05.2017)

Slika 14: Metode polaganja cjevovoda



Izvor:

http://www.shipseducation.com/info/offshore/images/IMCA%20Introduction%20to%20Dynamic%20Positioning_img_18.jpg

Druga metoda je „*J-lay*“ koja se koristi pri većim dubinama i postavlja se pod većim početnim kutom, kako ne bi došlo do puknuća konstrukcije cjevovoda zbog težine koja napreže konstrukt. Cijevi se spajaju u grupe koje se zatim dižu dizalicom i vare u cjelinu, te ih se spušta pod konstantnom napetošću kako ne bi naglo pale na dno što bi svakako uzrokovalo oštećenje.³²

„*Reel-lay*“ metoda razlikuje se bitno od prethodna dva, s obzirom da je konstrukt unaprijed spojen već tijekom same tvorničke izrade i namotan na vitlo. Konstrukt je manjeg omjera i time puno fleksibilniji od prethodnog. Takav se cjevovod koristi na nešto kraćim relacijama koje zahtijevaju manji protok.³³

Polaganje kabela je vrlo slično, a s obzirom da su današnji optički kabela osjetljivi, mora se voditi računa o naprezanjima koje djeluju na njega kako ne bi došlo do kidanja veza, stoga se i pri polaganju kabela koriste referentne vrijednosti koje nam daju napetost uronjenog kabela i koriste za korigiranje brzine i smjera kretanja DP sustavom. Kako bi se kabel zaštitio od vanjskih uvjeta kao što su kočice ili čak morskih pasa, kabel se ukopava u morsko dno pomoću pluga kojeg za sobom vuče plovilo koje postavlja kabel.

³² Rigzone, http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=311 (20.05.2017)

³³ Rigzone, http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=311 (20.05.2017)

Naime, život u 21. stoljeću gotovo je nezamisliv bez interneta. Bez prisutstva ovakvih brodova, ne bi bilo moguće obavljati rad polaganja podvodnih cjevovoda i kablova zbog velikih dubina i enormnih troškova. No upravo zahvaljujući njima, uspješno je provedeno polaganje optičkih kablova između kontinenata što je bilo značajno ne samo za njihov razvoj već i za razvoj zemalja Trećeg svijeta.

3.3 Pokretne odobalne jedinice za bušenje

Nalaženje naftne sirovine na sve većim dubinama, poput onih u Meksičkom zaljevu, Brazilskoj pučini, zapadnoj obali Afrike i zapadnoj obali Škotske, dovelo je industriju do novih granica. Dubine i do preko 3000 metara zahtijevale su potpuno novi način stabilizacije odobalnih jedinica za bušenje, a dotadašnji način pričvršćivanja platforme sidrima na morsko dno nije bio moguć. Rješenje tog problema bila je ugradnja sustava za dinamičko pozicioniranje i pomoću njega ostvarenje stacionarne pozicije.³⁴

Pokretna odobalna jedinica za bušenje (cf.: **slika 15**) posjeduje samostalni sustav za manevriranje, a čine ju strojarica gdje se proizvodi električna energija koja pokreće i do šest azipoda, kojima se upravlja sa komandnog mosta, opremljenog sa najnovijim DP sustavom koji je u stanju održati poziciju i u najgorim vremenskim uvjetima.

Platforma mora održati poziciju što okomitije nad bušotinom kako bi bilo zagarantirano sigurno bušenje. Čim pređe tri stupnja od okomice bušotine, sustav reagira korigiranjem pozicije koja se dobiva referentnim sustavima, korigiranim DGPS-om, inklinometrima koji su smješteni na spojnicu bušotine i ulazne cijevi te hidroakustičnim sustavom koji je pričvršćen na dno mora oko bušotine.

³⁴ *Offshore energy today*, <http://www.offshoreenergytoday.com/uruguay-first-offshore-well-in-years-breaks-world-record/>, *Ships education*, <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-3.html> (07.04.2017),

Slika 15: Pokretna odobalna jedinica za bušenje sa četiri azipod propulzora



Izvor: http://www.rigzone.com/images/howitworks/HIW_semisubmersibles_4.jpg

Dokazuje se kako je nedostatak ovakvih platformi konstantan rad DP sustava, a time i redoviti pregledi i servisi na diesel-električnim generatorima, propulzorima i cjelokupnom sustavu koji mora biti u besprijekornom stanju kako bi zadovoljio kriterije sigurnosti. Konačno, potrošnja goriva i visoka nabavna cijena čine ovaj sustav jednim od najskupljih metoda bušenja radi izvlačenja naftne sirovine. Ipak, ovakav se način bušenja danas sve češće koristi i na manjim dubinama jer postupak postavljanja takvih platformi je puno brži i ne zahtijeva dugotrajnu pripremu poput klasičnih platformi, a time je i ekonomski isplativiji, pogotovo ako se radi o manjem broju bušotina.

4.0 Uporaba dinamičko pozicioniranje na brodovima za kružna putovanja

Sustav dinamičkog pozicioniranja se proširio vrlo brzo sa odobalnih operacija na ostale grane pomorstva, pa tako i na putničke brodove. Među njima se ističe „Oasis of the Seas“ (cf.: **slika 16**) koji je sa svojih 360 metara dužine i 47 metara širine, danas najveći putnički brod za kružna putovanja. Plovilom ovalikih dimenzija nije lako upravljati, stoga se

DP pokazalo vrlo efektivnim i omogućilo gorostasima poput ovih, uplovljavanje u manje luke koje nemaju izgrađene lučke sadržaje te nisu u mogućnosti primiti iste.³⁵

Slika 16: Oasis of the Seas sa tri azioid propulzora



Izvor:

http://static.heavyliftnews.com/media/7c/d/313afa31e11c5856f55582a1397089c38aee56480f37737a936e5abdcc4fedc7_m.jpg

Ovaj sustav propulzije pokazao se kao iznimno dobar za ovakav tip broda, pošto omogućuje plovidbu područjima koja su dotad bila nedostižna za brodove klasičnog tipa propulzije. Plovidba fjordovima, uskim kanalima ili pristajanje u manjim lukama više nije predstavljala problem. U lukama više nije bilo potrebe za tegljačima, što je značilo brže i efektivnije privezivanje, a time i ekonomski puno isplativije.

Sidrenje je također bitan aspekt ovog tipa broda pošto se u čestim slučajima mora usidriti ispred luke zbog svoje veličine, popunjenosti luke ili nedostatka lučke opreme. Postupak obaranja sidra je postupak koji zahtijeva pripremu i kontrolirane uvjete kako bi bilo efektivno, a u obzir se uzimaju vremenski uvjeti, dubina, vrsta dna i površina kružnice kojom

³⁵ dipl. ing. Ivica Đurđević-Tomaš, kap. d. pl., dipl. ing. Miloš Brajović, kap. d. pl.: NAŠE MORE : znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, Vol.56 No.1-2 Lipanj 2009.; Sidrenje i dinamičko pozicioniranje putničkih brodova za kružna putovanja, Dubrovnik, 2009.

će brod laziti. Taj se postupak znatno olakšava korištenjem DP sustava, DPO, u našem slučaju zapovjednik, odredi parametre koje sustav prati pomoću ugrađenih senzora i tako održava stacionarnu poziciju. Za razliku od klasičnog sidrenja gdje se obara sidro i time fiksira brod za morsko dno, DP zahtjeva rad glavnih strojeva kako bi održalo poziciju plovila pomoću kombinacije rada propulzora i referentnih sustava. Nije potrebno uzimati u obzir dubinu i površinu kružnice kojom bi se plovilo kretalo da je na sidru, pošto zadržava konstantni kurs, bez obzira na strujanje mora i utjecaj vjetra. Tom se tehnikom dodatno osigurava plovilo, pošto su strojevi i oprema u svakom trenutku spremi reagirati na promjenu vanjskih uvjeta. Sidrenje u lukama može biti prostorno ograničeno, pošto se po dnu prostire mnoštvo kabela i cjevovoda koji se mogu oštetiti nepravilnim sidrenjem, a uostalom svako obaranje sidra utječe razarajuće gledajući sa biološkog aspekta. U skladu pomorskog zakonika brod koji se koristi dinamičkim pozicioniranjem smatra se plovilom koje plovi i dužan je kao takav pridržavati se svih odgovarajućih zakona, te se zbog toga smije nalaziti izvan sidrišta dok se koristi dinamičkim pozicioniranjem.

Luksuzni brodovi poput ovih, čak i privatne mega jahte, koriste se ovom tehnologijom iz razloga što se propulzori pokreću dizel-električnim generatorima koji stvaraju puno manje buke i predstavljaju uštedu prostora plovila koji se može iskoristi kako bi se povećao kapacitet putnika ili dobara. Osim toga, miran rad azimut propulzora, u usporedbi sa vijkom koji se pokreće osovinom, dodatno poboljšava ugođaj putnika.

5. Zaključak

Dinamičko pozicioniranje svojim je inovacijama obogatilo moreplovstvo 20. i 21. stoljeća. Njime, plovilima je omogućeno vektorsko kretanje i time rad u raznolikim okolnostima kao što je rad u geografski uskim područjima, malim lukama, na velikim dubinama ili primjerice rad uslijed teških vremenskih nepogoda, kada isti može biti iznimno zahtjevan bez ovakvih pomagala. Prednosti ove tehnologije su toliko očite, da su ih postupno počela preuzimati i plovila kojima izvorno tehnologija nije bila namijenjena poput brodova za kružna putovanja, ledolomaca, brodova za hidrografska istraživanja, vojnih brodova ili pak privatnih jahti. Nadalje, dinamičko je pozicioniranje izazvalo brojne promjene i u različitim aspektima brodogradnje prvenstveno iz razloga što su se brodovi morali prilagoditi novoj tehnologiji. Danas su brodovi u stanju obaviti rad, koji je nekada iziskivao mnogo vremena, novaca i najvažnije, ljudskih života, u neizmjereno kraćem roku, uz velike uštede kako financijski tako i gledano s aspekta radne snage.

Držim da postoji pregršt pozitivnih osobina sustava DP. Naime, plovilo postaje maksimalno pokretljivo u gotovo svim smjerovima i na taj način može se prilagoditi svakoj situaciji u koju zapadne. Osim toga, prednost je definitivno i efikasniji način stvaranja energije i raspolaganje njome. Valja spomenuti kako je pozitivna značajka i činjenica da su propulzori i bočni potiskivači ujedinjeni u jedinstvenu cjelinu, što doprinosi radu i obavljanju raznolikih operacija ali i lakoći ugradnje sustava u razne brodove sa svakojakim kombinacijama propulzora.

Ipak, iz rada je moguće i iščitati kako sustav DP nije savršen. Kao i sve ostalo, da bi sustav ostao u prvobitnom stanju, potrebne su redovne kontrole koje se moraju obavljati nad svakim instaliranim uređajem, krenuvši od propulzora pa sve do referentnih sustava koji upravljaju njima.

Konačno, lako je uvidjeti kako DP svakim danom predstavlja prekretnicu u razvoju autonomne plovidbe što i ne začuđuje, uzimajući u obzir stopu razvoja današnjeg informatičkog znanja. Osobnog sam mišljenja kako ova tehnologija igra poprilično veliku ulogu u razvitku pomorstva koje je neizmjereno važno za živote današnjice. Na kraju, valja završiti s mišlju što ju je američki pisac Rick Riordan jednom prilikom zapisao: „More ne voli biti ukroćeno.“³⁶

³⁶ Rick Riordan, *Percy Jackson & the Olympians*, 2005., roman

LITERATURA

Pisani izvori:

Balchen, J.G., Jenssen, N.A., Mathisen, E. Selid, S., A dynamic positioning based on Kalman filtering and optimal control, modeling, identification and control, Vol. 1; No. 3., 1980.

Kučić, Toni, Projektiranje i primjena dinamički pozicioniranih mobilnih odobalnih baza, Diplomski rad, Rijeka 2013.

Mandžuka, Sadko, Automatsko upravljanje plovnim objektima. Izabrana poglavlja, Rijeka, 2009.

Mandžuka, Sadko, Kordinatno upravljanje plovnim objektima, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1992.

Mandžuka, Sadko, Kordinatno upravljanje plovnim objektima, Brodogradnja, Vol. 34, No. 3, Rijeka, 1986.

Maglić, Lovro, Izobrazba operatera i akreditacija centara dinamičkog pozicioniranja. Sveučilište u Rijeci, Rijeka 2009.

Mili, Aleksandar, Perović, Dario, Koncept brodskih energetske sustava u brodova s dinamičkim pozicioniranjem, Uljanik brodograđevni project, Pula 2014.

Grimble, M. I., Patton, R.J., The design of dynamic ship positioning control system using stochastic optimal control theory, optimal control application and methods, Vol. 1., No. 11., 1980.

Ochi, M.K., Marine environment and its impact on the design of ships and marine structures, SNAME, Transactions, Vol. 101, 1993.

dipl. ing. Đurđević-Tomaš, Ivica, kap. d. pl., dipl. ing. Brajović, Miloš, kap. d. pl., NAŠE MORE : znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, Vol.56 No.1-2 Lipanj 2009.; Sidrenje i dinamičko pozicioniranje putničkih brodova za kružna putovanja, Dubrovnik, 2009.

Internet izvori:

Ships education, <http://www.shipseducation.com/info/offshore/dynamic-position-3.html> (07.04.2017)

Dinamic Positioning, <http://dynamic-positioning.com/> (07.04.2017)

ESRI <http://www.esri.com/news/arcuser/0103/differential1of2.html> (07.04.2017)

Kongsberg,

<https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/BD306BBB3E7DA73FC1256DAB00353083?OpenDocument> (08.04.2017)

Rolls-Royce, <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/marine.aspx> (08.04.2017)

Geospatial solutions, <http://geospatial-solutions.com/fanbeam-laser-radar-delivers-dynamic-positioning-to-offshore-vessels/> (10.05.2017.)

Rigzone, http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=311 (20.05.2017)

Doug Phillips, Brian Haycock, Dynamic positioning conference 2014, Sensors session, Taut wire, http://dynamic-positioning.com/proceedings/dp2014/backup_sensors_phillips.pdf (10.05.2017.)

Offshore energy today, <http://www.offshoreenergytoday.com/uruguay-first-offshore-well-in-years-breaks-world-record/> (18.06.2017.)

ABB,

<https://searchext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AJM0050000051&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (02.07.2017.)

CyScan, <http://www.guidance.eu.com/cyscan> (07.04.2017.)