

NAČELO POVRATNE VEZE SA PRIMJEROM UPRAVLJANJA BRODSKIM KORMILOM

Bilandžić, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University
College ARCA / Veleučilište ARCA**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:247:659332>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**

Repository / Repozitorij:

[Digital Academic Repository of Graduate Theses of
the University College ARCA](#)



image not found or type unknown

VELEUČILIŠTE ARCA

Ante Bilandžić

**NAČELO POVRATNE VEZE SA PRIMJEROM
UPRAVLJANJA BRODSKIM KORMILOM**

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2023.

VELEUČILIŠTE ARCA

**NAČELO POVRATNE VEZE SA PRIMJEROM
UPRAVLJANJA BRODSKIM KORMILOM**

Predmet: Automatizacija

Mentor: Doc. Dr. sc. Marijan Gržan dipl.ing

Student: Ante Bilandžić

Matični broj: 16-20

Modul: Inspekcijski i kadrovski menadžment u pomorstvu

Split, srpanj 2023.

IZJAVA

Izjava o akademskoj čestitosti,

Ja, ANTE BILANDŽIĆ ovime izjavljujem da je moj rad pod naslovom: NAČELO POVRATNE VEZE SA PRIMJEROM UPRAVLJANJA BRODSKIM KORMILOM rezultat mojeg vlastitog rada, te se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio moga rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem da ni jedan dio ovog rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, ili obrazovnoj ustanovi.

Potpis:

ANTE BILANDŽIĆ

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. OPĆENITO O AUTOMATIZACIJI..... | 2 |
| 2.1. Povijesni razvoj | 2 |
| 2.2. Razlika automatike i automatizacije..... | 3 |
| 3. SUSTAVI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA | 5 |
| 3.1. Sustav upravljanja u otvorenom krugu | 6 |
| 3.2. Sustav upravljanja u zatvorenom krugu – načelo povratne veze..... | 7 |
| 4. HIDRAULIČKI SUSTAVI NA BRODU | 10 |
| 5. NAČELO POVRATNE VEZE NA BRODU | 12 |
| 5.1. Automatizacija broskog pogona | 13 |
| 5.2. Podjela automatskih sustava na brodu..... | 14 |
| 5.3. Automatizacija brodskih strojeva | 15 |
| 6. BRODSKA KORMILA | 17 |
| 6.1. Podjela brodskih kormila..... | 17 |
| 7. UPRAVLJANJE KORMILARSKIM UREĐAJEM..... | 20 |
| 7.1. Princip rada kormilarskog uređaja..... | 20 |
| 7.2. Automatsko upravljanje kormilarskim uređajem | 22 |
| 7.3. Brodski Auto-Pilot..... | 23 |
| 8. PRIMJER UPRAVLJANJA BRODOM ZA KRSTARENJA..... | 26 |
| 9. ZAKLJUČAK | 31 |
| LITERATURA | 32 |
| POPIS SLIKA | 34 |

SAŽETAK

Napretkom tehnologije i industrijskim revolucijama došlo je i do razvoja brodogradnje, a samim time i načina upravljanja brodom. Pojavom automatskog upravljanja brodskim kormilom je gotovo istisnuto prvotno ručno upravljanje. Automatsko upravljanje brodskim kormilom oslanja se na niz parametara i sustava iz okoline i zadržava brod na pravom kursu. Prilikom plovidbe zbog vanjskih utjecaja kao što su morske struje, valovi, vjetar ili neki drugi utjecaj može doći do odmakaja od zadanog kursa. Zadatak automatskog upravljanja je da brod vrati na zadani kurs. Kompletan sustav je jako kompleksan i zahtijeva neprestano održavanje i ažuriranje kako bi sve funkcioniralo.

„Srce svakog sustava automatske regulacije jest ideja povratne veze!“

Shimon.Y. Nof (editor), Handbook of Automation, Springer, 2009

Ključne riječi: brod, automatika, sustav, kormilo, kurs, povratna veza

ABSTRACT

With the advancement of technology and industrial revolutions, there was also the development of shipbuilding, and thus the way of operating the ship. With the advent of automatic steering, the ship's rudder was almost squeezed out by the original manual control. Automatic steering of the ship's rudder relies on a number of parameters and systems from the environment and keeps the ship on the right course. When sailing due to external influences such as sea currents, waves, wind or some other influence, there may be a shift away from the set course. The task of automatic steering is to return the ship to its set course. The complete system is very complex and requires constant maintenance and updating to make everything work.

„The heart of any automatic control system is the idea of a feedback link“

Shimon.Y. Nof (editor), Handbook of Automation, Springer, 2009

Keywords: ship, automation, system, rudder, course, feedback

1. UVOD

Povijesna evolucija automatike i primjer broda ističu važnost povratne informacije kao glavnog fokusa. Vezano uz temu završnog rada je i izazov regulacije i automatizacije. Analiza koncepta i istraživanje o automatskoj regulaciji ključni su za svaki uspješan istraživački pothvat. Dio polja kibernetike bavi se automatizacijom i regulacijom koju ona donosi. Najznačajniji i temeljni oblik je sustav povratne veze. Po definiciji, automatska regulacija spada pod kišobran sustava koji se koriste u poljima kibernetike i automatizacije. Željeno stanje procesa održava se automatski ili se mijenja u određeno vrijeme kroz održavanje. Koristeći kombinaciju unutarnjih i vanjskih mjera, sustav dosljedno izvršava svoje zadaće. Usporedba izmjerene vrijednosti neke regulirane veličine omogućena je povratnom vezom. Na temelju varijacije između predviđene referentne vrijednosti i stvarne izvedbe, proces se ocjenjuje. Za usmjeravanje procesa, odnos zadanih i izmjerenih veličina igra važnu ulogu.

Automatizacija na brodu omogućuje daljinsko upravljanje brodskom opremom. Centraliziranje prikupljenih informacija, regulacija, signalizacija i daljinsko mjerenje bile su sve strategije korištene za postizanje istog cilja. Informacije se prikazuju u obliku koji je najprikladniji za ljudsku konzumaciju putem automatiziranih procesa. Operacije programiranja, jednostavne i složene, potrebne su nakon što su podaci akumulirani i obrađeni. Posada na brodovima je smanjena zahvaljujući automatizaciji, što utječe na smanjenje troškova, povezano je s teretnim operacijama, smanjenje kvarova, uz skraćivanje radnog vremena za posadu. Poboljšanje metodologije održavanja i smanjenje troškova goriva bili su prioriteti. Svrha i cilj ovog rada je definiranje temeljnih načela upravljanja s naglaskom i osvrtom na automatizaciju broskog pogona odnosno automatsko upravljanje kormilarskim uređajem. Cilj je prikazati automatizaciju s naglaskom na načelo povratne veze s primjerom automatizacije broskog pogona te kormilarskog uređaja na brodu. Pogon broda je automatiziran korištenjem automatske kontrole upravljanja. Uz pomoć primjera želimo pokazati važnost principa povratne veze u automatizaciji. Upravljački uređaj i pogon broda automatizirani su radi učinkovitosti.

2. OPĆENITO O AUTOMATIZACIJI

Automatizacija se odnosi na prebacivanje ljudskog rada na strojeve, uglavnom kroz tehnički napredak. Industrijalizacija je nastavak mehanizacije. Dok mehanizacija rada olakšava rad u tvornici, automatizacija smanjuje potrebu za ljudskom prisutnošću u obavljanju određenih aktivnosti. Automatizacija stvara priliku za povećanje produktivnosti i povećanje proizvodnje uz smanjenje troškova proizvodnje i poboljšanje kvalitete proizvoda. Također ga možete koristiti za povećanje učinkovitosti kontrole proizvodnje. U konačnici, automatizacija dovodi do povećanja produktivnosti i smanjenja ljudskog rada (a time i mogućih ljudskih pogrešaka) u proizvodnji, ali s druge strane i do gubitka radnih mjesta. Kombinacija automatizacije, globalizacije i demografskih promjena ima značajan utjecaj na gospodarsku strukturu zemlje. Automatizacija se odnosi na korištenje različitih tehnologija kao što su strojevi, roboti i računalni programi za obavljanje zadataka koje su ljudi prethodno obavljali ručno. Uključuje izgradnju sustava i procesa koji se mogu pokrenuti automatski uz minimalnu intervenciju. To može pomoći u povećanju učinkovitosti, produktivnosti, točnosti i dosljednosti uz smanjenje troškova i ljudske pogreške. Automatizacija se obično koristi u proizvodnji, zdravstvu, financijama, transportu i drugim industrijama koje zahtijevaju obavljanje ponavljajućih ili opasnih zadataka.

Automatizacija se odnosi na korištenje različitih tehnologija, kao što su strojevi, roboti i računalni programi, za obavljanje zadataka koje su ljudi prethodno obavljali ručno. To uključuje stvaranje sustava i procesa koji mogu raditi automatski, sa minimalističkom potrebom za intervencijom. To može pomoći u povećanju učinkovitosti, produktivnosti, točnosti i dosljednosti, uz smanjenje troškova i ljudske pogreške. Automatizacija se obično koristi u proizvodnji, zdravstvu, financijama, prijevozu i drugim industrijama u kojima je potrebno obavljati ponavljajuće ili opasne zadatke.¹

2.1. Povijesni razvoj

Automatsko vođenje sustava i procesa podrazumijeva izrazito veliki i opširan pojam. Početak se smatra vrijeme ere prve industrijske revolucije, odnosno tada počinje era mehanizacije. Erom automatizacije počinje zamjena ljudskih radnji s radnjama strojeva, odnosno strojevi preuzimaju ulogu ljudi u izvršavanju aktivnosti u proizvodnji. Razvojem se nametnula potreba

¹ <https://hr.wikipedia.org/wiki/Automatizacija> (pristupljeno 26.4.2023.)

za povećanjem umnoga rada čovjeka, s čime se razvijaju različite metode upravljanja, nadzora, regulacije, i slično. To doba se smatra dobom druge industrijske revolucije. Automatizacija je nastavak procesa mehanizacije, a odnosi se na područje koje je znatno šire od automatike jer ona implicira i socio-ekonomske aspekte života.

2.2. Razlika automatike i automatizacije

Pojam automatika (od grčke riječi automat-ono što se događa samo od sebe), odnosi se na sve naprave koje izvršavaju pojedine aktivnosti, bez izravne ljudske asistencije. Riječ automatski može se koristiti za opis stroja koji radi samostalno, izvršavajući svoje zadatke uz malo ili nimalo ljudske intervencije. Automatizirana znanost praksa je znanstvenog istraživanja bez potrebe za značajnom ljudskom intervencijom. Treba odmah istaknuti kako je automatika znanstveno-tehnička disciplina o teoretskom i praktičnom projektiranju, konstruiranju, djelovanju i izvođenju uređaja i sustava koji rade bez direktnog čovjekovog sudjelovanja, a bazira se na fenomenu motrenja veličina procesa i automatskog ispravljajućeg djelovanja na procesna stanja i ulaze.²

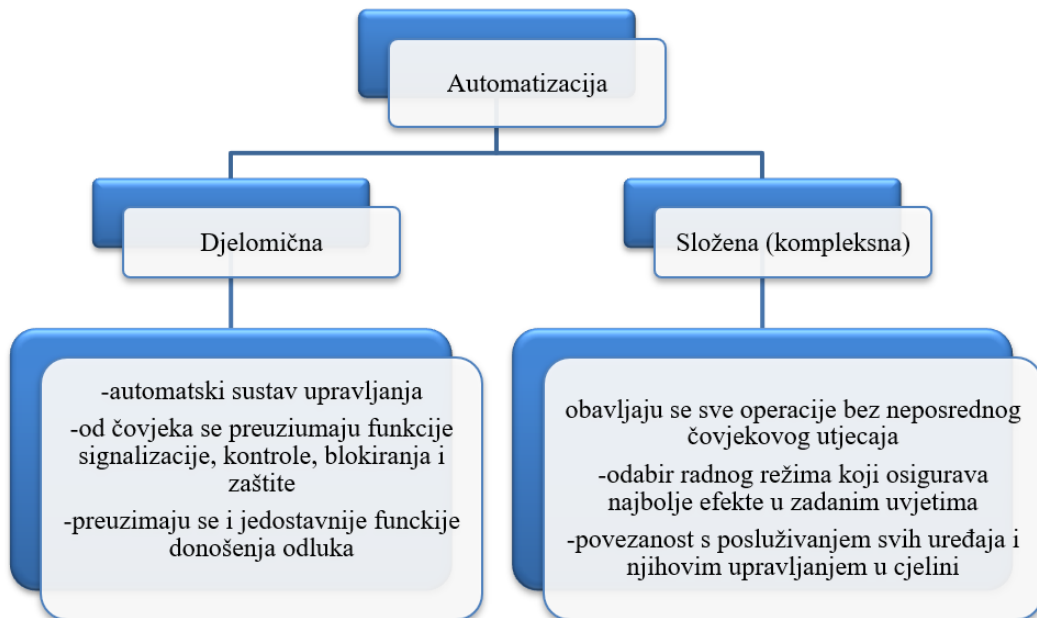
Automatizacija se može definirati kao pokretanje strojeva, procesa ili sustava koji koriste mehaničke i elektroničke strojeve da zamijene ljudski rad, posebno u područjima odlučivanja koja su previše složena, opasna ili zamorna za ljude. U svom idealnom obliku, automatizacija znači eliminaciju cjelokupnog ručnog rada korištenjem automatskih kontrola koje osiguravaju preciznost i kvalitetu. Kranzberg i Hannan (2018) dalje opisuju da se automatizacija razvila iz tri međusobno povezana tehnološka trenda: razvoj primarnih pokretača u proizvodnom procesu, uvođenje primarnih pokretača za pomicanje materijala i izradaka u proizvodnom procesu te poboljšanje upravljanja i regulacije. . sustavi proizvodnje, prerade i distribucije. Automatizacija je pretvorba tijeka rada, procesa ili dijela opreme u automatski, a ne ljudski rad ili upravljanje. Rana automatizacija temeljila se na mehaničkim i elektromehaničkim upravljačkim uređajima.³

Postupno je računalo postalo lider automatizacije. Današnji, odnosno suvremeni tip automatizacije je usko povezan sa informatizacijom.

² Živanović, J. (2016). Sustav za nadzor i upravljanje pretakanjem tereta, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet raspoloživo na: <https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A5/datastream/PDF/view> (pristupljeno 27.4.2023.)

³ Kranzberg, M., Hannan, M. T. (2018). Automation, Britannica, raspoloživo na: <https://www.britannica.com/topic/history-of-work-organization-648000/Women-in-the-workforce> (pristupljeno 27.4.2023.)

U proizvodnji postoji toliko definicija što je zapravo automatizacija, prema Hubki i Ederu (1988) automatizacija je „progresivno prenošenje regulacije i upravljanje funkcijama od ljudi do tehničkih sustava”⁴. Automatizacija je bila i bit će i u budućnosti najvažniji dio proizvodnje, kao potreba brzih procesa, postizanje visokokvalitetnih ciljeva procesa i povećane brzine.⁵



Slika 1. Podjela automatizacije⁶

Prednosti koje se obično pripisuju automatizaciji uključuju veću i veću produktivnost, učinkovitiju upotrebu materijala, bolju kvalitetu proizvoda, veću sigurnost, manje ljudskog angažmana i smanjeno vrijeme rada u tvornici. Automatizacija ili automatska kontrola odnosi se na korištenje različitih kontrolnih sustava za upravljanje opremom kao što su kontrola i stabilizacija strojeva, tvorničkih procesa, brodova, zrakoplova i drugih aplikacija uz minimalnu ili smanjenu ljudsku intervenciju.

Automatizacija je prerasla svoje proizvodne korijene i uključila aplikacije u zdravstvu, sigurnosti, transportu, poljoprivredi, građevinarstvu, energetici i mnogim drugim područjima. Robotika se fokusira na sustave koji sadrže senzore i aktuatora koji mogu raditi autonomno ili poluautonomno u suradnji s ljudima⁷

⁴ Hubka, V. Eder, W. E. (1988) Theory of Technical Systems: a total concept of technical systems. Berlin: Springer-Verlag

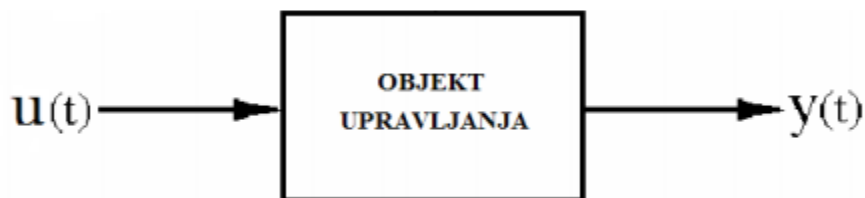
⁵ <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:228706/FULLTEXT01.pdf> (pristupljeno 27.4.2023.)

⁶ https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/automatizacija_brodskih_pogona.pdf (pristupljeno 27.4.2023.)

⁷ Završni rad, Gržan Ante, dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:247:397667> (pristupljeno 27.4.2023.)

3. SUSTAVI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA

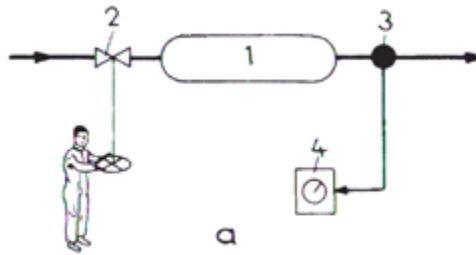
Kako bi brodski sustav ispunio svoju misiju, njime se mora upravljati, odnosno brodske sustave treba pokretati, održavati, regulirati, nadzirati i zaustavljati. Na početku razvoja menadžmenta ljudi se oslanjaju na vlastitu fizičku i mentalnu snagu u prikupljanju, obradi i izvršavanju informacija. Upravljanje (eng. Control) je radnja koju subjekt upravljanja poduzima nad objektom upravljanja zbog nezadovoljstva statusom i ponašanjem objekta upravljanja. U predstavlja ulaznu veličinu upravljanog objekta, a Y predstavlja izlaznu veličinu upravljanog objekta. Pretpostavimo da je objekt upravljanja brod. Njegova ulazna varijabla U je stanje okoliša: stanje mora, vjetar, valovi i položaj kormila. Izlazi broda Y koji opisuju njegovo stanje su smjer broda, brzina broda, zanošenje, nagib i tonjenje. Nesporno je da stanje objekta Y ovisi o utjecaju okoline U . Objekt upravljanja je sustav na čije ponašanje treba djelovati i prikazan je na slici 2.



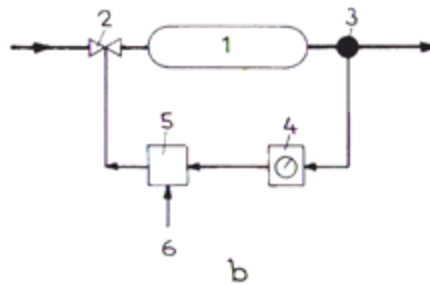
Slika 2. Objekt upravljanja predstavljen blokom s označenim ulazni i izlaznim veličinama

Upravne jedinice definiraju ciljeve koje menadžment želi postići. Subjekt ne mora biti osoba. To može biti i grupa ljudi. Na brodu glavni organ nije samo posada, već i vlasnik, kao i uvozne i izvozne tvrtke koje prevoze neku robu u inozemstvo. Zatvoreni upravljački sustav je upravljački krug koji se sastoji od senzora, komparatora ili komparatora koji kontroliraju objekte, detektiraju njihove učinke na okoliš i pretvaraju ih u oblik razumljiv subjektu (upravljački uređaj) te uspoređuju te veličine sa željenom vrijednošću (referenca). S druge strane, upravljačka jedinica i aktuator pretvaraju upravljački signal u oblik koji može djelovati na upravljani objekt. Slike 3 i 4 prikazuju upravljanje otvorenim i zatvorenim petljom.⁸

⁸ Matenda, A. (2019). Automatsko upravljanje brodskim kormilarskim uređajem, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu. Trajni link: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:659486> (pristupljeno 27.04.2023.)



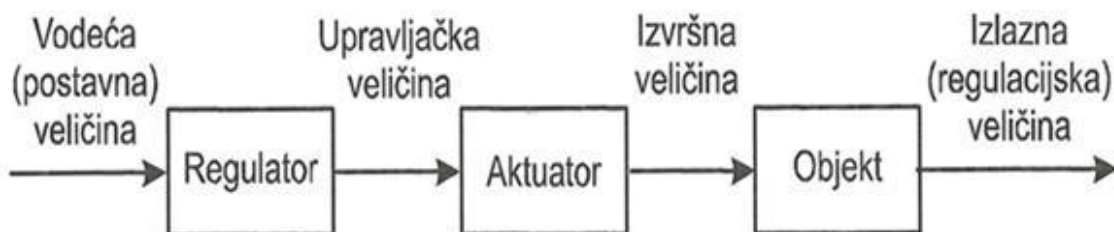
Slika 3. Otvoreni regulacijski krug bez povratne veze



Slika 4. Zatvoreni regulacijski krug s povratnom vezom

3.1. Sustav upravljanja u otvorenom krugu

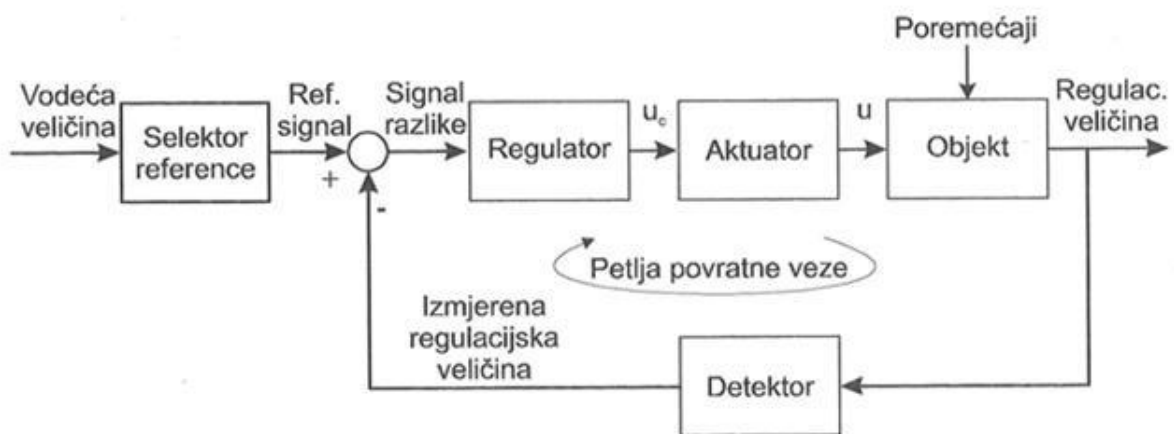
Upravljački sustavi su sustavi u kojima se informacije o objektu upravljanja ne koriste u svrhu upravljanja. Otvoreni sustav upravljanja je onaj u kojem kontroler ne koristi informacije iz izlaza procesa. Općenito, sustavi rade u otvorenoj petlji kada se kontrolirana varijabla ne može mjeriti (čišćenje rublja u perilici) ili kada sustav radi na poznat način u poznatom okruženju bez smetnji. To su uvijek stabilni sustavi bez nepravilnog ponašanja u procesu. Blok dijagram otvorenog sustava je prikazan na slici 5.



Slika 5. Blok dijagram otvorenog sustava

3.2. Sustavi upravljanja u zatvorenom krugu – načelo povratne veze

Upravljački sustav je sustav u kojem se za upravljanje koriste informacije iz upravljačkog objekta. Kontrolirana varijabla (izlaz) mjeri se u zatvorenom sustavu, pretvara u željenu fizičku varijablu i dovodi u komparator za usporedbu sa specificiranom varijablom (referenca). Rezultirajuća razlika (signal razlike) djeluje na regulator koji preko aktuatora upravlja objektom (procesom). Prisutnost povratne veze značajno mijenja karakteristike sustava automatskog upravljanja u usporedbi sa karakteristikama samog objekta. Pojam povratne informacije je apstraktan, nije vezan ni za jedan fizički medij.. Blok dijagram zatvorenog sustava je prikazan na slici 6.⁹



Slika 6. Blok dijagram zatvorenog sustava

Osnovna zadaća autoregulacije je automatska podrška standardizaciji i postavljanju kvalitativnog indeksa tehničkih procesa u određenom vremenskom intervalu, odnosno modificiranje prema zadanom zakonu kada dođu promjene uslijed vanjskih utjecaja. Ovaj proces naravno uključuje nekoliko projekata. Proces automatskog podešavanja uključuje djelovanje na objekt koji se podešava, a pomoću mehanizma za podešavanje predmet koji se podešava djeluje na povratnu vezu uređaja za automatsko podešavanje preko mjernog uređaja. Ukratko, treba istaknuti da se takva povratna radnja zapravo naziva povratna veza. Jelić (2019) nadalje napominje da je regulacija temeljena na povratnim informacijama uobičajeni pristup

⁹ Matenda, A. (2019). Automatsko upravljanje brodskim kormilarskim uređajem, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu. Trajni link: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:659486> (pristupljeno 27.04.2023.)

regulaciji tehnologije.¹⁰ Pojam koji najbolje karakterizira automatizaciju vjerojatno je upravo povratna informacija. Kontrola s povratnom vezom sustavan je i temeljni oblik automatskog upravljanja procesima (Bolf, 2014). Potrebno je naglasiti da je povratna veza zapravo povratno upravljani sustav.¹¹

To je sustav upravljanja koji koristi koncept otvorene petlje za svoj put prema naprijed, ali ima jednu ili više povratnih petlji (otuda naziv) ili putova između svog izlaza i ulaza. Jedna od značajnih razlika između sustava upravljanja otvorenom i zatvorenom petljom je da u sustavu otvorene petlje željeni izlaz ne ovisi o radnji upravljanja, dok u sustavu zatvorene petlje željeni izlaz ovisi o djelovanju sustava upravljanja.

Zatvorena petlja, također poznata kao povratna veza, prevladava nedostatke otvorene petlje. Ovdje se odziv ili stvarni rezultat kontinuirano uspoređuje sa željenim rezultatom, a kontrolni izlaz procesa se modificira i prilagođava kako bi se minimaliziralo odstupanje, prisiljavajući odgovor da slijedi referentnu vrijednost. Učinci smetnji (vanjski i/ili unutarnji) automatski se kompenziraju. Ovo rješenje je vrhunsko, kompleksno i skupo. Koristi se u zahtjevnijim aplikacijama, obično u kontinuiranoj automatizaciji procesa.¹²

Kontrolni sustav zatvorene petlje skupina je mehaničkih ili elektroničkih uređaja koji automatski reguliraju procesnu varijablu na željeno stanje ili zadanu vrijednost bez ljudske intervencije. Upravljački sustavi zatvorene petlje razlikuju se od upravljačkih sustava otvorene petlje koji zahtijevaju ručni unos. Kontrolna petlja je sustav hardverskih komponenti i softverskih kontrolnih funkcija koji uključuje mjerenje i podešavanje varijabli koje kontroliraju pojedinačni proces. Zatvoreni sustavi upravljanja naširoko se koriste u industrijama, uključujući poljoprivredu, kemijska postrojenja, kontrolu kvalitete, nuklearne elektrane, postrojenja za pročišćavanje vode i kontrolu okoliša. Kontrolni sustavi zatvorene petlje automatiziraju i reguliraju procese u industrijskim kontrolnim sustavima (ICS) kao što su nadzorna kontrola i prikupljanje podataka (SCADA) i distribuirani kontrolni sustavi (DCS) u mnogim industrijskim i ekološkim okruženjima.

¹⁰ Jelić, M. (2019). Automatizacija brodskog pogona, Predavanje, raspoloživo na: https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/automatizacija_brodskih_pogona.pdf (pristupljeno 29.4.2023.)

¹¹ Bolf, N. (2014). Imenje i nazivlje u kemiji i kemijskom inženjerstvu, Kemija u industriji : Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske, 63(11-12): 434-434. raspoloživo na: <https://hrcak.srce.hr/129294> (pristupljeno 29.4.2023.)

¹² Završni rad, Gržan Ante, dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:247:397667> (pristupljeno 29.4.2023.)

Za razliku od sustava otvorene petlje ili sustava s promjenjivom petljom, sustavi zatvorene petlje ne preuzimaju ulogu ljudskog operatera. To znači da osim što se prilagođavaju sustavu upravljanja, rade autonomno i neovisno. U upravljanju zatvorenom petljom djelovanje u potpunosti ovisi o varijabli procesa. U sustavu grijanja, sustav upravljanja zatvorenom petljom održava temperaturu na zadanoj točki i automatski se uključuje kada temperatura padne ispod zadane vrijednosti.

Nasuprot tome, otvorene kontrole omogućuju ljudima da postave odbrojavanje i odmah uključe grijanje. Upravljanje je sustav u kojem izlaz utječe na ulaz na takav način da se održava željena izlazna vrijednost. Kontrolni sustav otvorene petlje pretvara se u sustav zatvorene petlje uključivanjem povratne sprege. Ova povratna informacija automatski ispravlja promjene u izlazu zbog smetnji. Zbog toga se sustavi zatvorene petlje nazivaju sustavi automatskog upravljanja. Sustav povratnih informacija također uzima u obzir kvarove i pokreće korektivne mjere. Ovi sustavi upravljanja su precizni i stabilni. Međutim, ovi sustavi upravljanja su složeni i stoga skupi. Također su dizajnirani za stabilnost i nude odziv na ljuljanje.¹³

¹³ https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/automatizacija_brodskih_pogona.pdf
(pristupljeno 29.4.2023.)

4. HIDRAULIČKI SUSTAVI NA BRODU

Hidraulika je grana hidromehanike (mehanika fluida) koja se bavi proučavanjem stanja ravnoteže i strujanja stvarnog fluida, uglavnom vode, kroz cijevi, kanale i otvore te pojavama koje nastaju kada ovaj fluid struji oko tijela koji je u njima uronjen.¹⁴

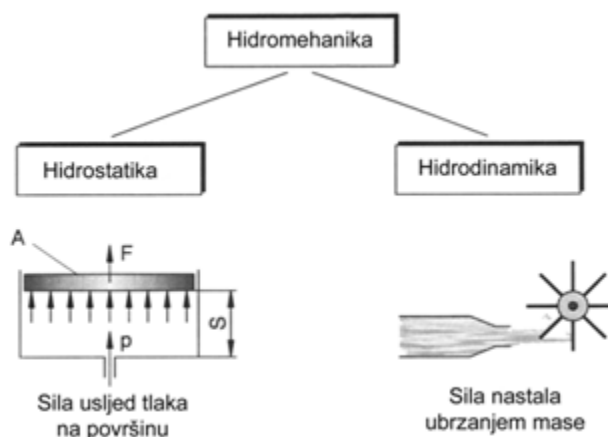
S razvojem proizvodnje i tehnologije proširila su se i područja proučavanja i primjene. Raspon primjena hidraulike danas je toliko širok da gotovo da ne postoji područje tehnologije u kojem se njezini principi ne primjenjuju na neki način. Najšira područja primjene hidrotehničkog prava su hidro gradnja, melioracije, hidrologija, vodoopskrba i odvodnja, hidroenergetika i vodni promet.¹⁵

Hidrodinamika se dijeli na dva sustava: hidrostatski sustav i hidrodinamički sustav.

Hidrostatski sustav je sustav koji prenosi energiju uz pomoć tlaka struje radnog fluida pri čemu je utjecaj kinetičke energije vrlo mali.

Hidrodinamički sustav je sustav koji prenosi energiju uz pomoć kinetičke energije struje radnog fluida pri čemu je utjecaj tlaka vrlo mali.

Podjela hidromehaničkih sustava je prikazana na slici 7.



Slika 7. Podjela hidrodinamičkih sustava¹⁶

¹⁴ I.I.Agroskin, G.T.Dmitrijević, F.I.Pikalov, "Hidraulika", Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.

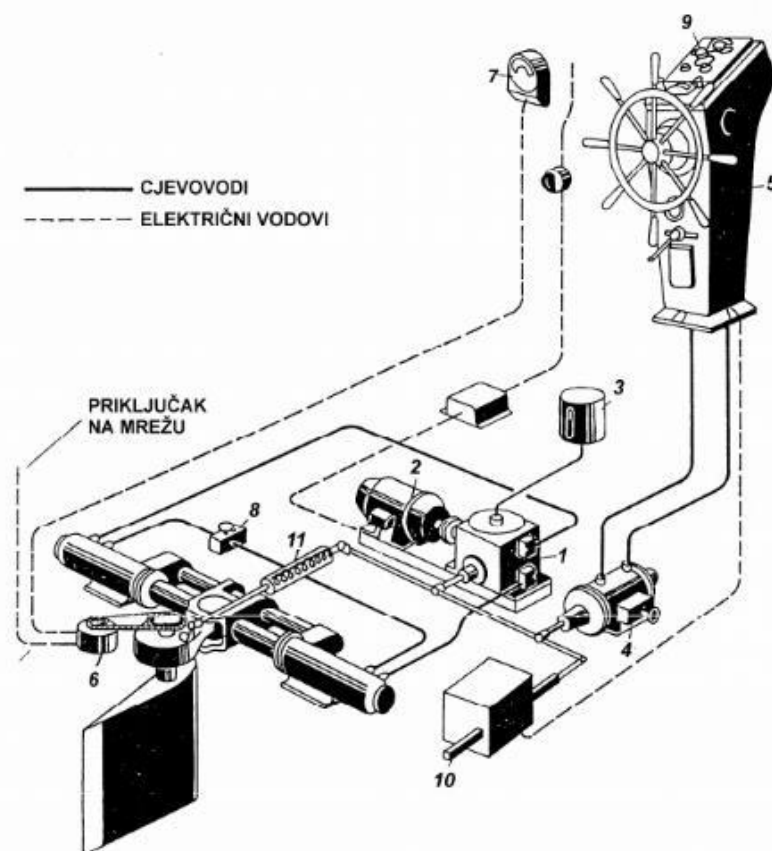
¹⁵ <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidraulika> (pristupljeno 29.4.2023.)

¹⁶ Matenda, A. (2019). Automatsko upravljanje brodskim kormilarskim uređajem, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu. Trajni link: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:659486> (pristupljeno 29.04.2023.)

Uređaji koji koriste hidraulički sustav kao princip rada su:

- Kormilarski uređaj
- Ventili za upravljanje
- Sidrena i pritezna vitla
- Brodske dizalice za prekrcaj tereta
- Rampe za manevriranje teretom
- Poklopci grotala

Princip rada hidrauličkog kormilarskog uređaja je prikazan na slici 8.



Slika 8. Hidraulički kormilarski uređaj

Dijelovi hidrauličkog kormilarskog uređaja su sljedeći:

1-pumpa promjenjiva stanja; 2-elektromotor; 3-tank za hidro ulje; 4-primač signala; 5-upravljajući uređaj s davačem signala; 6- davač pokazivača otklona; 7-pokazivač otklona; 8-ventili; 9-upravljачka ploča žiro-pilota; 10-usiljivač žiro-pilota; 11- povratna veza¹⁷

¹⁷ Kurtela, T.:Osnove brodstrojarstva, Veleučilište Dubrovnik, 2000.

5. NAČELO POVRATNE VEZE NA BRODU

U ovom dijelu završnog rada će se ući u srž same teme završnog rada. Objasniti će se automatizacija broskog pogona i automatizacija kormilarskog uređaja.

Brod je plovilo za plovidbu morem, rijekama i jezerima, a najčešće se koristi za prijevoz robe i ljudi. Brodovima se smatraju samo najveći brodovi, dok se najmanji nazivaju čamcima i brodicama. Za razliku od splavi, brod, kao i čamac, ima oblik dna koji mu daje potreban uzgon da pluta na vodi. Brod osim ratnog broda je brod namijenjen pomorskoj plovidbi koji ima duljinu veću od 12 metara i bruto tonažu veću od 15 ili ovlašten za prijevoz više od 12 putnika. Brod može biti putnički, teretni, strojarski, ribarski, javni ili znanstveno-istraživački brod..¹⁸



Slika 9. Putnički brod za kružna putovanja¹⁹

Slika 10. Ratni brod, nosač zrakoplova²⁰

Brod kao jako složeni sustav se sastoji od tri temeljna podsustava, a to su;

- Pogonsko energetske podsustav
- Navigacijski podsustav
- Podsustav manipulacije teretom

Svaki od tih podsustava dalje se dijeli na podsustave niže razine.²¹

18

https://bib.irb.hr/datoteka/441079.Analiza_sigurnosti_plovidbe_putnickih_brodova_u_nacionalnoj_plovidbi.pdf (pristupljeno 29.4.2023.)

¹⁹ https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod#/media/Datoteka:Color_Fantasy_Bug.JPG (preuzeto 29.4.2023.)

²⁰ [https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod#/media/Datoteka:USS_Tarawa_\(LHA-1\).jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod#/media/Datoteka:USS_Tarawa_(LHA-1).jpg) (preuzeto 29.4.2023.)

²¹ https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/automatizacija_brodskih_pogona.pdf (pristupljeno 29.4.2023.)

5.1. Automatizacija broskog pogona

Pogonsko energetska podsustav se sastoji od:

- Glavnog propulzijskog stroja
- Elektroenergetskog sustava
- Pomoćnih brodskih sustava
- Kormilarskog uređaja

Postoji nekoliko načina automatizacije pogona broda. Jedan od načina je korištenje računalnog sustava koji kontrolira motore i propelere. Ovaj sustav se može programirati da optimizira potrošnju goriva, brzinu i druge čimbenike na temelju rute broda i vremenskih uvjeta. Drugi način je korištenje električnih ili hibridnih pogonskih sustava, koji se mogu kontrolirati i nadzirati pomoću naprednog softvera i senzora. Ovi sustavi također mogu pomoći u smanjenju emisija i zagađenja bukom.

Automatizacija brodske propulzije je uzbudljivo područje koje je u posljednje vrijeme doživjelo značajan rast i razvoj. Korištenje automatiziranih sustava u pogonu broda ima nekoliko prednosti, uključujući povećanu učinkovitost i smanjenu ljudsku pogrešku. Međutim, implementacija ovih sustava također predstavlja neke jedinstvene izazove kojima se treba pozabaviti kako bi se osigurala njihova učinkovitost. Jedna od ključnih prednosti automatizacije u brodskoj propulziji je povećana učinkovitost. Automatizirani sustavi mogu nadzirati i prilagođavati brodski pogonski sustav u stvarnom vremenu, optimizirajući potrošnju goriva i smanjujući emisije. Ovo je posebno važno u trenutnoj globalnoj klimi, gdje postoji sve veća zabrinutost zbog utjecaja emisija stakleničkih plinova na okoliš. Još jedna prednost automatizacije u brodskoj propulziji je smanjenje ljudske pogreške. Tradicionalno, brodski pogonski sustavi uvelike su se oslanjali na ljudske operatere za praćenje i podešavanje ključnih parametara kao što su brzina motora i potrošnja goriva. Međutim, čak i najiskusniji operateri mogu pogriješiti, što može dovesti do ozbiljnih nesreća ili oštećenja broda. Sustavi automatizacije mogu pomoći u ublažavanju ovog rizika korištenjem senzora i algoritama za automatsko praćenje i prilagodbu ovih parametara.

Unatoč ovim prednostima, implementacija automatiziranih brodskih propulzijskih sustava predstavlja i neke izazove. Jedan od ključnih izazova je potreba za pouzdanim i preciznim sensorima za praćenje ključnih parametara kao što su brzina motora i potrošnja goriva. Ovi

senzori moraju moći raditi u teškim morskim uvjetima i biti otporni na koroziju, vibracije i druge čimbenike koji mogu utjecati na njihovu točnost.

Drugi izazov je potreba za učinkovitim algoritmima za kontrolu pogonskog sustava. Ovi algoritmi moraju moći uzeti u obzir širok raspon čimbenika, uključujući uvjete mora, brzinu broda i opterećenje tereta, kako bi optimizirali potrošnju goriva i smanjili emisije. Također moraju moći prilagoditi pogonski sustav kao odgovor na promjenjive uvjete, kao što su nagle promjene vjetra ili valova.

Uz ove tehničke izazove, implementacija automatiziranih brodskih pogonskih sustava također postavlja neka etička i društvena pitanja. Na primjer, povećana upotreba automatizacije u pomorskoj industriji mogla bi dovesti do gubitka poslova za ljudske operatere, što bi moglo imati značajan utjecaj na lokalne zajednice i gospodarstva. Također postoji rizik da bi povećano oslanjanje na automatizaciju moglo dovesti do gubitka vještina i stručnosti u industriji, što bi moglo imati dugoročne negativne posljedice.

Zaključno, automatizacija brodske propulzije je uzbudljivo područje koje predstavlja i mogućnosti i izazove za brodsku industriju. Iako postoje neki tehnički, etički i društveni izazovi s kojima se treba pozabaviti, prednosti povećane učinkovitosti i smanjene ljudske pogreške čine ovo područje istraživanja i razvoja koje vrijedi slijediti. S pravim ulaganjem u istraživanje i inovacije, brodarska industrija može nastaviti poboljšavati svoje poslovanje i smanjiti svoj utjecaj na okoliš.

5.2. Podjela automatskih sustava na brodu

Obično su svi ugrađeni uređaji i sustavi za automatizaciju dizajnirani za obavljanje osnovnih zadataka kao što su: automatsko pokretanje i zaustavljanje, nadzor rada (monitoring), signalizacija i alarmiranje, automatska regulacija, automatsko upravljanje, automatska zaštita. **Sustavi za automatsko pokretanje i zaustavljanje:** osiguravanje rutina i postupaka za automatsko pokretanje (start), zaustavljanje (zaustavljanje) ili okretanje smjera vrtnje različitih motora i pogona automatski na temelju unaprijed definiranog rasporeda.

Sustavi automatskog nadzora: Konstantno prate relevantne parametre i varijable koje karakteriziraju tijek ili dinamiku procesa (predmet upravljanja i regulacije) te daju informacije o statusu i napredovanju procesa. Oni su osnova upravljanja kvalitetom i dijagnostike.

Automatski signalno-alarmni sustavi: služe za signalizaciju ili snimanje i signalizaciju tijekom procesa, kao i upozorenje na nenormalna stanja ili poteškoće u radu strojeva, uređaja, procesa.

Sustavi automatske blokade i zaštite: namijenjeni su za djelomično (selektivno) ili potpuno blokiranje pojedinih dijelova procesa (stroja) radi zaštite od težih posljedica u slučaju kvara ili povećanih poteškoća u radu.

Sustavi automatskog upravljanja - služe za upravljanje radom strojeva i uređaja. Procesi bez izravnog ljudskog angažmana (npr. potpuno automatizirana brodska strojarnica - bez posade).

Automatski upravljački sustavi: predstavljaju jednostavnije automatske upravljačke sustave koji preuzimaju zadatke reguliranja rada od procesa i strojeva.²²

5.3. Automatizacija brodskih strojeva

Automatizacija brodskih strojeva predstavlja jedan iznimno kompleksan upravljani sustav. Razvojem grana elektrotehnike i tehnologije došli smo do toga da je jako smanjena potreba samog ljudskog djelovanja u čitavoj strukturi upravljanja brodom i brodskim sustavima. Cilj automatizacije brodskih sustava je postizanje „OMOB“ sustava, eng. „One Man On Bridge“, odnosno da je za vrijeme upravljanja brodom dovoljno da se samo jedan čovjek, u većini slučajeva časnik, nalazi na upravljačkom mostu na samom brodu. Na taj način se smanjuje radna snaga, ali se s druge strane uz pomoć automatizacije postiže to da je mogućnost ljudske pogreške svedena na minimum.

Automatizacija brodskih sustava uključuje: daljinsko upravljanje procesima, regulaciju uređaja koji se nalaze na brodu, potrebna daljinska mjerenja, upravljanje sustavima signalizacije, obrađivanje informacija i predočavanje informacija čovjeku i izvođenje svih složenih operacija na brodu.

Jelić (2019) ističe da brodski automatski sustav uključuje regulaciju, signalizaciju, kontrolu te zaštitu i upravljanje. Automatski signalni sustav: obavještava posadu broda o statusu brodskih objekata. Sustav automatskog upravljanja - mjeri različite parametre brodskih uređaja i uspoređuje ih sa zadanim vrijednostima te emitira zvučne i svjetlosne signale kada parametri odstupaju od zadanih vrijednosti. Sustavi automatskog zatvaranja i zaštite: prevencija kvarova,

²² Antonić, Radovan :Brodsko automatsko upravljanje, Pomorski fakultet, Split 2010. g

a kada se dogode kritične vrijednosti nadziranih parametara, nadzirani strojevi se automatski gase, dodatno definirao Jelić (2019). Sustav daljinskog upravljanja na brodu, zajedno s ostalim spomenutim sustavima automatizacije, omogućuje rad i rad strojarnice bez nadzora i nadzora (upravljanje sa zapovjedničkog mosta).²³

Uporabom računalnih sustava na brodu mogu se realizirati različite funkcije. Među važnijim funkcijama su svakako sustavi koji sprječavaju sudare prilikom plovidbe, sustavi za praćenje položaja broda, navigacijski sustavi, sustavi stabilnosti i balasta, sustavi nadziranja strojarnicom sa zapovjednog mosta, sustavi upravljanja propulzijom i sustavi izračunavanja rute za put, odnosno kursa. Važno je napomenuti da prilikom izračunavanja kursa treba voditi računa i o sigurnosti broda i posade, a ne samo duljini puta kako bi se uštedjelo. Česta je pojava orkanskih nevremena, velikih valova ili nekih drugih vremenskih nepogoda. U takvim slučajevima dolazi do odstupanja od zadanog kursa. Zadatak automatskih sustava je da brod drže na zadanom kursu. Prilikom podešavanja takvog sustava ostavlja se mogućnost minimalnog odstupanja. To se radi iz razloga da sustav upravljanja ne bi ušao u samo osciliranje. Bitno je naglasiti da i dan danas postoje područja plovidbe koja predstavljaju opasnost od pirata. Obično je u takvim područjima plovidbe na brodu i naoružana pratnja kako bi se spriječili možebitni napadi na brod i posadu.

²³ Jelić, M. (2019). Automatizacija broskog pogona, Predavanje, raspoloživo na: https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/automatizacija_brodskih_pogona.pdf (pristupljeno 8.5.2023.)

6. BRODSKA KORMILA

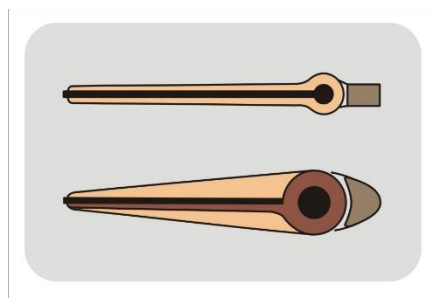
Kormilo je uređaj na brodu koje služi za određivanje i održavanje smjera, odnosno za upravljanje u smjeru lijevo-desno. Kormilo se sastoji od struka, glave, lista i pete kormila.²⁴

Okretna točka je točka na središnjoj liniji oko koje se brod okreće kada je kormilo otklonjeno u jednu stranu. Kada se brod okreće, središte rotacije opisuje putanju po kojoj se brod okreće. Središte rotacije obično je oko 1/3 duljine broda mjereno od pramca kada se kreće prema naprijed ili oko 1/3 duljine broda mjereno od krme kada se kreće krmom. Položaj središta rotacije varira ovisno o brzini plovidbe broda. Kako se brzina broda povećava, središte rotacije broda se pomiče u smjeru kretanja broda. Promjer kruga okretanja broda ovisi o kutu kormila i brzini broda. S nepromijenjenim kutom kormila, povećanje brzine ima učinak povećanja kruga okretanja. Vrlo niske brzine krstarenja također povećavaju promjer kruga okretanja zbog smanjenog djelovanja kormila.²⁵

6.1. Podjela brodskih kormila

Prema obliku presjeka tijela kormila se dijele na:

- Jednoplošna kormila koja imaju veći otpor od strujnih kormila, a danas se koriste na plovilima bez vlastitog pogona
- Strujna kormila koja imaju presjek simetričnog strujnog profila koji znatno smanjuje otpor. Međutim zbog šuplje strukture strujnog kormila događa se propusnost određenih dijelova.



Slika 11. Jednoplavno i strujno kormilo²⁶

²⁴ <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kormilo> (pristupljeno 8.5.2023.)

²⁵ <https://www.scribd.com/doc/251329614/16-Kormila-ppt#> (pristupljeno 8.5.2023.)

²⁶ <https://gorgonija.com/2020/04/19/sve-o-kormilu-2/> (pristupljeno 8.5.2023.)

Prema načinu pričvršćenja za trup, kormila se dijela na:

- Oslonjena kormila koja se pričvršćuju preko jednog ili više ležajeva na statvi kormila za krmenu statvu, a preko struka kormila i za trup broda
- Ovješena kormila koja su pričvršćena za trup samo preko struka kormila
- Poluovješena kormila koja se oslanjaju dodatno na statvu ili na rog kormila.

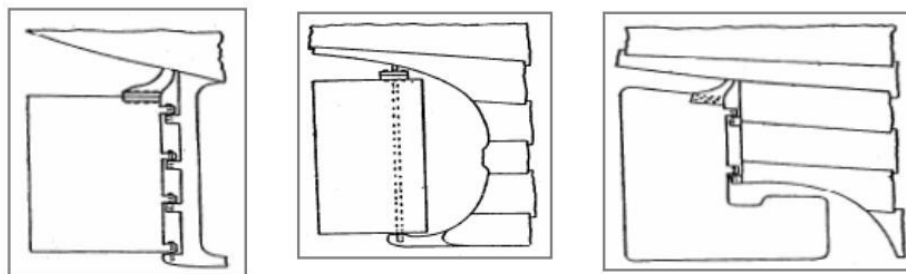
U uporabi danas su najčešće pravokutna kormila. Analize su pokazale da su takva kormila najbolja što se tiče upravljivosti samog broda.



Slika 12. Podjela kormila prema načinu pričvršćenja za trup

Prema omjeru površina kormila ispred i iza osi vrtnje, kormila se dijele:

- Ne balansna kormila kada je cijela površina kormila iza osi rotacije
- Polu balansna kormila kada je 10%-15% površine kormila ispod osi rotacije
- Balansna kormila kada je 20%-25% površine kormila ispod osi rotacije

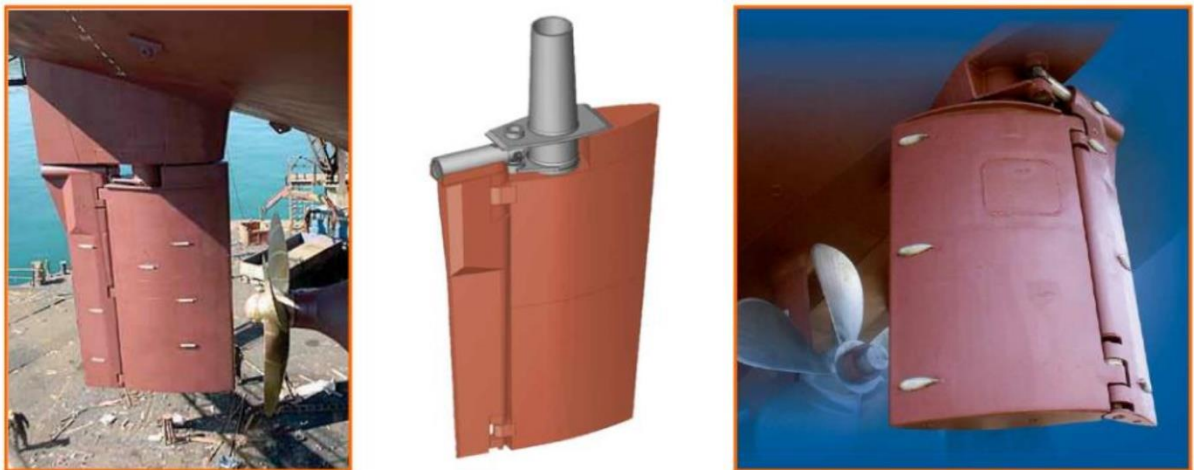


Slika 13. Ne balansno, polu balansno i balansno kormilo²⁷

²⁷ <https://www.slideserve.com/elliott/kormila-i-kormilarski-strojevi> (pristupljeno 8.5.2023.)

Razvojem tehnologije razvijala su se i brodska kormila. Primjerice, došlo je do razvoja tipa kormila sa zakretnim krilcem. Zakretno krilce postiže povećanje sile uzgona prije jednakom kutu otklona samog kormila. Zakretno krilce u svojoj izvedbi omogućuje dodatni kut zakretanja od 45 stupnjeva. To omogućava lakše manevriranje brodom prilikom ulaska i izlaska iz luke. Također takva izvedba kormila se pokazala jako izdržljiva pa se danas upotrebljava u područjima polarne plovidbe.

Prilikom gledanja dokumentarca o brodu MSC Divina namijenjenom za kružna putovanja, takozvanom kruzaru primijetio sam da je način upravljanja takav da sam brod ima dva velika propelera i dva kormila sa zakretnim krilcem. Jedno kormilo i propela se nalaze na lijevom dijelu krme a drugo kormilo i propela na desnom dijelu krme. Po riječima kapetana prilikom manevriranja u uskim lukama dodatna krilca jako pomažu i dolaze do izražaja. Kormila i propele rade neovisno jedni o drugima, te se uz pomoć pramčanih potisnika brod usmjerava ka doku.



Slika 14. Kormila sa zakretnim krilcem²⁸

²⁸ <https://www.slideserve.com/elliott/kormila-i-kormilarski-strojevi> (pristupljeno 04.06.2023)

7. UPRAVLJANJE KORMILARSKIM UREĐAJEM

Kormilarski uređaj je naprava za okretanje broskog kormila. Kada se tijekom plovidbe kormilo odmakne od središta broda, voda udara u kormilo pod kutom, stvarajući određeni pritisak na površinu kormila. Ova sila raste s povećanjem kuta odklona kormila. Malim čamcima se upravljalo polugom na kormilu, što je povećavalo ljudsku snagu i tako omogućavalo upravljanje. Kako se veličina čamca povećavala, tako je rasla i količina snage potrebne za okretanje kormila. Problem je riješen mehaničkim prijenosima koji su značajno povećali ljudsku snagu. Time je problem nakratko riješen, jer kako se brod dalje širio, nedostatak rješenja je postao očit; povećanje vremena potrebnog za skretanje kormila. Trajno rješenje bilo je ugraditi uređaj koji će reagirati na zadani impuls i okrenuti kormilo u željenom smjeru. Ovaj uređaj zove se kormilarski uređaj ili kormilarski stroj. Danas se na brodovima uglavnom koriste elektro hidraulički upravljački uređaji. Uređaj se sastoji od odašiljača, prijemnika impulsa, upravljačkog sustava, pumpe i mehanizma za okretanje kormila.

7.1. Princip rada kormilarskog uređaja

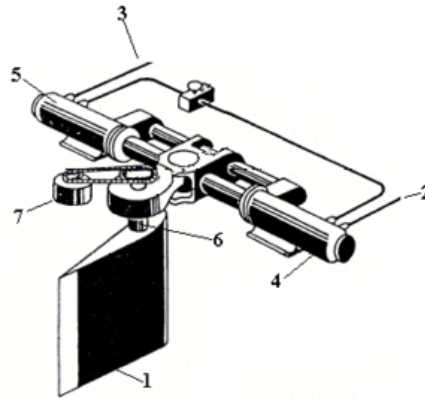
Kormilarski uređaj prima impuls iz kormilarskog kruga ili električnog kormila smještenoj u kormilarnici odnosno zapovjednom mostu na brodu. Kormilarski uređaj također impulse prima i od samog autopilota jer najčešće autopilot upravlja brodom prilikom duge plovidbe. Zadatak autopilota je da brod drži na zadanom kursu i brzini, šaljući impulse kormilarskom uređaju. Taj impuls može biti električni, hidraulički ili pneumatski. Zamah, odnosno okretanje kormila u bilo koju stranu pokreće djelovanje kormilarskog mehanizma, a što za posljedicu u konačnici ima pomicanje osovine kormila i promjenu smjera broda.

Danas se upotrebljavaju dvije vrste uređaja za zaokret kormila. To su :

- Klipni hidraulički kormilarski stroj
- Kormilarski stroj sa zakretnim krilcima

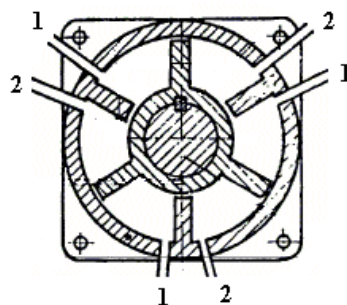
Obe vrste se upotrebljavaju na brodovima, međutim klipni hidraulički kormilarski stroj je nešto zastupljeniji. Njegova izvedba prikazana je na slici 15. Klipni hidraulički kormilarski stroj radi na princip hidrauličkog ulja. Upravljački mehanizam usmjerava ulje u klipove i propušta ih kroz cijev 2 ili kroz cijev 3. Ulaskom ulja u cijevi raste i pritisak unutar cilindra 4 ili 5, a taj se pritisak dalje prenosi na hidraulički klipni mehanizam koji je spojen na osovinu kormila 6.

Zakretom osovine kormila zakreće se i sami list kormila 1, kojim se mijenja kut pritiska vode i na taj način se brod zakreće. Osovina, uz ulogu posrednika prilikom zakretanja lista ima i ulogu uležištenja samog kormila i konus brtvi i sprječava prodor more kroz brtvenice.



Slika 15. Sustav upravljanja hidrauličkim klipovima

Napretkom tehnologije kormilarski stroj sa zakretnim krilcima počeo se upotrebljavati sve više i više. Primarni razlog tome su manje dimenzije i jednostavnost u odnosu na hidraulički klipni stroj. Dijelovi kormilarskog stroja sa zakretnim krilima prikazani su na slici 16. Na osovinu kormila uglavljen je upravljački mehanizam koji dobiva ulje iz cjevovoda 1 ili cjevovoda 2. Tlak ulja djeluje na krilca koja su povezana s osovinom kormila i zakreće ih, odnosno zakreće kormilo broda. I klipni uređaj i uređaj sa zakretnim krilima koriste hidrauličko ulje za pogon. Klasifikacijska društva zahtijevaju da moraju postojati dvije sisaljke za ulje, u slučaju da dođe do otkaza bilo koje. Sisaljke su izrađene kao rotacione klipne ili zupčaste sisaljke. Nastavkom na izvedbu sisaljki, kormilom se upravlja preko elektromagnetskih ventila u sustavu hidraulike. Takvi ventili se nazivaju solenoid ventili²⁹



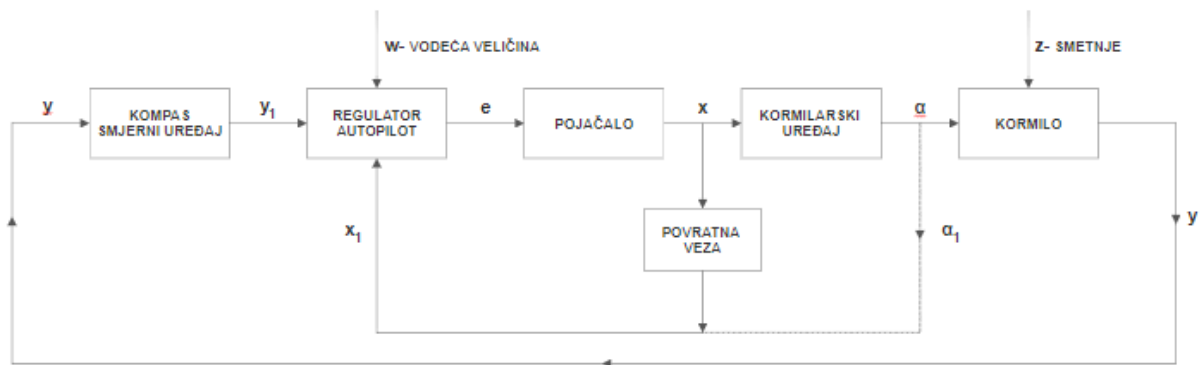
Slika 16. Kormilarski uređaj sa zakretnim krilima

²⁹ https://hr.wikipedia.org/wiki/Kormilarski_stroj (pristupljeno 04.06.2023.)

7.2. Automatsko upravljanje kormilarskim uređajem

Automatsko upravljanje kormilarskim uređajem odnosi se na sposobnost brodskih sustava da rade bez potrebe za uključivanjem posade, djelomično ili u cijelosti. To može uključivati sustave kao što su automatsko upravljanje, kontrola pogona i navigacija. Automatizirani brodski sustavi mogu poboljšati sigurnost i učinkovitost smanjujući rizik od ljudske pogreške i dopuštajući članovima posade da se usredotoče na druge zadatke. Mnogi brodovi danas koriste napredne senzore i upravljačke sustave za pomoć u navigaciji, nadzoru vremenskih uvjeta i oceanskih uvjeta i prilagođavanju brodskih sustava prema potrebi za optimizaciju performansi. Automatski brodski sustavi važan su dio modernog brodarstva i mogu pomoći u poboljšanju sigurnosti, smanjenju emisija i povećanju učinkovitosti.

Kompas je mjerni uređaj koji se nalazi na brodu a zadatak mu je primanje podataka o stvarnom kursu broda y , dalje se taj podatak koji može biti električni ili mehanički šalje na autopilot kojemu je zadatak primanje svih podataka, njihova obrada te dalje šalje signal e na pojačalo kojemu je zadatak pojačavanje signala. Dalje, nakon pojačanja signala x , izvodi se mehanička ili električna regulacija kormilarskog uređaja. Zakretanjem kormilarskog uređaja zakreće se kormilo za zadani kut α . Signali povratne veze su označeni sa x_1 i α_1 .



Slika 17. Blok shema automatskog upravljanja kormilarskim uređajem³⁰

³⁰ Matenda, A. (2019). Automatsko upravljanje brodskim kormilarskim uređajem, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu. Trajni link: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:659486> (pristupljeno 04.06.2023.)

7.3. Brodski Auto-Pilot

Brodski autopilot je sustav koji automatski održava brod na kursu kontroliranjem kormilarskog mehanizma za okretanje kormila prema potrebi. Nakon što je kurs unesen, autopilot održava taj kurs prilagođavanjem kormila prema potrebi. Sustavi autopilota obično se oslanjaju na senzore za otkrivanje kretanja broda i prilagođavanje upravljanja prema potrebi kako bi brod održao na predviđenom kursu. Korištenje autopilota može smanjiti potrošnju goriva izgladivanjem velikih kutnih pokreta kormila koji se koriste za održavanje stabilnog kursa. Sustavi autopilota važan su dio modernog brodarstva i mogu pomoći u poboljšanju sigurnosti, smanjenju emisija i povećanju učinkovitosti.

Sustav autopilota smatra se jednim od najnaprednijih i tehnički najsofisticiranijih navigacijskih uređaja na brodovima. Autopilot je sinkroniziran sa žirokompasom za kontrolu ručnog unosa kursova u odnosu na smjer žiroskopa. Autopilot upravlja ručno unesenim smjerom kontrolirajući kormilarski mehanizam za okretanje kormila na željeni način. Osim toga, moderni sustavi autopilota mogu se sinkronizirati sa sustavom elektroničkih karata (ECDIS), koji omogućuje praćenje kursova navedenih u planu putovanja. Ova značajka eliminira potrebu za ručnim promjenama kursa i promjenama jer sustav prati kursove i promjene u skladu s planom puta.

Sustav autopilota svakako je neosporna prednost moderne navigacije. Međutim, pretjerano oslanjanje na opremu i nedostatak razumijevanja njezine učinkovitosti i ograničenja doveli su do nekoliko nesreća na moru, djelomično zbog nesposobnosti operatera da prouče opremu izvan njezinih radnih karakteristika.

Prilikom korištenja autopilota potrebno je voditi računa o nekoliko bitnih stvari. U prvom redu ističe se sigurnost kako bi se osigurala nesmetana navigacija. Nadalje, potrebno je voditi računa o:

- Ograničenjima koje ima kormilo i o brzini zaokreta. Skretanje je najvažnija kontrola sustava Auto-Pilota. Korisnik unosi željeni kurs, ali može i unijeti određena ograničenja. Korisnik najčešće unosi ograničenje stupnja zaokreta. Pri promjeni kursa kormilo će se okrenuti točno onoliko koliko je potrebno bez da se prekorači zadana granica. Pri postavljanju takvih ograničenja u obzir se uzimaju plovne sposobnosti samog broda. U današnje vrijeme postoji mogućnost korištenja sustava za skretanje po radijusu. U tom slučaju se unosi zadana vrijednost radijusa u nautičkim miljama

- Ograničenjima pumpi kormilarskog uređaja. Takve pumpe koriste se za pumpanje hidrauličkog ulja za pokretanje kormilarskog prijenosnika, koji pak pomiče kormilo u željenom smjeru. U praksi to znači kada više pumpi radi kormilo se lakše i brže okreće. Broj pumpi ovisi uvelike o vrsti broda i namjeni. Pumpe se uvijek trebaju mudro koristiti jer su osnovni pokretač skretanja broda. Ukoliko se upravlja brodom u područjima sa velikim prometom ili u područjima navigacije sa smanjenom vidljivošću tada je potreban maksimalna korist pumpi u slučajnu iznenadnog skretanja. Plovidba oceanom i otvorenim morima ne zahtijeva toliku angažiranost pumpi.
- Alarmima za promjenu kursa kojima je zadatak alarmirati časnika ukoliko dođe do odstupanja zadanog kursa u odnosu na stvarni kurs. Korisnik će unijeti zadanu toleranciju na promjenu kursa, a alarm će ga obavijestiti kada to prijeđe granicu. Treba posebno naglasiti da se prilikom postavljanja takvih granica postavlja prihvatljiva vrijednost koja sprječava ulazak sustava u samo osciliranje.
- Upravljanju brodom manualnim modom koji se uključuje tipkom ON/OFF. Pri takvom upravljanju brodom se upravlja ručno pomoći Follow-Up kormila ili Non-Follow Up ručice za slučaj nužde. Ručno upravljanje se najčešće koristi prilikom manevriranja brodom u luci, u vodama gdje je ograničena navigacija kao što su primjerice kanali ili gdje je velika gustoća prometa. Non-Follow Up se koristi u slučaju nužde kada je bitno skrenuti ali nije bitan kut skretanja.
- Upravljanju brodom pomoću autopilota u područjima s velikom gustoćom prometa nije poželjno. Također kada je plovidba broda na maloj brzini ne preporuča se korištenje autopilota.
- Nepovoljnim vremenskim uvjetima koji značajno utječu na upravljivost broda i vidljivost prilikom plovidbe. Moderni brodovi koriste integrirani sustav za prilagodbu vremenskim uvjetima.

- Mogućim pogreškama žiroskopa budući je autopilot sustav koji je u cijelosti³¹ zavisan o žiroskopu. U slučaju zakazivanja potrebno je se prebaciti na manualni način upravljanja pomoću magnetskog kompasa

³¹ <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/10-things-to-consider-while-using-auto-pilot-system-on-ships/> (pristupljeno 05.06.2023.)

8. PRIMJER UPRAVLJANJA BRODOM ZA KRSTARENJA

Brod za krstarenja ili kruzer je brod čija primarna namjena nije cilj prijevoza putnika iz luke polaska u luku dolaska, nego je namijenjen za uživanje i provod. U svom itineraru koji traje između 7 do 14 dana, nikad kraće od 5, kruzeri se zaustavljaju u nekoliko luka u kojima se omogućuje izlazak putnika na izlete. Itinerar samog krstarenja i luke za pristajanje uvelike ovise o potražnji putnika ali i godišnjem dobu. Primjerice, u ljetnom periodu većina krstarenja je po Mediteranu, dok u zimskom periodu većina krstarenja po Bahamima i egzotičnim otocima.³²

Kruzer „Wonder of the Seas“ prikazan na slici 18 je u vlasništvu „Royal Caribbean International“, međunarodne korporacije koja se bavi krstarenjima. Brod je izgrađen 2022 godine u francuskom brodogradilištu Saint-Nazaire. Dug je 362 metra i ima bruto tonažu od 236 857 GT što ga čini najvećim kruzerom na svijetu trenutno. U mogućnosti je primiti 5734 putnika, u nekim slučajevima maksimalno 6988 putnika. 2300 je broj posade na brodu. Brod ima 16 paluba, 20 restorana, nekoliko bazena i 2900 kabina za smještaj.



Slika 18. Kruzer Wonder of the Seas³³

Brod pogoni ukupno 6 dizel motora. Dva su motora 16 cilindarska Wärtsilä 16V46D koji koriste Common rail sustav za izravno ubrizgavanje goriva u elektromagnetske ventile takozvane Solenoid ventile. Četiri su motora 12 cilindarska Wärtsilä 12V46D.

Za pogon, Wonder of the Seas koristi tri glavna Azipoda, prikazan na slici 19, od 20.000 kilovata. Ovi su motori postavljeni ispod krme broda i svaki od njih pokreće 20 stopa široke

³² https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod_za_krstarenje (pristupljeno 05.06.2023.)

³³ <https://www.royalcaribbeanblog.com/wonder-of-the-seas> (pristupljeno 05.06.2023.)

rotacijske propelere. Uz tri električna propelera, za pristajanje se koriste i četiri pramčana propelera, svaki snage 5500 kilovata ili 7380 konjskih snaga.



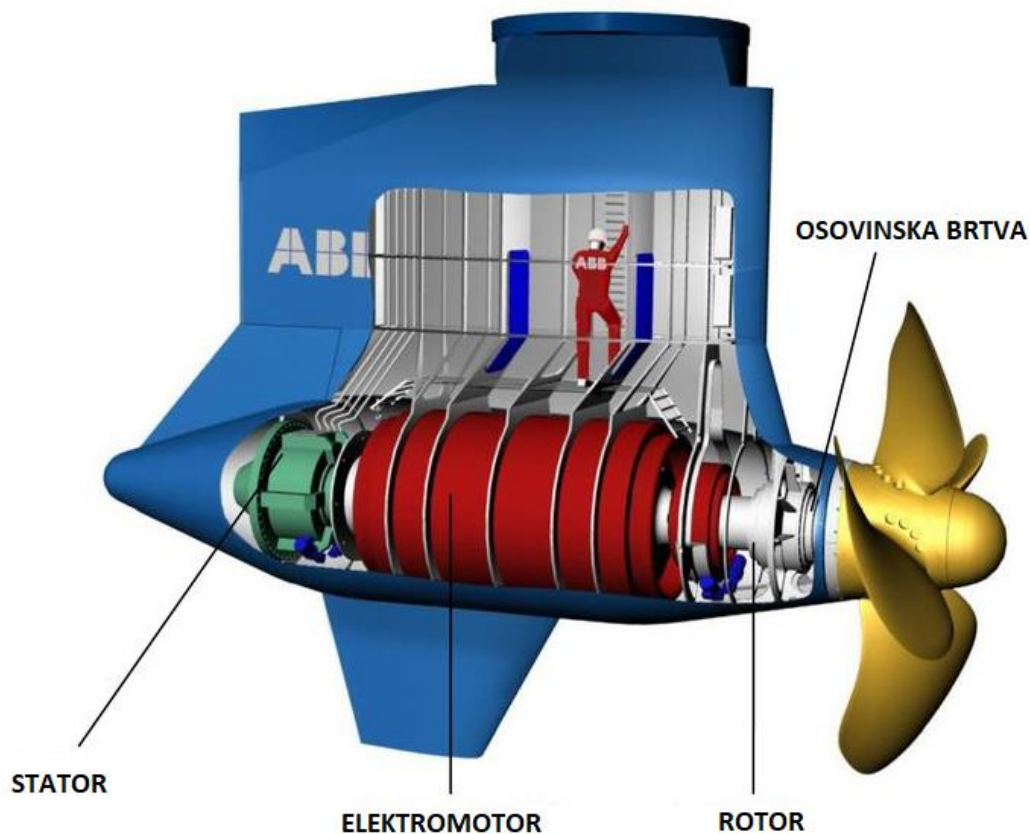
Slika 19. Azipod³⁴

Azipod (engleski Azimuting Podded Drive) registrirani je naziv specifičnog azimutnog potisnika koji je izvorno razvijen u Finskoj od strane zajedničkog pothvata između brodogradilišta Kvaerner MASA i ABB grupe (slika 20). To je brodska propulzijska jedinica koja se sastoji od propelera kojeg pokreće električni motor postavljen u upravljivo kućište. Ideja za takvu jedinicu nastala je 1980. godine, a prvi put je postavljena 1990. godine na finskom službenom brodu "Seili". Prvi komercijalni brod s ugrađenim Azipod motorima bio je tanker "Uikku" 1993. godine i prvi putnički brod "Elation" 1998. godine.

Kućište vijka (Ing. Pod) općenito je okrenuto prema naprijed kako bi se osigurao slobodan protok tekućine i učinkovitiji rad. Budući da se može okretati oko svoje osi, potisak se može primijeniti u bilo kojem smjeru. Azimutni potisnici daju brodovima veću sposobnost manevriranja, omogućujući im da se kreću unatrag gotovo jednako učinkovito kao i naprijed. Novi suprotno rotirajući vijak, smješten na drugoj strani kućišta, osigurava još veću učinkovitost pogonskog sklopa. U konvencionalnom sustavu propulzije po azimutu, motor je smješten u trupu, a propeler se pokreće osovinom. Kod Azipod sustava elektromotor je smješten u kućištu, a vijak je spojen direktno na osovinu motora. Kao pogonski motor koriste se sinkroni i asinkroni elektromotori. U najsuvremenijim SSP zakretnim pogonima trajno pobuđeni

³⁴ <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/azipod-%28azimuthing-podded-drive%29> (pristupljeno 05.06.2023)

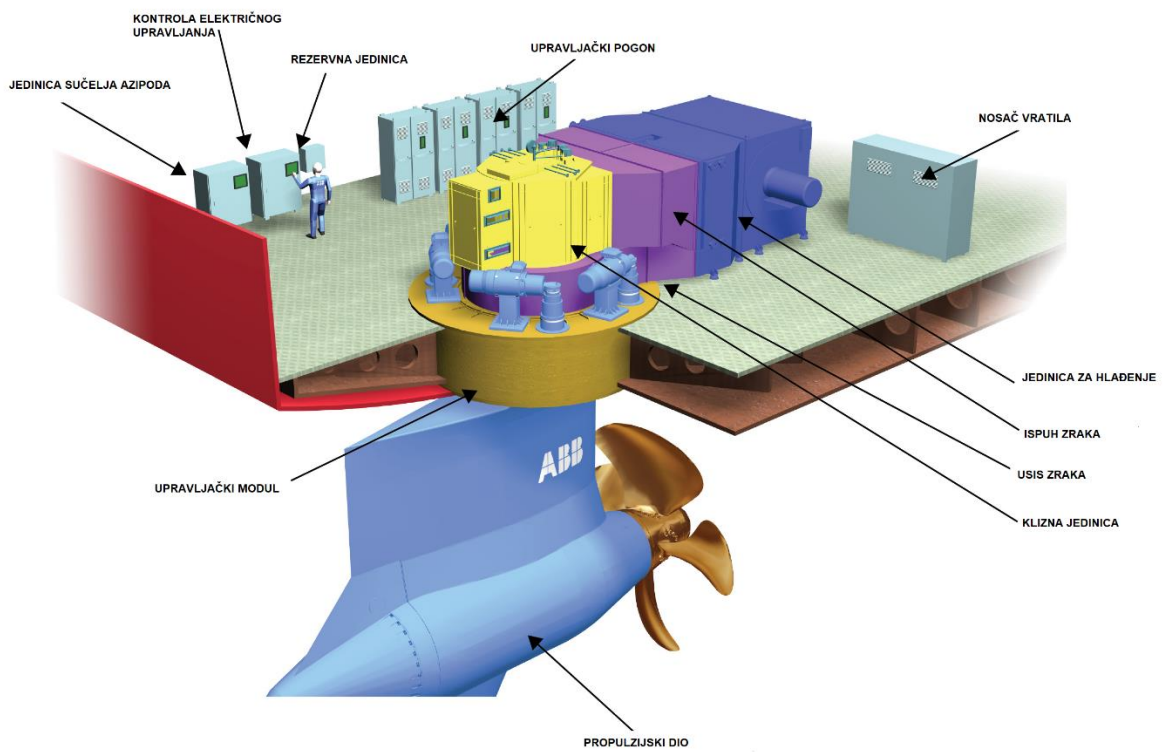
sinkroni motor znatno je manje mase i dimenzija u odnosu na standardni sinkroni motor, što dodatno poboljšava hidro dinamička svojstva motora. Izbjegavanjem korištenja osovine propelera, propeler se može postaviti niže od dna krme broda, gdje je protok tekućine stabilniji, što rezultira boljim iskorištenjem propelera. Azipod motor pokreću klizni prstenovi koji omogućuju okretanje kućišta za 360°. Budući da se koriste pužnice s fiksnim korakom, snagu Azipod sustava uvijek osigurava električni pogon s frekvencijskim pretvaračem koji omogućuje kontrolu brzine i smjera motora. Pogodan je za pogonske motore snage do 25 MW i za brzine do oko 200 o/min.³⁵



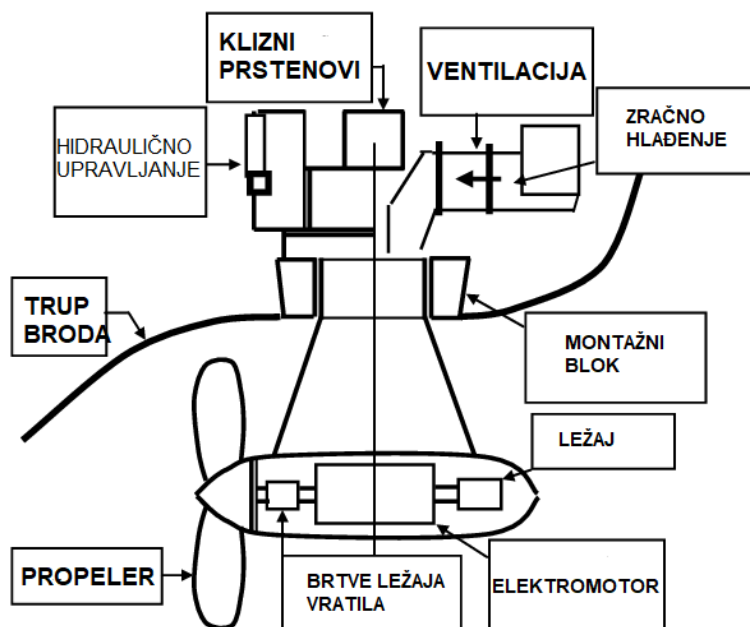
Slika 20. Azipod ABB grupacije³⁶

³⁵ [https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/azipod-\(azimuthing-podded-drive\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/azipod-(azimuthing-podded-drive)) (pristupljeno 05.06.2023.)

³⁶ <https://slideplayer.com/slide/16175974/> (pristupljeno 05.06.2023.)



Slika 21. Dijelovi Azipod sustava



Slika 22. Presjek azipoda

Brodom se upravlja sa zapovjednog mosta(pogledaj sliku 23.) Na zapovjednim mostu nalaze se sve potrebne kontrole za upravljanje brodom. Centralna konzola na zapovjednom mostu(vidi sliku 24) je upravljačka konzola kojom se upravlja brodom. Na njoj se nalaze kontrole za azipode, kontrole autopilota, radari, kontrole balasta, elektroničke karte, razno razni pokazivači i mjerači. Na samom mostu osim centralne konzole postoje i još dvije identične takve konzole na lijevom i desnom krilu. Te kontrole se koriste prilikom manevriranja brodom u samoj luci ovisno kojom stranom brod pristaje uz dok.



Slika 23. Zapovjedni most



37

Slika 24. Kontrole za upravljanje brodom

³⁷ <https://www.marinelink.com/news/wonder-seas-equipped-abbs-ability-marine-500796> (pristupljeno 05.06.2023.)

9. ZAKLJUČAK

Načelo povratne veze je osnovno načelo upravljanja automatskim sustavima. Povratna veza je u srži zatvoreni sustav koji analizira stanje na izlazu, a to u biti omogućuje sustavu da se prilagodi na takav način da se na izlazu iz sustava dobije ono što se zahtjeva. Osnovna razlika sustava koji se upravlja pomoću otvorene petlje i sustava sa zatvorenom petljom je upravo u povratnoj vezi. Na takav način bilo koji sustav otvorene petlje može postati sustav sa zatvorenom petljom.

Industrijskim revolucijama i napretkom automatike i automatizacije došlo je do smanjenja troškova prilikom eksploatacije broda. Pojava kvarova, potrošnja električne energije, smanjenje vremena upravljanja i broj posade s vremenom su svedeni na najmanju moguću mjeru. Nažalost, posljedica smanjenja broja posade ima negativne socio ekonomske efekte. Međutim, stvar je tu jasna. Odnos prihoda i rashoda mora biti takav da se uvijek zarađuje novac, a ne gubi.

Autopilot je jako složeni sustav koji se sastoji od niza podsustava, elemenata i komponenti. U srži je to kombinacija mehaničkog, električnog i hidrauličnog sustava. Osnovna zadaća brodskog autopilota je održavanje zadanog kursa broda. Iako je napredak današnje tehnologije ne usporediv sa tehnologijom prošlosti, još uvijek se upotrebljava hidraulički sustav koji je prvi put otkriven čak sedam tisuća godina prije Krista. To upravo govori o tome koliko su takvi sustavi pouzdani i nezamjenjivi.

Upotrebom autopilota upravljanje brodom je postalo jako jednostavno, a postiglo se to da su brzine samog broda postale veće, a otklon kormila manji. Međutim, koristiti autopilot i upravljati brodom može samo stručna i osposobljena osoba. Netko tko ne posjeduje dovoljna znanja i vještine može počinuti jako veliku štetu, a ukoliko se radi o putničkim brodovima ugroziti jako puno ljudskih života.

Iz dana u dan tehnologija napreduje. U pomorstvu se sve više spominju autonomni brodovi bez prisutnosti čovjeka. Svjedoci smo da u svijetu već postoje autonomni automobili, a neki se čak koriste kao i taksi vozila. Sigurno će u dogledno vrijeme doći do pojave i takvih brodova jer napredak tehnologije je nezaustavljiv.

LITERATURA

1. Antonić, Radovan :Brodsko automatsko upravljanje, Pomorski fakultet, Split 2010. g
2. Bolf, N. (2014). Imenje i nazivlje u kemiji i kemijskom inženjerstvu, Kemija u industriji : Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske, 63(11-12): 434-434. raspoloživo na: <https://hrcak.srce.hr/129294> (pristupljeno 29.4.2023.)
3. https://bib.irb.hr/datoteka/441079.Analiza_sigurnosti_plovidbe_putnickih_brodova_u_nacionalnoj_plovidbi.pdf (pristupljeno 29.4.2023.)
4. <https://gorgonija.com/2020/04/19/sve-o-kormilu-2/> (pristupljeno 8.5.2023.)
5. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Automatizacija>
6. https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod#/media/Datoteka:Color_Fantasy_Bug.JPG (pristupljeno 29.4.2023.)
7. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod#/media/Datoteka:USS_Tarawa_\(LHA-1\).jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod#/media/Datoteka:USS_Tarawa_(LHA-1).jpg) (preuzeto 29.4.2023.)
8. https://hr.wikipedia.org/wiki/Brod_za_krstarenje (pristupljeno 05.06.2023)
9. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidraulika> (pristupljeno 29.4.2023.)
10. https://hr.wikipedia.org/wiki/Kormilarski_stroj (pristupljeno 04.06.2023)
11. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kormilo> (pristupljeno 27.4.2023.)
12. <https://slideplayer.com/slide/16175974/> (pristupljeno 05.06.2023.)
13. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:228706/FULLTEXT01.pdf> (pristupljeno 27.4.2023.)
14. <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/10-things-to-consider-while-using-auto-pilot-system-on-ships/> (pristupljeno 05.06.2023)
15. <https://www.marinelink.com/news/wonder-seas-equipped-abbs-ability-marine-500796> (pristupljeno 05.06.2023.)
16. <https://www.royalcaribbeanblog.com/wonder-of-the-seas> (pristupljeno 05.06.2023)
17. <https://www.scribd.com/doc/251329614/16-Kormila-ppt#> (pristupljeno 27.4.2023.)
18. <https://www.slideserve.com/elliott/kormila-i-kormilarski-strojevi> (pristupljeno 8.5.2023.)
19. <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/azipod-%28azimuthing-podded-drive%29> (pristupljeno 05.06.2023)
20. Hubka, V. Eder, W. E. (1988) Theory of Technical Systems: a total concept of technical systems. Berlin: Springer-Verlag
21. I.I.Agroskin, G.T.Dmitrijev, F.I.Pikalov, "Hidraulika", Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.

22. Jelić, M. (2019). Automatizacija broskog pogona, Predavanje, raspoloživo na: https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/automatizacija_brodskih_pogona.pdf (pristupljeno 27.4.2023.)
23. Kranzberg, M., Hannan, M. T. (2018). Automation, Britannica, raspoloživo na: <https://www.britannica.com/topic/history-of-work-organization-648000/Women-in-the-workforce> (pristupljeno 27.4.2023.)
24. Kurtela, T.: Osnove brodstrojarstva, Veleučilište Dubrovnik, 2000.
25. Matenda, A. (2019). Automatsko upravljanje brodskim kormilarskim uređajem, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu. Trajni link: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:659486> (pristupljeno 27.04.2023.)
26. Završni rad, Gržan Ante, dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:247:397667> (pristupljeno 27.4.2023.)
27. Živanović, J. (2016). Sustav za nadzor i upravljanje pretakanjem tereta, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, raspoloživo na: <https://repositorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A5/datastream/PDF/view> (pristupljeno 27.4.2023.)

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Podjela automatizacije | 4 |
| Slika 2. Objekt upravljanja predstavljen blokom s označenim ulazni i izlaznim veličinama ... | 5 |
| Slika 3. Otvoreni regulacijski krug bez povratne veze..... | 6 |
| Slika 4. Zatvoreni regulacijski krug s povratnom vezom..... | 6 |
| Slika 5. Blok dijagram otvorenog sustava..... | 6 |
| Slika 6. Blok dijagram zatvorenog sustava | 7 |
| Slika 7. Podjela hidrodinamičkih sustava | 10 |
| Slika 8. Hidraulički kormilarski uređaj | 11 |
| Slika 9. Putnički brod za kružna putovanja..... | 12 |
| Slika 10. Ratni brod, nosač zrakoplova..... | 12 |
| Slika 11. Jednoplošno i strujno kormilo | 17 |
| Slika 12. Podjela kormila prema načinu pričvršćenja za trup | 18 |
| Slika 13. Ne balansno, polu balansno i balansno kormilo | 18 |
| Slika 14. Kormila sa zakretnim krilcem | 19 |
| Slika 15. Sustav upravljanja hidrauličkim klipovima | 21 |
| Slika 16. Kormilarski uređaj sa zakretnim krilima | 21 |
| Slika 17. Blok shema automatskog upravljanja kormilarskim uređajem..... | 22 |
| Slika 18. Kruzer Wonder of the Seas | 26 |
| Slika 19. Azipod..... | 27 |
| Slika 20. Azipod ABB grupacije..... | 28 |
| Slika 21. Dijelovi Azipod sustava | 29 |
| Slika 22. Presjek azipoda | 29 |
| Slika 23. Zapovjedni most..... | 30 |
| Slika 24. Kontrole za upravljanje brodom | 30 |