

# Hidraulični brodski porivnici

---

**Bišić, Andro**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:617594>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-24**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKI FAKULTET**

**ANDRO BIŠIĆ**

**HIDRAULIČKI BRODSKI PORIVNICI**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKI FAKULTET**

**HIDRAULIČKI BRODSKI PORIVNICI**  
**HYDRAULIC SHIP PROPULSION SYSTEMS**

**ZAVRŠNI RAD**  
**BACHELOR THESIS**

Kolegij: Brodska hidraulika i pneumatika

Mentor: mr. sc. Rikard Miculinić

Student: Andro Bišić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112079765

Rijeka, rujan 2024.

Student/studentica: Andro Bišić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112079765

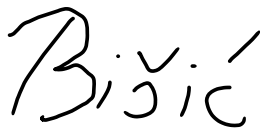
### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom  
HIDRAULIČKI BRODSKI PORIVNICI

izradio/la samostalno pod mentorstvom  
mr. sc. Rikard Miculinić

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezo/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student/studentica



---

(potpis)

Andro Bišić

Student/studentica: Andro Bišić

Studijski program: Brodostrojarstvo

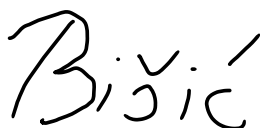
JMBAG: 0112079765

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima Creative Commons licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student/studentica



---

(potpis)

Andro Bišić

## SAŽETAK

Azimutni porivnici omogućuju brodovima visoku upravljivost rotacijom propelera oko vertikalne osi, čime se omogućava precizno manevriranje u svim smjerovima. Ovaj rad istražuje povijest azimutne propulzije i njezin razvoj u suvremenom brodarstvu, s posebnim naglaskom na SCHOTTEL SRP 3030 FP i KAWASAKI REXPELLER KST-320LF/AU sustave. Analiziraju se ključne komponente ovih sustava, uključujući hidrauličke sustave upravljanja, sustave podmazivanja i planetarne prijenosnike. Opisane su prednosti azimutnih porivnika, kao što su povećana upravljivost i efikasnost goriva, kao i njihovi nedostaci, uključujući visoke troškove instalacije i održavanja. Rad zaključuje da azimutni porivnici značajno poboljšavaju operativne sposobnosti brodova, osobito u zahtjevnim uvjetima plovidbe, te su postali standardna oprema na mnogim modernim plovilima.

Ključne riječi: azimutni porivnici, hidraulični sustavi, sustavi podmazivanja, prednosti i nedostaci.

## SUMMARY

Azimuth thrusters provide ships with high maneuverability by allowing the propeller to rotate around a vertical axis, enabling precise maneuvering in all directions. This paper explores the history of azimuth propulsion and its development in modern shipping, with a particular focus on the SCHOTTEL SRP 3030 FP and KAWASAKI REXPELLER KST-320LF/AU systems. Key components of these systems, including hydraulic control systems, lubrication systems, and planetary gearboxes, are analyzed in detail. The advantages of azimuth thrusters, such as enhanced maneuverability and fuel efficiency, as well as their disadvantages, including high installation and maintenance costs, are discussed. The paper concludes that azimuth thrusters significantly improve the operational capabilities of ships, especially in demanding sailing conditions, and have become standard equipment on many modern vessels.

Key words: azimuth thrusters, hydraulic systems, lubricating systems, advantages and disadvantages.

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK.....</b>	<b>I</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>I</b>
<b>SADRŽAJ.....</b>	<b>II</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. AZIMUTNI PORIVNICI .....</b>	<b>1</b>
2.1. POVIJEST AZIMUTNE PROPULZIJE DO DANAS .....	1
2.2. OSNOVNI DIJELOVI.....	3
2.3. PRINCIP RADA AZIMUTNOG MOTORA.....	4
2.4. PREDNOSTI I MANE .....	5
2.4.1. Prednosti .....	5
2.4.2. Mane .....	6
2.5. PROCES PROIZVODNJE AZIMUTNIH PORIVNIKA .....	7
<b>3. TIPOVI AZIMUTNIH PORIVNIKA.....</b>	<b>9</b>
<b>4. HIDRAULIČNI SUSTAV AZIMUTNIH PORIVNIKA .....</b>	<b>13</b>
4.1. DIJELOVI HIDRAULIČNOG SUSTAVA .....	13
4.2. PREDNOSTI HIDRAULIČKOG SUSTAVA.....	14
4.3. ZAHTJEVI KOJE MORAJU ZADOVOLJITI HIDRAULIČNI POGONSKI MEDIJI.....	14
4.4. FLUIDI KOJI SE UPOTREBLJAVAJU U HIDRAULIČNIM SISTEMIMA ..	16
<b>5. HIDRAULIČNI SUSTAV SCHOTTEL SRP 3030 FP .....</b>	<b>17</b>
5.1. OPĆENITO O SCHOTTEL SRP 3030 FP .....	17
5.2. HIDRAULIČNI SUSTAV KONTROLE UPRAVLJANJA.....	20
5.3. SUSTAV PODMAZIVANJA ULJEM .....	21

5.4.	SUSTAV KONTROLE .....	23
5.5.	PLANETARNI PRIJENOSNIK .....	26
<b>6.</b>	<b>HIDRAULIČNI SUSTAV KAWASAKI REXPELLER KST-320LF/AU .....</b>	<b>27</b>
6.1.	OPĆENITO O KAWASAKI REXPELLERU KST-320LF/AU .....	27
6.2.	HIDRAULIČNI SUSTAV KONTROLE UPRAVLJANJA.....	29
6.3.	SUSTAV PODMAZIVANJA ULJEM I SUSTAV BRTVLJENJA .....	31
<b>7.</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>36</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>37</b>
	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>38</b>
	<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>38</b>



# 1. UVOD

Azimutni porivnici predstavljaju ključnu inovaciju u pomorskoj tehnologiji, omogućujući brodovima iznimnu upravljivost i fleksibilnost u manevriranju. Za razliku od tradicionalnih brodskih vijaka koji su ograničeni na kretanje u jednom smjeru, azimutni porivnici omogućuju rotaciju propelera ili mlaznica oko vertikalne osi, što omogućuje precizno upravljanje i manevriranje brodom u svim smjerovima. Ova tehnologija našla je široku primjenu na komercijalnim plovilima, uključujući trajekte, tegljače, naftne platforme i druge specijalizirane brodove, gdje je visoka upravljivost od presudne važnosti.

Povijest azimutne propulzije seže unatrag do 19. stoljeća, kada su prvi koncepti kombiniranja pogonskih i upravljačkih funkcija u jednom uređaju počeli dobivati na važnosti. Danas, moderni azimutni porivnici omogućuju brodovima vrhunske manevarske sposobnosti, uključujući mogućnost rotacije na mjestu, bočnog kretanja i preciznog pozicioniranja, što je neprocjenjivo u uskim morskim prolazima ili tijekom operacija vezivanja.

Ovaj rad detaljno će istražiti razvoj azimutnih porivnika, njihove osnovne komponente i princip rada, kao i prednosti i nedostatke ove tehnologije. Posebna pažnja bit će posvećena SCHOTTEL SRP 3030 FP i KAWASAKI REXPELLER KST-320LF/AU sustavima, koji predstavljaju neke od najnaprednijih azimutnih pogonskih sustava na tržištu, te njihovim hidrauličkim sustavima upravljanja, sustavima podmazivanja i planetarnim prijenosnicima. Cilj ovog rada je pružiti sveobuhvatan pregled azimutnih porivnika, s posebnim naglaskom na njihov doprinos povećanju učinkovitosti i sigurnosti u pomorskoj plovidbi.

## 2. AZIMUTNI PORIVNICI

### 2.1. POVIJEST AZIMUTNE PROPULZIJE DO DANAS

Azimutna propulzija, koja obuhvaća konfiguraciju brodskih vijaka smještenih u specijalna vodonepropusna kućišta koja se mogu zakretati u bilo koji vodoravni kut (engl. azimuth), čineći kormilo nepotrebним, pruža bolju upravljivost od tradicionalnog kormila i broskog fiksnog propelera. Ovi azimutni porivnici (engl. azimuth thrusters) omogućuju brodovima vrhunsku upravljivost.

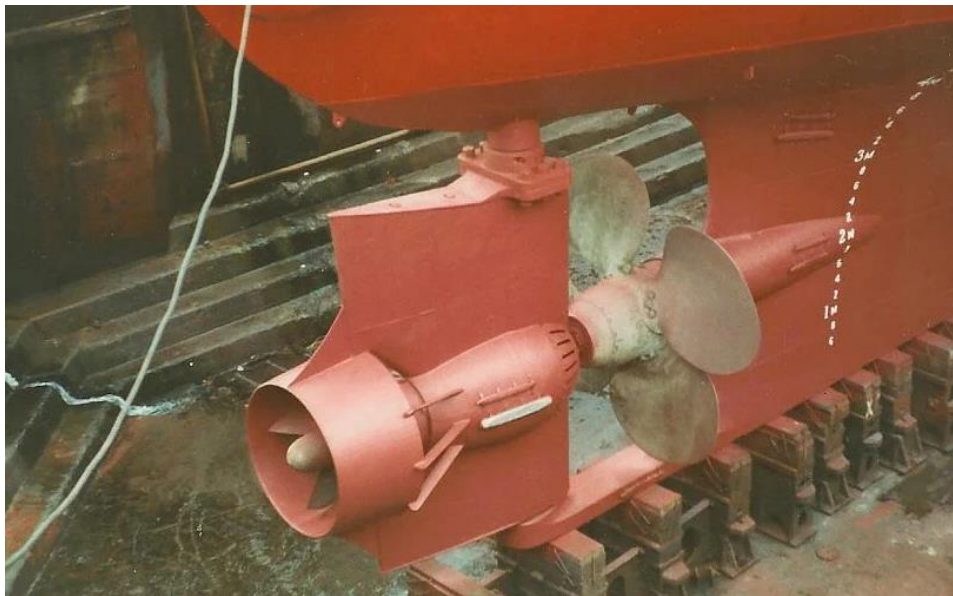
Povijest azimutne propulzije seže unatrag do 19. stoljeća. Engleski izumitelj Francis Ronald već je 1859. godine opisao koncept "pomičnog kormila", uređaja koji je kombinirao

pogonske i upravljačke mehanizme broda. U njegovom dizajnu, propeler je bio postavljen u okvir s vanjskim profilom sličnim kormilu i pričvršćen na vertikalno vratilo koje je omogućilo rotaciju uređaja u ravnini dok se centrifugalna sila prenosila na propeler.

Najraniji poznati patent za azimutnu tehnologiju datira iz 1877. godine i pripada Johnu W. Griffithsu, koji je predložio uređaj sposoban za rotaciju oko vertikalne osi. Tijekom 1950-ih godina, azimutna propulzija doživjela je značajan napredak s razvojem pogonskih jedinica koje su mogle rotirati za 360 stupnjeva. Joseph Becker, osnivač Schottel-a u Njemačkoj, izumio je 1950. godine moderni azimutni porivnik koji koristi prijenosnik Z-pogona, plasirajući ga pod nazivom Ruderpropeller. Becker je za svoj izum 2004. godine nagrađen nagradom Elmer A. Sperry.

U 1970-ima, azimutna propulzija postala je sve popularnija u komercijalnom brodarstvu zbog svoje povećane efikasnosti i izvanredne sposobnosti manevriranja. Takvu vrstu pogona patentirao je Pleuger 1955. godine, a primjer takvog sustava prikazan je na slici 1.

Modernu upotrebu azimutne propulzije obilježava masovna implementacija ovih pogonskih sustava na velikim brodovima tijekom 1980-ih i 1990-ih godina. Ovi sustavi omogućuju napredne manevre, uključujući okretanje na mjestu, bočno kretanje i precizno pozicioniranje, što je posebno korisno za kruzere i vojna plovila. Danas su azimutni pogonski sustavi standardna oprema na mnogim modernim brodovima. Tehnologija je toliko napredovala da se koristi u autonomnim i polu-autonomnim plovilima, gdje je precizno upravljanje ključno. Ova evolucija tehnologije ilustrira kako inženjerske inovacije mogu drastično poboljšati performanse i operativne sposobnosti pomorskih plovila.



Slika 1. Pleuger kormilo [1]

## 2.2. OSNOVNI DIJELOVI

Osnovni dijelovi azimutnog prijenosnika uključuju:

- **VERTIKALNO VRATILO (OSOVIDA):** Centralna osovid koja omogućuje rotaciju pogonske jedinice za 360 stupnjeva oko vertikalne osi. Ovo vratilo je ključni dio mehanizma koji omogućuje promjenu smjera propulzije.
- **Z-PRIJENOSNIK:** Sustav zupčanika koji prenosi snagu s horizontalno postavljenog motora na vertikalnu osovid. Ovaj prijenosnik koristi dva seta zupčanika postavljenih pod pravim kutom kako bi promijenio smjer prijenosa snage.
- **BRODSKI VIJAK:** Smješten na donjem kraju vertikalne osovine, brodski vijak stvara potisak koji pokreće brod. Propeler se rotira zajedno s osovidom, omogućujući promjenu smjera potiska.
- **KUĆIŠTE (VODONEPROPUSNO):** Zaštitna struktura koja okružuje mehaničke komponente azimutnog prijenosnika, štiteći ih od morske vode i drugih elemenata. Kućište je dizajnirano za minimaliziranje otpora vode tijekom kretanja broda.
- **POGON (MOTOR):** Motor koji pruža snagu za rotaciju propulzora. Pogon može biti dizelski, električni ili hidraulički, ovisno o vrsti broda i specifičnim zahtjevima pogonskog sustava.

- **KONTROLNI SUSTAV:** Elektronički ili hidraulički sustav koji omogućuje precizno upravljanje rotacijom vertikalne osovine i smjerom propulzije. Kontrolni sustav omogućuje kapetanu ili operateru da mijenja smjer potiska pomoću upravljačkih uređaja.
- **UPRAVLJAČKA STANICA:** Konzola ili panel na brodu iz koje se kontrolira azimutni prijenosnik. Upravljačka stanica omogućuje operateru da upravlja smjerom i snagom propulzije.
- **HLAĐENJE I PODMAZIVANJE:** Sustavi za hlađenje i podmazivanje ključnih komponenti prijenosnika, uključujući zupčanike i ležajeve, kako bi se osigurala pouzdanost i dugovječnost mehanizma.

Ovi osnovni dijelovi zajedno omogućuju učinkovit rad azimutnog prijenosnika, pružajući brodu iznimnu upravljivost i fleksibilnost u manevriranju.

### **2.3. PRINCIP RADA AZIMUTNOG MOTORA**

Azimutni motor radi na principu rotacije pogonske jedinice oko vertikalne osi, što omogućuje promjenu smjera potiska i time poboljšava upravljivost broda. Princip rada azimutnog motora uključuje nekoliko ključnih koraka:

#### **1. GENERIRANJE SNAGE:**

Motor (koji može biti dizelski, električni ili hidraulički) generira snagu koja se prenosi na pogonski sustav. Ova snaga je potrebna za pokretanje propulzora.

#### **2. PRIJENOS SNAGE:**

Snaga iz motora prenosi se na Z-prijenosnik, sustav zupčanika koji prenosi snagu s horizontalnog vratila na vertikalno vratilo. Z-prijenosnik koristi zupčanike postavljene pod pravim kutom kako bi promijenio smjer prijenosa snage iz horizontalne u vertikalnu ravninu.

### 3. ROTACIJA VERTIKALNOG VRATILA:

Vertikalno vratilo (osovina) rotira zahvaljujući snazi prenesenoj iz motora preko Z-prijenosnika. Ova osovina omogućuje rotaciju pogonske jedinice za 360 stupnjeva oko vertikalne osi.

### 4. POKRETANJE PROPELERA:

Propeler, smješten na donjem kraju vertikalne osovine, stvara potisak koji pokreće brod. Kako se osovina rotira, propeler se također rotira, stvarajući potisak u željenom smjeru.

### 5. KONTROLA SMJERA POTISKA:

Kontrolni sustav (elektronički ili hidraulički) omogućuje precizno upravljanje rotacijom vertikalne osovine. Operater može mijenjati smjer potiska jednostavnim okretanjem kontrolnog uređaja na upravljačkoj stanici, što mijenja kut rotacije pogonske jedinice.

### 6. MANEVRIRANJE:

Azimutni motor omogućuje napredne manevre kao što su okretanje na mjestu, bočno kretanje i precizno pozicioniranje. Rotacija pogonske jedinice omogućuje brze promjene smjera potiska, što je posebno korisno u uskim vodama ili pri pristajanju.

## 2.4. PREDNOSTI I MANE

Azimutni porivnici nude brojne prednosti, ali imaju i nekoliko mana. Ovdje su detaljno opisane prednosti i mane azimutnih porivnika:

### 2.4.1. Prednosti

#### 1. POVEĆANA UPRAVLJIVOST:

Azimutni porivnici omogućuju rotaciju za 360 stupnjeva, što omogućuje iznimno precizno manevriranje. Brod može mijenjati smjer potiska bez potrebe za okretanjem trupa, što je korisno u uskim prolazima ili pri pristajanju.

#### 2. ELIMINACIJA KORMILA:

S obzirom da azimutni porivnici zamjenjuju potrebu za tradicionalnim kormilom, smanjuje se složenost sustava upravljanja i poboljšava se pouzdanost.

### 3. EFIKASNOST GORIVA:

Optimalno pozicioniranje propelera omogućuje bolju iskoristivost snage motora, što može rezultirati manjom potrošnjom goriva i nižim operativnim troškovima.

### 4. VEĆA FLEKSIBILNOST U DIZAJNU BRODA:

Azimutni porivnici omogućuju inženjerima veću fleksibilnost u dizajnu broda jer nema potrebe za prostorom za kormilo i povezanim mehanizmima. To može rezultirati boljom iskoristivošću prostora na brodu.

### 5. BRŽI ODZIV NA KOMANDE:

Zahvaljujući direktnoj kontroli smjera potiska, azimutni porivnici omogućuju brže reakcije na komande za promjenu smjera, što je ključno za operacije koje zahtijevaju visoku preciznost.

### 6. POBOLJŠANA SIGURNOST:

Povećana upravljivost i brži odziv na komande smanjuju rizik od nesreća, posebno pri manevriranju u gustim ili uskim vodama.

## 2.4.2. Mane

### 1. VISOKI TROŠKOVI INSTALACIJE I ODRŽAVANJA:

Azimutni porivnici su skuplji za instalaciju u usporedbi s tradicionalnim pogonskim sustavima. Također, kompleksnost sustava može rezultirati višim troškovima održavanja.

### 2. KOMPLEKSNOST SUSTAVA:

Složenost mehaničkih i elektroničkih komponenti može povećati rizik od kvara i zahtijeva visoku razinu stručnosti za održavanje i popravak.

### 3. POTREBA ZA REDOVITIM ODRŽAVANJEM:

S obzirom na to da azimutni porivnici uključuju pokretne dijelove izložene morskoj vodi, zahtijevaju redovito održavanje kako bi se spriječila korozija i osigurao dug vijek trajanja.

### 4. POTROŠNJA ENERGIJE:

Električni ili hidraulički sustavi za kontrolu azimutnih porivnika mogu povećati ukupnu potrošnju energije broda, što može biti značajan faktor kod nekih operacija.

## 5. OGRANIČENJA U PRIMJENI:

Iako su vrlo korisni za određene tipove brodova (npr. tegljače, kruzere, istraživačke brodove), azimutni porivnici možda nisu idealni za sve vrste plovila, posebno ona koja zahtijevaju jednostavnije i manje složene pogonske sustave.

### 2.5. PROCES PROIZVODNJE AZIMUTNIH PORIVNIKA

Proces proizvodnje azimutnih porivnika je složen i zahtijeva visoku preciznost i pažnju na detalje.

#### 1. DIZAJN I INŽENJERING

Početni koncept i specifikacije:

Definiranje zahtjeva performansi i operativnih uvjeta. Sastavljanje tehničkih specifikacija u suradnji s kupcem.

CAD modeliranje:

Izrada 3D modela pomoću CAD softvera. Simulacija protoka fluida pomoću CFD softvera za optimizaciju oblika propelera i kućišta.

Strukturna analiza:

Korištenje FEA (Finite Element Analysis) za procjenu strukturne čvrstoće i otpornosti na zamor materijala.

#### 2. IZRADA KALUPA I LIJEVANJE

Izrada kalupa:

Lijevanje ključnih komponenti, poput kućišta i propelera. Upotreba visokokvalitetnih materijala za kalupe kako bi se osigurala preciznost i glatkoća površina.

Lijevanje komponenata:

Lijevanje od nehrđajućeg čelika, aluminija ili drugih legura. Kontrola kvalitete lijevanja kako bi se osigurala uniformnost i odsutnost nedostataka.

#### 3. OBRADA KOMPONENATA

Gruba obrada:

Primarna obrada komponenti na CNC strojevima te uklanjanje viška materijala i postizanje osnovnog oblika.

Fina obrada:

Precizna obrada kritičnih površina i dimenzija te poliranje i dorada površina kako bi se smanjio otpor i povećala učinkovitost.

#### 4. SKLAPANJE I MONTAŽA

Sklapanje podsklopova:

Montaža pojedinačnih komponenti u podsklopove kao što su motorni pogon, zupčanici i ležajevi. Primjena preciznih mjerila i alata za osiguranje točnosti sklapanja.

Završna montaža:

Sklapanje podsklopova u cjeloviti azimutni porivnik te ugradnja elektroničkih sustava za upravljanje i senzora za praćenje performansi.

#### 5. TESTIRANJE I ISPITIVANJE

Funkcionalno ispitivanje:

Testiranje operativnih funkcija porivnika u kontroliranim uvjetima. Provjera rotacije, smjera potiska i brzine odziva.

Ispitivanje opterećenja:

Testiranje porivnika pod maksimalnim opterećenjima kako bi se provjerila otpornost i pouzdanost. Analiza vibracija i buke.

Kontrola kvalitete:

Detaljna inspekcija svih komponenti i sklopova kako bi se osigurala usklađenost sa specifikacijama. Upotreba niskopodtlaka, ultrazvuka i drugih metoda za otkrivanje skrivenih nedostataka.

#### 6. ZAVRŠNA OBRADA I ZAŠTITA

Premazivanje i zaštita:

Primjena antikorozivnih premaza na vanjske površine te dodatna zaštita osjetljivih dijelova.



Pakiranje i transport:

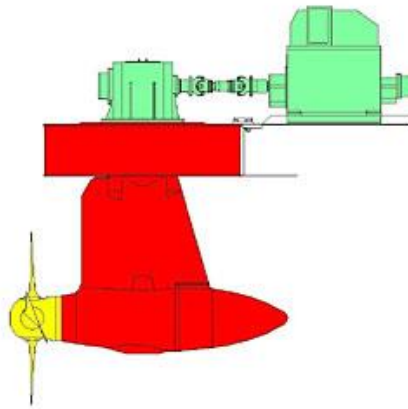
Sigurno pakiranje azimutnog porivnika za transport do kupca te dokumentacija i priprema za ugradnju na brod.

Proces proizvodnje azimutnih porivnika je višestupanjski i uključuje napredne tehnološke i inženjerske metode kako bi se osigurala visoka kvaliteta, pouzdanost i učinkovitost konačnog proizvoda. Svaka faza, od dizajna do završne montaže i testiranja, ključna je za postizanje optimalnih performansi i dugovječnosti azimutnih porivnika.

### **3. TIPOVI AZIMUTNIH PORIVNIKA**

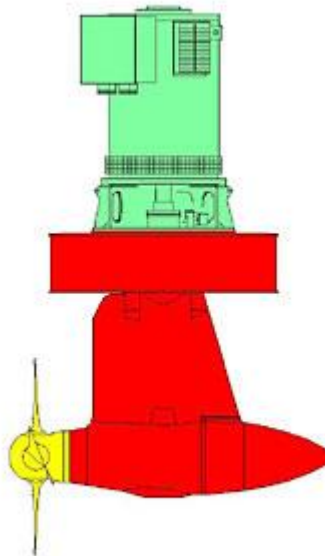
Azimutni porivnici dolaze u nekoliko različitih vrsta, prilagođenih specifičnim potrebama i uvjetima rada brodova. Svaka od ovih vrsta ima svoje specifične prednosti i optimalnu primjenu, ovisno o tipu plovila i njegovim operativnim potrebama.

- KONVENCIONALNI AZIMUTNI PORIVNICI imaju propeler smješten na vertikalnom vratilu koje se može rotirati za 360 stupnjeva. Ovi porivnici omogućuju jednostavno upravljanje smjerom potiska, čime se povećava upravljivost broda.
- Z-DRIVE PORIVNICI imaju konfiguraciju zupčanika u obliku slova "Z". Ova konfiguracija omogućuje prijenos snage s horizontalno postavljenog motora na vertikalnu osovinu. Z-Drive sustavi su poznati po svojoj pouzdanosti i efikasnosti te se često koriste na tegljačima i radnim brodovima.



Slika 2. Z-drive azimutni porivnik [2]

- L-DRIVE PORIVNICI slični su Z-Drive porivnicima, ali koriste jednostavniju konfiguraciju s jednim pravokutnim prijenosnikom. Ova vrsta porivnika ima manje pokretnih dijelova, što može rezultirati manjim troškovima održavanja.



Slika 3. L-drive azimutni porivnik [2]

- PUMP-JET PORIVNICI koriste unutarnji rotor unutar statora za stvaranje potiska. Ova vrsta porivnika je iznimno tiha i učinkovita, što je čini pogodnom za podmornice i specijalizirana plovila koja zahtijevaju nisku razinu buke.



*Slika 4. Pump-jet porivnik [3]*

- **PORIVNICI S OTVORENIM PROPELEROM** imaju propeler bez zaštitnog kućišta, što smanjuje otpor vode i povećava efikasnost. Koriste se na brodovima koji ne zahtijevaju zaštitu propelera od krhotina ili podvodnih prepreka.



*Slika 5. Porivnik s otvorenim propelerom [6]*

- TUNELSKI PORIVNICI su bočni porivnici smješteni unutar tunela u trupu broda. Iako nisu potpuno azimutni, često se koriste u kombinaciji s azimutnim porivnicima kako bi poboljšali bočnu upravljivost broda prilikom manevriranja u uskim prostorima.



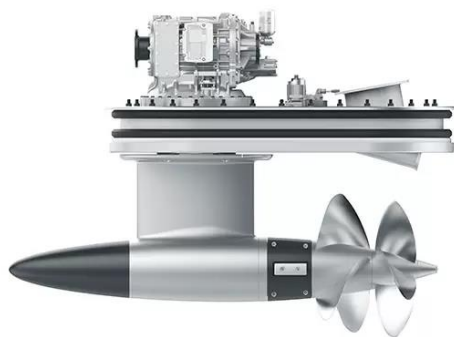
*Slika 6. Tunelski porivnik [7]*

- UVLAČIVI AZIMUTNI PORIVNICI su porivnici koji se mogu uvlačiti u trup broda kada nisu u uporabi. Ova funkcionalnost smanjuje otpor vode kada porivnik nije potreban i povećava efikasnost plovidbe.



*Slika 7. Uvlačivi azimutni porivnici [4]*

- **POD-DRIVE PORIVNICI** su kompaktni sustavi u kojima su motor i propeler integrirani unutar vodonepropusnog kućišta (pod). Ova vrsta porivnika često se koristi na jahtama i manjim brodovima zbog svoje jednostavnosti i efikasnosti.



*Slika 8. Pod-drive porivnici [5]*

Različite vrste azimutnih porivnika omogućuju optimalnu primjenu u različitim uvjetima i za različite tipove plovila, pružajući poboljšanu upravljivost, efikasnost i fleksibilnost u pomorskoj plovidbi.

## **4. HIDRAULIČNI SUSTAV AZIMUTNIH PORIVNIKA**

Hidraulični sustav azimutnih porivnika ključan je za precizno upravljanje smjerom i snagom potiska propelera. Hidraulički sustav koristi tekućine pod pritiskom za prijenos snage i upravljanje raznim funkcijama porivnika, uključujući rotaciju brodskog vijka i podešavanje nagiba. Omogućava precizno i brzo upravljanje, što je ključno za manevriranje brodom.

### **4.1. DIJELOVI HIDRAULIČNOG SUSTAVA**

**Hidrauličke pumpe:** Srce hidrauličkog sustava koje generira potreban tlak. Obično se koriste klipne ili zupčaste pumpe visoke učinkovitosti.

**Hidraulični cilindri:** Pretvaraju hidraulički tlak u mehanički pokret, omogućujući rotaciju i podešavanje azimutnog porivnika. Izrađeni su od visokokvalitetnih materijala otpornih na habanje i koroziju.

Ventili za upravljanje: Kontroliraju protok tekućine kroz sustav, omogućujući precizno upravljanje smjerom i snagom porivnika. Uključuju proporcionalne ventile za fino podešavanje i on/off ventile za osnovne funkcije.

Rezervoar za hidrauličko ulje: Sadrži hidrauličko ulje i osigurava kontinuiranu opskrbu sustava. Opremljen filterima za održavanje čistoće ulja i produženje vijeka trajanja sustava.

Cjevovodi i crijeva: Povezuju sve komponente sustava i prenose hidrauličko ulje pod pritiskom. Moraju biti otporni na visoke pritiske i temperaturne promjene.

Hidrauličke pumpe se pokreću kako bi stvorile potreban tlak, koji se distribuira kroz sustav putem ventila. Zaustavljanje pumpi automatski smanjuje tlak, omogućujući sigurno zaustavljanje porivnika. Cilindri rotiraju azimutni porivnik za 360°, omogućujući precizno usmjeravanje potiska. Hidraulički ventili reguliraju brzinu i smjer rotacije. Kod nekih sustava, hidraulički cilindri omogućuju podešavanje nagiba propelera za optimizaciju potiska i učinkovitosti.

## **4.2. PREDNOSTI HIDRAULIČKOG SUSTAVA**

Hidraulički sustavi omogućuju vrlo precizno upravljanje, što je ključno za manevriranje u uskim prostorima i pri malim brzinama. Brza reakcija na komande omogućuje učinkovito upravljanje i sigurnost plovidbe. Hidraulički sustavi mogu generirati velike sile potrebne za pomicanje velikih komponenti azimutnog porivnika. Moderni hidraulički sustavi često su opremljeni sensorima koji detektiraju promjene tlaka, protoka i temperature, omogućujući pravovremenu intervenciju.

## **4.3. ZAHTJEVI KOJE MORAJU ZADOVOLJITI HIDRAULIČNI POGONSKI MEDIJI**

Pravilna selekcija i održavanje hidrauličkog fluida ključno utječu na rad i pouzdanost hidrauličkog sustava, jer hidraulički fluid mora izvršavati tri osnovne funkcije:

- prijenos energije od pumpe do hidromotora,
- podmazivanje kliznih površina,

- odvođenje topline.
- Stoga hidraulički fluid mora imati sljedeće karakteristike:
  1. Maziva svojstva prilagođena materijalima kliznih parova sustava,
  2. Minimalnu promjenu viskoznosti s promjenama temperature i tlaka kako bi se izbjegli gubici radnog tlaka i propuštanja,
  3. Nisku elastičnost zasićenih para i visoku točku ključanja kako bi se spriječilo isparavanje lako hlapljivih komponenti tijekom dulje uporabe te izbjegla kavitacija pumpi,
  4. Neutralnost prema materijalima s kojima dolazi u dodir, nisku apsorpciju zraka i sposobnost lakog izdvajanja zraka budući da zračni mjehurići smanjuju kompresibilnost fluida i prijenos energije,
  5. Visoku otpornost na mehaničku destrukciju i oksidaciju (nizak sadržaj kiselina) kako bi se spriječilo stvaranje smolastog taloga i kristala,
  6. Visoki volumski modul elastičnosti te visoke vrijednosti koeficijenata toplinske provodljivosti i specifičnog toplinskog kapaciteta, a nisku vrijednost koeficijenta toplinskog širenja,
  7. Visoke izolacijske i dielektrične kvalitete,
  8. Nisku sklonost stvaranju pjene,
  9. Nisku cijenu.

U određenim situacijama zahtijeva se da hidraulički fluid bude nezapaljiv, tj. da ne uzrokuje požar niti prenosi vatru. Kod takvih fluida važna je temperatura paljenja i samozapaljenja. Temperatura paljenja je minimalna temperatura pri kojoj se fluid zapali u dodiru s vanjskim plamenom, dok je temperatura samozapaljenja ona pri kojoj se, u određenom omjeru para fluida i zraka u zatvorenom prostoru, mješavina može zapaliti bez vanjskog izvora plamena. Opasnost od požara nije izravno povezana s temperaturom paljenja i samozapaljenja fluida. Na primjer, neki fluidi poput petroleja mogu imati znatno višu temperaturu samozapaljenja u odnosu na temperaturu paljenja.

Kako bi se spriječio prolaz zapaljivog fluida u područja gdje postoji rizik od požara, sve cjevovode hidrauličkog sustava treba opremiti specijalnim uređajima koji automatski zatvaraju cjevovod u slučaju eksplozije.

#### 4.4. FLUIDI KOJI SE UPOTREBLJAVAJU U HIDRAULIČNIM SISTEMIMA

Pri izboru veličine viskoznosti, vrlo je važan parametar i radni tlak, jer viši tlak zahtijeva i veću viskoznost. Tako, npr., u hidrauličnim sistemima koji su predviđeni za rad u stabilnim temperaturnim uvjetima, pri tlaku nižem od 70 bara, obično se upotrebljavaju ulja viskoznosti 2 do  $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}(50^\circ\text{C})$ , a pri tlaku od 200 bara isti dosiže do  $6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}(50^\circ\text{C})$ . U hidrauličnim sistemima s radnim tlakom visine 500-600 bara, viskoznost fluida dostiže vrijednost 11 do  $17,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Temperatura stinjavanja ulja trebala bi biti najmanje 10- 17 °C niža od najniže temperature na kojoj hidraulični sistem djeluje. Kod vrlo niskih temperatura upotrebljavaju se 1smjese glicerina i alkohola u omjeru 507/0 koje, međutim, imaju losa maziva 1 protukorozivna svojstva. U praksi ne postoji fluid koji bi ispunjavao sve te zahtjeve istodobno, te se zato odabire takav koji najbolje odgovara konkretnom slučaju primjene.

U osnovi se hidraulični fluidi dijele u sljedeće skupine:

Tablica 1. Podjela hidrauličnih fluida [10]

HIDRAULIČNI FLUID			
HIDRAULIČNO ULJE		TEŠKO ZAPALJIVI HIDRAULIČNI FLUID	
BEZ ADITIVA	S ADITIVIMA	SA SADRŽAJEM VODE	BEZ SADRŽAJA VODE



Prema međunarodnoj klasifikaciji, skupina fluida koja se primjenjuje u hidraulici označava se slovom H. Ustale slovne oznake označavaju određenu specifičnost primjene. Tako, npr., daljnje slovo L upućuje na prisutnost aditiva kojima se poboljšavaju određena svojstva, a daljnje slovo, npr. P, upućuje na to da će ovaj fluid, uz prethodna svojstva, imati i neka dodatna.

Tablica 2. Klasifikacija hidrauličnih fluida prema standardu ISO 6743/4 [10]

<b>Simbol ISO</b>	<b>Sastav i određena svojstva</b>
HH	Neinhibirano rafinirano mineralno ulje
HL	Rafinirano mineralno ulje s dodatkom aditiva protiv oksidacije i korozije
HM	HL s poboljšanim svojstvima protiv trošenja
HR	HL ulja s dodatkom aditiva LV za poboljšanje
HV	HM ulja s dodatkom aditiva LV za poboljšanje
HG	HM ulja s antistick-slip svojstvima
HS	Sintetski fluid sa svojstvima teško zapaljivosti
HF	Opći simbol za teško zapaljive hidrauličke fluide
HFAE	Emulzije ulja i vode s najviše 20% gorive materije
HFAS	Otopina kemikalija u vodi s najviše 20% gorive materije
HFB	Emulzije ulja i vode s najviše 25% gorive materije
HFC	Vodena otopina s najviše 20% gorive materije i aditivom za povećanje viskoznosti
HFD	Opći simbol za teško zapaljive fluide bez sadržaja vode
HFDR	HFD temeljen na esterima fosforne kiseline
HFDS	HFD temeljen na spojevima koji sadrže halogene elemente
HFDT	Mješavine HFDR i HFDS
HFDU	Teško zapaljivi fluidi drugog sastava

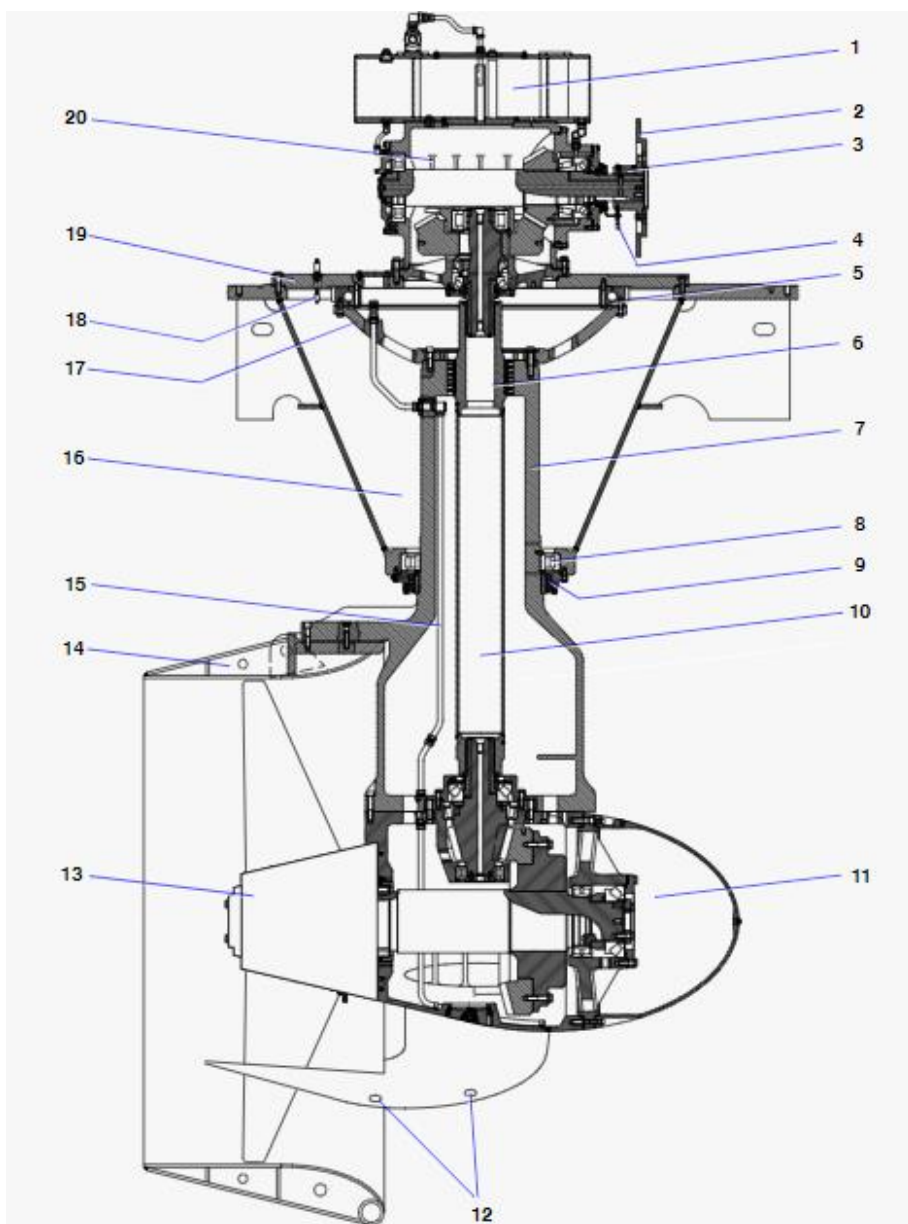
## 5. HIDRAULIČNI SUSTAV SCHOTTEL SRP 3030 FP

### 5.1. OPĆENITO O SCHOTTEL SRP 3030 FP

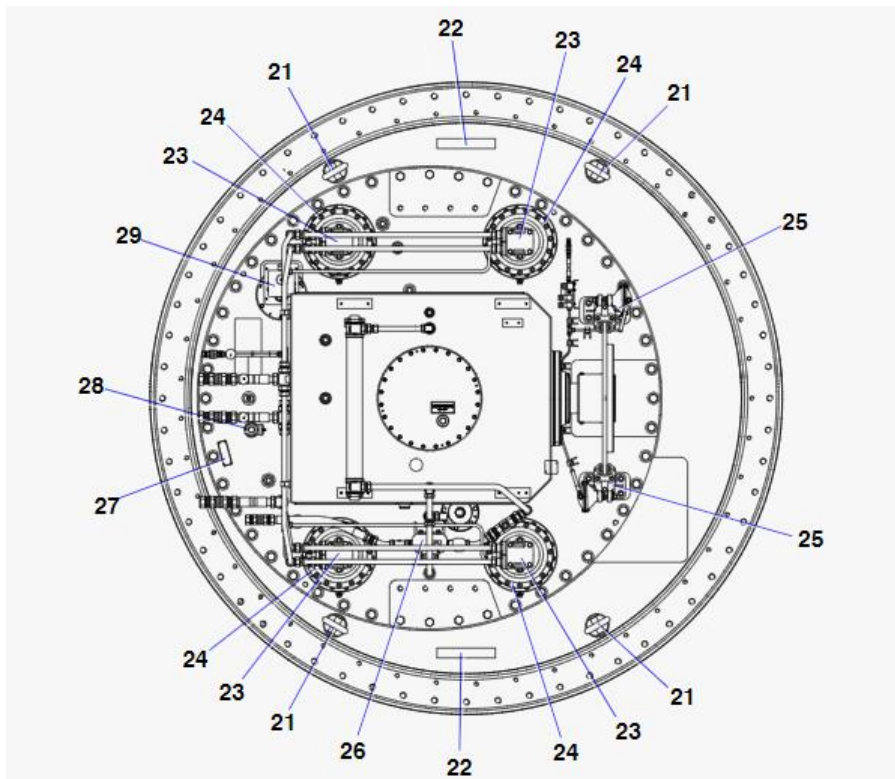
SCHOTTEL SRP 3030 FP je visokoučinkoviti azimutni propulzijski sustav s fiksnim propelerom dizajniran za pružanje izvrsne manevarske sposobnosti i pouzdanosti u brodskim aplikacijama. Ovaj sustav omogućuje 360-stupnjeva rotaciju propulzijske jedinice, čime se osigurava maksimalna upravljivost i precizno upravljanje brodom u svim uvjetima. SRP 3030 FP je opremljen naprednim sustavima podmazivanja i hlađenja, koji osiguravaju dugotrajni rad bez problema. Također je izuzetno robustan i pogodan za teške uvjete rada, što ga čini idealnim

za upotrebu na tegljačima, brodovima za opskrbu nafte i plina, te drugim specijaliziranim plovilima.

- SNAGA: 3350 kW
- ULAZNA BRZINA VRATILA: 1000 min<sup>-1</sup>
- PROMJER VIJKA: 3200 mm
- HIDRAULIČNE PUMPE: 50 kW električki pogonjene pumpe za upravljanje x2



Slika 9. Bočni shematski prikaz SCHOTTEL SRP 3030 FP [8]



Slika 10 . Gornji shematski prikaz SCHOTTEL SRP 3030 FP [8]

1. Ekspanzijska posuda ulja
2. Kočioni disk
3. Prirubnica
4. Senzor brzine
5. Rotirajući spoj
6. Kotač za prijenos ulja
7. Upravljačka cijev
8. Valjkasti ležaj
9. Brtva upravljačke cijevi
10. Osovina za prijenos snage
11. Podvodni prijenosnik
12. Rupe za trake za podizanje
13. Brodski vijak

14. Mlaznica
15. Cijev ulja
16. Potporni konus
17. Glavčina
18. Prekidač razine ulja
19. Ploča upravljačkog mehanizma
20. Iznadvodni prijenosnik
21. Ušica za podizanje
22. Snažna ušica za pričvršćivanje
23. Upravljački motor
24. Planetarni upravljački zupčanik
25. Kočnica za zadržavanje
26. Jedinica za održavanje ulja za podmazivanje
27. Pločica s podacima
28. Kuglasti ventil
29. Jedinica za povratne informacija

## **5.2. HIDRAULIČNI SUSTAV KONTROLE UPRAVLJANJA**

Za potrebe upravljanja osiguran je SST 612 DUAL elektro/hidraulički sustav upravljanja s potpunim praćenjem. Sustav upravljanja radi proporcionalno, što rezultira izuzetno glatkim radom. Brzina upravljanja također varira ovisno o naručenoj promjeni azimutnog kuta; male promjene daju manju brzinu, dok veće promjene povećavaju brzinu upravljanja.

Hidraulički sustav sastoji se od jednog energetskeg paketa i jedne dodatne pumpe.

Energetski paket sastoji se od:

- 1 hidrauličke pumpe
- 1 hidrauličkog tanka
- 1 hladnjak ulja
- 2 filtera ulja

Dodatna druga električna pumpa isporučuje se odvojeno od energetskeg paketa i povezuje se s potrebnim komponentama energetskeg paketa.

Brodogradilište je odgovorno za instalaciju svih cijevnih spojeva između energetskog paketa i hidrauličkih motora, dok su starteri za elektromotore tipa zvijezda/trokut i isporučuju se od strane Schottela. Ovaj sustav osigurava pouzdano i fleksibilno upravljanje potisnikom, što je ključno za manevriranje plovilom u zahtjevnim uvjetima.

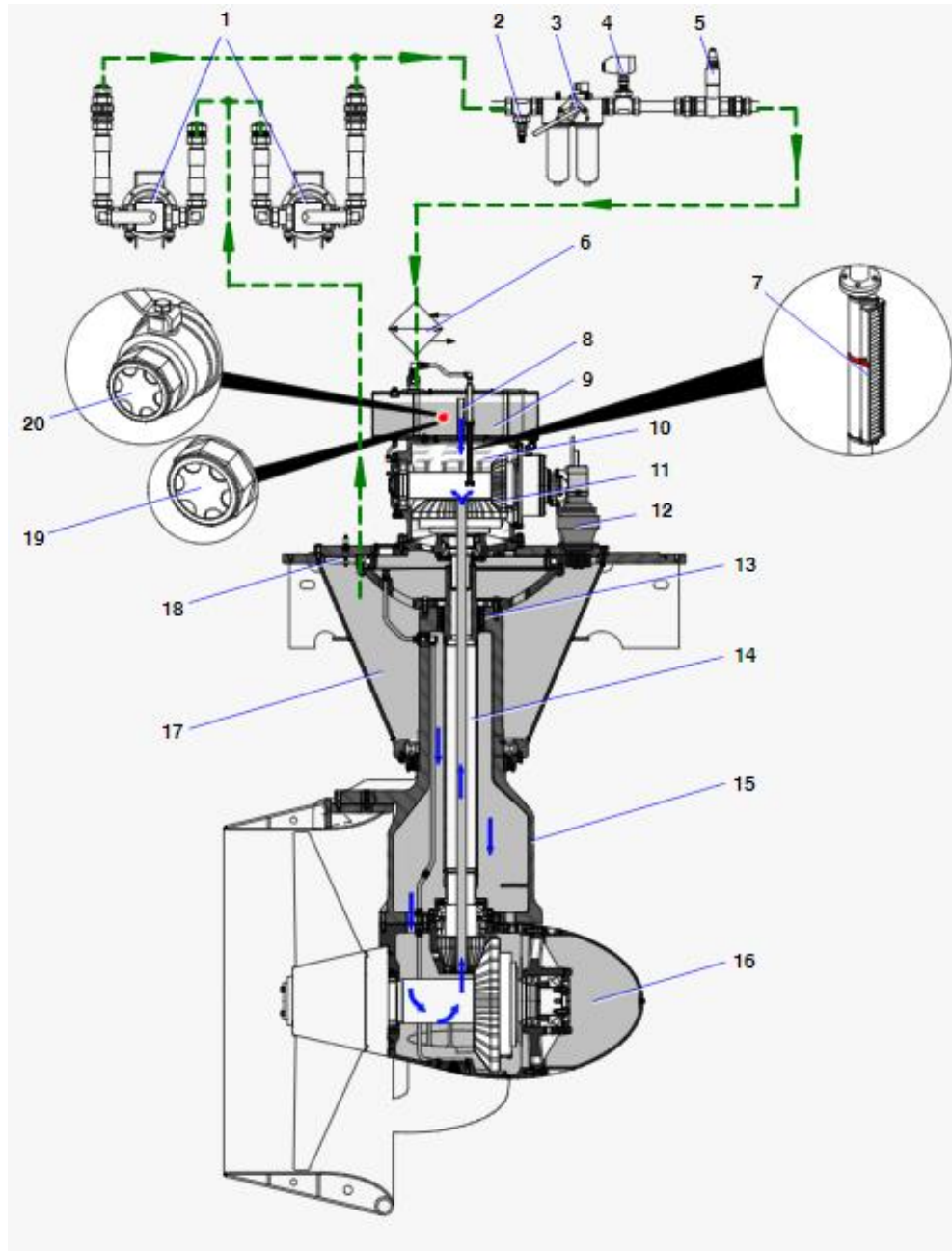
### **5.3. SUSTAV PODMAZIVANJA ULJEM**

Kombinirani sustav podmazivanja uljem putem kupke i prskanja koristi se za podmazivanje SRP-a. Tijekom rada, dvije vanjske pumpe za ulje za podmazivanje, povezane paralelno, prenose ulje kroz dvostruki filter s mogućnošću prebacivanja u spremnik za ekspanziju ulja. To smanjuje razinu ulja u iznadvodnom prijenosniku. Ulje teče kroz prelivnu cijev i otvore za ulje na dnu spremnika za ekspanziju ulja natrag u iznadvodni prijenosnik. Zbog centrifugalnog učinka konusnih zupčanika, ulje se ravnomjerno raspoređuje u iznadvodnom prijenosniku (podmazivanje prskanjem) i vraća se u potporni konus.

Podvodni prijenosnik, upravljačka cijev i potporni konus ispunjeni su uljem (podmazivanje uljnom kupkom). Kotač za prijenos ulja prenosi ulje iz potpornog konusa, kroz upravljačku cijev i u podvodni prijenosnik. Ulje se diže kroz osovinu za prijenos snage u iznadvodni prijenosnik i zatim se vraća u potporni konus. Hladnjak ulja u povratnoj liniji za ulje i voda koja okružuje SRP hlade ulje.

Dvostruki filter s mogućnošću prebacivanja uklanja nečistoće iz sustava ulja. Kada se filter začepi, prikazuje se vizualno upozorenje na filteru i izdaje se upozorenje “Začepljenje filtra”. Prekidač temperature nadzire temperaturu ulja. Ako temperatura premaši maksimalno dopuštenu temperaturu, izdaje se upozorenje “Temperatura ulja”. Uređaj za kontrolu protoka nadzire protok ulja za podmazivanje. Ako se dostigne točka prebacivanja, izdaje se upozorenje “Nedovoljan protok ulja”. Prekidač razine ulja nadzire razinu ulja u potpornom konusu. Ako je razina ulja preniska, izdaje se upozorenje “Nedostatak ulja”.

Tijekom rada, stanje ulja može se provjeriti na pokaznom staklu ili opcionalnom kuglastom ventilu s pokaznim staklom. Kada SRP radi, uzorak ulja može se uzeti na ispitnom priključku. Kada SRP ne radi, moguće je provjeriti razinu ulja na pokazivaču razine ulja. Planetarni upravljački zupčanicu zapečaćeni su od SRP-a i imaju zasebno punjenje uljem.



Slika 11. Sustav podmazivanja uljem [8]

1. Pumpa za ulje za podmazivanje
2. Ispitni priključak

3. Dvostruki filtar s mogućnošću prebacivanja
4. Prekidač temperature
5. Uređaj za kontrolu protoka
6. Hladnjak ulja
7. Pokazivač razine ulja
8. Uljna cijev
9. Spremnik za ekspanziju ulja
10. Iznadvodni prijenosnik
11. Konusni zupčanci
12. Planetarni upravljački zupčanik
13. Kotač za prijenos ulja
14. Osovina za prijenos snage
15. Upravljačka cijev
16. Podvodni prijenosnik
17. Potporni konus
18. Prekidač razine ulja
19. Pokazno staklo
20. Kuglasti ventil s pokaznim staklom

#### **5.4. SUSTAV KONTROLE**

SCHOTTEL SRP 3030FP sustav upravljanja može raditi na osnovi upravljanja s potpunim praćenjem (FFU - Full Follow-Up) ili upravljanja bez praćenja (NFU - Non-Follow-Up). Kopilot „Br. 13“ koristi se za upravljanje s potpunom povratnom informacijom. U ovom slučaju, smjer potiska mijenja se prema desnoj ili lijevoj strani u skladu s upravljačkim smjerom i kutom koji postavlja kopilot.

Gumbi „Br. 12“ koriste se za upravljanje bez povratne informacije. U ovom načinu rada, smjer potiska mijenja se prema desnoj ili lijevoj strani, ovisno o odabranom smjeru upravljanja, dokle god je relevantni gumb pritisnut.

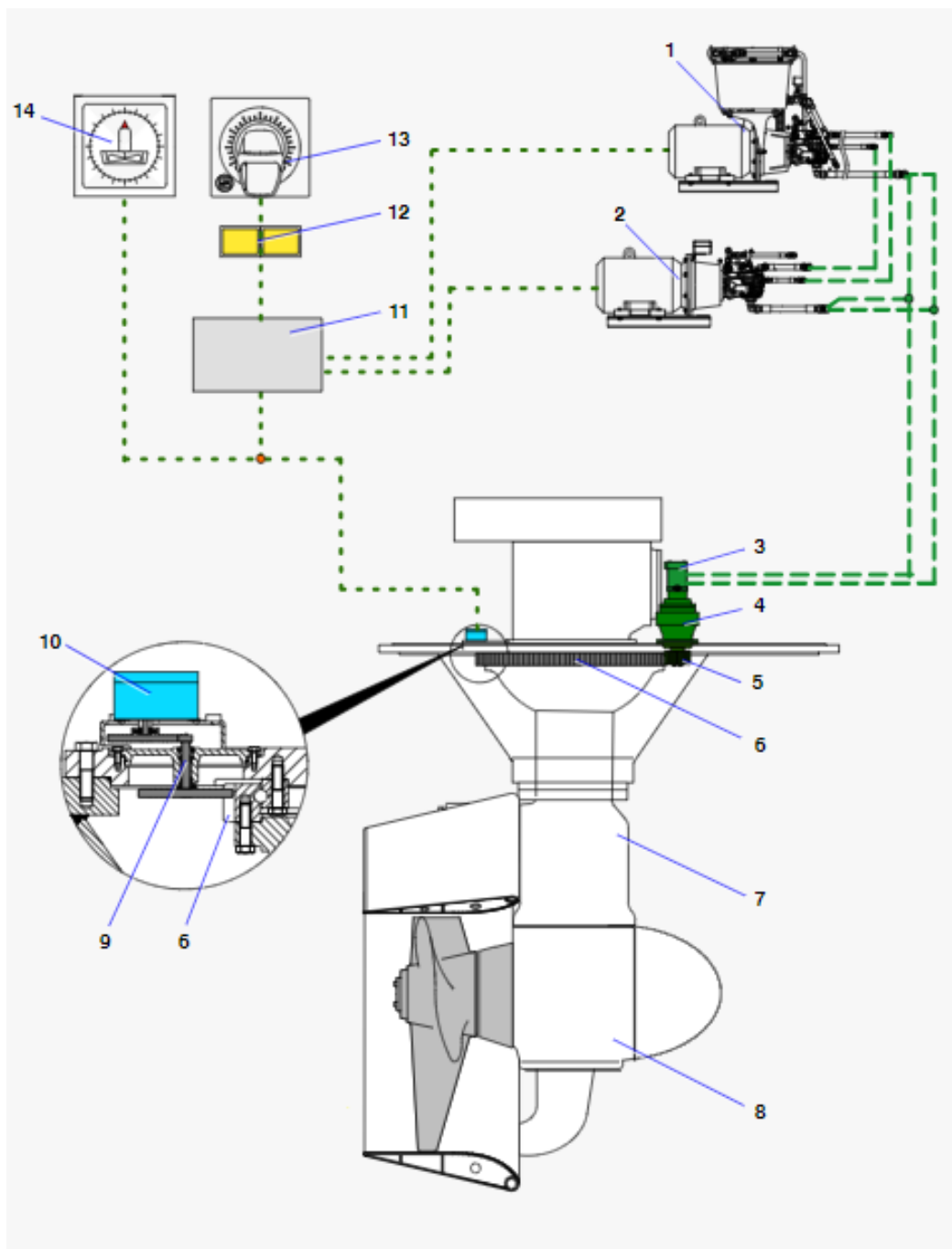
Elektronička upravljačka jedinica „Br. 11“ obrađuje signale koji dolaze iz kopilota ili gumba i prenosi te signale na hidrauličku upravljačku stanicu SST 612 DUAL „Br. 1“ i hidrauličku pumpnu jedinicu SST 612 DUAL „Br. 2“. Ugrađene pumpe s promjenjivim

pomakom, koje rade paralelno, proizvode protok ulja potreban za opskrbu upravljačkih motora „Br. 3“.

Upravljački motori opskrbljuju se uljem dok se ne postigne odabrani smjer potiska. Upravljački motori pokreću planetarne upravljačke zupčanike „Br. 4“. Zupčanici „Br. 5“ planetarnih zupčanika zahvaćaju čeonu zupčanic „Br. 6“ rotirajućeg spoja. Upravljačka cijev „Br. 7“ s podvodnim prijenosnikom „Br. 8“ montirana je na rotirajući spoj. Na taj način, podvodni prijenosnik može slobodno rotirati prema lijevoj ili desnoj strani, omogućujući usmjeravanje potiska u bilo kojem željenom smjeru.

Ova konstrukcija optimalno kombinira tehnologiju sustava upravljanja i pogonskog sustava. Smjer potiska određuje smjer plovidbe broda. Smjer potiska mehanički se vraća iz čeonog zupčanika rotirajućeg spoja putem reduktora „Br. 9“ do jedinice za povratnu informaciju „Br. 10“. Jedinica za povratnu informaciju šalje električne signale elektroničkoj upravljačkoj jedinici i pokazivaču smjera potiska „Br. 14“. Jedinica za povratnu informaciju i pokazivač smjera potiska prikazuju položaj podvodnog prijenosnika i, prema tome, smjer potiska SRP-a, a ne smjer u kojem brod plovi.





Slika 12. Shematski prikaz sustava upravljanja [8]

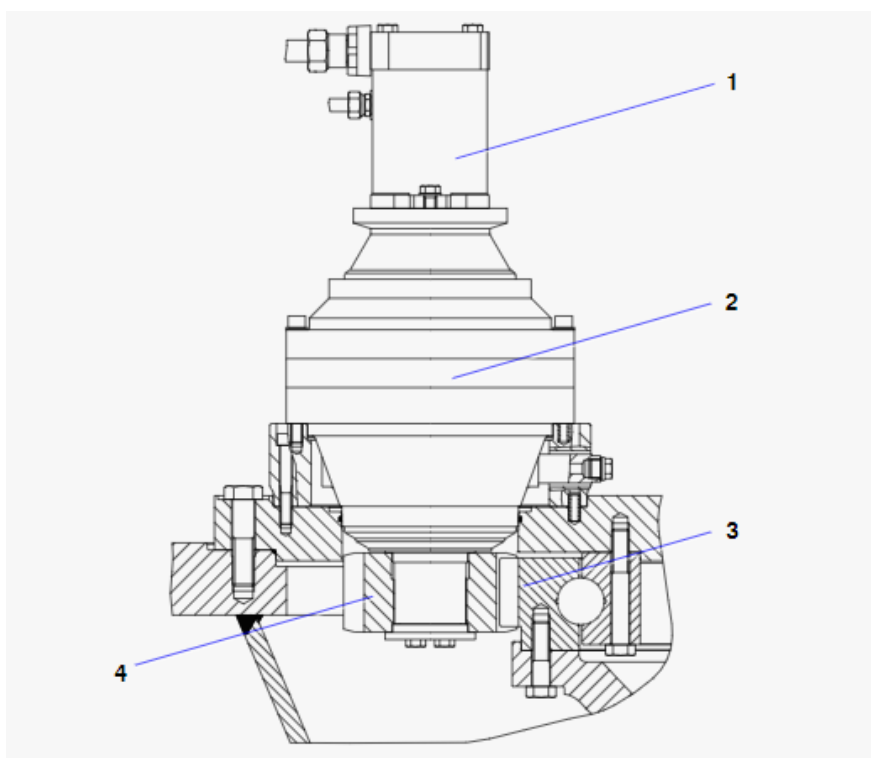
1. Hidraulička upravljačka stanica SST 612 DUAL
2. Hidraulička pumpna jedinica SST 612 DUAL
3. Upravljački motor
4. Planetarni upravljački zupčanik

5. Zupčanik
6. Čeoni zupčanik
7. Upravljačka cijev
8. Podvodni prijenosnik
9. Reduktor
10. Jedinica za povratnu informaciju
11. Elektronička upravljačka jedinica
12. Gumbi
13. Kopilot
14. Pokazivač smjera potiska

## **5.5. PLANETARNI PRIJENOSNIK**

Planetarni prijenosnik u SCHOTTEL SRP 3030 FP sustavu igra ključnu ulogu u upravljanju i prijenosu snage. Ovaj prijenosnik koristi planetarni sustav zupčanika, koji omogućuje preciznu kontrolu nad rotacijom potisnika. Upravljački motor je pričvršćen na planetarni prijenosnik, a zupčanik planetarnog prijenosnika zahvaća zupčani vijenac rotirajućeg spoja, čime se omogućava rotacija potisnika u željenom smjeru.

Planetarni prijenosnik je zabrtvljen od ostatka SRP-a kako bi se spriječilo prodiranje vanjskih kontaminanata, a također ima i zasebno punjenje uljem, što osigurava optimalno podmazivanje i dugotrajan rad bez potrebe za čestim održavanjem. Ova konfiguracija omogućava visoku učinkovitost i pouzdanost, što je ključno za aplikacije u zahtjevnim morskim uvjetima.



Slika 13. Shematski prikaz planetarnog prijenosnika [8]

Dijelovi:

1. Upravljački motor
2. Planetarni upravljački zupčanik
3. Zupčani vijenac
4. Zupčanik

## 6. HIDRAULIČNI SUSTAV KAWASAKI REXPELLER KST-320LF/AU

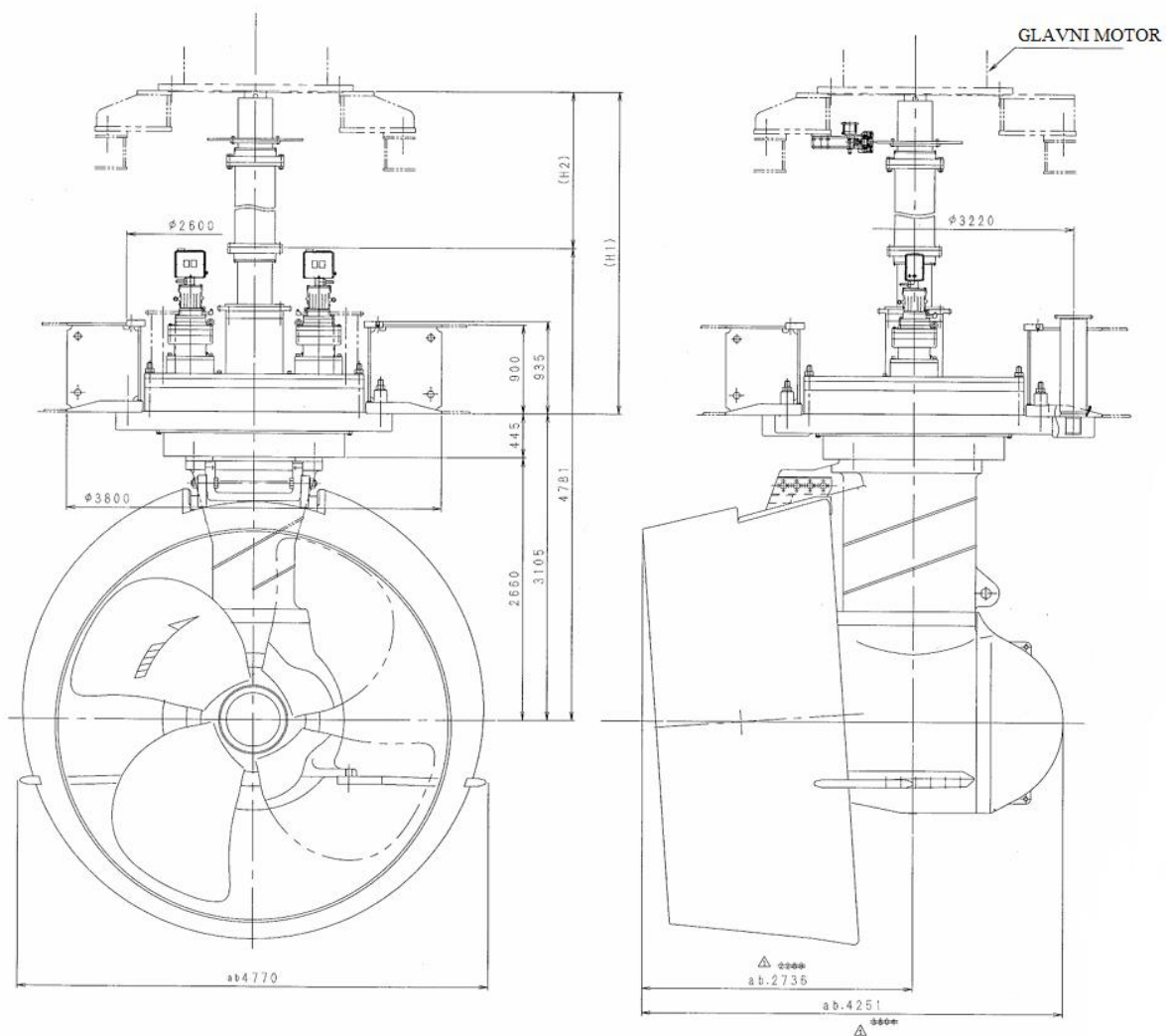
### 6.1. OPĆENITO O KAWASAKI REXPELLERU KST-320LF/AU

KAWASAKI REXPELLER ima propeler koji se slobodno može okretati za 360°, što omogućava brodu visoku upravljivost bez obzira na brzinu broda, bilo visoku ili nisku.

Osim toga, Azimutni porivnik je opremljen jedinicom upravljačkog ventila, jedinicom upravljačke pumpe, jedinicom za podmazivanje ulja i svim potrebnim mehanizmima potrebnim za kontrolu upravljanja pojedinačno.

Operacija upravljanja može se daljinski kontrolirati u kormilarnici u načinu daljinskog upravljanja.

- SNAGA: 4500 kW
- ULAZNA BRZINA VRATILA: 720 min-1
- PROMJER VIJKA: 3800 mm
- HIDRAULIČNE PUMPE: 110 kW električki pogonjene pumpe za upravljanje x2  
7.5 kW električki pogonjene pumpe za podmazivanje x2



Slika 14. Prikaz KAWASAKI porivnika sa prikazom glavnih dimenzija [9]

## 6.2. HIDRAULIČNI SUSTAV KONTROLE UPRAVLJANJA

Kontrolni krug za upravljanje za jedinicu REXPELLER sastoji se od ventila za kontrolu brzine upravljanja „Br.7“, ventila za kontrolu smjera upravljanja „Br.8“, protutlačnog ventila „Br.9“, kočionog ventila „Br.10“, hidrauličkog motora „Br.11“ i hidrauličke pumpe sa stalnim pomakom „Br.3“.

Filtracija hidrauličkog sustava se provodi putem linijskog filtra „Br. 6“ na izlaznoj strani hidrauličke pumpe i usisnog filtra „Br. 2“ u jedinici upravljačke pumpe.

Hidraulički sustav se održava i štiti pomoću tlačnog ventila „Br. 50“ i kočionog ventila „Br.10“.

Ulje u spremniku „Br.1“ ugrađenom u jedinici upravljačke pumpe se tlači hidrauličkom pumpom „Br. 3“ nakon što je pročišćeno usisnim filtrom „Br. 2“, i prenosi se do ventila za kontrolu brzine upravljanja „Br. 7“ i ventila za kontrolu smjera upravljanja „Br. 8“ kroz linijski filter „Br. 6“.

Kada signal za upravljanje nije dan, ventil za kontrolu brzine upravljanja „Br. 7“ je gotovo zatvoren i većina ulja se vraća u povratnu liniju kroz ispusni ventil ventila za kontrolu brzine upravljanja „Br. 7“. Mala količina ulja koja ulazi u ventil za kontrolu smjera upravljanja „Br. 8“ također se vraća u povratnu liniju u neutralnom položaju ventila.

Kada je dan signal za upravljanje, potrebna količina ulja koju kontrolira ventil za kontrolu brzine upravljanja „Br. 7“ vodi se do hidrauličkog motora „Br. 11“ kroz ventil za kontrolu smjera upravljanja „Br. 8“, i time upravlja porivnikom

S druge strane, povratno ulje se prenosi u spremnik za ulje nakon hlađenja uljnim hladnjakom „Br. 21“.

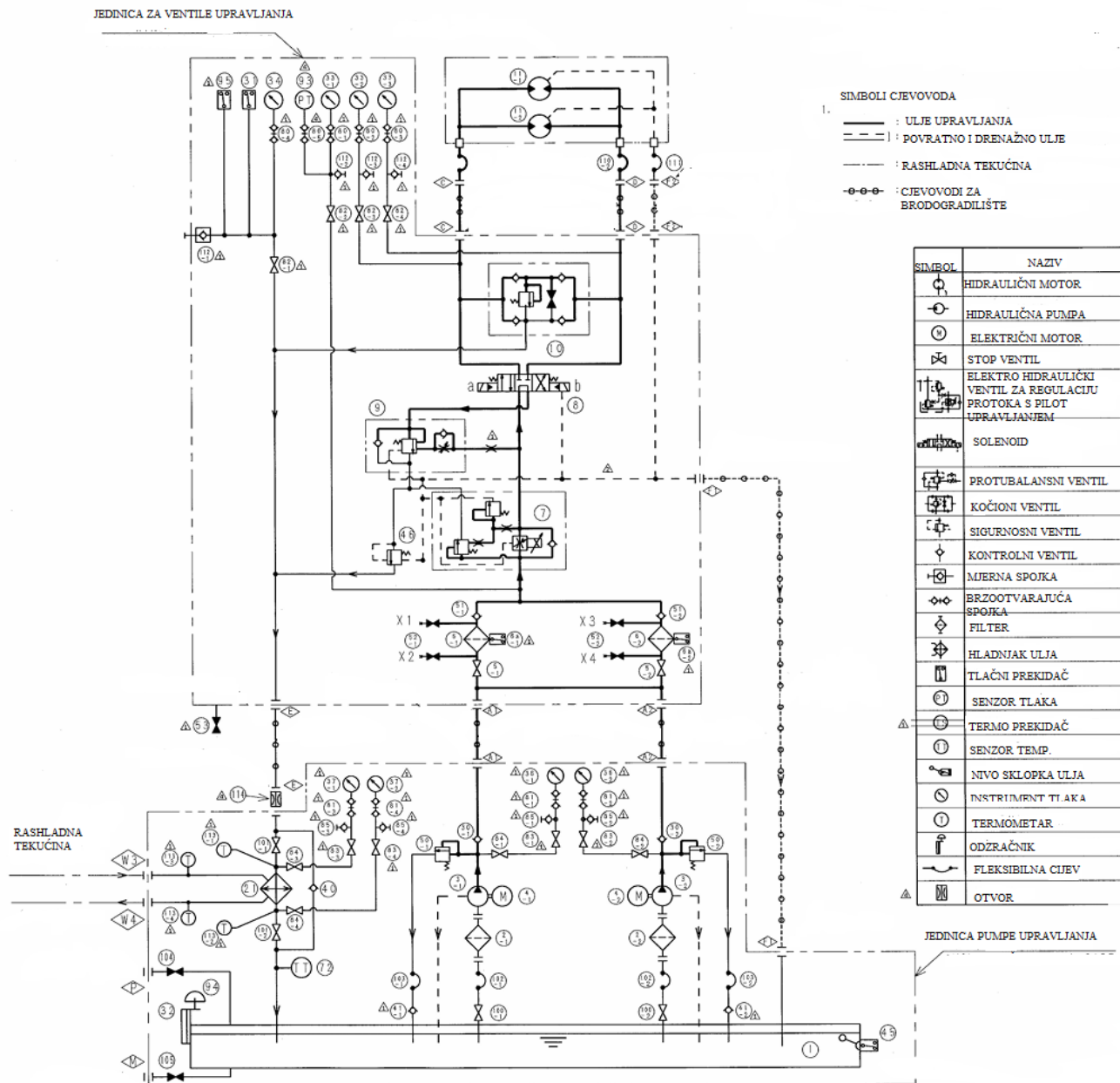
Kontrola upravljanja porivnika obavlja se elektro-hidraulički, a električni sustav ugrađen u daljinski upravljač šalje naredbu za upravljanje te otkriva i kontrolira odstupanje između stvarnog kuta upravljanja i naredbenog kuta. Hidraulički sustav je osiguran kao hidraulična jedinica za pokretanje hidrauličkog motora i upravljanje porivnikom.

Kada se izda naredba za upravljanje, prvo se otvara ventil za kontrolu smjera upravljanja „Br. 8“, nakon čega slijedi otvaranje ventila za kontrolu brzine upravljanja „Br. 7“. Hidrauličko

ulje se vodi do hidrauličkog motora „Br. 11“ kroz jedan od uljnih kanala kako bi se upravljalo porivnikom.

U tom trenutku, otvaranje ventila za kontrolu brzine upravljanja „Br. 7“ treba biti proporcionalno podešeno prema količini odstupanja između stvarnog i naredbenog kuta upravljanja. Kako se stvarni kut upravljanja približava naredbenom kutu (dolazi do malog odstupanja), otvaranje ventila za kontrolu brzine upravljanja „Br.7“ treba se postupno zatvarati, čime se brzina upravljanja sklopa propelera postupno smanjuje. Nakon dostatnog smanjenja brzine, ventil za kontrolu smjera upravljanja „Br. 8“ treba zatvoriti, tako da se porivnik glatko zaustavi u položaju koji odgovara između naredbenog i stvarnog kuta. Dakle, s karakteristikama ventila za kontrolu brzine upravljanja „Br. 7“, REXPPELLER obavlja upravljačku radnju.

Ulje na povratnoj strani se vodi od protutlačnog ventila „Br. 9“ do povratne uljne linije kroz ispusni otvor ventila za kontrolu smjera upravljanja „Br. 8“. Protutlačni ventil „Br. 9“ ima ugrađen tlačni ventil koji se otvara zbog pilot tlaka iz kruga isporuke pumpe kako bi spriječio samopokretanje dijela propelera tijekom upravljanja. Tijekom upravljanja, ako se dio propelera sam pokrene zbog reakcije zupčanika i vanjske sile te smanji tlak sustava isporuke ispod pilot tlaka tlačnog ventila na izlaznoj strani, tlačni ventil se zatvara kako bi primijenio kočnicu na hidrauličkom motoru. Tako se tlak na strani isporuke povećava i ponovno otvara tlačni ventil u izlaznom krugu kako bi se nastavilo upravljanje.



Slika 15. Hidraulični dijagram sustava kontrole upravljanja [9]

### 6.3. SUSTAV PODMAZIVANJA ULJEM I SUSTAV BRTVLJENJA

Dio porivnika primjenjuje sustav prisilne cirkulacije ulja u uljnoj kupelji. Azimutni porivnik je opremljen usisnim filterima „Br. 12“, pumpama za podmazivanje ulja „Br. 13“ i uljnim hladnjakom „Br. 21“, itd., kako bi održao odgovarajuću temperaturu ulja. Ulje za podmazivanje koje isporučuje pumpa za podmazivanje ulja „Br. 13“ s platforme opskrbljuje se

u kontroliranoj količini nakon što je ohlađeno uljnim hladnjakom. Višak ulja vraća se u spremnik za ulje pomoću zapornog ventila „Br. 22“.

Uzimajući u obzir ravnotežu tlaka između tlaka morske vode i hidrauličkog tlaka unutar jedinice porivnika u uređaju za brtvljenje osovine, koji je opremljen osovinom propelera i upravljačkim dijelom, instaliran je gravitacijski spremnik „Br. 105“ kako bi hidraulički tlak u sustavu bio nešto viši od tlaka morske vode. Osim toga, gravitacijski spremnik je opremljen prekidačem razine kako bi se otkrio kvar uređaja za brtvljenje.

Uređaj za brtvljenje osovine sastoji se od četiri brtve (#1, #2, #3 i #3S) uključujući jednu rezervnu brtvu (#3S). Inspekcijski spremnik, koji je opremljen s dva prekidača razine, instaliran je u cjevovodu između brtvi #2 i #3, i može se provjeriti oštećenje uređaja za brtvljenje osovine.

S radom zapornih ventila „Br. 109“ i „Br. 110“, stanje brtvljenja može se provjeriti pomoću sljedeće tablice.



Tablica 3. Tablica stanja brtvljenja [9]

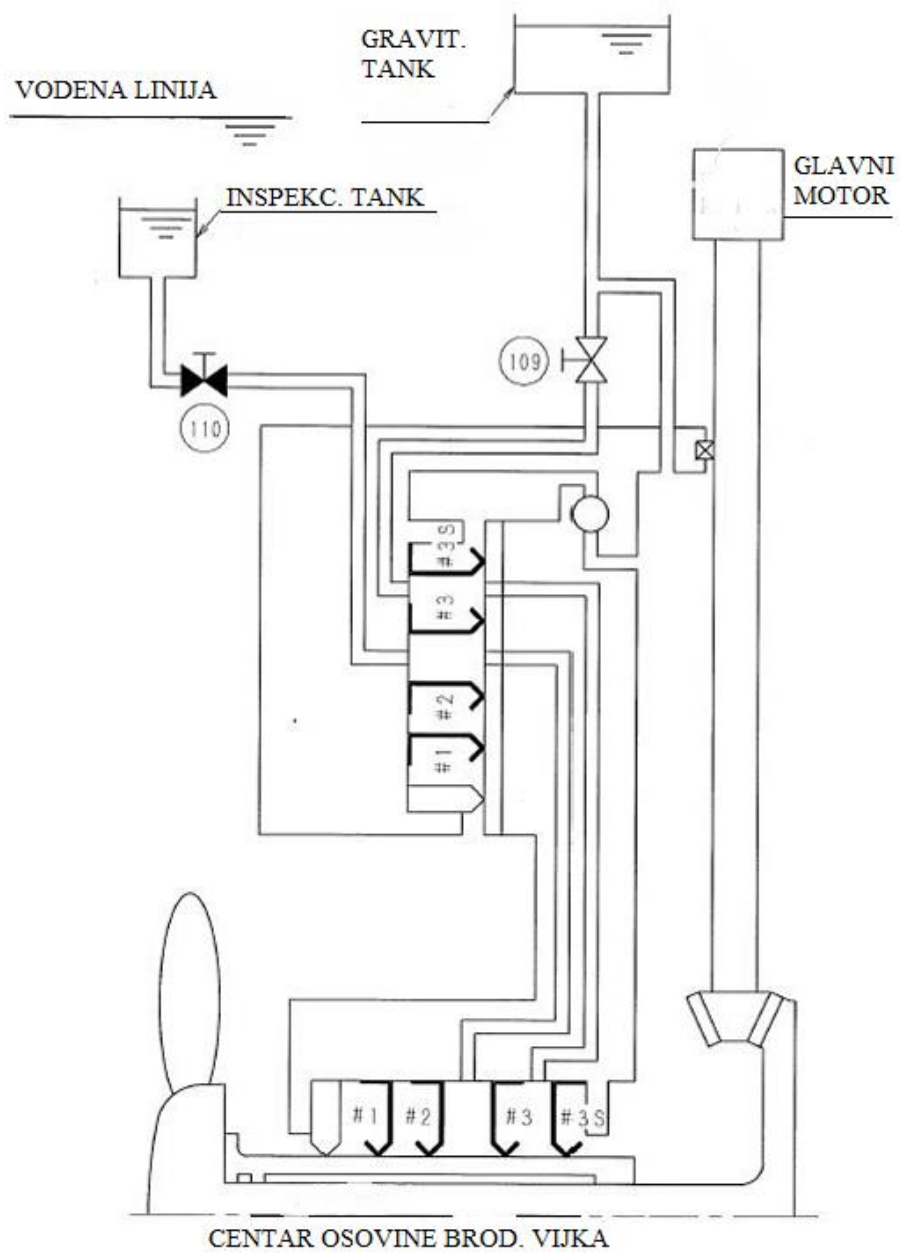
KORAK	VENTIL		TEKUĆINA U INSP EKC. TANKU		STANJE BRTVI			NAPOMENA
	BR. 109	BR. 110	RAZINA	STANJE	#1, #2	#3	#3S	
1		ZATVOREN	-	-	-	-	-	NORMALNO STANJE VENTILA
2-1	OTVOREN	OTVOREN	BEZ PROMJENE	SAMO ULJE	O	O	-	NORMALNO STANJE
			OPADA		O	O	-	PROVJERITI GAZ
			RASTE		O	△	-	IĆI NA KORAK 2-2
2-2	ZATVOREN		STALO RASTI		O	X	O	ZATVARATI VENTIL
3-1	OTVOREN		RASTE		X	△	-	IĆI NA KORAK 3-2
3-2	ZATVOREN		SMANJENJE BRZINE RASTA	PRISUTNOST VODE	X	X	O	

△- stanje brtvljenja može biti abnormalno

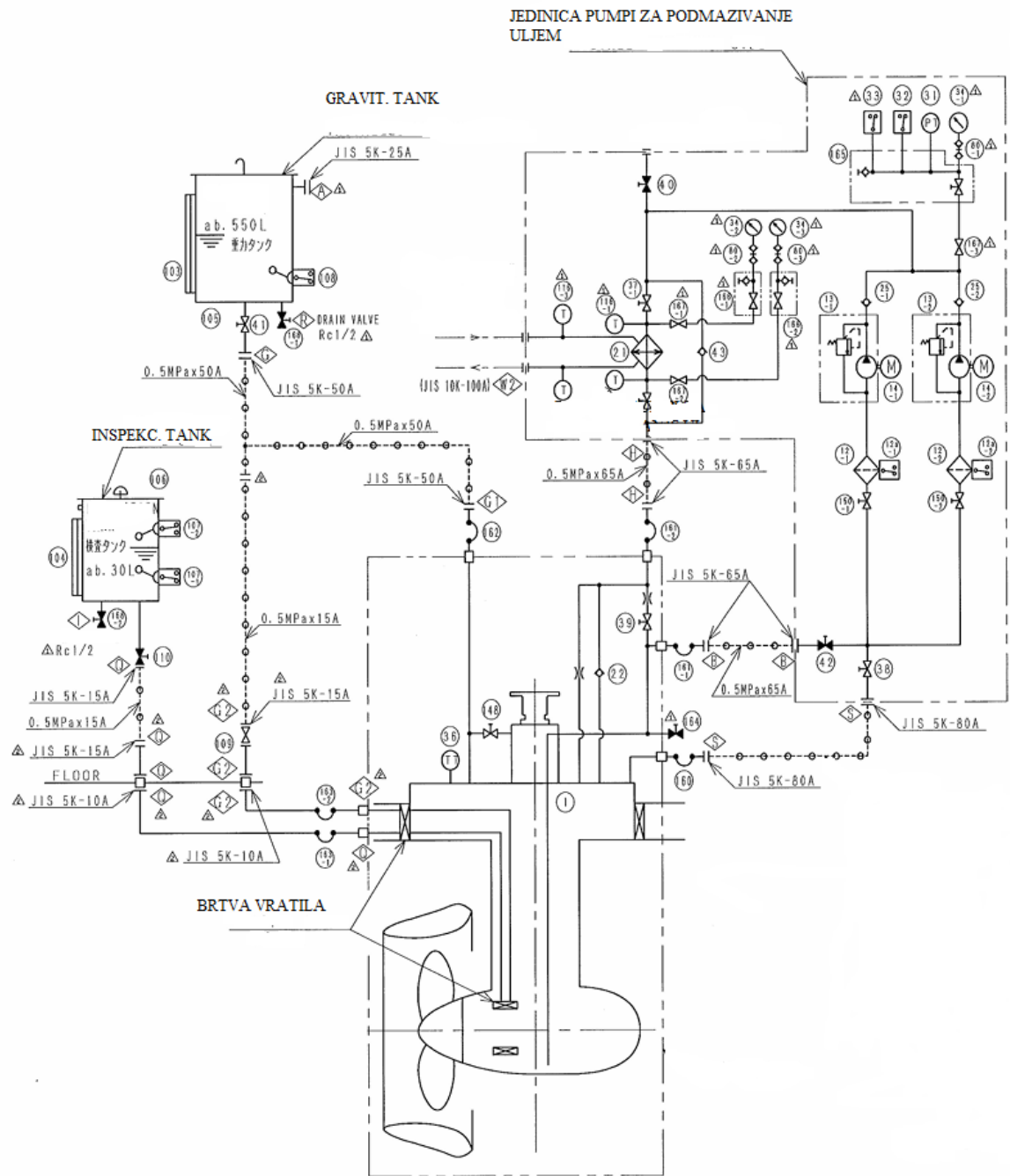
O- stanje brtvljenja normalno

X- stanje brtvljenja abnormalno

Ventil „Br. 110“ treba biti normalno zatvoren kada se ne provjerava stanje brtvljenja, kako bi se spriječilo istjecanje ulja u morsku vodu.



Slika 16. Sustav brtvljenja [9]



Slika 17. Hidraulički dijagram brtvljenja i podmazivanja uljem [9]

## 7. ZAKLJUČAK

Azimutni porivnici predstavljaju ključnu inovaciju u pomorskoj tehnologiji, omogućujući znatno poboljšanu upravljivost i fleksibilnost brodova u različitim uvjetima plovidbe. Analiza njihove povijesti i razvoja pokazuje kako su inženjerske inovacije kroz desetljeća dovele do stvaranja učinkovitih i pouzdanih sustava koji omogućuju brodovima neusporedivu sposobnost manevriranja, uključujući rotaciju na mjestu, bočno kretanje i precizno pozicioniranje. Temeljne komponente ovih sustava, kao što su vertikalno vratilo, Z-prijenosnik, brodski vijak, i kompleksni sustavi podmazivanja i hlađenja, osiguravaju pouzdanost i dugovječnost porivnika.

Usporedba i analiza naprednih sustava poput SCHOTTEL SRP 3030 FP i KAWASAKI REXPELLER KST-320LF/AU dodatno ističe važnost hidrauličkih sustava upravljanja i planetarnih prijenosnika u postizanju optimalnih performansi. Iako azimutni porivnici imaju svoje izazove, uključujući visoke troškove instalacije i održavanja, njihova sposobnost značajno povećati sigurnost i učinkovitost brodova čini ih neophodnim u suvremenom brodarstvu. Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled tehnologije azimutnih porivnika, ističući njihov doprinos modernizaciji i sigurnosti pomorskog prometa.

## LITERATURA

- [1] <https://www.shipsnostalgia.com/media/pleuger-rudder.269511/>
- [2] [https://global.kawasaki.com/en/mobility/marine/machinery/azimuth\\_thruster/mechapod.html](https://global.kawasaki.com/en/mobility/marine/machinery/azimuth_thruster/mechapod.html)
- [3] <https://www.schottel.de/en/portfolio/products/product-details/spj-schottel-pumpjet>
- [4] <https://www.brunvoll.no/products/retractable-azimuth-thruster>
- [5] [https://www.zf.com/products/en/marine/products\\_71936.html](https://www.zf.com/products/en/marine/products_71936.html)
- [6] <https://www.brunvoll.no/products/propulsion-azimuth-thruster-pull-open-propellers>
- [7] <https://webshop.vetus.com/en/product/bow310hmd-bow-thruster-310kgf>
- [8] SCHOTTEL GmbH. (2020). SCHOTTEL Rudderpropeller SRP 3030 FP Technical Data Sheet.
- [9] Kawasaki Heavy Industries. (2019). Kawasaki Rexpeller KST-320LF/AU Product Brochure.
- [10] <https://ba.jiayuanmfg.com/info/iso-6743-4-pdf-hydraulic-oil-class-standard-37325189.html>
- [11] Harlowe, J. H. (2003). Ship Design and Construction (7th ed.). SNAME.
- [12] Petrić J. , 2012. g. , Hidraulika i pneumatika, 1. dio: Hidraulika, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- [13] Ozretić V. , 1996. g. , Brodski pomoćni strojevi i uređaji, treće izdanje, Split Ship Management d.o.o. , Split

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Pleuger kormilo [1].....	3
Slika 2. Z-drive azimutni porivnik [2].....	10
Slika 3. L-drive azimutni porivnik [2].....	10
Slika 4. Pump-jet porivnik [3] .....	11
Slika 5. Porivnik s otvorenim propelerom [6] .....	11
Slika 6. Tunelski porivnik [7] .....	12
Slika 7. Uvlačivi azimutni porivnici [4] .....	12
Slika 8. Pod-drive porivnici [5] .....	13
Slika 9. Bočni shematski prikaz SCHOTTEL SRP 3030 FP [8] .....	18
Slika 10. Gornji shematski prikaz SCHOTTEL SRP 3030 FP [8] .....	19
Slika 11. Sustav podmazivanja uljem [8] .....	22
Slika 12. Shematski prikaz sustava upravljanja [8] .....	25
Slika 13. Shematski prikaz planetarnog prijenosnika [8] .....	27
Slika 14. Prikaz KAWASAKI porivnika sa prikazom glavnih dimenzija [9].....	28
Slika 15. Hidraulični dijagram sustava kontrole upravljanja [9].....	31
Slika 16. Sustav brtvljenja [9].....	34
Slika 17. Hidraulički dijagram brtvljenja i podmazivanja uljem [9] .....	35

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Podjela hidrauličnih fluida [10] .....	16
Tablica 2. Klasifikacija hidrauličnih fluida prema standardu ISO 6743/4 [10].....	17
Tablica 3. Tablica stanja brtvljenja [9].....	33