

# Sustavi za dijagnostiku i predviđanje kvarova

---

**Obranović, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:187:560293>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



**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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**NIKOLA OBRANOVIĆ**

**SUSTAVI ZA DIJAGNOSTIKU I PREDVIĐANJE KVAROVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Rijeka, 2022.**

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

**SUSTAVI ZA DIJAGNOSTIKU I PREDVIĐANJE KVAROVA**  
**DIAGNOSIS AND FAULT PREDICTION SYSTEMS**  
**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Brodsko automatsko upravljanje

Mentor: prof. dr. sc. Vinko Tomas

Student: Nikola Obranović

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112072605

**Rijeka, lipanj 2022.**

Student: Nikola Obranović

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112072605

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom "SUSTAVI ZA DIJAGNOSTIKU I PREDVIĐANJE KVAROVA" izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Vinka Tomasa.

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

Suglasan sam s trajnom pohranom završnog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:  
*(zaokružiti jedan ponuđeni odgovor)*

a) rad u otvorenom pristupu

b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH

c) pristup korisnicima matične ustanove

d) rad nije dostupan

Student

Nikola Obranović

Student/studentica: OBEANOVIĆ NIKOLA

Studijski program: BELOBOSTROVAŠTVO

JMBAG: 0112072605

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

SUSTAVI ZA DIJAGNOSTIKU I PREDVIĐANJE KVARKOVA  
(naslov završnog rada)

izradio/la samostalno pod mentorstvom

prof. dr. sc. Vinko Tomasa  
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc. Ime i Prezime)

te komentorstvom \_\_\_\_\_

stručnjaka/stručjakinje iz tvrtke \_\_\_\_\_

(naziv tvrtke).

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 povezao/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

Obeanović Nikola  
(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice

Nikola Obeanović

Student/studentica: OBEAUVIĆ NILOCA  
Studijski program: BRODOSTROJARSTVO  
JMBAG: 0112072606

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 - autor

Obeaović Nilo  
(potpis)

## SAŽETAK

U ovome radu će se analizirati korištenje nadzora stanja i dijagnostike kvarova u pomorskim sustavima koji značajno utječu na sigurnost broda. Ovaj rad dijeli razvoj dijagnostike za pomorske sustave u tri razdoblja i daje na pregled sadržaje, stanja i ograničenja istraživanja dijagnostike za svako razdoblje. Uvedeni su tipični slučajevi primjene dijagnostike na brodovima, uključujući dijagnostičke platforme na inženjerskim brodovima, spasilačkim brodovima, kontejnerskim brodovima i ro-ro brodovima napajanim solarnim fotonaponskim sustavima. Konačno, prikazani su perspektivni smjerovi istraživanja za dijagnostiku u pomorskim energetske sustavima, s obzirom na status istraživanja i dijagnostike, te prikazan je i sustav umjetnih neuronskih mreža.

**Ključne riječi:** pomorski elektroenergetski sustav, solarne fotonaponske ćelije, dijagnostika kvara na brodovima s novim sustavom energija, umjetne neuronske mreže.

## SUMMARY

This final assignment will analyze the use of condition monitoring and fault diagnostics in marine systems that significantly affect ship safety. This paper divides the development of diagnostics for marine systems into three periods and provides an overview of the contents, conditions and limitations of diagnostic research for each period. Typical cases of application of diagnostics on ships have been introduced, including diagnostic platforms on engineering ships, lifeboats, container ships and ro-ro ships powered by solar photovoltaic systems. Finally, perspective directions of research for diagnostics in marine energy systems are presented, considering the status of research and diagnostics.

**Key words:** marine power system, condition monitoring, fault diagnosis, new energy ships

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY .....	I
SADRŽAJ.....	II
1. UVOD.....	1
2. RAZVOJ DIJAGNOSTIKE .....	2
3. PRVA GENERACIJA UREĐAJA ZA DIJAGNOSTIKU KVAROVA .....	3
3.1 STJECANJE PARAMETARA RADNIH KARAKTERISTIKA .....	3
3.2 OČITAVANJE PODATAKA IZ PARAMETARA ULJA.....	4
3.3 OČITAVANJE PODATAKA IZ PARAMETARA VIBRACIJE .....	5
3.4 IZUZIMANJE KARAKTERISTIKA IZ ČESTICA TROŠENJA.....	6
3.5 IZUZIMANJE KARAKTERISTIKA IZ VIBRACIJSKIH SIGNALA .....	7
4. DRUGA GENERACIJA UREĐAJA ZA DIJAGNOSTIKU KVAROVA .....	9
4.1 INTERNETSKO PRAĆENJE STANJA .....	9
4.2 RAZVOJ DALJENSKOG UPRAVLJANJA .....	11
5. TREĆA GENERACIJA SUSTAVA ZA DIJAGNOSTIKU.....	12
5.1 DIJAGNOSTIKA GREŠAKA NA TEMELJU PODATAKA .....	12
6. INTELIGENTNE METODE DIJAGNOSTIKE .....	14
7. PRIMJENE DIJAGNOSTIKE ZA POJEDINE BRODOVE.....	16
7.1 DIJAGNOSTIKA NA JARUŽALIMA.....	16
7.2 DIJAGNOSTIKA NA SPASILAČKIM BRODOVIMA .....	17
7.3 DIJAGNOSTIKA NA KONTENJERSKIM BRODOVIMA.....	18
7.4 DIJAGNOSTIKA NA RO-RO BRODOVIMA SA SOLARNIM FOTONAPONSKIM ČELIJAMA .....	21
8. KONTROLA KRETANJA BRODA .....	24
9. RAZVIJANJE ZNANSTVENIH I SIGURNOSNIH TEHNOLOGIJA .....	25
10. UMJETNE NEURONSKE MREŽE .....	26
10.1 STRUKTURA.....	27
10.2 STABILNOST .....	28
10.3 PROPULZIJA .....	29
10.4 OSTALE PRIMJENE NEURONSKIH MREŽA .....	30
11. ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA .....	32
POPIS SLIKA : .....	34



# 1. UVOD

Kao glavna prijevozna sredstva za globalni teret brodovi igraju važnu ulogu u međunarodnoj trgovini. 90% prijevoza terete čine brodovi kojih ima više od 55 tisuća trenutačno. Pogon broda je i samo srce broda, koje se sastoji od opreme za proizvodnju, prijenos i potrošnju raznih energija koje osiguravaju sigurnost plovidbe. Trenutno većina velikih trgovačkih brodova koristi brodske dizel motore kao glavni izvor energije. To je zato što su tehnologije za dizelske motore toliko istražene da je pouzdanost motora u biti zajamčena.

Kada pogon broda radi dugoročno u visokim temperaturama, visokoj vlažnosti, u korozivnim ili vibracijskim okruženjima doći će do kvarova i oštećenja opreme, s negativnim učincima na cijeli pogon broda. Prema istraživanjima mehanički kvarovi na brodovima činili su 47% ukupnog broja havarija, prelazeći cifru od gotovo 384 miliona dolara financijskog gubitka.

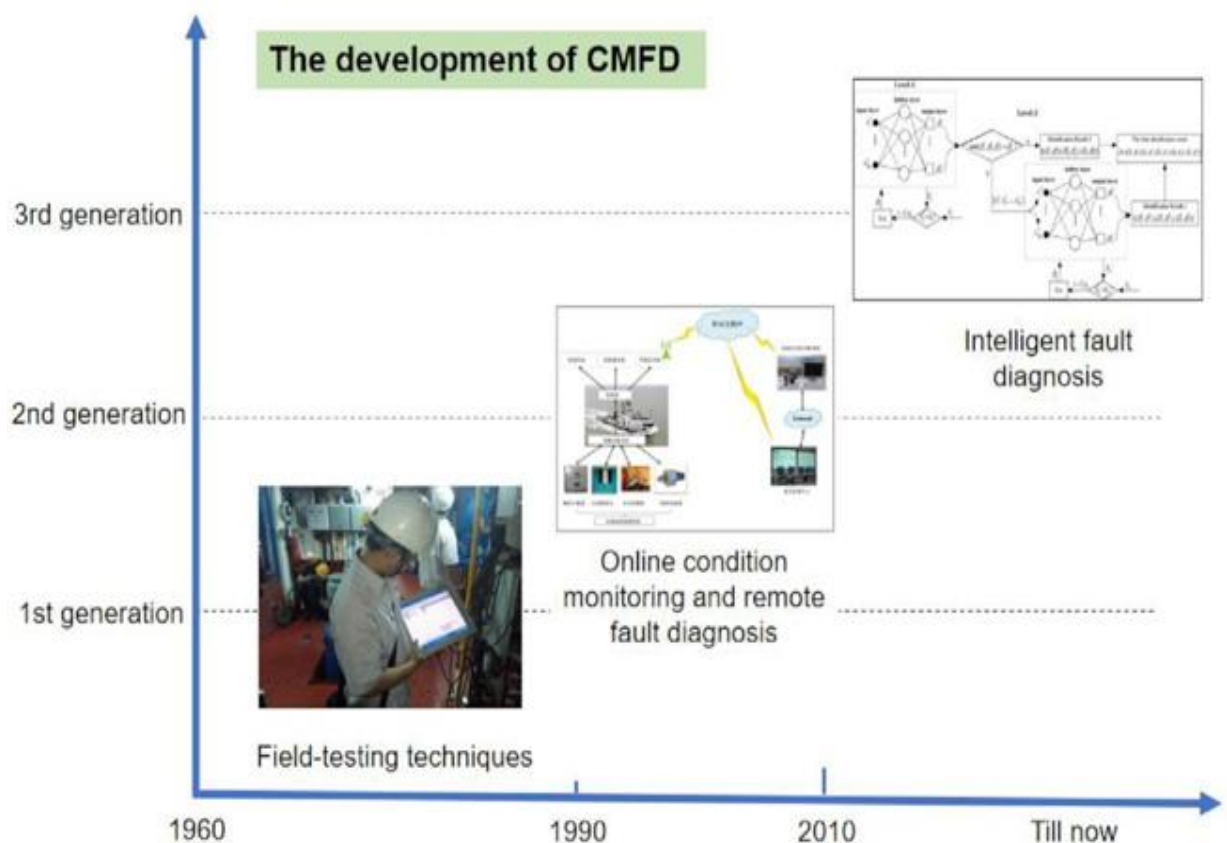
U ovome radu detaljnije će biti objašnjeno kako su uređaji za dijagnostiku i predviđanje kvarova uvelike pomogli i doveli do veće sigurnosti i pouzdanosti brodova. Te će biti predstavljene tipične metode za praćenje stanja i dijagnostiku kvarova.

Nadalje u radu biti će prikazana budućnost dijagnostike kvarova i sam razvoj.

## 2. RAZVOJ DIJAGNOSTIKE

S razvojem u automatizaciji i inženjstvu napredak istraživanja sustava za dijagnostiku i predviđanje kvarova može se podijeliti u tri generacije kao što je prikazano na slici.

Prva generacija istraživanja uglavnom se temelji na svim vrstama terenskih istraživanja, tehnike testiranja. Druga generacija se uglavnom temelji na online praćenju stanja i daljinskoj dijagnostici kvarova. Treća generacija uglavnom se temelji na inteligentnoj dijagnostici kvarova i inteligentnim robotima.



Slika 1 Razvoj dijagnostike

### **3. PRVA GENERACIJA UREĐAJA ZA DIJAGNOSTIKU KVAROVA**

U prvoj generaciji uređaja za dijagnostiku, različite tehnike za akviziciju signala koriste se za razvoj niza tehnika terenskog testiranja, uključujući praćenje parametara performansi, praćenje ulja i praćenje vibracija.

Ove tehnike brzo otkrivaju uvjete rada opreme i prikladne su za periodična ispitivanja brodskih strojeva. Da bi se ostvarila točna dijagnoza kvara, ovi dobiveni signali trebaju se dodatno obraditi kako bi se izdvojile odgovarajuće značajke kvara.

#### **3.1 STJECANJE PARAMETARA RADNIH KARAKTERISTIKA**

U brodskim energetske sustavima, karakteristike izvedbe uglavnom se koriste u dijagnostici kvarova brodskih dizel motora. Parametri performansi uglavnom uključuju temperaturu i tlak motora (kao što su zrak, plin, ulje za podmazivanje i rashladna tekućina) i snagu motora.

Usporedbom promatrane vrijednosti parametra izvedbe sa standardnom vrijednošću (to jest, vrijednošću parametra u normalnom stanju), može se razumno procijeniti stanje motora.

Na temelju karakteristika izvedbe, znanstvenik Nikolaos Kyrtatos izgradio je softversku biblioteku za simulaciju kvarova dvotaktnih brodskih dizel motora i koristio te programe za dijagnosticiranje kvarova motora. Razvio se je simulacijski model koji se temelji na greškama za praćenje stanja brodskog dizel motora i identificirao načine kvara motora. Uspostavio se je univerzalni simulacijski model kvara za brodske dizel motore koristeći parametre performansi i identificirao greške motora pomoću simulacijskog modela.

Kasnije se koristilo deset parametara performansi kao karakteristike kvara (uključujući temperaturu ispušnog razvodnika i potrošnju goriva) i konstruirao se dijagnostički model kvara za ispušni sustav turbopunjača dizelskog motora.

Iz gore navedenih referenci može se vidjeti da se dijagnostika kvarova na temelju parametara performansi brodskih dizel motora uglavnom provodi pomoću simulacijskih modela.

Koristeći ove simulacijske modele, mogli bismo dalje istražiti kako različite greške utječu na parametre izvedbe. Međutim, također postoji nekoliko poteškoća kada se parametri izvedbe koriste u dijagnostici kvara. (1) Parametri performansi snažno utječu na rezultate simulacije i teško ih je provjeriti kroz eksperimente. (2) Teško je odrediti kako će se parametri performansi razlikovati kada se istodobne greške pojave u dizelskim motorima. (3) Teško je izravno dobiti određene parametre performansi iz motora, kao što su maksimalna temperatura u cilindru, ciklički volumen ulja jednog cilindra i protok kompresora.

Trenutačno se u inženjerskoj praksi primjenjuju neki komercijalni sustavi za dijagnostiku kvarova za brodske energetske sustave koji se temelje na parametrima performansi, kao što je sustav indikatora srednje vrijednosti tlaka i 'Computer Controlled Surveillance' sustav koji je razvio MAN B&W

## **3.2 OČITAVANJE PODATAKA IZ PARAMETARA ULJA**

Praćenje ulja provedeno je 1940-ih, uključujući fizikalno-kemijske analize ulja za podmazivanje i analizu čestica habanja. Metode ispitivanja za praćenje ulja uključuju rutinsku fizikalno-kemijsku analizu, ferografsku analizu, analizu spektra, brojanje čestica i praćenje magnetskog čepa. Fizikalno-kemijska analiza može odražavati greške uzrokovane lošim podmazivanjem, na temelju pokazatelja kao što su viskoznost ulja za podmazivanje, gustoća, kiselinna vrijednost, antioksidacijska stabilnost i otpornost na habanje. Analiza čestica trošenja može se koristiti za procjenu stanja istrošenosti strojeva, analizom karakteristika čestica trošenja u ulju za podmazivanje.

U ranom razvoju praćenja nafte, metode za dobivanje parametara nafte uglavnom su bile izvanmrežne i prijenosne. Offline metode imaju visoku preciznost detekcije temeljene na korištenju instrumenata za ispitivanje u laboratorijima, ali vrijeme testiranja je prilično dugo. Stoga ne mogu pratiti stanje ulja za podmazivanje u stvarnom vremenu. Kao posljedica toga, propustit će se najbolje vrijeme za zamjenu pokvarenih maziva.

Nasuprot tome, prijenosne metode imaju kratko razdoblje testiranja i mogu brzo procijeniti stanje ulja na terenu. Skupina znanstvenika je analizirala broj, raspodjelu i morfologiju čestica trošenja pomoću instrumenata u laboratoriju te otkrila greške u ležajevima. Dizajniran je prijenosni uređaj za praćenje ulja te za mjerenje fizikalno-kemijskih svojstava ulja. Uređaj je sadržavao četiri senzora u jednom, senzor vlage i feroelektrični senzor.

Senzor četiri u jedan mjerio je viskoznost ulja, gustoću, dielektričnu konstantu i temperaturu. Koristeći ovaj uređaj, kvantitativno su istražili proces starenja ulja za podmazivanje iz različitih perspektiva. Mikroakustični rezonator s posmičnom debljinom koristio se za razvoj senzora za praćenje viskoznosti motornog ulja. Senzor je bio prikladan za otkrivanje promjena viskoznosti ulja uzrokovanih termičkim propadanjem.

Sustav za praćenje ulja MiniLab koji proizvodi Spectro može pratiti ključne parametre čestica habanja i fizikalno-kemijske parametre ulja za podmazivanje. Uređaj može postići visoku preciznost praćenja na terenu, kao i u laboratoriju. Međutim, s razvojem senzorskih tehnologija, opći je trend prema online praćenju ulja.

### **3.3 OČITAVANJE PODATAKA IZ PARAMETARA VIBRACIJE**

U opremi brodskog elektroenergetskog sustava, strukturne praznine nastaju zbog pogrešaka u instalaciji, odstupanja u proizvodnji i abrazije. Te praznine mogu uzrokovati da masa pokretnih komponenti postane neuravnotežena, što dovodi do stvaranja centrifugalne sile. Centrifugalna sila može uzrokovati vibracije u pokretnim komponentama.

Značajke koje opisuju vibraciju uključuju pomak, brzinu, ubrzanje, frekvenciju i fazu. Različite značajke vibracija općenito se odabiru za različite scenarije primjene. Na primjer, pomak se općenito prikuplja senzorom pomaka za niskofrekventne vibracije, dok se ubrzanje prikuplja za visokofrekventne vibracije.

Posljednjih godina istraživanja su pokazala da se unutarnji kvarovi dizelskih motora u brodskim energetske sustavima mogu točno locirati i brzo dijagnosticirati korištenjem dobivenih parametara vibracija. Uspješno su se prikupili vibracijski signali s tijela motora i koristili su ih za uspješno otkrivanje kvara na habanju u linearno-klipnom prstenu cilindra. Dodan je vodik u gorivo dizelskog motora kako bi se istražilo kako vodik utječe na rad motora, te su se prikupili vibracijski signali pri različitim brzinama i frekvencijama rotacije. Proučavale su se korelacije između inherentnih načina vibracije glave cilindra i frekvencije uzbude dizelskog motora, pružajući teoretsku osnovu za određivanje mjesta ugradnje senzora vibracija

### **3.4 IZUZIMANJE KARAKTERISTIKA IZ ČESTICA TROŠENJA**

Karakteristike čestica trošenja u ulju za podmazivanje uglavnom se izdvajaju obradom slika čestica trošenja, koje se dalje koriste za određivanje stanja istrošenosti i grešaka istrošenosti opreme u brodskim elektroenergetskim sustavima.

Profesor Thomas (Sveučilište Swansea) predložio je granični lančani kod za digitalno predstavljanje karakteristika čestica trošenja. Kasnije su snimili dvodimenzionalne slike čestica optičkim mikroskopom i istražili odnose između ovih slika čestica trošenja i različitih stanja trošenja. Nakon toga su analizirane tipične čestice trošenja i koristio se Fourierov niz za izdvajanje karakteristika čestica trošenja, kao što su njihova okruglost, duga os, kratka os i nepravilnost.

Proučavane su fraktalne značajke čestica trošenja, metode digitalne karakterizacije i svojstva promjenjive skale slika čestica.

Koristeći konfokalni laserski skenirajući mikroskop za prikupljanje slika čestica trošenja, hrapavost površina, parametre teksture čestica trošenja, služi nam kako bi opisali njihovu trodimenzionalnu morfologiju.

Možemo čuti i novu metodu za opisivanje stanja trošenja pomoću online ferografskih slika i proučavanje boje različitih čestica trošenja na online slikama. Na temelju boje razlikuju se tri uobičajena tipa metalnih ostataka.

### **3.5 IZUZIMANJE KARAKTERISTIKA IZ VIBRACIJSKIH SIGNALA**

Tri su glavne metode ekstrakcije vibracijskih signala. Analiza vremenske domene, analiza frekvencijske domene i analiza vremensko-frekventne domene. Značajke vremenske domene uključuju dimenzionalne parametre (npr. standardnu devijaciju, varijancu, maksimalne i minimalne amplitude, srednju kvadratnu vrijednost i srednju kvadratnu pogrešku) i nedimenzionalne parametre (npr. nagnutost, faktor vrha i faktor nabora).

Analiza frekvencijske domene može odražavati korelacije između radnih uvjeta strojeva i njihovih vibracijskih signala kroz vizualiziranu analizu spektra. Analiza vremensko-frekventne domene može uključivati, na primjer, kratkotrajnu Fourierovu transformaciju, Wigner-Villeovu distribuciju, valnu transformaciju ili empirijski način dekompozicije (EMD). Analize u vremensko-frekvencijskoj domeni mogu obraditi nelinearne i nestacionarne vibracijske signale, čime se usklađuju sa stvarnim radnim uvjetima pomorskih energetske sustava.

Uzimajući u obzir povratne i rotacijske karakteristike pomorskih energetske sustava, provedena su mnoga istraživanja o izdvajanju značajki kvara iz vibracijskih signala. Tako su vibracijski signali razloženi na komponente paketa valova; zatim su značajke kvara u vremenskoj domeni izvučene iz rekonstruiranog vremenskog niza i korištene za dijagnosticiranje kvarova u klipnim strojevima. Filtriranjem signala vibracija ležaja male brzine i podijelom signala u kratke vremenske prozore, iz kojih su izdvojene značajke vremenske domene.

Predložena je nova metoda detekcije kvara na temelju značajki vremenske domene vibracijskih signala koja bi locirala neispravan zupčanik u mjenjaču na temelju ovih značajki kvara. A novopredložena metoda uspješno je primijenjena u dijagnostici kvara crpki.



## **4. DRUGA GENERACIJA UREĐAJA ZA DIJAGNOSTIKU KVAROVA**

Zahvaljujući napretku u senzorskim, računalnim i mrežnim komunikacijskim tehnologijama, dijagnostičke metode za pomorske energetske sustave razvile su se prema online i umreženim sustavima. Mnoge istraživačke institucije i znanstvenici naglašavaju online praćenje stanja i daljinsku dijagnozu kvarova. U tom kontekstu pojavila se druga generacija.

### **4.1 INTERNETSKO PRAĆENJE STANJA**

Online praćenje stanja ispunjava zahtjeve za dijagnozu kvarova u stvarnom vremenu. Sustav nadzora i alarma u brodskoj strojarnici važan je dio automatizacije strojarnice. Pomoću sustava za praćenje radni parametri opreme u strojarnici prate se u stvarnom vremenu, a nenormalna stanja u opremi mogu se otkriti u intervalima između dvije provjere.

Mnoge tvrtke iz Francuske, Njemačke, Sjedinjenih Država i Norveške razvile su sustave za dijagnostiku kvarova za brodske dizel motore na temelju parametara performansi.

Na primjer, sustav za praćenje performansi broda razvijen od strane norveške tvrtke KYMA primijenjen je u brodskim dizelskim motorima i postigao je zadovoljavajuće dijagnostičke performanse.

Stanje motora i dijagnostički sustav koji proizvodi KONGSBERG neprestano nadzire procese ubrizgavanja goriva i izgaranja te omogućuje stručnom sustavu u dijagnostičkom sustavu daljinsko otkrivanje kvarova motora.

Dijagnostika kvarova za brodske dizel motore na temelju vibracijskih signala započela je 1970-ih trenutno su mnoge napredne zemlje koje sudjeluju u brodarskoj

industriji primijenile vibracijske signale za online praćenje stanja u glavnim motorima. Konkretno, pomoću signala vibracija prikupljenih iz tijela motora, mogu se identificirati dijagrami tlaka cilindara.

Koristeći kombinaciju dijagrama tlaka i trenutne kutne brzine, mogu se izračunati varijacije tlaka u cilindru. Dizajniran je sustav praćenja i dijagnostike za brodski dizel motor koji je integrirao više metoda i parametara. Sustav je sadržavao šest pod-sustava za nadzor, uključujući sustave za nadzor toplinskih parametara, sustave za trenutačno praćenje brzine i sustave za nadzor tlaka u cilindrima.

Online praćenje ulja privuklo je značajnu pozornost u području tribologije, zahvaljujući izvanrednim učincima primjene. Istraživanja o online praćenju ulja uglavnom su se usredotočila na dizajn mrežnih senzora čestica trošenja i fizikalno-kemijskih senzora ulja.

Mnoge tvrtke posvetile su napore razvoju novih senzora. Konkretno, tvrtka Gill izumila je senzor za praćenje volumena čestica trošenja ferografa, a tvrtka senzora viskoziteta iz Njemačke razvila je senzor vlage iz serije AS. Kittiwake (iz UK), dok je MEAS (iz Amerike) predložio novi mrežni senzor viskoznosti, FPS2800B12C4. Mnoga sveučilišta također su provela relevantna istraživanja.

Konkretno, Dizajnirao se je senzor za brojanje broja čestica trošenja različitih veličina. Ovaj senzor je dizajniran prema principu da se kapacitivnost mijenja kada čestica prođe kroz senzor. Razvili su se online ferografski senzori za praćenje broja čestica trošenja u mazivom ulju, te dodatno evaluirali uvjete trošenja mehaničke opreme. Dizajnirani su online senzori viskoznosti koji se temelje na signalima akustične vibracije i magnetoelastičnom principu.

Dizajnirani su senzori viskoznosti otpornog tipa i senzori viskoznosti tipa kapacitivnosti. Institut za pouzdanost na Tehnološkom sveučilištu Wuhan razvio je online sustav za praćenje ulja za pomorski energetske sustav od 8 000 m<sup>3</sup>, a gubici viskoznosti, vlage i abrazije praćeni su online pomoću sustava.

## 4.2 RAZVOJ DALJENSKOG UPRAVLJANJA

Razvoj interneta i mobilnih komunikacija promovirao je primjenu udaljenih metoda dijagnostike. Wärtsilä je uspostavila sustav održavanja temeljenog na stanju (CBM) za praćenje mehaničkih, performansnih i termotehničkih parametara dizelskih motora. Uz CBM sustav, tehničari su mogli pratiti i analizirati tehničke parametre motora kako bi odredili plan održavanja cijelog životnog ciklusa, kako bi se normalno vrijeme rada motora moglo maksimalno produžiti.

Grupa COSCO i Pomorsko sveučilište Shanghai razvili su sustav daljinskog nadzora za strojarnicu koji je koristio Inmarsat komunikaciju za realizaciju razmjene informacija između strane broda i obale.

Inmarsat-C je redovito slao podatke o opremi u strojarnici kopненоj tvrtki na analizu, a inženjeri su prema rezultatima analize mogli kontrolirati brod u unutrašnjosti. Tehnološko sveučilište Wuhan je u veljači 1999. izgradilo brodski sustav za daljinsku dijagnostiku kvarova pod nazivom IRDS V1.0 nakon 20 godina razvoja, sustav se razvio u inteligentni udaljeni dijagnostički sustav koji koristi 4G/5G/GPS/Big Dipper/high broadband/Inmarsat za daljinski prijenos podataka, upravljanje memorijom, inteligentno praćenje, donošenje odluka u hitnim slučajevima i upravljanje održavanjem.

Dizajniran je sustav daljinskog nadzora za jaružanje, baziran na bežičnim mrežama. Sustav se sastojao od nadzornog sustava na brodu, komunikacijskog sustava brod-obala i sustava za daljinsko praćenje stanja na kopnu. U sustavu su se za prijenos podataka između brodova i obala koristile opće paketne radio usluge i kratke poruke. Stekla se trenutna kutna brzina broskog dizelskog motora pomoću online sustava za praćenje stanja i prosljeđeni su podatci natrag u podatkovni centar na kopnu putem komprimirane senzorske tehnologije.

U podatkovnom centru trenutna kutna brzina nije komprimirana i obrađena za daljinsko dijagnosticiranje grešaka izgaranja. Karakteristike trošenja izvučene su iz informacija o ulju u laboratorijima, a stanja istrošenosti i načini istrošenosti identificirani su u centru za održavanje.

## **5. TREĆA GENERACIJA SUSTAVA ZA DIJAGNOSTIKU**

Treća generacija dijagnostike pojavila se je na temelju razvoja automatizacije, umjetne inteligencije i velikih podataka, a usredotočuje se na inteligentne metode dijagnostike kvarova. S više izvora informacija i podataka, dijagnostika treće generacije koristi inteligentne algoritme za oponašanje procesa zaključivanja ljudskih bića i za realizaciju dijagnoze čovjek/stroj.

Posljedično, inženjeri mogu procijeniti zdravstvene uvjete pomorskih energetske sustava bez remonta i mogu napraviti odgovarajuće i pametne planove održavanja. Trenutno, inteligentni pristupi dijagnostici kvarova za pomorske energetske sustave uključuju dijagnoze kvarova temeljene na kvantitativnim modelima, dijagnoze kvarova na temelju podataka i dijagnoze kvarova temeljene na ekspertnim sustavima.

### **5.1 DIJAGNOSTIKA GREŠAKA NA TEMELJU PODATAKA**

S napretkom u raznim tehnologijama za dobivanje podataka, izgrađeni su modeli dijagnostike kvarova vođeni podacima kako bi istražili informacije skrivene u podacima i razlikovali normalna stanja i stanja kvara morskih energetske sustava. Trenutno je ovo praktična tehnika za dijagnozu grešaka

#### ***Dijagnostika kvara na temelju statističke analize***

Statističke analize mogu se podijeliti na uni-varijantne i multi-varijantne statističke analize. Općenito, univarijantna statistička analiza zanemaruje relevantnost među varijablama (tj. obilježjima kvara), te je stoga prikladna za dijagnosticiranje grešaka s malim dimenzijama značajke, kao što je u procesu statističke kontrole. Suprotno tome, multivarijantna statistička analiza učinkovita je u opisivanju relevantnosti među varijablama

i stoga se lako može primijeniti za dijagnostiku kvara s velikim dimenzijama značajki. Kod analize glavnih komponenti je najčešće korištena multi-varijantna statistička metoda. S ovim glavnim komponentama identificirani su načini kvara mjenjača. Kako bi poboljšali učinkovitost u nelinearnoj dijagnostici kvarova, kombinirana je procjena gustoće jezgre, za procjenu funkcija gustoće vjerojatnosti Hotellingove T<sup>2</sup> i Q statistike. Ovom metodom dijagnosticirani su početni kvarovi u brodskom dizelskom motoru. PCA pretpostavlja da se podaci trebaju pridržavati Gaussove distribucije, ali ne mogu svi podaci iz pomorskih energetske sustava zadovoljiti tu potražnju. Za rješavanje ovog problema predložena je analiza neovisnih komponenti. Loutas je koristio ICA za sveobuhvatno izdvajanje neovisnih komponenti iz signala vibracija, signala akustične emisije i informacija o ulju, a zatim je izgradio odnos između neovisnih komponenti i načina kvara mjenjača.

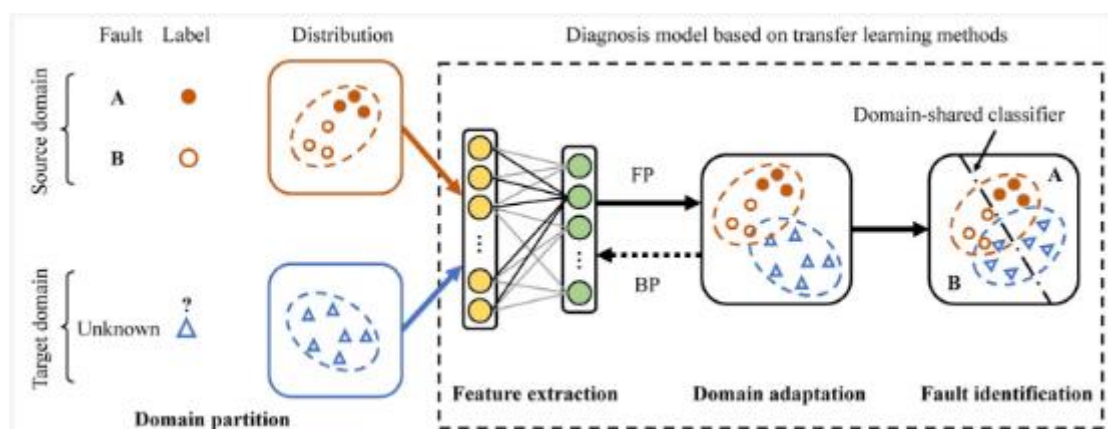
U usporedbi s ostalim pristupima, informacijska entropija je bolje zadržala fizička značenja obilježja kvara. Metoda dekonvolucije minimalne entropije koristi se kako bi se izdvojile jasne značajke kvara iz signala vibracije, koristimo ih za precizno dijagnosticiranje kvarova ležajeva u dizel motoru.

## 6. INTELIGENTNE METODE DIJAGNOSTIKE

Dovoljno označenih podataka potrebni su za metode vođene podacima za obuku dijagnostičkih modela.

Međutim, u scenarijima pomorskog inženjerstva, teško će se provesti dobivanje odgovarajućih podataka i njihovo daljnje označavanje. Prethodni rezultati ispitivanja ili relevantni podaci istog ili sličnog mogu se koristiti kao dijagnostičko znanje.

Na primjer, znanje o dijagnostici iz testova proizvođača, kao što su test na klupi i ispitivanje na moru, može pomoći u prepoznavanju zdravstvenog stanja. Transferno učenje moglo bi koristiti znanje o dijagnostici postojećih sustava i opreme za realizaciju dijagnostike nove opreme. Pristupi transfernom učenju temeljeni na značajkama koji bi mogli ostvariti ispravljanje ozbiljnih neslaganja između domena široko se koriste.

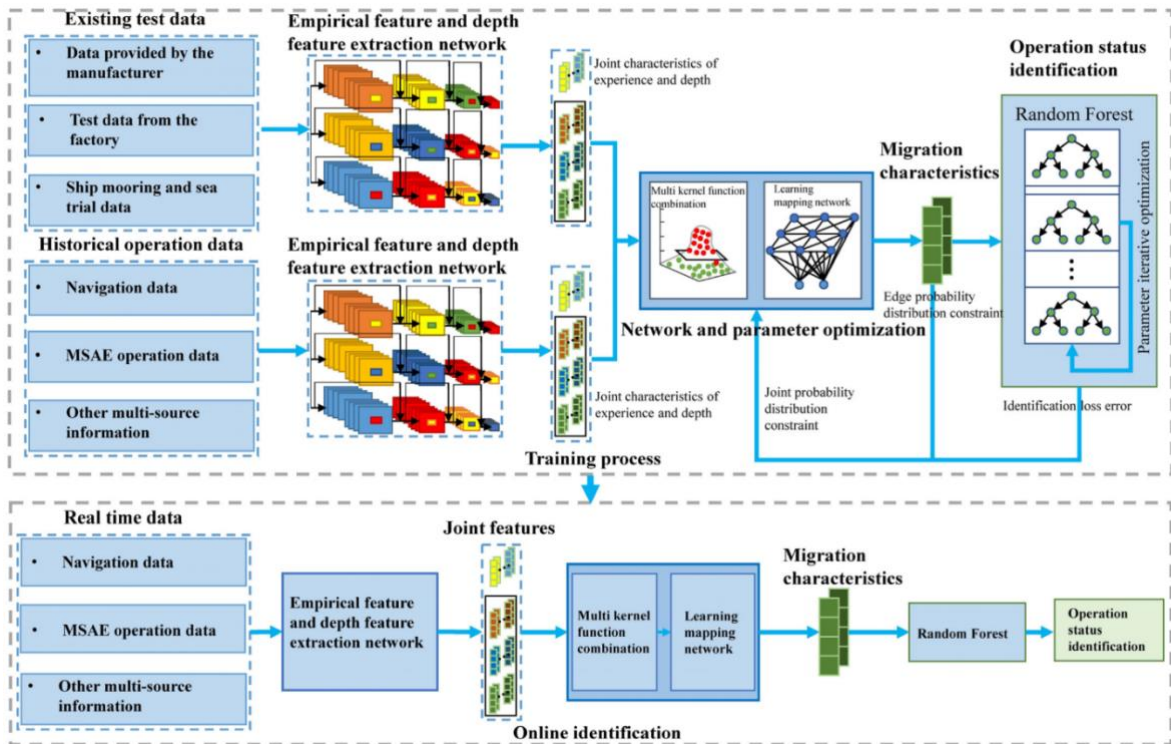


Slika 2 Pristup transfernom učenju

Razvoj inteligentnih brodskih tehnologija promiče dijeljenje podataka između različitih brodova.

Učinkovito izvlačenje, prijenos i primjena znanja u kasnijoj fazi postat će ključni istraživački sadržaj brodskog inteligentnog upravljanja i održavanja. Dijagnostički model temeljen na transfernom učenju, prikazan je na slici 9.

Primarni proces izračuna algoritma uključuje konstrukciju ulaznih podataka, empirijsko i dubinsko izdvajanje obilježja, učenje prijenosa značajki, prepoznavanje uzoraka grešaka.



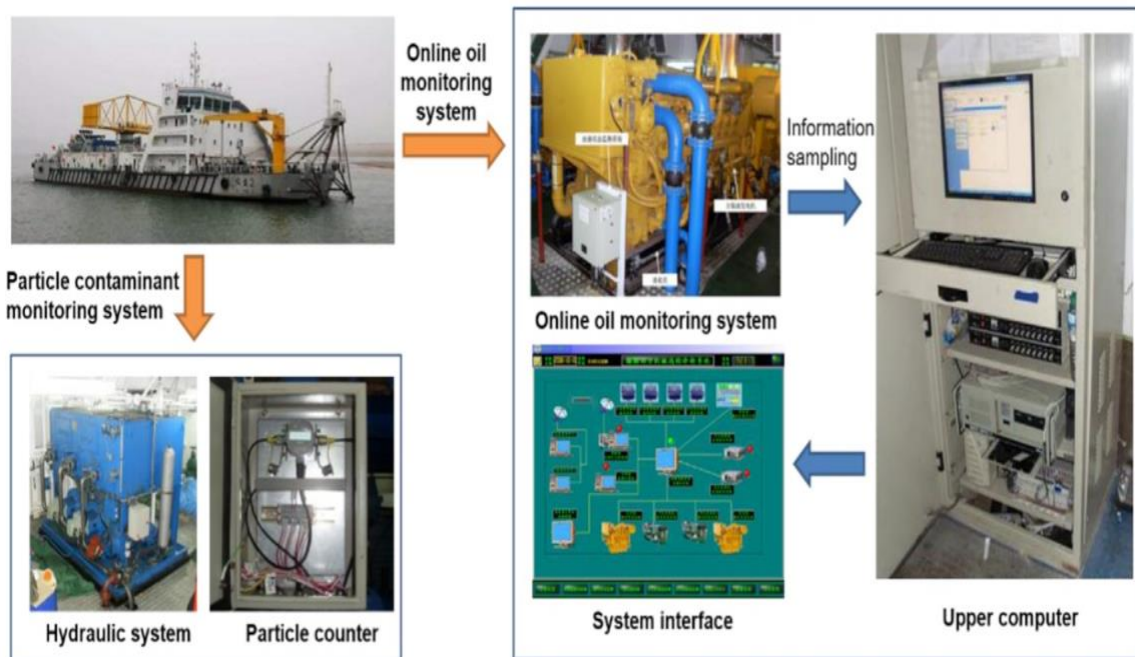
Slika 3 Dijagnostički model MSAE temeljen na transfernom učenju.

## 7. PRIMJENE DIJAGNOSTIKE ZA POJEDINE BRODOVE

Slučajevi primjene dijagnostike u pomorstvu, elektroenergetski sustavi. Od 1980-ih, provodi se istraživanje o dijagnostičkim metodama za pomorski energetska sustav. Razvili su se nekoliko dijagnostičkih sustava za razne brodove. Neki od tih brodova su : Spasilački brodovi, jaružala, kontejnerski brodovi, ro-ro brodovi.

### 7.1 DIJAGNOSTIKA NA JARUŽALIMA

Oprema na jaružalima općenito radi u teškim uvjetima i lako se mogu pojaviti kvarovi na habanju. Uzimajući u obzir radne karakteristike jaružala, predložena je inovativna filozofija upravljanja strojevima u jaružalima, koja uključuje daljinsko bežično praćenje stanja, dijagnostiku kvarova i održavanje. Kao objekti aplikacije odabrani su različiti tipovi jaružara. Većina njih pripadala je uredu za plovne puteve.



Slika 4 Princip dijagnostičke izvedbe na jaružalima



Razvijena je modularizirana i distribuirana platforma za upravljanje strojevima i pružanje funkcije za daljinski nadzor, dijagnostiku kvarova, upravljanje strojevima i podršku pri odlučivanju o održavanju. Kao što je prikazano na slici 2, platforma dijagnostike i praćenja stanja pokrivala je brodove, obalne dijagnostičke centre i centre za održavanje na obali.

## **7.2 DIJAGNOSTIKA NA SPASILAČKIM BRODOVIMA**

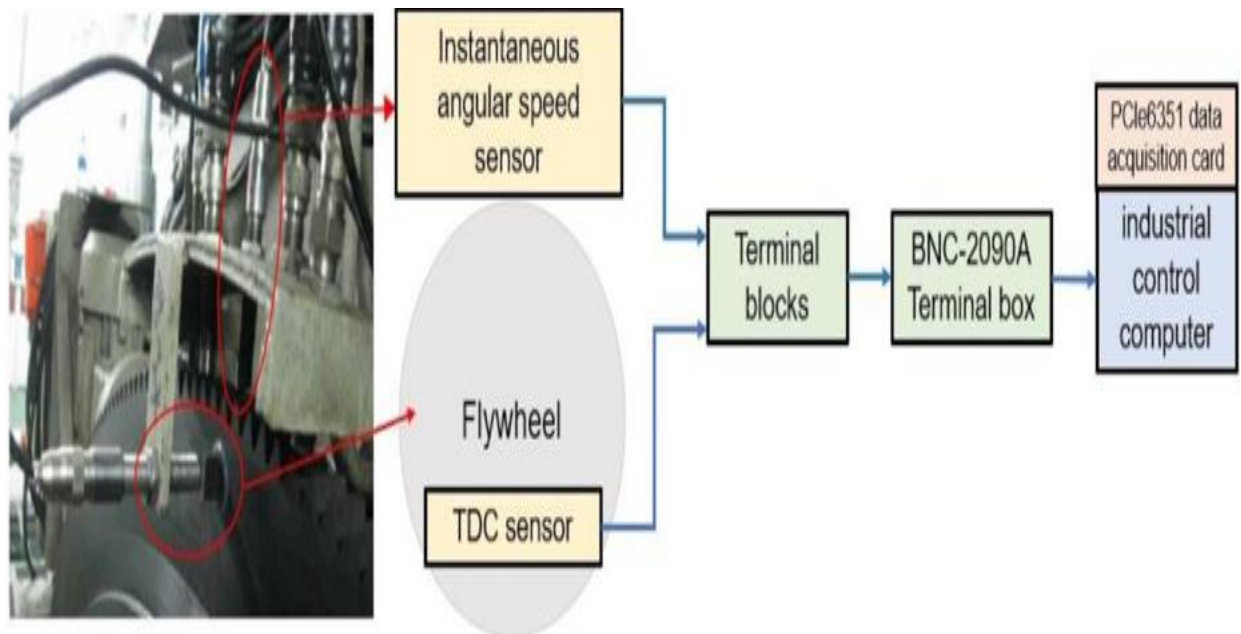
Brodovi za spašavanje najpouzdanije su mjere zaštite ljudskih života na moru. Tim s Tehnološkog sveučilišta Wuhan instalirao je online dijagnostičku platformu na nekoliko brodova za spašavanje u oceanu. Dijagnostička platforma pratila je stanje glavnog motora, pomoćnog motora, mjenjača i hidrauličkog sustava.

Platforma je sadržavala module za praćenje parametara performansi, kao što su trenutna kutna brzina, vibracije, ulje za podmazivanje, onečišćenja čestica i telekomunikacija. Među tim modulima, modul za trenutnu kutnu brzinu je bitan dio dijagnostičke platforme, jer može pratiti stanja izgaranja u cilindrima. Osim toga, može se koristiti za brzo dijagnosticiranje grešaka u izgaranju.

Za prikupljanje trenutnih signala kutne brzine korišten je magnetno-električni senzor. Slika 3 prikazuje položaje ugradnje senzora i princip mjerenja trenutne kutne brzine. Kao što je prikazano na slici 2, TDC senzor je ugrađen na klin suprotno od glave zamašnjaka motora, a senzor trenutne kutne brzine je ugrađen iznad zamašnjaka. Signali prikupljeni od strane dva senzora transformirani su iz analognih signala u digitalne signale pomoću kartice za prikupljanje podataka, te su pohranjeni u industrijsko kontrolno računalo za daljnju analizu.

Na temelju teorije više harmonijskih faza, greške izgaranja kao što su preskakanje paljenja, neujednačena snaga i abnormalni kutovi dovoda goriva mogli bi se identificirati

uspoređivanjem amplituda i faznih položaja trenutne kutne brzine u različitim harmoničkim fazama.

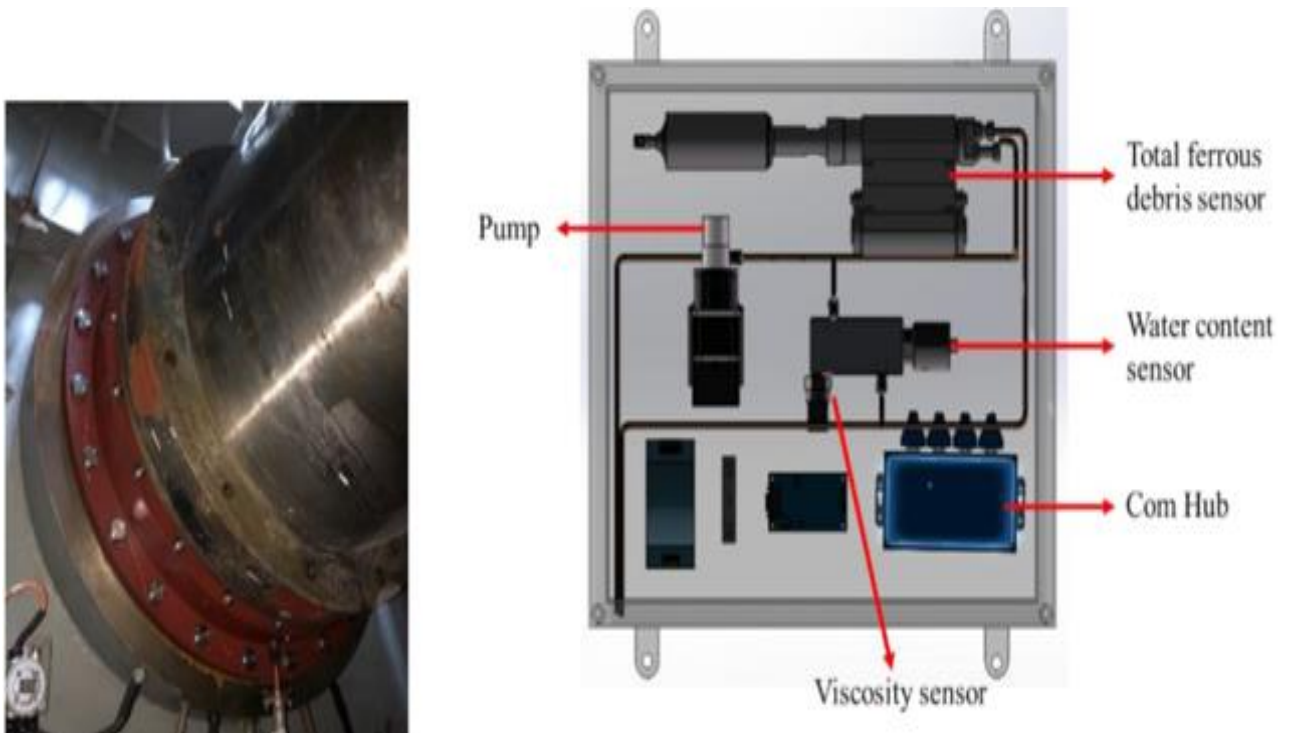


**Slika 5** Položaji ugradnje senzora i princip mjerenja kutne brzine.

### **7.3 DIJAGNOSTIKA NA KONTENJERSKIM BRODOVIMA**

Dijagnostički sustavi za pomorske energetske sustave primijenjeni su na kontejnerskim brodovima od 13500 TEU i 21000 TEU COSCO Shipping Group. Na temelju platforme, online se prati stanje ulja krmenog ležaja, a stječu se vremenske serije koje odražavaju fizikalno-kemijska svojstva ulja za podmazivanje i sadržaj čestica habanja. Svim podacima o online nadzoru centralno se upravlja na brodu, a može im se pristupiti i obraditi na daljinu putem satelitskog prijenosa podataka. Slika 4 prikazuje krmeni ležaj u pravom kontejnerskom brodu i on-line uređaj za praćenje ulja krmenog ležaja.

Sustav za online monitorizaciju sastoji se od elektromagnetskog indukcijskog brojača čestica trošenja, senzora viskoznosti, senzora vlage i elektromagnetske pumpe za ulje. Uređaj prikuplja uzorke ulja iz kruga ulja u krmenom ležaju, a uzorci ulja se ponovno vraćaju u krug ulja nakon što ih testiraju senzori u uređaju. S ovim uređajem se u stvarnom vremenu mogu pratiti različiti pokazatelji koji odražavaju stanje ulja za podmazivanje.

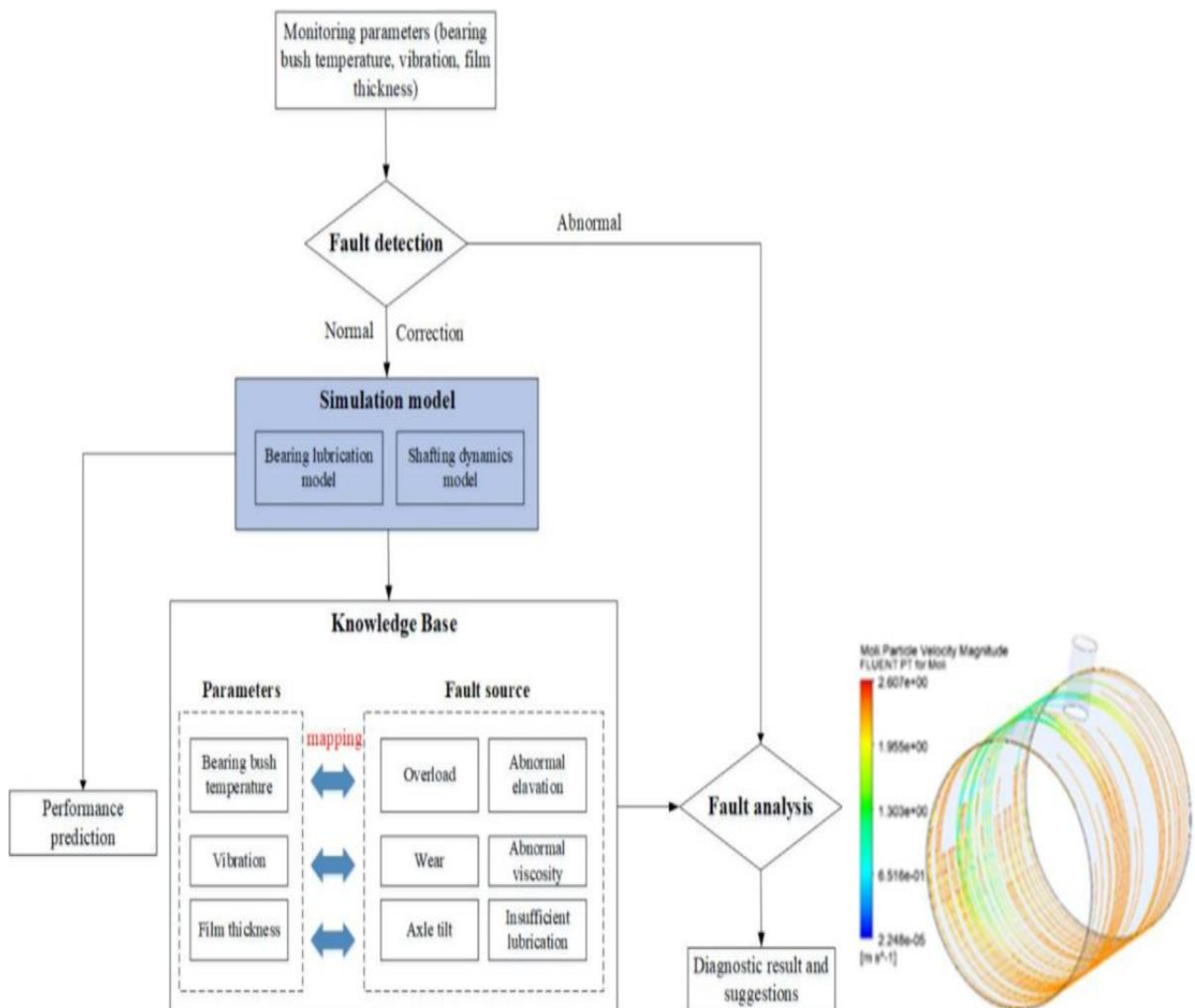


**Slika 6** Položaji ugradnje senzora i princip mjerenja trenutne kutne brzine

Na temelju ovog mrežnog uređaja za praćenje stanja izgrađen je dinamički mrežni model konačnih elemenata koji opisuje film ulja krmenog ležaja i kretanje čestica trošenja u uljnom filmu. Model završnih elemenata mogao bi izračunati sadržaj čestica trošenja u povratnoj cijevi ulja, tako da se na temelju informacija o praćenju može zaključiti raspodjela čestica trošenja u ležaju krme. Putem modela konačnih elemenata određene su putanje kretanja i dinamičke raspodjele čestica trošenja u uljnim filmovima krmenog ležaja pri različitim brzinama rotacije i opterećenjima uljnog filma.

Posljedično, dinamički model osovine spojen je s modelom podmazivanja kako bi se istražili odnosi mapiranja između parametara praćenja (kao što su temperatura čahure ležaja, vibracije, debljina filma i sadržaj čestica trošenja) i abnormalnih načina trošenja krmenog ležaja. Svi ovi odnosi činili su bazu znanja za dijagnostiku kvara. Slika 5 opisuje detaljne procese dijagnostike i proračuna modela.

Trenutno, platformu dijagnostike koristi broderska tvrtka za razvoj pametnog sustava kabine za kontejnerski brod.

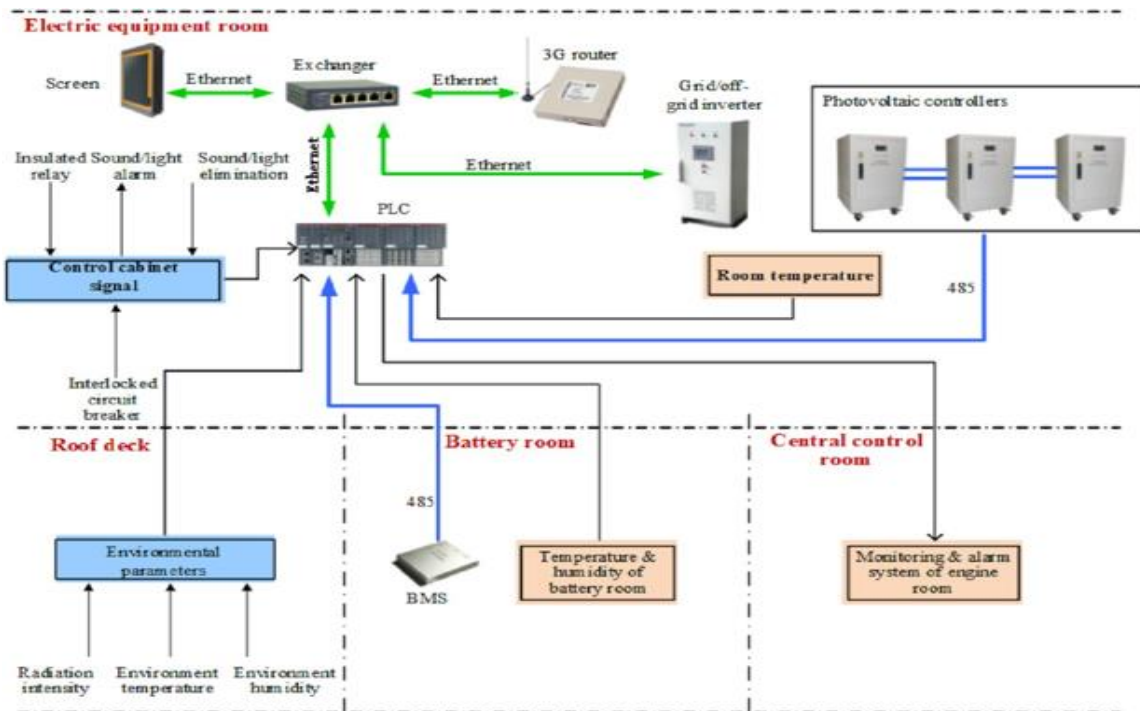


Slika 7 Dijagnostički postupak i proračun za krmeni ležaj

## **7.4 DIJAGNOSTIKA NA RO-RO BRODOVIMA SA SOLARNIM FOTONAPONSKIM ČELIJAMA**

Kako bi se osigurala pouzdanost solarnog fotonaponskog sustava u velikom ro-ro brodu pod nazivom 'COSCO Tengfei', razvijena je dijagnostička platforma za solarni fotonaponski sustav, kao što je prikazano na slici 6. Platforma je prikupljala podatke svakog modula u solarnom fotonaponskom sustavu u stvarnom vremenu, uključujući parametre okoliša, podatke fotonaponskog regulatora, podatke o bateriji, podatke o mrežnom/off-mrežnom inverteru i podatke o ormaru za distribuciju energije. Platforma je pratila radne uvjete fotonaponskog sustava i prikazivala alarme kada je sustav bio u nenormalnom stanju. U tim okolnostima aktivirana je upravljačka oprema i poduzete zaštitne radnje. Putem 3G mreže izgrađeno je podatkovno komunikacijsko sučelje između dijagnostičke platforme i zemaljskog interneta. Štoviše, uspostavljena je struktura preglednika/poslužitelja koja se temelji na web tehnologiji, a inženjeri u obalnom podatkovnom centru mogli su daljinski pratiti radne uvjete solarnog fotonaponskog sustava kroz web explorer u stvarnom vremenu.

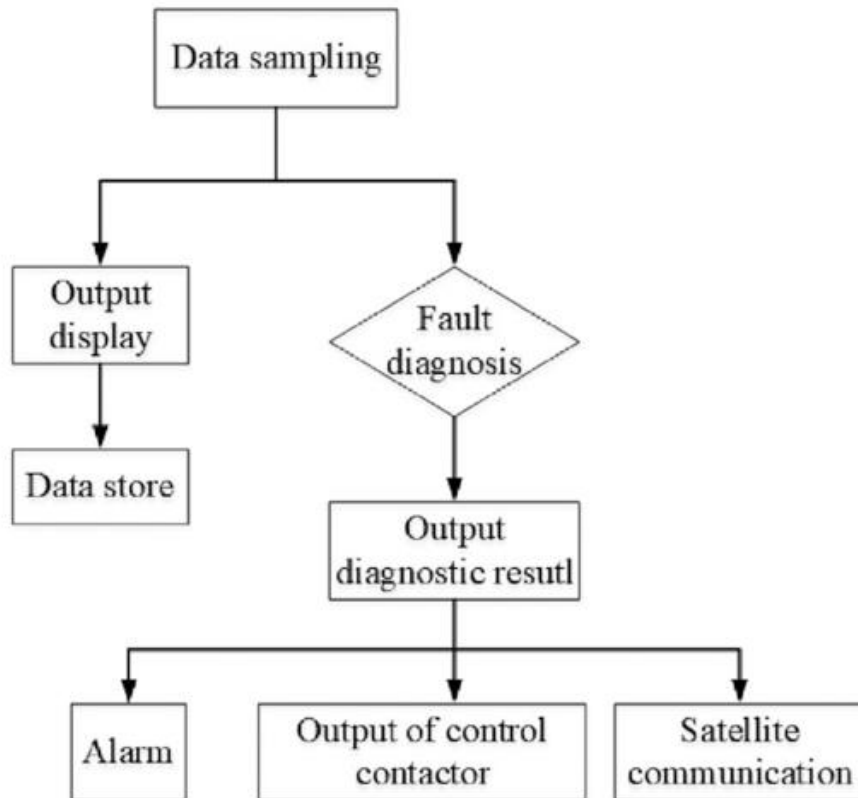
U platformi je radna stanica FrameView korištena kao sučelje čovjek-stroj u gornjim računalima. Gornja računala mogu prikazivati, pohranjivati i obrađivati podatke putem sučelja. Podaci pohranjeni u gornjim računalima analizirani su kako bi se simulirali procesi proizvodnje solarne energije u velikim brodovima i procijenili čimbenici koji utječu na proizvodnju energije. Ove tvrdnje, temeljene su na povijesnim podacima, pomogle su u promicanju razvoja solarnih brodova.



**Slika 8** Struktura dijagnostičke platforme za solarni fotonaponski sustav u ro-ro brodu

Softver za dijagnostičku platformu sadržavao je module za unos podataka, obradu i izlaz podataka. Slika 7 ilustrira proces dizajna softvera. Softver je očitao podatke iz kontrolera solarnog punjača, sustava za upravljanje baterijama, pretvarača i sustava nadzora brodske elektrane, odnosno pomoću RS 485 protokola. Podaci su uključivali napon i struju fotonaponskih baterija, napon i struju na izlazu pretvarača, frekvenciju pretvarača, snagu pretvarača i učinkovitost inverzije.

Nakon što je platforma primila podatke o grešci, solarni regulator, inverter, sustav za upravljanje baterijama i brodska elektrana automatski su poduzeli zaštitne radnje, a platforma je generirala alarme. Poruke o greškama slane su udaljenim terminalima putem satelitske komunikacije, a zatim su terminali obavijestili inženjere da riješe kvar na vrijeme. Softver je također pohranio parametre solarnog fotonaponskog sustava u stvarnom vremenu i povremeno brisao povijesne podatke, što ga čini pogodnim za upite o povijesnim podacima.



Slika 9 Proces projektiranja dijagnostičkog programa za solarni fotonaponski sustav

## 8. KONTROLA KRETANJA BRODA

Kombiniranje kontrole kretanja broda radi se u svrhu bolje izvedbe dijagnostike. Trenutno se mijenjaju brodski propeleri tradicionalni propeleri na pogon bez osovine potisnika, jer novi potisnici mogu smanjiti gubitak snage u procesu prijenosa energije, povećati učinkovitost prijenosa energije, te smanjiti poteškoće i troškove proizvodnje. Pogon na bezosovinski potisnik ima čvrstu strukturu, a svaki dio je proizveden s visokom preciznošću. U međuvremenu, potisnik radi u teškim uvjetima sa visokim salinitetom. Kako bi se osigurao siguran i pouzdan rad potisnika bez osovine, kontrola treba razviti metode i dijagnostičke sustave.

Dijagnostičke platforme trebaju pratiti stanje potisnika bez oštećenja ili remećenja performansi potisnika. Trenutno, većina sinkronih motora s trajnim magnetima (PMSM) u potisnicima bez osovine je bez senzora položaja. Međutim, kada potisnik radi pri maloj brzini ili se često pokreće, teško je kontrolirati PMSM pomoću metoda bez senzora položaja. Stoga, treba istražiti online metode mjerenja visoke razlučivosti za mjerenje kutne brzine rotora, tako da brzina rotacije PMSM-a može se precizno kontrolirati. Ovo istraživanje je izuzetno značajno za poboljšanje performansi regulacije brzine PMSM-a. U isto vrijeme, inteligentna kooperativna kontrola bi trebala proučiti potisnike bez osovine, kako bi se poboljšala manevarska sposobnost brodova. Što se tiče dijagnostike, trebali bismo razviti nove metode praćenja vibracija za prikupljanje signala strukturnih vibracija potisnika. Vibracija općenito nastaje nenormalnim trošenjem ležajeva podmazanih vodom i nestalna pulsirajuća sila propelera. S novim metodama praćenja, greške u ključnim komponentama kao na primjer u potisnicima se mogu dijagnosticirati, što je bitno za osiguranje sigurnosti i pouzdanosti.



## 9. RAZVIJANJE ZNANSTVENIH I SIGURNOSNIH TEHNOLOGIJA

Danas se sve više koriste novi energetske brodovi poput solarnih, gorivnih ćelija i hibridnih brodova. U usporedbi s tradicionalnim brodovima s pogonom na fosilna goriva, novi energetske brodovi su složeniji i imaju više skrivenih sigurnosnih opasnosti, kao što su curenje vodika i toplinski bijeg litijevih baterija. Slijedom toga, dijagnostičku platformu treba izgraditi za nove energetske brodove na temelju više metoda analize. Na primjer, dijagnostička platforma bi trebala sadržavati pomorsku IoT platformu i platformu za velike podatke, zajedno s tehničkim okvirima za primjenu ovih platformi. U izgradnji dijagnostičkih platformi za nove energetske brodove potrebno je uspostaviti IoT protokol s obzirom na karakteristike brodova. Kompatibilnost i proširivost formata podataka i sadržaja treba uzeti u obzir u IoT protokolu. Na temelju dijagnostičke platforme, inteligentni modeli za dijagnostiku kvarova također bi trebali biti izgrađeni za identifikaciju stanja kvara ključne opreme u novim energetske brodovima i za lociranje neispravnih komponenti. Štoviše, trendove kvarova treba predvidjeti pomoću dijagnostičkih modela. Kako brodovi na pogon različitim novim energijama imaju svoje karakteristike, razvoj odgovarajućeg dijagnostičkog sustava za specifičnu vrstu novog energetske broda značajan je izazov koji utječe na sigurnost broda. Na primjer, u brodovima s tekućim prirodnim plinom (LNG), senzori za metan, senzori dima i optički senzori trebali bi biti ugrađeni u LNG spremnike i cijevne spojeve u sustavima za opskrbu gorivom. Svi ovi senzori mogu pratiti stanje u strojarnici, kako bi se izbjegle požarne nesreće. U brodovima na solarnu energiju energetske sustavi su raspršeni. Stoga je određivanje načina centraliziranog upravljanja tim energetske sustavima i nadzora fotonaponskih elektrana u stvarnom vremenu posebno važno za osiguravanje sigurnosti broda.

## 10. UMJETNE NEURONSKE MREŽE

Neuronska mreža sastoji se od nekoliko neurona. Reprezentativni umjetni neuron sastoji se od sljedećih komponenti: ulaza, prijenosne funkcije, ljeta, izlaza, težine i pristranosti.

Umjetna neuronska mreža u širem je smislu riječi umjetna replika ljudskog mozga kojom se nastoji simulirati postupak učenja. To je paradigma kojom su implementirani pojednostavljeni modeli što sačinjavaju biološku neuronsku mrežu. Analogija s pravim biološkim uzorom zapravo je dosta klimava jer uz mnogo učinjena pojednostavljena postoje još mnogi fenomeni živčanog sustava koji nisu modelirani umjetnim neuronskim mrežama, kao što postoje i karakteristike umjetnih neuronskih mreža koje se ne slažu s onima bioloških sustava.

Neuronske mreže odlično rješavaju probleme klasifikacije i predviđanja, odnosno općenito sve probleme kod kojih postoji odnos između prediktorskih (ulaznih) i zavisnih (izlaznih) varijabli, bez obzira na visoku složenost te veze (nelinearnost). Dana se neuronske mreže primjenjuju u mnogim segmentima života poput medicine, bankarstva, strojarstva, geologije, fizike i šire.

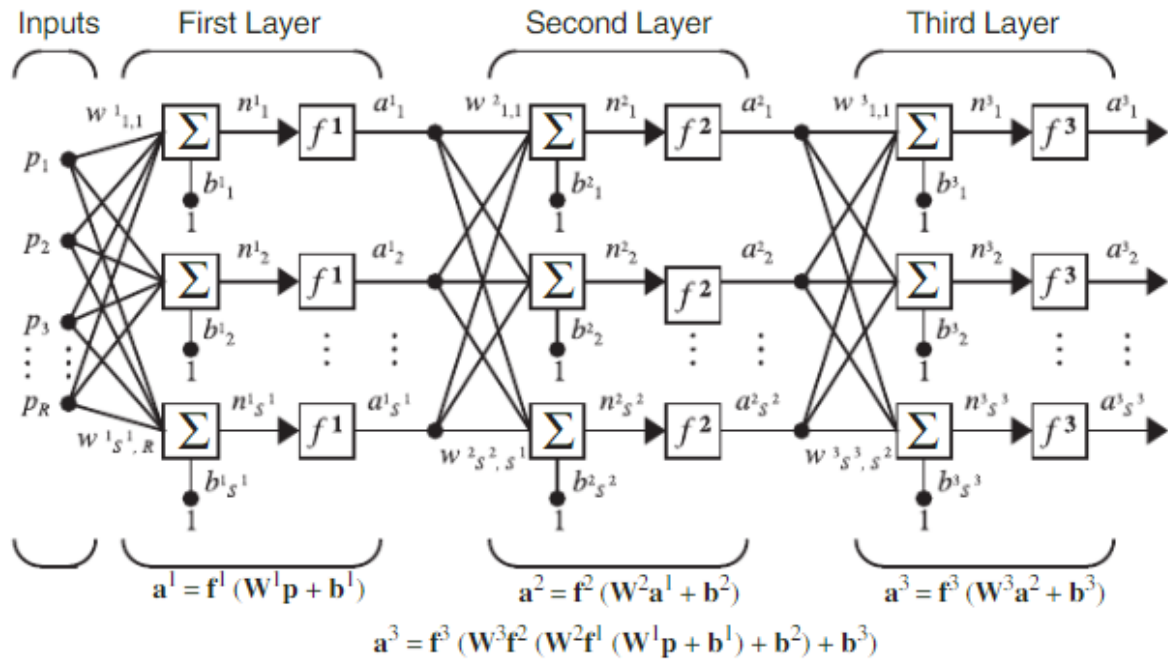
Brodovlasnici i operateri različitih tipova brodova zainteresirani su za smanjenje troškova koji se odnose na učinkovitost njihovog poslovanja. Ovi troškovi su uglavnom povezani s potrošnjom goriva i operativnim gubicima, na primjer, pretjerano vrijeme putovanja do odredišta.

U slučaju brodova opremljenih motorom s unutarnjim izgaranjem spojenim s propelerom s kontroliranim nagibom (CPP), učinkovito upravljanje potrošnjom goriva i vremenom putovanja do odredišta povezano je s optimalnim izborom zapovijedanih izlaza koji određuju rad takvog uređaja. Sustav pogonske linije Ovaj sustav generira potisak za kretanje broda preko vode željenom brzinom s različitim razinama potrošnje goriva za različite kombinacije zapovijedanih izlaza, odnosno brzinu osovine pogona i CPP nagib.

Optimalna kombinacija brzine i koraka ovisi o nekoliko radnih uvjeta i stoga mora biti podvrgnuta dinamičkoj optimizaciji. U tu svrhu, većina korištenih brodova koristila su regulatore omjera brzine/nagiba. U takvom sustavu pogona broda, naređeni moment kontrolira se kako bi se održala određena brzina osovine.

Ovo je najjednostavniji oblik neuronske mreže. Ovisno o prirodi problema, može postojati više od jednog ulaza za isti neuron. Međutim, jedan neuron je nedovoljan, te iz tog razloga grupa neurona radi u paraleli stoga se koristi za formiranje "sloja" neurona.

Za složenije probleme koristi se više od jednog sloja neurona, što rezultira višeslojnom neuronskom mrežom s više ulaza i izlaza, kao što je ona prikazana na slici 10.



Slika 10. Višeslojna neuronska mreža

## 10.1 STRUKTURA

Proučavanje konstrukcije broda uključuje izradu modela srednjeg presjeka broda, čijom se analizom određuju strukturne dimenzije (okviri) elemenata trupa.

Takvi strukturni elementi smatraju se ukrucenjima, nosačima, okvirima i pločama. 1997 godine stvorili su alternativnu metodu za proračun dimenzija konstrukcijskih elemenata broda za rasuti teret. Njihova metoda se razlikuje od ostalih metoda.

Njihova se analiza oslanja na arhitekturu federalne neuronske mreže. Glavna razlika je u tome što je ulazni prostor podijeljen na pod-prostore.

Za svaku particiju koristi se zasebna pod-mreža koja se obučava podacima koji dolaze iz istog pod-prostora. Problem granica među tim podijeljenim regijama riješen je korištenjem "tile" neuronskih mreža. Ove mreže preklapaju regije od interesa i obučavaju se s podacima koji pripadaju regiji "pločica". Stvorene pod-mreže su neovisne i njihovi se rezultati ne kombiniraju. Model je dovršen korištenjem "facilitatora".

Facilitator prima ulazne podatke i definira koja će se pod-mreža, ili mreža pločica, koristiti za proizvodnju izlaza. Pod-mreže se treniraju pomoću algoritma konjugat-gradijent. Konačno, rezultati metode se uspoređuju s pristupom jedne neuronske mreže. Arhitektura federalne neuronske mreže pokazala se učinkovitijom u stvaranju manjih pogrešaka u testiranju.

## 10.2 STABILNOST

Stabilnost broda je od velike važnosti i zbog toga je to bilo jedno od prvih područja projektiranja u kojem su primijenjeni računalni alati kako bi se olakšao rad pomorskog arhitekta.

Ilustrativan primjer proračuna stabilnosti uz pomoć neuronskih mreža predstavljaju 2004. On opisuje dva modela za procjenu početne stabilnosti. Prvi izračunava vertikalno središte gravitacije (KG), dok drugi daje procjene visine metacentra (KM) i vertikalnog centra uzgona (KB).

Obje razvijene mreže koriste dva različita skupa podataka s postojećih ribarskih plovila. KG u prvoj mreži jedini je izlaz i temelji se na geometrijskim karakteristikama plovila (koeficijent bloka, širina, dubina i omjer duljine i pomaka), koji su ulazni podaci problema.

Druga mreža koristi osam ulaza: duljina, širina, gaz, dubina, koeficijent bloka, prizmatični koeficijent, koeficijent površine vodene linije i pomak, dok su izlazne varijable KM i KB broda. Arhitektura mreže sastoji se od dva skrivena sloja, jedan sa sedam, a drugi sa šest neurona, dok je pravilo treninga zamah s promjenjivom stopom učenja.

### 10.3 PROPULZIJA

Propulzija je najproučeniji sektor projektiranja u smislu hidrodinamike (proračun otpora) i strojeva. Postoji nekoliko primjera u ovoj kategoriji u kojima se glavne komponente pogonskog vlaka ispituju analizom mreže.

Većina dosad obavljenog posla na motoru odnosila se na upravljanje i dijagnostiku kvarova, s druge strane, u pogledu propelera, napori su bili usmjereni na odabir odgovarajućeg propelera.

Odabir brodskog propelera je postupak koji zahtijeva pokuse kako bi se utvrdilo točno hidrodinamičko ponašanje. U slučajevima kada to nije izvedivo, numerička analiza uz provedbu računalne simulacije može dati smjernice za odabir odgovarajućeg propelera. Takav primjer predstavljaju Neocleous i Schizas (1999., 2003.) i Schizas (2002.). Oni koriste afeedforward, multislabs mrežu, koja se napreže korištenjem algoritma propagacije unatrag. Brzini učenja kao i zamahu dodijeljena je vrijednost od 0,1. Svaka od tri skrivene ploče koristi različitu prijenosnu funkciju.

Skup podataka koji se koristi za obuku i validaciju sastoji se od 301 primjera. Cilj je dobiti geometrijske karakteristike kao i vrijednosti za radne uvjete i performanse brodskog propelera.

Konačno, postoji nekoliko primjera korištenja neuronskih mreža u aplikacijama brodskih motora, model neuronske mreže za dijagnostiku kvara turbopunjača u brodskim dizelskim motorima. Algoritam povratnog širenja s optimalnom brzinom učenja koristi se u arhitekturi s jednim skrivenim slojem i 20 neurona. Prijenosna funkcija koja se koristi u skrivenom sloju je logistička sigmoidna funkcija. Ulazni vektor se sastoji od harmonijskih vrhova komponenti spektralne gustoće snage vertikalne brzine turbo ležajeva, dok se izlazni vektor sastoji od neuravnoteženih masa turbo diskova. Ostale primjene brodskih motora uključuju predviđanje emisija NO<sub>x</sub>, razvoj algoritma za zaustavljanje plinskih turbina i kontrolne aplikacije u sustavima propelera s regulacijom nagiba

## **10.4 OSTALE PRIMJENE NEURONSKIH MREŽA**

Neuronske mreže korištene su u drugim sektorima pomorskog inženjerstva, a ne odnose se na projektiranje brodova. Takvi primjeri su oni u kojem se ispituje upravljanje podvodnim vozilom, dijagnostika kvara autonomnih podvodnih vozila i obrada akustičnih signala.

Drugi primjer podvodne pomorske primjene je kontrola propulzivnog sustava s oscilirajućim perajima. Neuronske mreže se koriste za predviđanje gibanja ljuljanja i skretanja u funkciji zahtjeva za potiskom i brzinom.

Konačno, neuronske mreže mogu se koristiti u brodogradnji kako bi se olakšao proces proizvodnje.

## 11. ZAKLJUČAK

U ovom radu sažet je razvoj dijagnostike za pomorske energetske sustave. Pregledane su različite tehnike, modeli i algoritmi, temeljeni na tri razdoblja dijagnostike. Detaljno su ilustrirani dijagnostički sustavi koji se primjenjuju na nekoliko tipičnih brodova.

Iako su napredne dijagnostičke tehnike dostupne u literaturi, još uvijek postoji nekoliko poteškoća koje utječu na njihovu primjenu u praksi. Poteškoće uključuju: Samo je mala količina podataka visoko kvalificirana za korištenje za izravni razvoj dijagnostičkih modela, zbog netočnih pristupa prikupljanju podataka ili neispravnih sakupljača podataka. Dijagnostičke metode za pomorske energetske sustave se zanemaruju u fazi projektiranja brodova, tako da bitna sučelja za dijagnostičke sustave nisu rezervirana, ili tako da se moraju instalirati mnogi dodatni senzori kako bi se zadovoljili zahtjevi dijagnostičkih sustava. Teorijsko istraživanje dijagnostike je odvojeno od prakse (npr. brzina nekih metoda izdvajanja značajki ili dijagnostičkih algoritama ne može zadovoljiti stvarne zahtjeve aplikacije. I s novom energijom i novim propelerima koji se primjenjuju na brodovima, zahtjevi praćenja, planovi provedbe i standardi dijagnostike se moraju izmijeniti.

Dijagnostika za sljedeću generaciju pomorskih energetske sustava više će se usredotočiti na to kako služiti novim energetske brodovima i pametnim brodovima. Vjerujemo da će se dijagnostika razvijati u pozitivnim smjerovima. U međuvremenu, dodatnu pažnju treba posvetiti prikupljanju podataka, dizajnu, mogućnosti praćenja, kako bi se osiguralo da dijagnostički sustavi za pomorske sustave mogu igrati ulogu u održavanju brodova.

## LITERATURA

1. Tomas, V., Šegulja, I., Čišić, D. (2005). Mogućnosti i problemi primjene suvremenih strategija u pomorstvu, Pomorski fakultet u Rijeci
2. Šegulja, I., Bukša, A. (2006). Održavanje broskog pogona, Pomorski fakultet u Rijeci
3. Bratić, K. (2016). Analiza primjene suvremenih strategija održavanja u pomorstvu, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split
4. Tea Grbic. The importance of shipping in the transportation industry, 2016.  
<https://blog.greencarrier.com/the-importance-of-shipping-in-the-transportation-industry/>
5. Lamaris VT, Hountalas DT. A general purpose diagnostic technique for marine diesel engines – application on the main propulsion and auxiliary diesel units of a marine vessel. Energy Convers Manag 2010
6. The Swedish Club. Main Engine Damage Study, 2015 .  
[https://www.swedishclub.com/media\\_upload/files/Publications/Loss%20Prevention/Main%20Engine%20damage%20015%20The%20Swedish%20Club.pdf](https://www.swedishclub.com/media_upload/files/Publications/Loss%20Prevention/Main%20Engine%20damage%20015%20The%20Swedish%20Club.pdf)
7. Spectro Scientific. Oil Monitoring System of MiniLab.  
<https://www.spectrosci.com.cn/products-for-fluid-analysis/gallery/products-for-power-gen-industrial-plans/>
8. Zhou P, Liu DF. - Research on marine diesel's fault prognostic and health management based on oil monitoring. In: Prognostics and System Health Management Conference, Shenzhen, China, 2011.
9. FPS2800B12C4FLUID PROPERTY SENSOR. <https://media.digitec.com/pdf/Data%20Sheets/Measurement%20Specialties%20PDFs/FPP800KIT1.pdf> (9 April 2021, date last accessed)
10. Sabrin G. On-line and In-line Wear Debris Detectors: What's Out There?  
<https://www.machinerylubrication.com/Read/521/inline-wear-debris-detectors> (29 March 2021, date last accessed).
11. Tang W. - The design of electric power management system for solar energy ship. M.A. Thesis. Wuhan University of Technology 2014.
12. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Održavanje#Strategije\\_održavanja](https://hr.wikipedia.org/wiki/Održavanje#Strategije_održavanja)
13. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Preventivno\\_održavanje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Preventivno_održavanje)



## SLIKE :

1. [https://www.researchgate.net/figure/Development-of-condition-monitoring-and-fault-diagnosis-CMFD-for-marine-power-systems\\_fig1\\_351595205](https://www.researchgate.net/figure/Development-of-condition-monitoring-and-fault-diagnosis-CMFD-for-marine-power-systems_fig1_351595205)
2. Yang, B.; Lei, Y.; Jia, F.; Xing, S. An intelligent fault diagnosis approach based on transfer learning from laboratory bearings to locomotive bearings. *Mech. Syst. Sig. Process.* **2019**, *122*, 692–706
3. Pan, S.J.; Yang, Q.A. A Survey on Transfer Learning. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* **2010**, *22*, 1345–1359.
4. Lan, F.; Jiang, Y.; Wang, H.Y. Performance Prediction Method of Prognostics and Health Management of Marine Diesel Engine. In Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation, Shanghai, China, 20–21 September 2020
5. <https://ibb.co/zRGgBdW>
6. <https://ibb.co/Cwg2WmD>
7. Yang, B.; Lei, Y. Jia, F. Xing, S. - An intelligent fault diagnosis approach
8. [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-the-CMFD-platform-for-the-solar-photovoltaic-system-in-the-ro-ro-ship\\_fig5\\_351595205](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-the-CMFD-platform-for-the-solar-photovoltaic-system-in-the-ro-ro-ship_fig5_351595205)
9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0888327020302946s>
10. <https://www.kaggle.com/code/vitorgamalemos/multilayer-perceptron-from-scratch/notebook>

## POPIS SLIKA :

<b>Slika 1</b> Razvoj dijagnostike .....	2
<b>Slika 2</b> Pristup transfernom učenju.....	14
<b>Slika 3</b> Dijagnostički model MSAE temeljen na transfernom učenju.....	15
<b>Slika 4</b> Princip dijagnostičke izvedbe na jaružalima .....	16
<b>Slika 5</b> Položaji ugradnje senzora i princip mjerenja kutne brzine. ....	18
<b>Slika 6</b> Položaji ugradnje senzora i princip mjerenja trenutne kutne brzine .....	19
<b>Slika 7</b> Dijagnostički postupak i proračun za krmeni ležaj .....	20
<b>Slika 8</b> Struktura dijagnostičke platforme za solarni fotonaponski sustav u ro-ro brodu.....	22
<b>Slika 9</b> Proces projektiranja dijagnostičkog programa za solarni fotonaponski sustav.....	23
<b>Slika 10</b> Višeslojna neuronska mreža.....	27