

Dr. sc. Renato Ivče / Ph. D.
Dr. sc. Irena Jurdana / Ph. D.
Dr. sc. Đani Šabalja / Ph. D.
Sveučilište u Rijeci / *University of Rijeka*
Pomorski fakultet u Rijeci /
Faculty of Maritime Studies Rijeka
Studentska 2, 51000 Rijeka

Prethodno priopćenje
Preliminary communication

UDK / UDC:
620.193
681.7.068

Primljeno / Received:
6. travnja 2013. / Received: 26th April 2013
Odobreno / Accepted:
31. svibnja 2013. / Accepted: 31st May 2013

MOGUĆNOST NADZORA KOROZIJSKOG PROCESA NA BRODSKOM CJEVOVODU PARE UPORABOM SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE

POSSIBILITY OF CORROSION MONITORING ON SHIP'S STEAM PIPING SYSTEM USING OPTICAL FIBER TECHNOLOGY

SAŽETAK

Životni vijek broda ograničen je, između ostalog i zbog njegove izloženosti agresivnoj okolini koja ubrzava koroziju metalnih dijelova broda. Kinetika korozijskih procesa na trupu broda može biti praćena na odgovarajući način što daje mogućnost promptnog djelovanja. Nasuprot tome, postoje komponente i elementi brodskih sustava sa značajnim ograničenjima u nadzoru i mogućnosti djelovanja. Među takve sustave ubraja se i sustav cjevovoda pare gdje pojava korozijskih procesa predstavlja skrivenu opasnost koja je često zanemarena. Nadzor i održavanje sustava cjevovoda pare nije uvijek izvediv uobičajenim metodama zbog njihove nepristupačnosti. Cilj ovoga rada je opisati mogućnosti praćenja korozijskih procesa na nepristupačnim i opasnim mjestima u realnom vremenu uporabom svjetlovodne tehnologije. Bolji uvid u nastanak i kinetiku korozije s inovativnom tehnikom praćenja omogućit će poboljšano planirano održavanje i povećanje razine sigurnosti broda i posade.

Ključne riječi: agresivna okolina, korozija, sustav cjevovoda pare, svjetlovodna tehnologija

SUMMARY

The life of a ship has been limited, among other things, because she has been exposed to aggressive environments. Kinetics of corrosion on the ship's hull can be monitored properly, and there is a possibility of a prompt action. On the other hand, there are components and elements of the ship's system with significant limitations in monitoring and in the possibility of action. Among such systems is the steam piping system where the occurrence of the corrosion processes presents a hidden danger that is often neglected. The control and maintenance of the steam piping system cannot always be carried through by conventional methods because of its inaccessibility. The aim of this article is to describe the possibility of a real time monitoring of the corrosion process at inaccessible and dangerous space on board ships using fiber optic technology. A better insight into the onset and progression of corrosion by using the innovative monitoring techniques will enable an improved planned maintenance and enhance the safety of the ship and the crew

Key words: aggressive environment, corrosion, steam piping system, fiber optic technology

1. UVOD

Korozija čelika je značajni čimbenik koji ograničava vijek broda i javlja se kao posljedica izloženosti broda agresivnoj okolini. U morskom okolišu korozija metalnih dijelova broda gotovo je neizbježna i pojavljuje se u obliku kumulativnog procesa koji mijenja izgled metalnih površina smanjujući čvrstoću strukture broda, rezultirajući tako prijevremenim propadanjem materijala. Korozija može uzrokovati opasne kvarove koji umanjuju razinu sigurnosti broda, operativne gubitke te povećanje rizika povreda osoba i onečišćenja okoliša. Pojavnost korozije raste sa starošću strukturalnih komponenti broda.

Istraživanja niza pomorskih nesreća pokazuju da su u 40 % slučajeva strukturalni nedostaci broda i propadanje materijala uslijed djelovanja korozije, čimbenici koji najvećim dijelom dovode do opasnih stanja. Najvažniji postupci u sprječavanju najvećeg broja takvih opasnih stanja su pravovremeno otkrivanje, ispravna dijagnostika i učinkovite preventivne mjere. Učinkoviti nadzor korozije na brodu je jedan od važnijih zadataka morskog brodarstva kojim se osigurava pouzdanost i umanjuje mogućnost nastanka svih vrsta mogućih rizika.

Kontrola korozijskih procesa zahtijeva dužnu pažnju u projektiranju, izgradnji te održavanju broda kako bi se spriječila strukturalna oštećenja ili nepotrebni zahtjevi obnove tijekom ekonomskog iskorištavanja broda. Korozija koja nije pod nadzorom može uzrokovati ranije oštećenje strukture i opreme broda što vodi prema nepotrebno visokim operativnim troškovima broda i mogućim negativnom utjecaju na okoliš. Stoga, uspješna korozivna zaštita broda nalaže aktivno upravljane korozijom od projektno faze do kraja životnog ciklusa broda.

U nadzoru korozije broda se koriste različite metode i oprema, od kojih sve i ne udovoljavaju zahtjevima. Najzastupljenija i potvrđena metoda je izravna provjera u kojoj odgovoran član posade vizualno pregledava svaki dio strukture i opreme broda tražeći znakove korozije. U određenim slučajevima provjera se izvodi od strane inspektora brodarskog društva te klasifikacijskog društva, odnosno obalne države koja izvodi inspeksijske preglede broda.

Hrapavost korodirane površine metala može biti analizirana vizualnom usporedbom sa standardnom poliranom površinom istog metala.

1 INTRODUCTION

Steel corrosion is an important factor that limits the life of ship because she has been exposed to aggressive environments. In the salt water marine environment, corrosion of the metallic ship's parts is almost inevitable and it appears as an accumulative process that alters the appearance of a metallic surface and reduces the fracture strength of structures, resulting in a premature material deterioration. Corrosion can cause serious failures, which lead to the reduction of the ship's safety level and operational loss, but increasing the risk of personal injuries and environmental pollution. The chance of corrosion occurrence increases with the aging of the structural components.

Investigations into a series of marine casualties have reported that about 40% of them have resulted from structural failures, and corrosion deterioration is found to be the single largest factor leading to such failures. The most important steps in order to prevent or reduce the extent of such failures are sufficiently early detection, proper diagnosis and effective prevention measures. Effective corrosion control of the ship is one of the most important features for the shipping industry to ensure reliability and minimize all kinds of risks.

The control of corrosion requires due diligence in the design, construction and maintenance of the ship to prevent structural failures or necessitate major renewals during the economic life of the vessel. Uncontrolled corrosion can cause premature ship's structure and equipment failures leading to unnecessarily high operating costs and possible environmental problems. Therefore, the success of the ship's corrosion protection requires that it has been actively managed from the design stage to the end of the ship life.

Presently, a variety of methods are being used to monitor corrosion on ship's structures and equipment, not all are satisfactory. The most obvious and established method is the direct inspection, in which a responsible crew member goes to and visually checks each part of the structure and equipment, looking for signs of corrosion. In certain circumstances, inspections are carried out by inspectors of the shipowner, Classification Societies and Port State inspectors who perform the inspection of the ship.

Surface roughness of the corroded metal could be analyzed by visual comparison with a

Hrapavosti dobivena u kvantitativnom smislu uključuje veći broj različitih metoda koje koriste nekoliko različitih jedinica mjere. Precizna kvantitativna mjerenja i nadzor izvode klasifikacijska društva koristeći metode poput ultrazvučnih izmjera debljine brodske oplate. Ove tehnike zahtijevaju značajan ljudski rad i u mnogim slučajevima takvi dijelovi strukture broda čiji je pregled potrebno izvoditi nedostupni su za posadu i inspektore. Inspekcijski poslovi izvida korozije stvaraju vremenski i novčani trošak i često uzrokuje dodatne štete iz razloga što se korozija pojavljuje uobičajeno na nedostupnim i opasnim mjestima koja ne mogu biti pregledana bez rastavljanja strukture korištenjem posebne opreme.

Mjera za sprječavanje ili smanjenje opsega mogućih kvarova uzrokovanih korozijom koju je potrebo poduzeti, među ostalim, je i rano otkrivanje korozije. Podaci neophodni za analizu korozije potječu iz područja procesne analize, pregleda korozije i praćenja korozije.

Cilj ovoga rada je opisivanje mogućnosti praćenja korozijskih procesa u realnom vremenu na nepristupačnim i opasnim mjestima broda pomoću svjetlovodne tehnologije.

Najnovija dostignuća u svjetlovodnoj tehnologiji optičkih vlakana dovela su do značajnih poboljšanja u telekomunikacijama te sustavu mjerenja električnih i neelektričnih veličina. Svjetlovodni senzori pronašli su široku primjenu u praćenju značajnog broja parametara o stanju okoline, kao što su položaj, vibracije, naprezanje, temperatura, vlažnost, viskoznost, kemijska obilježja, tlak, parametri električne struje, obilježja električnog polja, te druga obilježja okoline. U posljednjih nekoliko godina dolazi do povećanog interesa u korištenju optičkih vlakana kao senzora za praćenje korozije, dijelom zbog njihove male veličine i kao potencijalnog sredstva koje omogućuje daljinsko otkrivanje. Senzori na bazi optičkih niti su atraktivni za praćenje korozije iz razloga što su optičke niti fleksibilne, malih su dimenzija, imaju zanemarivu masu te su vrlo osjetljive, ali i imune na elektromagnetske smetnje. Najvažnije njihovo svojstvo je otpornost na utjecaj korozivne i opasne okoline. Sustav nadzora optičkim sensorima omogućuje da prikupljeni mjerni podaci mogu biti pohranjeni u bazu podataka te tako analizirani od strane broskog operativnog osoblja kao i osoblja za održavanje.

standard polished surface of the same metal. Obtaining quantitative roughness estimation entails many different methods, using several different units of measurement. Precise inspections are usually carried out by Classification Societies using methods such as the ultrasonic thickness gage of the ship's plate. This technique requires lot of manpower, and, in many cases the parts of the structure needing inspection are inaccessible and dangerous for the ship's crew or inspectors. Corrosion inspection is time consuming, costly and often causes additional damage since corrosion usually occurs at inaccessible and dangerous locations that cannot be inspected without disassembling the structure or using special equipment.

One of the measures that should be taken to prevent or reduce the extent of possible failures caused by corrosion is the early detection of corrosion. Data essential for a corrosion analysis originate from the area of process analysis, corrosion inspection and corrosion monitoring.

The aim of this article is to describe the possibility of a real time monitoring corrosion process at inaccessible and dangerous locations on board a ship using fiber optic technology.

The latest achievements in fiber optic technology have led to significant improvements in telecommunications and in the measuring of electrical and nonelectrical values. Fiber optic sensors have been widely used to monitor a wide range of environmental parameters such as position, vibration, strain, temperature, humidity, viscosity, chemicals, pressure, current, electric field and several other environmental factors. In recent years, there has been an increased interest in using optical fibers in the development of corrosion sensors due to their small size and the potential to provide a means of remote detection. Optical fiber sensors are attractive for corrosion sensing because optical fibers are flexible, have a small size, have a negligible weight, are highly sensitive, but immune to electromagnetic interference. And what is even more important, they are resistant to corrosive and hazardous environments. The optical fiber sensors monitoring system ensures that the data collected by optical sensors in the signal form can be saved in the data base, so that they may be analyzed by the ship's operation and maintenance crew members.

2. PRIKRIVENA KOROZIJA NA BRODSKOM CJEVODU PARE

Korozija se definira kao degradacija materijala uzrokovana kemijskim ili elektrokemijskim djelovanjem okoline. Najveći broj metalnih konstrukcija koje se koriste u brodogradnji tradicionalno je izgrađen od mekih, niskougljениčnih i malo legiranih čelika koji korodiraju i bez/u odgovarajućih/m termodinamičkih/m uvjeta/ima.

Svi teorijski pogledi na prirodu mehanizma degradacije metala polaze od velikog broja eksperimentalnih podataka dobivenih od izravnog testiranja korozijskih procesa ili operativnog iskustva s različitim objektima, u različitim razdobljima, od strane mnogih istraživača [1]. Korozija se može klasificirati s različitih aspekata polazeći od materijala, okoliša ili morfologije štete nastale uslijed djelovanja korozije. Korozijski procesi uzrokovani djelovanjem okoline mogu se klasično podijeliti, kako je prikazano na slici 1.

Reakcija metala sa suhim zrakom ili kisikom se smatra kemijskom korozijom. Elektrokemijska korozija se pojavljuje u prisutnosti elektrolita. Polazeći od morfologije štete na brodskim metalnim konstrukcijama najčešći oblici korozije su:

- Opća korozija – pojavljuje se kao rezultat kemijskih ili elektrokemijskih reakcija koje zahvaćaju cijelu izloženu površinu. Metal postaje tanji i uobičajeno se mijenja izgled po-

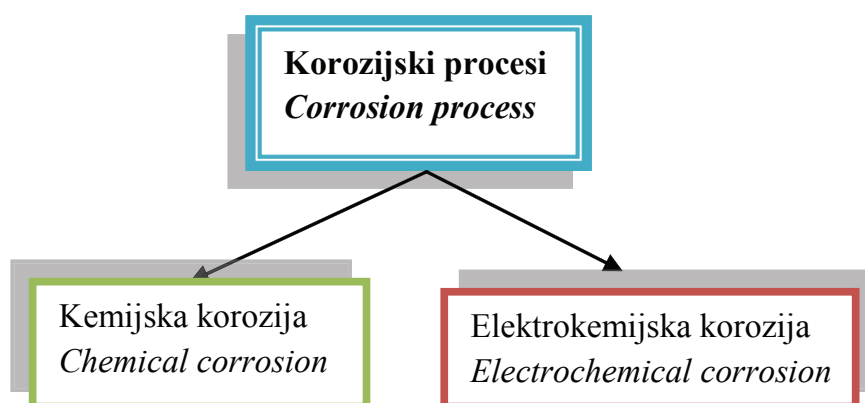
2 HIDDEN CORROSION ON SHIP'S STEAM PIPING

Corrosion is defined as the destruction of materials caused by chemical or electrochemical action of the surrounding environment. The largest part of metal structures used in shipbuilding are traditionally made of mild low-carbon and low alloy steel which will start to corrode without/with the proper thermodynamic conditions.

All theoretical views of the nature of the mechanism of metals destruction are based on a large number of experimental data obtained on a direct corrosion test basis or on operational experiences of different facilities in a different period by many researchers. [1]. Corrosion can be classified into different categories based on the material, environment or the morphology of the corrosion damage. A corrosion process caused by the action of the surrounding environment can be conveniently classified as follows:

The reaction of metals with dry air or oxygen is considered as a chemical corrosion. Electrochemical corrosion occurs in the presence of electrolyte. Based on the morphology of the damage on ship's metal structures, the most common forms of corrosion are:

- General corrosion – appears as the result of chemical or electrochemical reactions which proceed over the entire exposed surface. Metal is becoming thinner and usually alters the appearance of the surface. General corrosi-



Slika 1. Osnovna klasifikacija korozije
Figure 1 Basic classification of corrosion

Izvor / Source: Autori / Authors

vršine. Općenito, ova korozija može rezultirati slabijom mehaničkom čvrstoćom komponenti ili smanjenjem debljina zida stijenci što u krajnjosti rezultira propuštanjem.

- Galvanska korozija – nastaje kada su dva metala različitog elektrokemijskog potencijala u kontaktu te se nalaze u istom elektrolitu (slana voda).
- Rupičasta korozija – pojavljuje se s krajnje lokalnim učinkom kao glavnim obilježjem ovog korozijskog djelovanja što može dovesti do duboke penetracije u odnosu na područje djelovanja korozije. Ovo je jedan od najopasnijih oblika korozije.

Korozija se može pojaviti na bilo kojem metalnom dijelu brodske konstrukcije ili komponenti strojeva ako su izloženi korozivnom mediju. Glavna područja pojave korozije na brodu koja utječu na njegovu cjelovitost i operativnost su:

- balastni tankovi
- tankovi tereta/skladišta
- vanjski dio trupa
- sustav cjevovoda
- stroj
- nadgrađe.

Utjecaj korozije na trup broda dobro je poznat, nasuprot tome utjecaj korozije na sustave cjevovoda je slabije proučavan, stoga sustavi cjevovoda predstavljaju skrivene opasnosti koje su često zanemarene. Cijevi na brodu se koriste za prijenos tekućina, ventiliranje zatvorenih prostora i sredstva kroz koje djeluju kontrolni sustavi. Cijevi tako prolaze gotovo svim zatvorenim prostorima, kao i trupom broda iznad i ispod vodene linije te kroz sve palube. Na brodovima sustavi cjevovoda predstavljaju ogroman potencijal mogućih uzroka požara, onečišćenja, naplavlivanja ili čak potpunog gubitka broda.

Najveći broj brodskih cijevi je izrađen od mekog, niskougličnog željeza, a mogu biti oštećene općim oblicima korozije koje uobičajeno napadaju brodsku strukturu. Pregled i održavanje cijevi nije uvijek jednostavan, zbog njihove nepristupačnosti, kao što je slučaj izoliranih cijevi za prijenos pare. Na brodu se para uobičajeno koristi za neizravno zagrijavanje pogonskog goriva, vode i zraka. Izolacija se mora postaviti

on may result in a weaker mechanical strength of the components or by reducing wall thickness until leaking results.

- Galvanic corrosion – occurs when two metals of different electrochemical potential are in metallic contact in an electrolyte (salt water).
- Pitting corrosion – the main characteristic of this type of corrosive attack is that it is mostly localized and steel penetration can be deep in relation to the area under attack. This is one of the most dangerous forms of corrosion.

Corrosion can occur on any part of the metallic ship structures or machinery components if they are exposed to a corrosive medium. The main areas of corrosion affecting ship integrity and operation are:

- ballast water tanks
- cargo tanks/holds
- external hulls
- piping systems
- machinery
- superstructure.

The effect of corrosion on a ship's hull is well known, while the effect of corrosion on piping systems has been less examined. Piping systems pose hidden dangers which are often neglected. Pipes on board a ship are used to convey fluids, ventilate enclosed space and are the means through which many control systems operate. Pipes are passing almost through all enclosed spaces, as well as through the ship's hull above and below the waterline, and through all decks. Piping systems on board ships have an enormous potential to cause fire, pollution, flooding or even ship's total loss.

The largest number of the ship's pipes is constructed of mild, low-carbon ferrous material, and may be damaged by common forms of corrosion which usually attack the ship's structure system. The control and maintenance of pipes is not always easy because of their inaccessibility, as is the case with insulated steam pipes. On board ships, steam is usually used for indirect oil, water and air heating. Insulation must be fitted around the steam pipes to a lower surface temperature to reduce the risk of fire in machinery spaces. There have been many accidents resulting in serious injuries or even death while working on or near the steam piping system.

oko cijevi pare kako bi se spustila površinska temperatura te tako umanjila mogućnost nastanka požara u strojarnici. Zabilježen je veći broj nezgoda koje su rezultirale opasnim povredama ili smrtnim događajem tijekom rada na ili u neposrednoj blizini cjevovoda pare.

Klasifikacijsko društvo broda zahtijeva da svako zavarivanje izvedeno na cijevima protoka pare mora biti izvedeno od strane kvalificiranog varioca. Posadi broda ni u kom slučaju nije dozvoljeno zavarivanje na cijevima pare, osim privremenih popravaka, ali tek nakon procjene rizika i dopuštenja vlasnika broda. Cijevi moraju biti zamijenjene u sljedećoj luci ticanja broda. Korozijske procese na cijevima ispod izolacije nije moguće nadzirati na uobičajen način, kao što se to izvodi za druge, dostupne cijevi.

Iz navedenog razloga autori predlažu sustav nadzora i otkrivanja korozijskih procesa na površini izoliranih cijevi u realnom vremenu pomoću optičkih senzora, dovoljno rano, kako bi se poduzelo odgovarajuće održavanje ili popravak.



Slika 2. Izolirane cijevi cjevovoda pare
Figure 2 Insulated pipes of the steam piping system

Izvor / Source: Autori / Authors

The ship's classification society requires that any welding which is carried out on a steam pipe must be done by a certified welder. The ship's crew should never carry out any welding on a steam pipe, except temporary repairs, but only after a risk assessment and permission from the owner was obtained. The pipe must be renewed at the next port of call. The corrosion process on pipes under insulation cannot be monitored in the usual way as for other accessible pipes.

Because of the mentioned reason, the authors have proposed a real time monitoring system using fiber optic sensors to detect a corrosion process on the surface of the isolated pipes early enough to be able to undertake suitable maintenance or repair.

3 SIGNIFICANT PROPERTIES OF OPTICAL FIBER SENSORS APPLICABLE ON BOARD SHIPS

The technology and application of optical fiber sensors in the field of ship monitoring have progressed very rapidly in recent years. Fiber optic sensors have been used in a wide variety of applications on board ships due to significant advantages over conventional sensors. They are nonelectrical and absolutely safe. They are also immune to electromagnetic interference and can be employed close to pumps, motors, and generators. Some of the attractive features of the fiber optic sensors include their small size, real-time monitoring, fast response, stability, large dynamic range, and remote access providing greater reliability and safety in adverse environmental conditions such as is a ship [3]. The appropriate software can provide data that allow the user to schedule proper maintained components of the ship's systems.

An optical fiber is composed of three parts; the core, the cladding, and the primary coating. The core is a cylindrical rod of dielectric material and is generally made of glass or fiberglass. Light propagates mainly along the core of the fiber. The cladding is generally made of glass or plastic with the refraction index less than that of the core material. The cladding purposes are decreasing loss of light from core into the surrounding air, decreasing scattering loss at the surface of the core, protecting the fiber from absorbing the surface contaminants and adding mechanical strength. The optical fiber is protected from physical damage by coating (a layer

3. ZNAČAJNA OBILJEŽJA OPTIČKIH SENZORA KOJI SE KORISTE NA BRODU

U području nadzora broda, tehnologija i primjena svjetlovodnih senzora bilježi značajan napredak posljednjih nekoliko godina. Svjetlovodni senzori na brodu se koriste u širokom rasponu primjene zbog svojih značajnih prednosti u odnosu na druge konvencionalne senzore. Razmatrani senzori ne provode električnu struju i bezuvjetno su sigurni. Također su imuni na elektromagnetske smetnje te mogu biti upotrijebljeni u blizini pumpi, motora i generatora. Značajne prednosti optičkih senzora podrazumijevaju njihovu malu veličinu, mogućnost nadzora u realnom vremenu, brz odziv, stabilnost, velik dinamički raspon i daljinski pristup, što osigurava veću pouzdanost i sigurnost u zahtjevnoj okolini kao što je brod [3]. Odgovarajućim softverom omogućuje se korisniku da izvodi planirano održavanje komponenti brodskih sustava.

Optičke niti se sastoje od tri dijela: jezgre, plašta i primarnog omotača. Jezgra je cilindrična nit od dielektričnog materijala, a najčešće se izrađuju od stakla. U novije vrijeme za senzorske sustave počele su se primjenjivati i niti izrađene od plastike. Svjetlost se širi uglavnom kroz jezgru niti. Plašt se u pravilu izrađuje od stakla ili plastike s indeksom loma materijala manjim nego jezgra. Namjena plašta je smanjenje gubitka svjetlosti iz jezgre u okolinu, smanjivanje gubitka raspršivanja na površini jezgre, zaštita

of plastic). The light-guiding principle along the fiber is based on the “total internal reflection” as shown in Figure 3 [4].

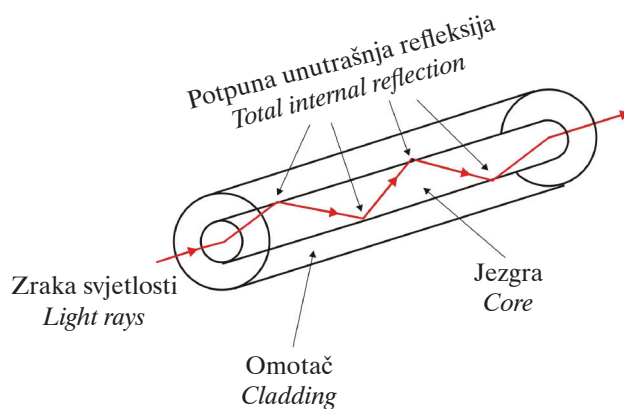
In its simplest form, a fiber optic sensor consists of a light source, an optical fiber, a sensing element, and a detector (Figure 4). The light source may be a broadband, a light-emitting diode, or a laser, depending upon the nature of the sensor.

There is a variety of fiber optic sensors and they can be classified on different bases. Generally, fiber optic sensors can be classified under three categories:

- the operating principle,
- the application, and
- the main purpose of a fiber.

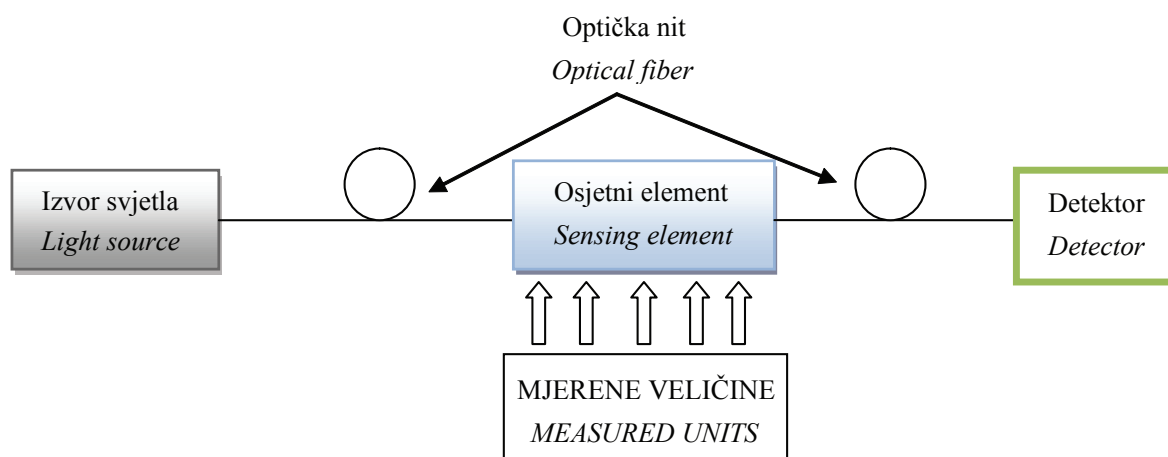
Based on the operating principle or modulation and demodulation process, a fiber optic sensor can be classified as intensity, a phase, a frequency, or a polarization sensor. All these parameters may be subject to a change due to external perturbations [5]. Based on the application, a fiber optic sensor can be classified as follows: physical sensor (used to measure physical properties like temperature, stress, etc.), chemical sensor (used for the pH measurement, gas analysis, spectroscopic studies, etc), biomedical sensor (used in bio-medical applications like measurement of blood flow, glucose content etc.)

When the sensing element is an essential part of the fiber, the arrangement is called an



Slika 3. Osnovni princip potpune unutrašnje refleksije
Figure 3 Basic principle of total internal reflection

Izvor / Source: Autori / Authors



Slika 4. Osnovni princip optičkih senzora
Figure 4 Basic optical fiber sensors principle

Izvor / Source: Autori / Authors

niti od apsorpcije površinskih onečišćivača, te povećanje mehaničke čvrstoće. Optička nit se od fizičkog oštećenja štiti omotačem (sloj od plastike). Rasprostiranje svjetla duž niti se bazira na „potpunoj unutrašnjoj refleksiji” što je prikazano na slici 3. [4].

U svom najjednostavnijem obliku, svjetlovodni senzor se sastoji od izvora svjetlosti, optičkih niti, osjetilnog elementa i detektora (Slika 4.). Izvor svjetla može biti širokopoljarna svjetleća dioda ili laser, ovisno o prirodi senzora.

Postoje razne vrste optičkih senzora koji mogu biti klasificirani po različitim osnovama. Općenito se mogu klasificirati u tri kategorije i to prema:

- principu rada
- primjeni i
- osnovnoj namjeni.

Polazeći od principa rada, odnosno modulacije svjetlovodnog signala u senzoru mogu se podijeliti na senzore u kojima se modulira neka karakteristika svjetlovodnog vala, npr. intenzitet frekvencija ili faza. Svi ovi parametri mogu biti podložni promjenama zbog vanjskog utjecaja. Ovisno o primjeni, svjetlovodne senzore se može razmatrati kao: senzore za mjerenje električnih i neelektričnih veličina kao što su fizikalna obilježja (koriste se za mjerenje fizikalnih svojstva kao što su temperatura, stres, itd.), kemijski senzori (koriste se za mjerenje pH vri-

intrinsic sensor. The properties of the fiber itself convert an environmental action into a modulation of the light beam passing through it. When the fiber is only used to guide light to and from the sensing element, the arrangement is known as an extrinsic sensor [3]. The corrosion process on the surface pipe, which has been insulated, may be monitored using an intrinsic measuring device.

4 CORROSION MONITORING ON THE SHIP'S STEAM PIPING SYSTEM USING OPTICAL FIBER TECHNOLOGY

The optical fiber sensor, as part of the intrinsic measuring device, is safe in nature, with no risk of explosion even under malfunction operation. For this reason, it may be used on board all types of ships and in particularly demanding ship's compartments such as the engine-room.

The intrinsic measuring device, which may be used for corrosion monitoring, consists of a light source, sensor and optical detector. The light source is the LED diode (*Light Emitting Diode*) which has to be tested with the power and temperature fluctuation. The LED diode used in the device will be adjusted to have an adequate output power, so that the signal can reach the detector after having flowed through the optical fiber. The optical detector is a PIN photodiode, made on flat silicon technology ba-

jednosti, analizu plinova, spektroskopske analize, itd), biomedicinski senzori (koriste se u biomedicinskim primjenama kao što su mjerenje protoka krvi, sadržaj glukoze i sl.) [5].

Kada je osjetni element svjetlovodna nit, senzor se naziva intrinzični senzor. Modulacija svjetlosti koja prolazi kroz nit nastaje izravno nekim vanjskim utjecajem. Kada svjetlovodna nit prenosi signal do osjetilnog elementa te dalje do detektora, uređaj se naziva ekstrinzični senzor [3]. Korozijski proces na površini izolirane cijevi može biti nadziran uporabom intrinzičnog senzora.

4. MOGUĆI NADZOR KOROZIJSKIH PROCESA NA CJEVOVODU SUSTAVA PARE UPORABOM SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE

Optički senzor kao dio intrinzičnog mjernog uređaja po svojoj prirodi je siguran, bez rizika od eksplozije, čak i u slučaju neispravnog rada. Iz tog razloga se može koristiti na svim vrstama brodova, a također i u posebno zahtjevnim odjeljcima broda kao što je strojarnica.

Intristični mjerni uređaj koji se može koristiti za praćenje korozije se sastoji: od izvora svjetla, osjetnog dijela i optičkog detektora. Izvor svjetla je LED dioda (*engl. light-emitting diode*) koja bi bila testirana na kolebanja snage i temperature. LED dioda korištena u uređaju bi također bila podešena na odgovarajuću izlaznu snagu tako da signal doprije do detektora nakon prolaska kroz nit. Optički detektor je poluvodička PIN fotodioda s prihvatljivijim obilježjima za nadzor na brodu tijekom eksploatacije.

U takvom uređaju za nadzor korozije plastična optička nit predstavlja senzor. Promjer niti koja bi se koristila u predloženom uređaju može iznositi od 2,2 mm do 3 mm. Od LED diode do početka nadziranog području na površini cijevi plastična optička nit se koristi samo kao vodič svjetla do osjetnog dijela i ima uobičajen plašt oko vanjskog dijela niti. Plašt koji je obavijen oko vanjskog dijela plastične optičke niti se uklanja u dijelu od početka nadziranog dijela površine cijevi do završetka tog područja. Ovaj dio plastične optičke niti se koristi kao osjetni element. Preostali dio plastične optičke niti se koristi za prijenos signala do optičkog

sis and with acceptable characteristics for monitoring in ships operating conditions.

The plastic optical fiber (POF) is a sensor in such a corrosion monitoring device. The diameter of the fiber used in the proposed device may be from 2.2 mm to 3 mm. From the LED diode to the beginning of the monitoring area on the pipe surface, POF is only used to guide light to the sensing element and it has the usual cladding layer around the outer region of the fiber. The cladding layer around the outer region of the POF is removed from the pipe surface from the beginning to the end of the monitoring area on the pipe surface. This part of the POF is being used as a sensing element. The rest of the POF is used to guide signal to the optical detector and will be protected with the primary coating.

The plastic optic fiber without cladding is coiled over the monitored pipe surface under insulation at certain distances. The principle of operation of the POF sensor described in this article is based on the changed reflection according to the light wave guide theory and research carried out [6]. When the normal cladding is removed within the sensing region, the plastic optical fiber without cladding is in a direct contact with the clean metal on the pipe surface, the consequence of being changes in the optic fiber wave reflection. The intensity of the optical signal arriving at the output end of the fiber will be correspondingly changed. As the corrosion develops, the intensity of the signal will now be changed again due to the corrosion product that causes a change in the refraction of the wave, and thus in the intensity of the signal as against the completely clean metal on the surface of the pipe. The outgoing signal is processed by the detector and the corrosion degree can be determined. The value of the light readings intensity on the PIN photodiode will vary depending on the degree of corrosion. The rate of the corrosion of metal film is affected by corrosive atmosphere and corrosion time.

Early corrosion detection and prompt remediation can extend life of the monitored piping system. The ship's crew is doing their part of the system maintenance to minimize the appearance of unexpected failures resulting from corrosion acting. Pipes which have been used to carry through steam are not easy to monitor visually because of their inaccessibility. The ship's crew is thus enabled to continue monitoring such pipes using optical fiber system without removing the pipe insulation. The obtained

detektora i on će biti zaštićen s primarnim omotačem.

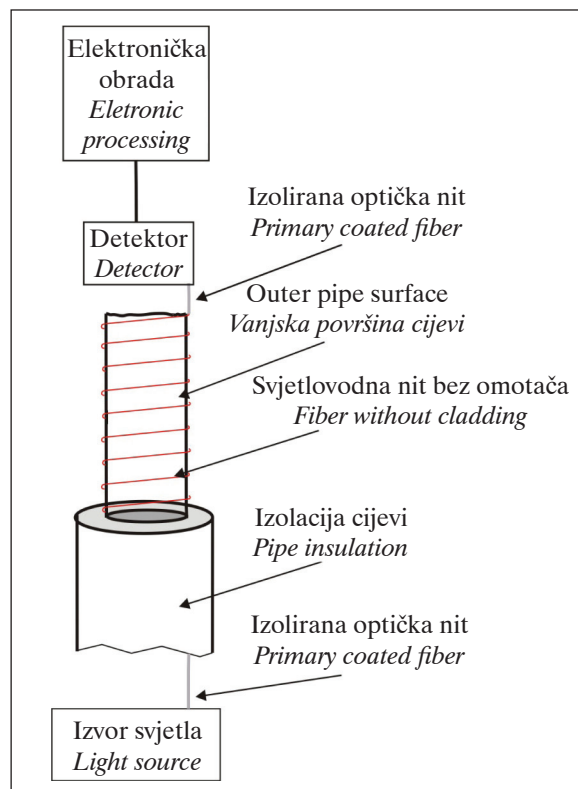
Plastična optička nit bez plašta namotana je po površini nadzirane cijevi, ispod izolacije, na određenim udaljenostima. Princip rada plastične optičke niti kao senzora opisanog u ovome radu se zasniva na izmijenjenoj refleksiji svjetlovodnog vala prema teoriji provođenja svjetla kroz nit i provedenim istraživanjima [6]. Kada je plašt uklonjen u području osjetnog dijela plastična optička nit bez plašta je u izravnom kontaktu s čistim metalom na površini cijevi što će imati za posljedicu promjene u refleksiji svjetlovodnog vala. Stoga će intenzitet optičkog signala koji dolazi na izlazni kraj niti imati odgovarajuću promjenu u vrijednosti. Kako se korozija razvija, intenzitet signala će se sada ponovo mijenjati zbog korozijskog produkta koji uzrokuje promjene u refrakciji vala, a time i jačini signala u odnosu na stanje potpuno čistog metala na površini cijevi. Detektor obrađuje izlazni signal, te se s obzirom na promjenu u intenzitetu signala može odrediti stupanj korozije. Vrijednost očitavanja intenziteta svjetla na PIN fotiodi di će se mijenjati u ovisnosti o stupnju korozije. Na stopu korozije metala utjecat će korozivnost atmosfere i vrijeme izloženosti koroziji.

Rano otkrivanje korozije i promptna sanacija mogu produžiti vijek nadziranog cjevovodnog sustava. Brodska posada izvodi svoj dio održavanja sustava kako bi se umanjila pojava neočekivanih kvarova zbog djelovanja korozije. Cijevi koje se koriste za protok pare nije lako nadzirati vizualno zbog njihove nepristupačnosti. Brodskoj posadi se tako omogućuje kontinuirano nadziranje razmatranih cijevi uporabom optičkog svjetlovodnog sustava bez skidanja izolacije. Dobiveni podaci s optičkog svjetlovodnog sustava mogu povećati sigurnost broda ranim upozorenjem. Također, ti podaci mogu biti korišteni od strane klasifikacijskih društava za predviđanje razvoja korozije na nepristupačnim mjestima kao što su izolirane cijevi. Vlasnik broda na osnovi dobivenih podataka od optičkog senzorskog sustava može planirati održavanje u pogodno vrijeme i na odgovarajući način kako bi se izbjegli zastoji broda.

Bolji uvid u nastanak i razvoj korozije te inovativna tehnika praćenja omogućit će poboljšano planiranje održavanja i podignuti razinu sigurnosti broda i posade. Značajni troškovi uzrokovani korozijom bili bi izbjegnuti ili znatno smanjeni te bi se poboljšala ekonomičnost broda.

data from the optical fiber system can increase the ship's safety through early warning notification and these data can also be used by the Classification Societies to predict the growth of corrosion in inaccessible places such as insulated pipes. The shipowner, on the basis of the obtained optical fiber system data, may plan maintenance at the appropriate time and in a convenient manner in order to avoid the ship's delay.

A better insight into the onset and progression of corrosion and innovative monitoring techniques will enable an improved planned maintenance and enhance the safety of the ship and of the crew. Important expenses caused by corrosion will be avoided or significantly reduced and the cost-effectiveness of the ship will be improved.



Slika 5. Prikaz optičkog senzora za praćenje korozije

Figure 5 Schematic presentation of the corrosion optical sensor

Izvor / Source: Autori / Authors

5. ZAKLJUČAK

Zajedno s modernim dizajnom, konstrukcijom, iskorištavanjem i normama sigurnosti broda, zaštita od korozija je postala izazovan zadatak. Kontrola korozije suvremenih brodova pored mjera zaštite od korozije zahtijeva kombinaciju primjene suvremenih metoda i mjera otkrivanja. Zaštitu od korozije treba započeti dizajnom i gradnjom broda te održavanjem tijekom eksploatacije broda.

Visoka ulaganja u kontrolu korozije na suvremenim brodovima se poduzimaju od strane brodovlasnika kako bi se izbjegli zastoji i visoki troškovi zastoja broda koji iz toga proizlaze. Premda mali dio broda, sustav cjevovoda, koji se koristi za protok pare, zahtijeva značajnu pažnju zbog vrlo agresivne okoline u kojoj se cijevi nalaze i kritičnosti tih dijelova na sigurnost broda. Pregled cijevi i njihovo održavanje nije uvijek jednostavno poradi njihove nepristupačnosti i izolacije. Autori predlažu sustav nadziranja korozije u realnom vremenu uporabom svjetlovodne tehnologije za otkrivanje korozijskog procesa na takvim nepristupačnim mjestima koja ne mogu bit nadzirana na uobičajen način.

Optički senzori su izrađeni bez metalnih dijelova i bezuvjetno sigurni, također su imuni na elektromagnetske smetnje te mogu biti korišteni u brodskoj strojarnici, u blizini pumpi, motora i generatora. Intrinzični mjerni uređaj koji se može upotrijebiti za nadzor korozije na površini cijevi, ispod izolacije, se sastoji od: izvora svjetla, senzora i optičkog detektora.

Dio optičke niti se koristi kao osjetni element za otkrivanje korozije na površini cijevi. Na tom dijelu skinut je plašt oko jezgre niti. Princip rasprostiranja svjetla kroz optičke niti se temelji na gubitku potpune unutrašnje refleksije. Porast stupnja korozije očitovat će se u promjeni protoka svjetlosti prema detektoru. Takva inovativna tehnika nadzora omogućit će poboljšano održavanje i podizanje razine sigurnosti broda.

5 CONCLUSION

With a modern ship design, construction, operation and safety regulations, corrosion control has become a more challenging task. Corrosion control of modern ships requires a combination of the application of updated methods and detection measures in addition to the corrosion protection techniques. Corrosion protection should start from the structural design and building and should be maintained during operation.

The high investment in the corrosion control on board modern ships has been taken out by shipowners in order to avoid delays and high costs ships arising there from. Although a very small part of the ship, namely the piping system which has been used to carry steam through, requires a considerable care due to the highly aggressive environment in which pipes operate and the critical aspect of these parts onto the ship's safety. The control and maintenance of the pipes is not always easy because of their inaccessibility and insulation. The authors have proposed a real time monitoring system using fiber optic sensors to detect the corrosion process on such inaccessible places which cannot be monitored in a usual way.

Optic fiber sensors are made with no metal parts and are intrinsically safe and immune to electromagnetic interference and can be used in the ship's engine-room close to the pumps, engines, and generators. The intrinsic measuring device, which may be used for corrosion monitoring on pipes surface under insulation, consists of a light source, a sensor and of an optical detector.

A part of the plastic optic fiber is being used as a sensing element to detect corrosion on the pipe surface. On this very part, the cladding layer around the outer region was removed. The principle of operation of the POF sensor is based on the loss of the total internal reflection. Increasing the degree of corrosion will be manifested as an increase in the flow of light on the detector. Such innovative corrosion monitoring techniques will enable an improved and planned maintenance, thus raising the ship's safety level.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Wade, S. A., et. al., *A Fibre Optic Corrosion Fuse Sensor Using Stressed Metal-coated Optical Fibres*, Sensors and Actuators B 131, 2008, str. 602 – 608.
- [2] Chernov, B. Boris, *Corrosion and Metal Protection in Sea Water*, Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education, 1 (2011), 1, str. 81 – 87.
- [3] Lopez-Higuera, J. M., *The Handbook of Optical Fibre Sensing Technology*, John Wiley & Sons, 2002.
- [4] Jones, D., *Introduction to Fiber Optics*, Naval Education and Training Professional Development and Technology Center, 1998.
- [5] Yu, F. T. S., Shizhuo, Y., *Fiber Optic Sensors*, Marcel Decker, New York, 2002.
- [6] Saying, D., et al., *Optical and Electrochemical Measurements for Optical Fibre Corrosion Sensing Techniques*, Corrosion Science, 48 (2006), str. 1746 – 1756.