

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

GORAN SELIMOVIĆ

**NOVE METODE NADZORA ONEČIŠĆENJA PRIMJENOM
SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2013.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

**NOVE METODE NADZORA ONEČIŠĆENJA PRIMJENOM
SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Optoelektronički sustavi

Mentor: doc. dr. sc. Irena Jurdana

Student: Goran Selimović

Matični broj: 0112028821

Rijeka, rujan 2013.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Predmet istraživanja	1
1.2.	Svrha i ciljevi istraživanja	1
1.3.	Metode istraživanja	2
2.	OSNOVE SVJETLOVODNIH SUSTAVA.....	4
2.1.	Fizikalne osnove optike	5
2.2.	Povijesni razvoj	9
2.3.	Svjetlovodi	11
2.3.1.	<i>Podjela prema modu rada i indeksu loma</i>	11
2.3.2.	<i>Dimenzije svjetlovodnih vlakana</i>	16
2.3.3.	<i>Jezgra, plašt i zaštitni plašt</i>	17
3.1.	Svjetlovodni sustavi prijenosa u brodarstvu	21
3.2.	Primjena svjetlovoda u medicini.....	26
4.	KARAKTERISTIKE SVJETLOVODA	30
4.1.	Interferencija	30
4.2.	Prigušenje	30
4.3.	Disperzija	33
4.4.	Optički odnos signal – šum	35
4.5.	Širina propusnog opsega	35
4.6.	Nelinearni optički efekti	35
5.	ONEČIŠĆENJE MORA	37
5.1.	Pravni aspekt onečišćenja mora ispušnim plinovima	38
5.2.	Konvencije koje se izravno bave onečišćenjem mora iz zraka	41
5.3.	Kontrola emisija brodskih ispušnih plinova	42
5.4.	Kontrola i smanjenje emisija dušikovih oksida	44
5.5.	Onečišćenje zraka na području luke Rijeka.....	47
5.6.	Uvođenje sustava LIDAR.....	50
5.7.	Balastne vode.....	58
5.8.	Balastni tankovi na brodu i negativni utjecaji morskih organizama	58
5.8.1.	<i>Ekološki utjecaj</i>	59
5.8.2.	<i>Ekonomski utjecaj</i>	60
5.8.3.	<i>Ljudsko zdravlje</i>	60
5.9.	Način obrade balastnih voda i sedimenata	60
5.9.1.	<i>Tehnički načini kontrole izmjene balastnih voda</i>	62
5.10.	Biološki načini kontrole izmjene balastnih voda	64
5.10.1.	<i>Uzimanje uzoraka na mjestima za pristup i inspekciju tankova</i>	64
5.10.2.	<i>Uzimanje uzoraka kroz cijevi za mjerenje razine tekućine u tanku</i>	65
5.10.3.	<i>Uzimanje uzoraka s balastnog cjevovoda</i>	66
5.11.	Konvencija o balastnim vodama.....	67
5.12.	Određivanje razine tekućine u tankovima primjenom svjetlovodne tehnologije 68	
5.13.	Određivanje razine ispušnih plinova putem svjetlovodne tehnologije	70
6.	ZAKLJUČAK	74
	LITERATURA.....	78
	POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA:.....	81
	Popis slika:	81

Popis tablica:	81
Popis grafikona:	81

1. UVOD

1.1. *Predmet istraživanja*

Predmet istraživanja ovog rada su nove metode nadzora onečišćenja primjenom svjetlovodne tehnologije. Navedeni predmet istraživanja ima nekoliko objekata istraživanja kao što su osnove svjetlovodnih sustava, mjerenje svjetlovodnih mreža, te njihova primjena za nadzor onečišćenja zraka ispušnim plinovima kao i onečišćenja mora balastnim vodama. Svjetlovodna tehnologija se razvija i primjenjuje već više od 25 godina u komunikacijama s velikim prijenosnim brzinama. Njezina je osnova emitiranje, prijenos i prijem svjetla, odnosno stvaranje svjetlosnog signala električnom pobudom. Integracija svjetlovoda nije ograničena samo na područje telekomunikacija već se njihova primjena počela uvoditi u gotovo svim granama tehnologije. Naročito se pojavljuje u graditeljstvu, brodogradnji, zrakoplovnoj industriji, medicini, rudarstvu i svemirskom programu.

Najvažnije karakteristike svjetlovoda koje su omogućile njihovu široku integraciju jesu vrlo male dimenzije, jednostavno instaliranje, neosjetljivost na vanjske elektromagnetske utjecaje, veliki prijenosni kapacitet te dobra pouzdanost pa je stoga ugradnja svjetlovodnih mreža i senzora veoma korisna za poboljšanje karakteristike metrike i funkcionalnosti u zahtjevnim sustavima kao što su brodovi, letjelice i slični strojevi za koje je precizna tehnika mjerenja od ključne važnosti te razni oblici telekomunikacijskih mreža.

1.2. *Svrha i ciljevi istraživanja*

Gotovo je nemoguće zamisliti današnji ritam ubrzanog života bez kvalitetnih i brzih prijenosnih medija među kojima vodeće mjesto ima komunikacija putem svjetlovodnih kabela sastavljenih od svjetlovodnih niti položenih diljem zemaljske kugle sa dužinom većom od 290 milijuna kilometara. Svjetlovodne komunikacijske tehnike u svom današnjem obliku nagli razvoj započinju početkom 80-tih godina prošlog stoljeća. Zbog svojih izuzetno kvalitetnih prijenosnih karakteristika, vrlo malih dimenzija, otpornosti na vanjske utjecaje okoline, trenda smanjivanja troškova proizvodnje i instalacije, svjetlovodni kabeli sve češće pronalaze primjenu u različitim granama ljudskih djelatnosti. Svakodnevni zahtjevi za prijenosom sve većih količina podataka uz velike

brzine prijenosa iziskuju neprekidna poboljšanja u svjetlovodnim prijenosnim sustavima. Nagli razvoj ima i svoju negativnu stranu, a to je vrlo mala pažnja koja se posvećuje sigurnosti. Podaci koji se prenose često su velike vrijednosti i postaju zanimljivi različitim društvenim skupinama. Neki od očitih primjera su kriminalne i konkurentske organizacije. Na tržištu su trenutno dostupni komercijalni mjerni uređaji uz čiju se upotrebu vrlo lako te uz malu ili gotovo nikakvu mogućnost otkrivanja može doći do informacija koje se prenose svjetlovodnim kabelima. Prve krađe informacija iz svjetlovodnih kabela dogodile su se sredinom 90-tih godina prošlog stoljeća na podmorskim svjetlovodnim kabelima, a izveli su ih vojni stručnjaci SAD-a. Daljnim razvojem komercijalne opreme danas se takvim kriminalnim akcijama koriste mnoge interesne skupine i pojedinci.

Značajan rast pomorskog prometa u Jadranskom moru tijekom prošlog desetljeća izazvao je ozbiljnu zdravstvenu i ekološku zabrinutost u državnim institucijama i stanovništvu okolnih zemalja. Porast pomorskog prometa posebno je vidljiv u sektoru krstarenja duž hrvatske i talijanske obale te u sektoru kontejnerskog prijevoza u bazenu Sjevernog Jadrana. Ova područja posebno su podložna utjecaju brodskih emisija.

Brojne studije i radovi pokazali su jaku korelaciju između brodskih emisija i štetnih utjecaja na ljudsko zdravlje i lokalne ekosustave, a to se posebno odnosi na brodove koji ostaju u lučkom bazenu. Ovi negativni utjecaji direktno utječu na porast indirektnih troškova koji se odnose na brigu o zdravlju, ekologiju te održavanje kulturnog naslijeđa.

1.3. Metode istraživanja

U istraživanju novih metoda za nadzor onečišćenja primjenom svjetlovodne tehnologije korištene su sljedeće znanstveno-istraživačke metode: metoda analize i sinteze, metoda generalizacije i specijalizacije, metoda indukcije i dedukcije te komparativna metoda.

S obzirom na osnovni problem i ciljeve, tematika ovog diplomskog rada sustavno će biti prezentirana u šest međusobno povezanih dijelova.

U prvom dijelu, **Uvodu**, definira se predmet istraživanja, određuje svrha i ciljevi istraživanja te obrazlaže struktura rada.

Osnove svjetlovodnih sustava naslov je drugog dijela rada. Ono se sastoji od šest podpoglavlja koja će pobliže opisati na čemu se temelji svjetlovodna tehnologija, od čega se sastoji svjetlovodna nit. Opisati će se i povijesni razvoj optičkih vlakna i svjetlovoda, kao i podjela svjetlovoda.

Treće poglavlje nosi naziv **Primjene svjetlovodnog sustava prijenosa u pomorstvu i medicini** koje govori o praktičnim primjenama svjetlovoda i optike u današnjim znanostima, pri čemu je naglasak stavljen na različitost mogućnosti primjene takvih tehnologija. Posebno je obrađena primjena u brodogradnji te u medicini.

Četvrto poglavlje nosi naslov **Karakteristike svjetlovoda**, u kojemu se govori o inteferenciji, prigušenju i disperziji. Biti će i govora o širini propusnog opsega i nelinearnom optičkom efektu.

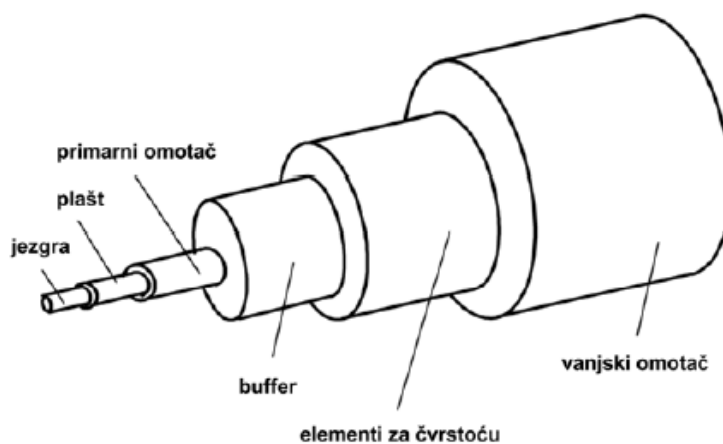
Onečišćenje mora je naslov petog dijela rada, i to je najvažniji dio rada jer obrađuje glavnu hipotezu rada. Govori se o onečišćenju mora brodskim ispušnim plinovima, kao i onečišćenju mora balastnim vodama i njihovim štetnim utjecajima na prirodu i čovjeka. Biti će i govora o određivanju razine tekućine u tankovima, kao i određivanju razine ispušnih plinova putem svjetlovodne tehnologije bazirane na LIDAR tehnologiji koja nije zakonski regulirana, ali se može sigurno upotrijebiti za stvaranje nacionalnog registra brodskih emisija te za detekciju brodova koji sagorijevaju gorivo koje nije u skladu sa standardima očuvanja okoliša.

Rad završava zaključkom u kojem su sažete najvažnije spoznaje dobivene u radu.

2. OSNOVE SVJETLOVODNIH SUSTAVA

Svjetlovodna tehnologija temelji se na emitiranju, prijenosu i prijemu svjetla, odnosno na generiranju svjetlosnog signala električnom pobudom.¹ Svoj razvoj posebno doživljava početkom ovoga stoljeća zahvaljujući sposobnosti koje joj omogućavaju da u prijenosu informacija i velikih prijenosnih kapaciteta ostvaruje daleko bolje rezultate od bilo kojeg drugog oblika prijenosa signala, te se stoga njezina integracija počela uvoditi u gotovo svim granama tehnologije. Najčešće se upotrebljava u telekomunikacijama, ali pojavljuje se i u ostalim područjima, i to naročito u graditeljstvu, brodogradnji, zrakoplovnoj industriji, medicini, rudarstvu i svemirskom programu.

Osim za povezivanje i komunikaciju, svjetlovodi su pronašli svoju upotrebu i kao senzori za razne neelektrične i električne veličine. U oba slučaja njihove vrlo male dimenzije, jednostavno instaliranje, neosjetljivost na vanjske elektromagnetske utjecaje, veliki prijenosni kapacitet te dobra pouzdanost opravdavaju ugradnju svjetlovodnih mreža i senzora u zahtjevnim sustavima kao što su brodovi, letjelice i slični strojevi za koje je precizna tehnika mjerenja od ključne važnosti.²



Slika 1. Svjetlovodna nit

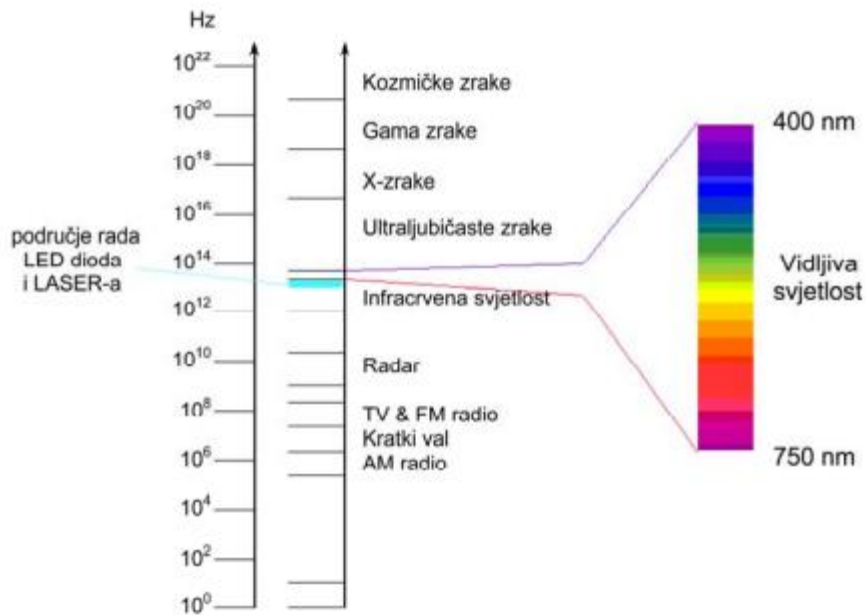
Izvor (Carnet – Sigurnost i svjetlovodi, str. 5)

Svjetlost se zbog niza refleksija kroz svjetlovodnu nit prenosi od ruba do ruba između jezgre (unutrašnji cilindar) i omotača (vanjski cilindar). Kako bi do refleksije uopće

¹ Pomorstvo, god. 22, br. 2 (2008), str. 271

² Ibidem

došlo potrebno je ispuniti dva uvjeta. Prvi je veći svjetlosni indeks loma materijala od koga je izrađena jezgra u odnosu na materijal od koga je izrađen omotač, a drugi je dovoljno malen upadni kut svjetlosti u odnosu na svjetlovodnu nit. Ukoliko se ti uvjeti ispune, svjetlost se zbog niza refleksija prostire kroz nit od jednoga do drugoga njezinoga kraja. Prijenos energije odvija se na svjetlovodnim valnim duljinama od infracrvenog do ultraljubičastog zračenja.³



Slika 2. Spektar elektromagnetskog zračenja

Izvor (Carnet – Sigurnost i svjetlovodi, str. 5)

2.1. Fizikalne osnove optike

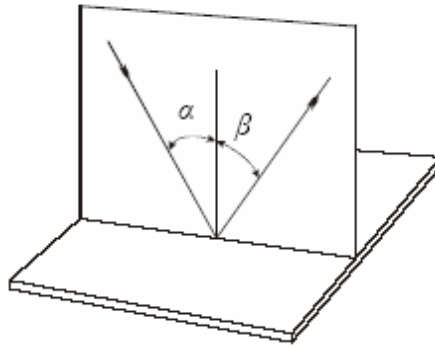
Putovanje svjetlosti kroz optička vlakna temelji se na dva od četiri zakona geometrijske optike. To su:

1. Zakon odbijanja (refleksije) svjetlosti $\alpha = \beta$

Kut upadanja zrake svjetlosti jednak je kutu odbijanja (refleksije), a zraka koja upada i koja se odbija leže u istoj ravnini koja je okomita na površinu odbijanja. To ćemo prikazati slikom 3. U svjetlovodima inače koristimo totalnu refleksiju.⁴

³ Carnet – Sigurnost i svjetlovodi, str. 5

⁴ J. Marasović – Svjetlovodi, str. 6

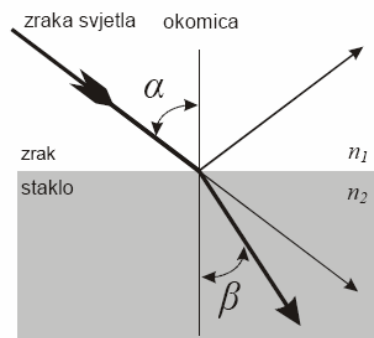


Slika 3. Zakon refleksije svjetlosti

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 6)

2. Snellov zakon loma (refrakcije) svjetlosti

Brzina svjetlosti u vakuumu iznosi $c = 299\,792\,458$ m/s. Budući da se svjetlost smatra elektromagnetskim valom, prolaskom svjetlosti kroz drugi medij, njena brzina je manja od one u vakuumu i određena je dielektričnim i magnetskim svojstvima medija kroz koji putuje. Kod optičkih medija brzina svjetlosti uglavnom je određena dielektričnim svojstvima budući da optička sredstva imaju μ_r (relativna permeabilnost materijala) ~ 1 . Optički rjeđe sredstvo ima veću brzinu svjetlosti od optički gušćeg sredstva. Prilikom prelaska svjetlosne zrake iz vakuuma u optički vodljivo sredstvo, dolazi do loma svjetlosti pri čemu definiramo indeks loma n za to sredstvo.⁵



Slika 4. Zakon loma svjetlosti

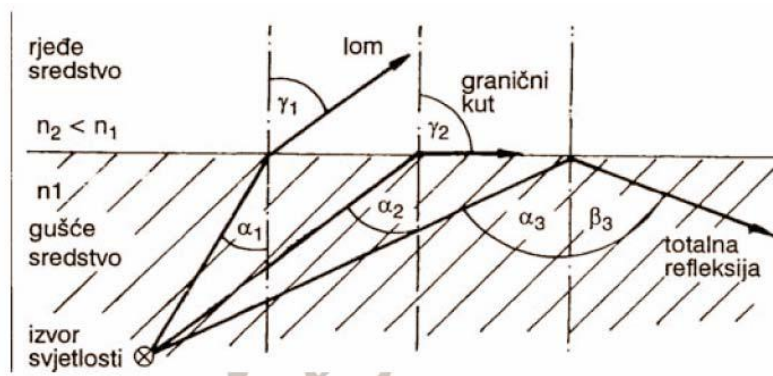
Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 7)

Lom svjetlosti prilikom prolaska iz jednog sredstva u drugo opisuje Snellov zakon i vrijedi:

$$n_1 \cdot \sin\alpha = n_2 \cdot \sin\beta \quad (1)$$

⁵ Ibidem

Zraka koja upada i zraka koja se lomi leže u ravnini okomitoj na granicu sredstva, a omjer sinusa kuta upada i sinusa kuta loma za dva određena prozirna sredstva konstantan je broj i naziva se relativni indeks loma n_{12} . Kada zraka svjetlosti upada na graničnu plohu iz optički gušćeg sredstva u optički rjeđe ona se lomi od okomice na graničnu plohu. Ako se upadni kut povećava dolazimo do graničnog (kritičnog) kuta upada koji iznosi 90° . Iz Snellovog zakona dobiva se $\sin\alpha_g = n_{12}$. Ako se upadni kut još više povećava dolazi do potpune refleksije koja se koristi u svjetlovodima.⁶



Slika 5. Totalna refleksija svjetlosti

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 7)

Gornja slika prikazuje totalnu refleksiju svjetlosti, a to je iskorišteno za propagaciju svjetlosti kroz optičko vlakno.

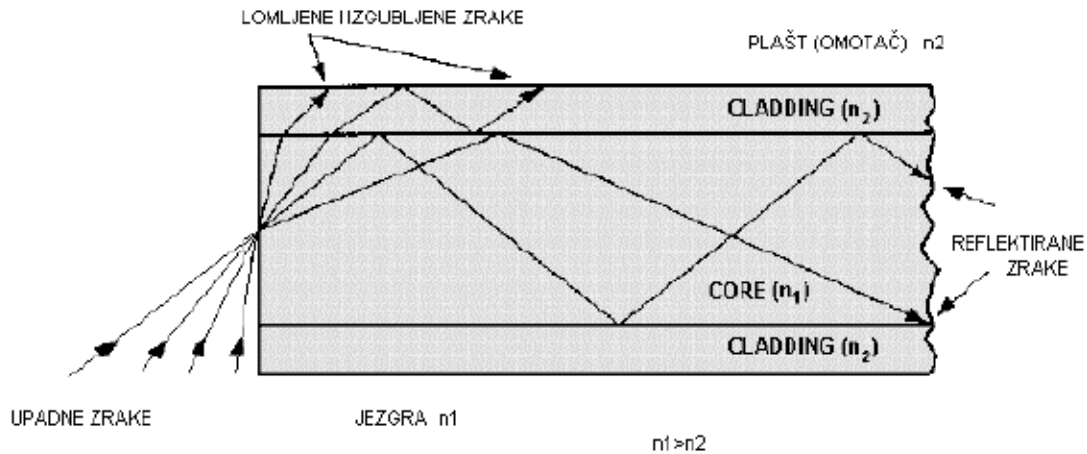
Svjetlovod se sastoji od jezgre i omotača. Jezgra ima veći indeks loma svjetlosti od omotača. Prilikom upada zrake na jezgru dolazi do prvog lomljenja zrake, a kad zraka stigne na granicu jezgra-omotač ona se reflektira zbog Snellovog zakona, pri tome je kut upada jednak kutu odbijanja zbog zakona refleksije. Pri tome je važno da je kut upada na granicu dvaju sredstava veći od kritičnog. Na taj način svjetlost nastavlja putovati kroz svjetlovod. U slučaju idealnog svjetlovoda, zraka bi nastavila beskonačno dugo putovati kroz, međutim zbog nečistoća koje postoje u svjetlovodu dolazi do loma zrake i dio zrake se gubi u omotaču. Zraka se prigušuje i nakon nekog vremena potpuno gubi.⁷

Zbog toga je neophodno postavljanje optičkih pojačala koja će obnoviti (pojačati) oslabljenu zraku tako da bi ona mogla dalje putovati svjetlovodom.

⁶ Ibid., str. 7.

⁷ Ibid., str. 8.

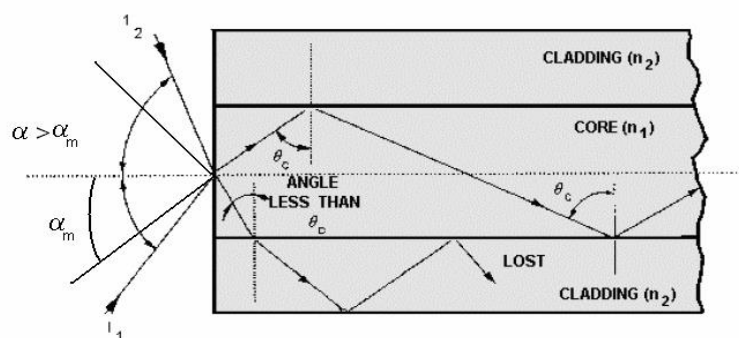
Još jedno fizikalno ograničenje postoji na svjetlovodu, a to je veličina numeričkog otvora (NA – Numerical Aperature). Numerički otvor također određuje i maksimalni kut upada koji je određen kritičnim kutem refleksije. Numerički otvor je mjera koliko svjetlosti možemo spregnuti u svjetlovod, a izravno utječe na broj modova koje možemo koristiti u radu.⁸



Slika 6. Shematski prikaz zrake kroz svjetlovod

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 8)

Slikom 7 prikazan je maksimalni kut pod kojim može svjetlost upadati u svjetlovod koji definira veličinu numeričkog otvora te što se dogodi kad je upadni kut veći od maksimalnog. Tipične vrijednosti numeričkog otvora za staklena optička vlakna iznosi od 0,20 do 0,29, dok za optička vlakna od plastične mase može biti i veći od 0,5.⁹



Slika 7. Kritični, maksimalni kut upada – numerički otvor

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 9)

⁸ Ibidem

⁹ Ibid., str. 9.

2.2. Povijesni razvoj

Optička vlakna i svjetlo vodi napravili su svojom pojavom revoluciju u telekomunikacijskom prometu. Njihova daleko veća propusnost od klasičnih bakrenih kabela i samim time povećana brzina prijenosa informacija omogućile su razvoj informatičke industrije i interneta kakav danas poznajemo.

Pojava prvih optičkih vlakna nastupa u drugoj polovici prošlog stoljeća s pojavom lasera. Međutim ljudi su još prije nekoliko stotina godina imali ideje o prijenosu informacija putem svjetlosti. Godine 1790. francuski izumitelj Claude Chappe napravio je „optički telegraf“ koji se sastojao od niza semafora postavljenih na tornjeve gdje su stajali ljudi i putem tih semafora odašiljali poruke od jednog tornja do drugog. Sustav je ubrzo postao kulturna baština jer ga sredinom 19-tog stoljeća zamijenjuje električni telegraf. Alexander Graham Bell, 1880. godine patentira optički telefonski sustav i naziva ga „Photophone“.¹⁰

Bell ima ideju o prijenosu signala pomoću svjetlosti kroz atmosferu kao u slučaju bakrene žice i električnog signala. Međutim stvar je bila neostvariva zbog raspršenja svjetlosti i nepouzdanosti. Njegovo ranije otkriće – telefon, bio je mnogo praktičnije rješenje tako da je „Photophone“ ostao samo eksperimentalni izum.

Optička vlakna su bila jedno od mogućih rješenja problema prijenosa svjetlosti iako sredinom 1960. uopće nije bilo izvjesno da odgovor leži u tom smjeru pa su ozbiljno razmatrane i ostale mogućnosti. Eksperimentima je utvrđeno da staklena vlakna debljine vlasi kose najbolje prenose svjetlost na male udaljenosti. Ona su bila korištena u industriji i medicini za dovođenje svjetlosti na inače nedostupna mjesta. U početku znanstvenici nisu bili zadovoljni jednomodnim svjetlovodima koji su imali jezgru promjera svega nekoliko mikrometara, uski frekvencijski pojas te stepeničasti indeks loma. Također problem je bio kako postići dovoljne tolerancije na ulaznom konektoru da prilikom uguravanja svjetla u svjetlovod ne dođe do raspršenja zrake. Zbog toga su se okrenuli razvoju više modnih svjetlovoda kod kojih se zraka rastavljala u više zraka unutar svjetlovoda i prenosila informaciju.¹¹

¹⁰ Ibid., str. 3.

¹¹ Ibid., str. 4.

Prvi komercijalni višemodni svjetlovodi koristili su jezgru promjera $50\mu\text{m}$ i $62,5\mu\text{m}$ te valnu duljinu svjetlosti od 850nm .

Svjetlost je emitirala laserska galij-aluminij-arsenid dioda, ali je takav optički komunikacijski sistem bio ograničen gušenjem od 2dB/km , pa je prijenos bio omogućen do cca. 10 km . (Prvi test postavljanja svjetlovoda napravila je 1976. godine AT&T kompanija u Atlanti. Postavljena su dva optička kabela, svaki sa 144 optička vlakna ukupne duljine gotovo 7 kilometara.). Druga generacija svjetlovoda kao izvore svjetlosti koristi indij – galij – arsenid – fosfid laserske diode koje emitiraju svjetlo valne duljine $1,3\ \mu\text{m}$ i gradijentni indeks loma. U ovim svjetlovodima ostvarena su gušenja manja od $0,5\ \text{dB/km}$ i nešto manje raspršenje spektra nego kod prve generacije. Na projektu postavljanja prvog prekoatlanskog svjetlovoda 1988. godine koji je imao pojačala za regeneriranje slabih signala na međusobnoj udaljenosti većoj od 60 km , ustvrđeno je da jednomodni svjetlovodi imaju bolja svojstva što se tiče disperzije i gušenja. Nova generacija jednomodnih svjetlovoda koristi zraku valne duljine $1,55\ \mu\text{m}$ s gušenjem od $0,2\text{-}0,3\text{dB/km}$ te dopušta još veće udaljenosti između pojačala za regeneraciju signala.

U samom začetku razvoja tehnologije optičkih vlakna, usko grlo cijelog sistema bila su pojačala za regeneriranje oslabljenih signala. Iako se, pred samim pojačalima, optičkim napravama moglo detektirati i vrlo slabo ulazno lasersko svjetlo, samo pojačalo je moralo biti neke vrste elektroničke naprave koja je detektirani svjetlosni signal pretvarala u električni signal. Naprava bi tada pojačala električni signal koji je vodio na novu lasersku diodu koja bi odašiljala novi, pojačani optički signal. Ovaj sistem je bio bitno ograničen kapacitetom elektroničkih pojačala, koji je bio znatno manji od raspoloživog kapaciteta lasera i svjetlovoda.¹²

Na engleskom Sveučilištu u Southamptonu, fizičar S.B. Poole 1985. godine otkriva da dodavanjem male količine elementa - erbija u staklo od kojeg se izrađuju optička vlakna moguće je napraviti pojačala koja imaju samo optičke elemente. Kratki, stakleni pramen dopiran erbijem ugrađen u optičko vlakno, kada primi energiju od vanjskog svjetlosnog izvora ponaša se kao laser, pojačavajući na takav način optički signal bez korištenja elektronike.

¹² Ibid., str. 5.

Pooleove kolege u Southamptonu, David Payne, P.J. Mears i Emmanuel Desurvire iz Bell Laboratories počeli su primjenjivati otkriće na praktična pojačala signala u optičkim vlaknima. 1991. godine istraživači iz Bell laboratorija pokazali su da potpuno optički sistemi mogu imati 100 puta veći kapacitet od sistema s elektronskim pojačalima.

U kratkom su roku europske i američke komunikacijske tvrtke postavile potpuno nove optičke kablove preko Atlantskog i Tihog oceana, te ih pustili u rad 1996. godine.¹³

Do velike upotrebe optičkih sustava dolazi počekom 21. stoljeća, kada se oni šire i Hrvatskom, te postaju nezaobilazni dio tehnologije kojom raspolaže T-com, naš najrasprostranjeniji pružatelj telekomunikacijskih usluga, ali i njegovi konkurenti.

2.3. Svjetlovodi

Podjelu svjetlovoda možemo napraviti s obzirom na različite aspekte. Svjetlovodi se međusobno razlikuju prema vrsti materijala od kojih je izrađena jezgra i omotač(plašt). Prema promjeni indeksa loma te broju modova koje koriste, svjetlovodi se dijele na jednomodne i višemodne koji mogu biti sa stepeničastim ili gradijentnim indeksom loma. Također, postoji i podjela prema optičkom prozoru koju koriste svjetlovodi s obzirom na gušenje i valnu duljinu koju koriste za prijenos.¹⁴

2.3.1. Podjela prema modu rada i indeksu loma

Budući da svjetlovodi koriste refleksiju za prijenos svjetlosti, prilikom refleksije zrake i vraćanja natrag kroz centar svjetlovoda javljaju se polja različitih energija koja se mogu opisati diskretnim skupom elektromagnetskih valova. Ta diskretna polja predstavljaju modove rada.¹⁵ Pod pojmom mod podrazumijeva se jedan prijenosni kanal kojim se širi zraka svjetlosti unutar svjetlovodne niti, npr. za ilustraciju možemo si zamisliti da mod kod svjetlovodne niti ima identičnu funkciju kao jedna bakrena žica unutar višežičnog bakrenog kabela.¹⁶

Broj modova rada optičkog vlakna ovisi o numeričkom otvoru, valnoj dužini na kojoj rade i promjeru jezgre svjetlovoda. Njihov odnos daje sljedeća relacija:

¹³ Ibidem

¹⁴ Ibid., str. 9.

¹⁵ Ibid., str. 10.

¹⁶ Carnet, str. 6.

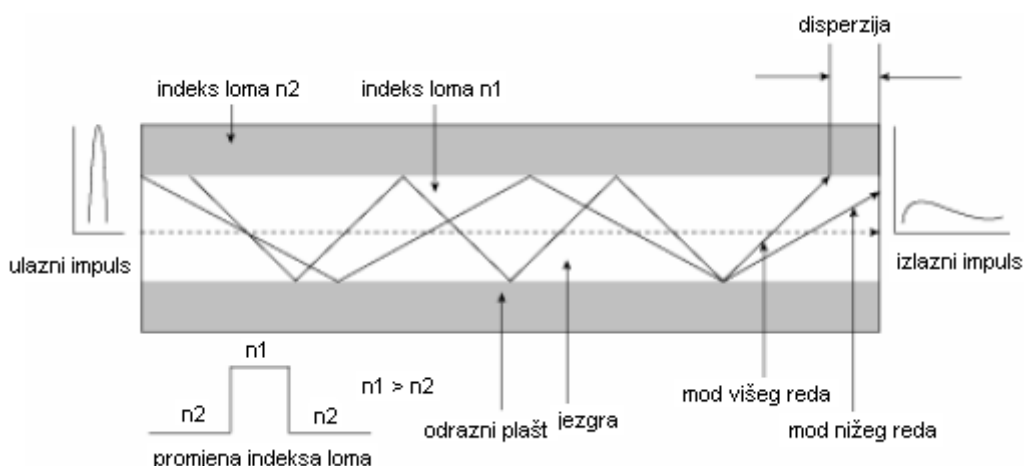
$$V = (2\pi \cdot NA \cdot a) / \lambda \quad (2)$$

gdje je NA – numerički otvor, a – promjer jezgre i λ – valna duljina zrake. Broj V naziva se normalizirani frekvencijski parametar. Odnosno, ta formula može se zapisati i drugačije: $V = 2,405(1 + 2/\alpha)^{1/2}$ gdje je α – profil indeksa loma. S obzirom na α koji može biti beskonačan – stepeničasti indeks loma ili 2 – gradijentni indeks loma, V može biti veći od 2,045 pa govorimo o višemodnom svjetlovodu ili manji od 2,045 pa govorimo o jednomodnom svjetlovodu.¹⁷

Pojmovi „stepeničasti i gradijentni indeks loma“ odnose se na to kako se mijenja indeks loma svjetlosti od centra jezgre svjetlovoda do omotača(plašta).¹⁸ Obzirom na geometrijske karakteristike svjetlovodnih niti, odnosno na način širenja svjetla unutar jezgre, možemo ih podijeliti u tri osnovne skupine:

- višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma,
- višemodni svjetlovod sa gradijentnim indeksom loma,
- jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma.¹⁹

Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma (MMF – multimode fiber)



Slika 8. Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 10)

¹⁷ J. Marasović – Svjetlovodi, str. 10

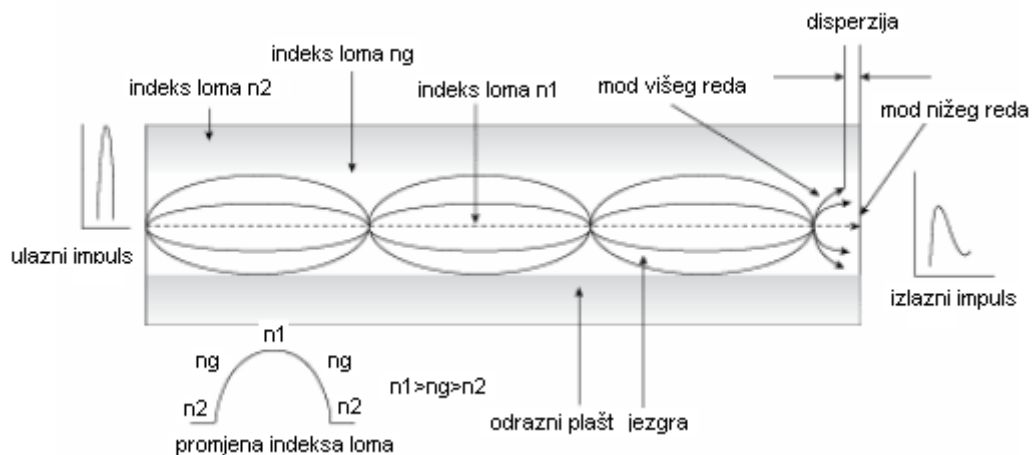
¹⁸ Ibidem

¹⁹ Carnet, str. 6

Svjetlovod je karakteriziran promjerom jezgre koja je usporediva s promjerom omotača te je promjer jezgre puno veći od valne duljine zrake koju prenosi svjetlovod. Također imamo diskontinuitet (stepenicu) u prijelazu indeksa loma na granici jezgra – omotač. Posljedica toga je što ulaskom zrake u svjetlovod, svjetlost se rasipa u više zraka, tj. modova koje propagiraju s jednog kraja kabela na drugi. Najniži modovi putuju uzduž osi optičkog kabela. Viši modovi vide se kao zrake koje se reflektiraju pri čemu porastom moda rada raste i razmak između točaka u kojima se dogodila refleksija. Na slici 8 je prikazan i ulazni i izlazni impuls. Vidimo da je izlazni signal različit u odnosu na ulazni. Izlazni signal je prigušen (atenuiran) te je prigušen, odnosno dogodilo se raspršenje. Razlog prigušenju je u tome što je polje na granici gdje se događa refleksija eksponencijalno opadajuće, te zrake imaju tendenciju prolaska u plašt prilikom refleksije. Pri tome se disipira toplina i onda snaga zrake opada pa je izlazni signal atenuiran. Razlog u kromatskom rasipanju impulsa leži u tome da svi modovi ne prolaze isti put prilikom refleksije. Najniži mod prolazi najkraći put, a najviši najduži put. To ima za posljedicu da sve zrake ne stignu u isto vrijeme na kraj svjetlovoda pa kada se spoje u jednu dobijemo vremensku disperziju. Svjetlovodni kabeli koji rade u višem modu i imaju stepeničasti indeks loma karakterizira veće gušenje (ovisi o vrsti optičkog prozora koji koriste) i vremenska disperzija pa se koriste za povezivanje do 5 km. Može biti napravljen od stakla, plastične mase ili PSC (eng. plastic-clad silica) – plastična masa pojačana s silicijem. Jezgra svjetlovoda je dimenzija je 50/125 μm ili 62,5/125 μm pri čemu jezgra promjera 50 μm može propagirati samo 300 modova dok jezgra promjera 62,5 μm propagira i do 1100 modova. Svjetlovod od 50 μm sa optičkim prozorom, tj. valnom duljinom zrake od 850 nm podržava brzinu prijenosa do 1 Gbps na udaljenosti do 1 km, a 62,5 μm samo 275 m. Nadalje MMF od 50 μm podržava 10 Gbps do 300 m nasuprot 62,5 μm koji podržava istu brzinu samo na 33 m. MMF svjetlovode karakterizira još i niska cijena.²⁰

²⁰ J.Marasović, str. 11.

Višemodni svjetlovod sa gradijntnim indeksom loma



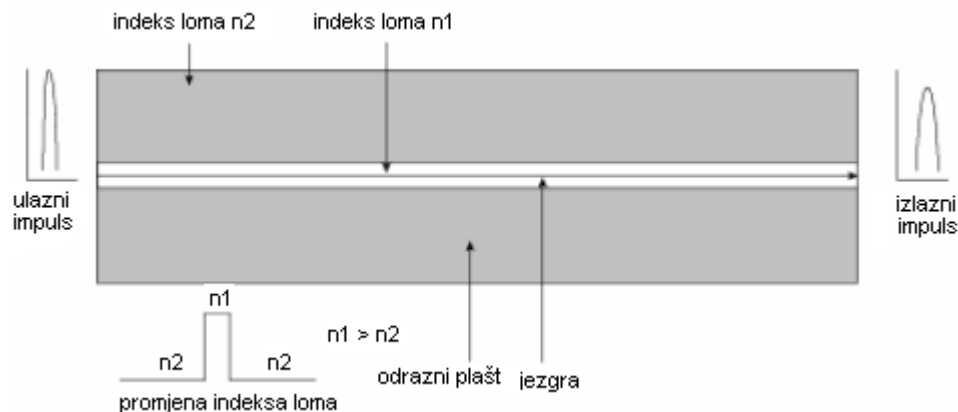
Slika 9. Višemodni svjetlovod sa gradijntnim indeksom loma

Izvor (J. Marasović – Svjetlo vodi, str. 12)

Ovaj tip svjetlovoda ima indeks loma koji se mijenja po paraboli ako idemo od centra jezgre prema njenom kraju, tj. prema plaštu. Viši modovi kod ovog svjetlovoda su ograničeni, pa je ograničeno i prigušenje. Modovi se mijenjaju kako se mijenja gradijent indeksa loma. Vremenska disperzija također postoji, ali kako su viši modovi ograničeni tako su gušenje i disperzija ograničeni. Prema svom iznosu padaju između prva dva svjetlovoda. Izlazni impuls je prigušen i vremenski razvučen, ali ne kao kod stepeničastog indeksa loma višemodnog svjetlovoda. Promjer jezgre može biti 50, 62,5 i 85 μm uz plašt od 125 μm . Najčešće se koristi i najrašireniji je 62,5/125 μm . Ovaj tip svjetlovoda se pretežno izrađuje od stakla. Po cijeni je negdje između MMF-a i SMF-a.²¹

²¹ Ibid., str. 13.

Jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma (SMF – single mode fiber)



Slika 10. Jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 11)

Karakteristika SMF svjetlovoda je da ima jezgru promjera puno manjeg nego što je omotač te je valna duljina zrake usporediva s promjerom jezgre. Zbog tako malog promjera jezgre, ulaskom zrake u svjetlovod ne dolazi do razdvajanja zraka. Svjetlost se propagira s jednog kraja svjetlovoda na drugi samo putem jedne zrake koja se giba centralnom osi. Kažemo da svjetlovod radi u najnižem modu. Zbog toga se i zove jednomodni svjetlovod. Viši modovi se ne pojavljuju pa ova vrsta svjetlovoda nema gubitaka zbog zagrijavanja i nema rasipanja u vremenu zbog različitog prolaska puta zrake. Međutim, za SMF svjetlovođe karakterističan je pojam „cut off wavelength“ – kritična valna dužina. Kritična valna dužina je najmanja valna dužina koja se generira prilikom propagacije u osnovnom modu. Na toj kritičnoj valnoj duljini javlja se drugi mod rada koji se propagira kroz plašt i uzrokuje gubitke. Kako se valna duljina rada svjetlovoda povećava u odnosu na kritičnu, počinju se javljati gubici osnovnog moda i sve se više energije prenosi kroz plašt. Posljedica tome je malo prigušenje izlaznog impulsa i vremensko rasipanje. Zbog malog rasipanja impulsa u vremenskoj domeni, u frekvencijskoj domeni imamo veću širinu pojasa.²²

SMF svjetlovodi imaju jezgru promjera od 8 do 10 μm i promjer plašta 125 μm . Izrađuju se samo od silicijskog stakla jer plastika ne dolazi u obzir zbog malog promjera jezgre. Pri izradi se koristi vanjska depozicija napačavanja (OVD – outside vapor deposition).

²² Ibid., str. 12.

SMF su skupi te se koriste za povezivanje globalnih mreža gdje je potrebna velika brzina i kapacitet prijenosa podataka. Također jednomodni svjetlovod može biti i sa gradijentnim indeksom loma ili dvostrukim indeksom loma, tj. ima još jedan plašt oko prvog plašta. Bez obzira na indeks loma, SMF svjetlo vodi imaju brzinu prijenosa podataka i do 50 puta veću od MMF svjetlovoda te su najkvalitetniji!²³

2.3.2. Dimenzije svjetlovodnih vlakana

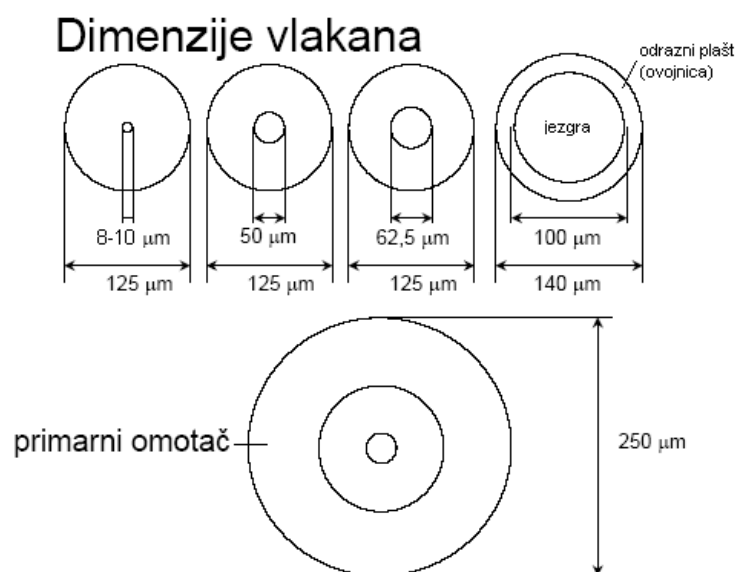
Gledajući podatke o promjeru poprečnog presjeka, svjetlovodne niti imaju vrlo male dimenzije. Na slici 11 su prikazane najčešće. Kako bi se stekla predodžba o prikazanim veličinama, moguće ih je usporediti sa jednom vlasu ljudske kose koja ima promjer od oko 100 μm . Vrste svjetlovodnih niti definirane su s dvije bročane oznake od kojih prva daje podatak o promjeru jezgre, dok druga daje podatak o promjeru omotača. Oznake dimenzija kabela su:

- 9/125 μm ,
- 50/125 μm ,
- 62,5/125 μm ili
- 100/140 μm .

Osim promjera niti, vrlo važna dimenzija u specifikaciji kabela je i vanjski promjer plašta. Normirane vrijednosti su promjeri od 250 i 900 μm . Ova dimenzija je važna jer je oprema za zaključivanje svjetlovodnih niti prilagođena ovoj veličini.²⁴

²³ Ibidem

²⁴ Carnet, str. 7.



Slika 11. Dimenzije svjetlovodnih niti

Izvor (izradio student)

2.3.3. Jezgra, plašt i zaštitni plašt

U procesu izrade, jezgra i plašt se izrađuju kao jedno tijelo s tim da postoje razlike u sastavu i indeksu loma. Proces izrade je kemijski kontroliran proces i jezgra se obično izrađuje s 0,5 – 2 % većim indeksom loma od omotača. Treći sloj je drugi omotač koji ne smije biti optički vodljiv. Zaštitni omotač obično se izrađuje od visoko-performirane plastike (PVC), višeslojnih polimera, i tvrdih neporoznih elastomera. Prilikom spajanja na konektore, odnosno terminale taj dio se uklanja. Promjer vanjskog zaštitnog plašta je tipično 250 μm i 900 μm . Zaštitni plašt se naziva još i primarnim i nanosi se ekstruzijom nakon izvlačenja svjetlovoda. Postoji još i sekundarni plašt koji služi za dodatnu mehaničku zaštitu optičkog vlakna te za zaštitu od vlage i raznih kemikalija. Sastoji se od relativno debelog sloja neke plastične mase, koji se nanosi na vlakno s primarnom zaštitom tijesno (tight) ili labavo (loos), s punjenjem posebnom masom ili bez punjenja.²⁵

Jezgra i plašt mogu biti izrađeni tako da su oboje od silicijskog, kvarcnog stakla (SiO_2), oboje od višekomponentnog stakla koji je smjesa SiO_2 s kovinskim, alkalnim i zemnoalkalnim oksidima, onda jezgra može biti napravljena od kvarcnog stakla, a odrazni plašt od PSC – plastična masa ojačana silicijem.

²⁵ J. Marasović, str. 13.

Također oboje mogu biti izrađeni od plastičnih masa – polimera. O materijalima od kojih su izrađeni plašt i jezgra ovisi koliko će biti raspršenje koje ovisi o plaštu i absorpcija koja ovisi o čistoći jezgre i utječe na atenuaciju jer se prilikom putovanja fotoni svjetlosti sudaraju sa molekulama nečistoća.²⁶



Slika 12. Silicijev dioksid – kvarc

Izvor (<http://hr.wikipedia.org/wiki/Kvarc>)

Najrašireniji svjetlo vodi su s jezgrom od stakla. Odlikuje ga mala atenuacija, ultra čisti i prozirni silicijski dioksid SiO_2 ili lijevani kvarc. Ponekad se u kemijskom procesu dodaje bor i fluor da se smanji stupanj lomljenja zrake, ili germanij, titan ili fosfor da se poveća stupanj refrakcije. Naravno da se njihovim dodavanjem povećava atenuacija, absorpcija ili raspršenje. Ovi svjetlo vodi imaju višu cijenu.

Svjetlo vodi od plastičnih masa imaju najveću atenuaciju i dosta su većih dimenzija. Budući da su jeftiniji, obično se koriste u industrijskim postrojenjima, ali imaju negativno svojstvo da su zapaljivi pa se provlače kroz temperaturno izolirane cijevi. Tipičnih dimenzija su od 480/500, 735/750, i 980/1000 μm . Jezgra obično ima materijal „PMMA – polymethylmethacrylate“ – poli – metil – meta – akril, dok plašt ima fluoropolimer.

Zadnji materijal je PSC koji je smjesa plastike i silicija, tj. može se reći da je to poboljšani svjetlo vodi od plastične mase. Po svojstvima koji karakteriziraju svjetlo vodi, spada između prve dvije skupine. Obično je jezgra staklena, a plašt od polimera.

²⁶ Ibid., str. 14.

Budući da je plašt od polimera, stvaraju se problemi oko spajanja na konektore, nije moguće varenje na klasičan način kako se inače spajaju stakleni svjetlovodi i nije topiv u organskim otapalima.²⁷

Osim parametara koji određuju prijenosne karakteristike svjetlovodnih niti, vrlo važne su i njihove mehaničke značajke. Svjetlovodna nit izdržava silu vlakna dvostruko veću od čelične niti iste debljine. Glavni razlog slabosti svjetlovodnih niti su pukotine na površini koje se pod povećanim opterećenjem šire te u krajnjem slučaju mogu dovesti do puknuća niti. Svjetlovodne niti imaju ograničenja u savijanju te se definira najmanji dopušteni polumjer savijanja. Uz opasnost od mehaničkog oštećenja, savijanjem se smanjuje izdržljivost niti na vlačna naprezanja i povećava efekt slabljenja signala.²⁸

²⁷ ibidem

²⁸ Carnet, str. 8.

3. PRIMJENE SVJETLOVODNOG SUSTAVA PRIJENOSA U POMORSTVU I MEDICINI

Paradigma optičke transmisijske mreže promijenila se u proteklom razdoblju iz načina prijenosa podataka upravljanim protokolima viših slojeva u inteligentan i upravljiv pružatelj usluga korisniku. Sirovom kapacitetu kao temeljnoj ideji optičkog prijenosa dodani su upravljivi optički prospojnici i upravljački mehanizmi koji raspoložu podacima dovoljnim za samostalno prospajanje novih komunikacijskih putova, dinamičko usmjeravanje prometa osiguranjem tražene kvalitete usluge (QoS), te preusmjeravanje u slučaju zagušenja i kvarova. Cilj je osigurati dinamičko, brzo i pouzdano posluživanje prometa velikog kapaciteta i brzo promjenjivih obilježja, kao i različitih zahtjeva kvalitete usluge. Optička mreža je tako postala temeljna okosnica vizije višeuslužne mreže sposobne zadovoljiti sve oblike korisničkih zahtjeva. Efikasnost mreže temeljena na dinamičkom pristupu, uspostavi i prekidu komunikacije, te dijeljenju i rekonfigurabilnosti resursa, može se ostvariti uvođenjem komutacije u optičku transmisijsku mrežu. Stanje se počelo mijenjati uvođenjem optičkih prospojnika koji su omogućili fleksibilnije mrežne arhitekture. Automatizaciju do tada pasivne i ručno upravljane mreže u ovom slučaju treba promatrati kao uvođenje inteligencije na fotonički sloj koja bi trebala smanjiti (ili ukloniti) potrebu za ljudskom intervencijom. Pritom se pojavljuju različite razine automatizacije koje se kreću od postavljanja optičkih prospojnika koji su ljudski konfigurirani (izravno ili preko viših slojeva) do automatske konfiguracije automatskim proračunom optičkih putova, što se može povezati sa signaliziranjem s viših slojeva koje daje informaciju o zahtjevima za resursima ovisno o ponuđenoj usluzi.²⁹

Zbog navedenih karakteristika optika i optičke mreže pronašle su svoju primjenu prije svega u stvaranju telekomunikacijskih mreža potrebnih za prijenos podataka velikih kapaciteta, kao što je HDTV, veoma brzi internet prijenos itd., ali i u raznim drugim granama, kao što je primjerice zrakoplovstvo, brodogradnja, građevinarstvo itd.

²⁹ Lacković M., Modeliranje i analiza performansi optičkih transmisijskih mreža s komutacijom paketa, Magistarski rad, FER Zagreb, 2004., str. 8.

3.1. Svjetlovodni sustavi prijenosa u brodarstvu

Svjetlovodni sustavi prijenosa koji se koriste na brodovima sastoje se od izvora signala, prijenosnog medija te detektora. Izvori signala su svjetleće diode (LED-Light Emitting Diode) ili poluvodički laseri (LASER-Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), a njihova je namjena pretvorba električnog signala u optički signal. Za komunikacije na brodovima najčešće se pojavljuju u upotrebi uski pojasevi valnih duljina oko 850, 1300 i 1550 nm.

Prijenosni medij je svjetlovodna nit najčešće izrađena od silicijevog dioksida SiO₂ (tzv. kvarcno staklo). U novije vrijeme niti se izrađuju i od plastike POF-Polymer Optical Fiber) te u specijalnim izvedbama kao niti sa šupljinama (PCF-Photonic Crystal Fiber, u obliku Holey fiber). Kao detektori svjetlosnog signala koriste se lavinske fotodiode (APD - Avalanche Photo Diode) i PIN fotodiode. Apsorpcija fotona u fotiodiodi s pogodnim energetske procjepom uzrokuje prijelaz elektrona iz valentnog u vodljivi pojas, te tako generirani elektroni čine izlaznu struju fotiodiode. Svjetlovodna nit konstruirana je kao cijev od kompaktnog materijala s jezgrom i plaštem, koji su napravljeni od materijala s različitim indeksom loma (n). Indeks loma u nekom materijalu je omjer brzine svjetla u vakuumu ($c = 299.792.458 \text{ m/s}$) i brzine svjetla u tom materijalu (v_m).³⁰

Primjena optike i svjetlovoda u brodarstvu ponajviše se pojavljuje kod povezivanja sustava satelitskih i terestričkih komunikacija, radara, dubinomjera, navigacijskih uređaja, sustava za nadzor stroja i tereta u integriranu brodsku mrežu podataka. Na modernijim brodovima novijeg datuma proizvodnje, posebice na putničkim brodovima takvi se sustavi ugrađuju i za potrebe kabelaške televizije. Njihova je izvedba napravljena pomoću svjetlovodnih kabela kao zasebna svjetlovodna mreža.

Udaljenosti prijenosa signala na brodu su do nekoliko stotina metara za što nije potrebna ugradnja i upotreba jednomodnih niti i laserskih predajnika. Najčešće se upotrebljavaju plastične, a u manjoj mjeri i staklene višemodne niti, koje su i manje zahtjevne prilikom odabira konektora, u kombinaciji s LED-om kao izvorom signala.³¹

Najvažnije prednosti svjetlovoda, koje opravdavaju njihovu upotrebu na brodovima i drugim zahtjevnim objektima kao što su zrakoplovi, naftne bušotine, elektrane su:

³⁰ I. Jurdana, „Primjena svjetlovodne tehnologije na brodovima“, Pomorstvo, god. 22, br. 2 (2008), str. 273

³¹ Ibid., str. 275

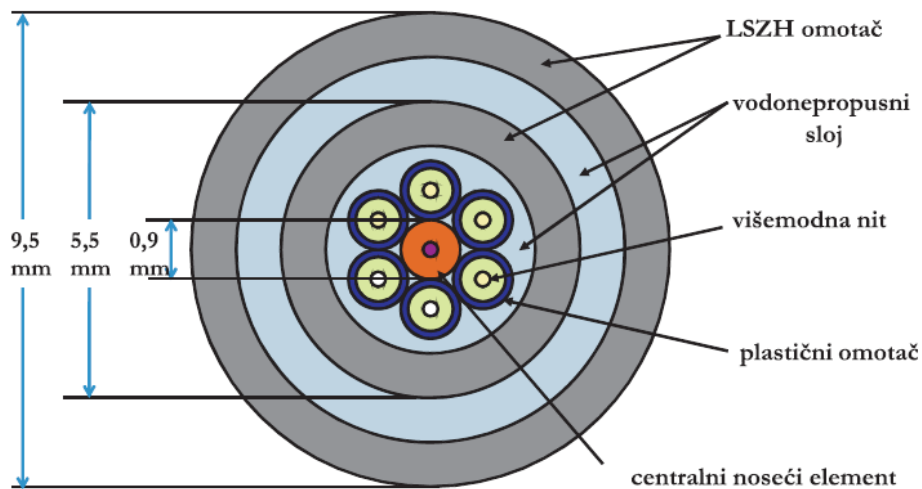
- malo prigušenje i veliki kapacitet prijenosa podataka,
- male dimenzije i težina,
- mali trošak materijala te lakše i jeftinije polaganje kabela po brodu,
- smanjenje zapremine i težine kabela,
- nemetalne izvedbe tako da nisu podložni utjecajima vanjskih elektromagnetskih polja,
- nemogućnost pojave prenapona, iskrenja, kratkog spoja i požara na nitima,
- proširivanje na veće prijenosne brzine samo zamjenom prijenosnih uređaja,
- mjesto i vrstu oštećenja i kvarova moguće je utvrditi mjerenjem reflektometrom pristupom samo s jednog kraja,
- mogućnost integracije brodskih sustava i podsustava u jedinstvenu lokalnu brodsku mrežu,
- vijek trajanja svjetlovodne mreže podudara se s vijekom trajanja broda,
- dobra pouzdanost svjetlovoda smanjuje i troškove održavanja.³²

Upotreba svjetlovoda i optičke tehnologije kod brodarstva pojavljuje se ponajprije kod prijenosa informacija u sustavu nadzora, alarmiranja i daljinskog upravljanja brodskim motorom. Preko svjetlovoda prenose se informacije iz procesora glavnih i pomoćnih motora u glavni procesor, koji se nalazi na zapovjedničkom mostu. Pri tome procesu zadaća procesora jest nadzor, sakupljanje, kontrola i obrada mjernih podataka motora. Primjerice, mjerni instrumenti prikupljaju informacije o broju okretaja osovine. Ti se podaci očitavaju zupčanikom smještenim na osovini. Prilikom svakog prolaska zupca kraj induktivnog pretvornika odašilje se električni signal prema procesoru. Procesor broji i obrađuje impulse dobivene iz induktivnog osjetnika. Procesor je električnim vodom vezan na optički linijski modul, koji električni signal iz procesora pretvara u optički. Optički signal se svjetlovodnim kabelom prenosi do glavnog procesora.

³² Ibidem

Glavni procesor, time sakuplja podatke sa svih ostalih procesora te ih potom analizira tako da ih pregledava, uspoređuje, a u slučaju prekoračenja određenih vrijednosti pokreće sustave alarmiranja i upozoravanja. Sve te informacije i alarmi prikazuju se na pultu zapovjedničkog mosta. Svi optički moduli povezani su u konfiguraciju prstena kako bi se osigurao prienosni put u slučaju prekida kabela.

Temperatura je još jedna neelektrična veličina koju nadzire procesor glavnog motora. Temperatura motora pretvara se u procesoru u električni napon. Za određenu temperaturu motora procesor će primiti odgovarajući iznos napona na digitalnom ulazu. Taj podatak procesor obrađuje i predaje optičkom linijskom modulu, gdje se pretvara u optički signal i prenosi do glavnog procesora. Svjetlovod, koji se upotrebljava za navedene primjene, većinom ima višemodne niti, a kao izvor signala koristi se LED. Dodatni zahtjevi koji se postavljaju na kabele za instalaciju na brodovima su i vodonepropusnost, kemijska stabilnost i stabilnost na vibracije, velika prekidna čvrstoća, ne smije podržavati gorenje te pri zapaljenju ne smije ispuštati otrovne plinove i dim.³³



Slika 13. Prikaz svjetlovodnog kabela za instalaciju na brodovima

Izvor (I. Jurdana, „Primjena svjetlovodne tehnologije na brodovima“, Pomorstvo, god. 22, br. 2 (2008), str. 277)

³³ Ibid., str. 276.

U slučaju brodskih sustava upravljanja i kontrole, uvjeti sigurnosti i pouzdanosti predstavljaju temelj funkcionalnosti sustava i osnovni uvjet za primjenu određenog sustava ili metode. Najvažniji uvjeti koji sustavi upravljanja i kontrole brodskog pogona moraju ispuniti su pouzdanost i sigurnost. To se postiže ugradnjom redundantnog svjetlovodnog sustava prijenosa podataka, te ukoliko dođe do kvara na jednom sustavu rezervni sustav preuzima sve funkcije uz dojavu kvara operatoru. Izvedba takvog sustava jest pri upravljanju sinkronim motorom s dvostrukim kavezom Azipod (Azimuth Podded Drive) kao pogonskim strojem na putničkim brodovima.³⁴

Neki od najvažnijih podataka, koji se prikupljaju i svjetlovodom prenose do upravljačkog dijela su:

- broj okretaja motora i kut položaja rotora motora
- temperatura namotaja motora
- temperatura ležaja i ulja za podmazivanje ležaja,
- nivo tekućina (ulja i vode).

Snažna magnetska polja, koja se javljaju u okolini motora, utjecala bi na kvalitetu signala ukoliko bi se koristili klasični električni vodiči. Zato se koriste svjetlovodi, a da se smanji broj vodova u ograničenom prostoru koriste se multiplekseri i demultiplekseri signala.

Druga važna primjena svjetlovodnih sustava prijenosa u brodarstvu jest za ostvarivanje komunikacijskih veza brodova s obalnim terminalima, primjerice za komunikaciju LNG broda i LNG obalnog terminala. Pri takvoj komunikaciji nadzor ukrcaja, priključak interne i vanjske telefonske linije, telefon za slučaj opasnosti te priključak na internet mrežu obavlja se pomoću kableske svjetlovodne veze. Ovisno o tipu optičkih izvora moguće je povezivanje na udaljenostima i do desetak kilometara.

Kako su optički senzori izrazito malih dimenzija, te se odlikuju time što su lagani, osjetljivi na podražaje, imaju daleko veći dinamički opseg i rezoluciju od klasičnih, konvencionalnih senzora, njihova je primjena moguća i na samome brodu.

³⁴ Ibid., str. 277.

Optički senzori rade na principu moduliranja svjetlosti unutar niti kao odgovor na vanjsku električnu ili neelektričnu pobudu.³⁵

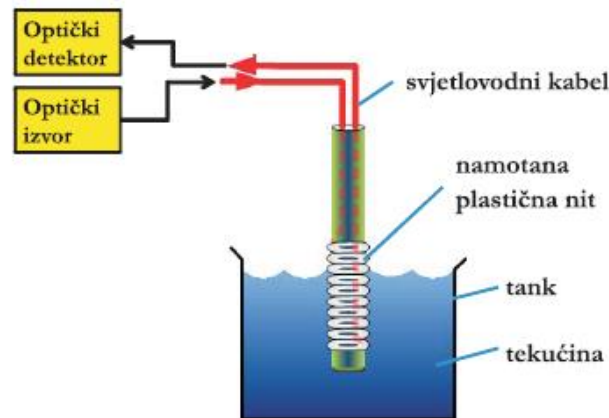
Razlikujemo dvije vrste senzora: ekstrinzične i intrinzične. Kod ekstrinzičnih senzora svjetlovodna nit služi za prijenos signala do osjetilnog elementa gdje se signal modulira pod nekim vanjskim utjecajem kojeg želimo mjeriti. Signal se dalje vodi svjetlovodnom niti do detektora koji izdvaja željenu informaciju iz moduliranog signala. Informacija u osjetilnom elementu može biti modulirana intenzitetom, fazom, frekvencijom, polarizacijom, spektralnim vrijednostima ili nekim drugim karakteristikama vanjske pobude. Takve senzore koristimo za mjerenje temperature, tlaka, ubrzanja, vibracija, kutnih i rotacijskih položaja, oštećenja i deformacija materijala, protoka, viskoziteta i nivoa tekućina te kod kemijskih mjerenja. Pri instalaciji ovakvih diskretnih senzora njihova pozicija mora biti prethodno točno definirana a moguće je povezati i više senzora u nizu u jedan cjelovit mjerni sustav. Kod intrinzičnih senzora za mjerenje vanjskog utjecaja koriste se fizikalna svojstva same svjetlovodne niti. Svjetlosni signal, koji prolazi kroz nit, modulira se neposredno nekim vanjskim utjecajem ili deformacijom same niti i tako izazvane promjene njenih transmisijskih parametara. Posebna podgrupa intrinzičnih senzora su tzv. distribuirani senzori. Njihovo važno svojstvo je to što se pomoću njih može snimiti prostorna raspodjela mjerne veličine koju želimo pratiti. Dva najraširenija područja primjene tih senzora su distribuirano mjerenje temperature i deformacija materijala.³⁶

Najčešće korišteni svjetlovodni senzori na brodovima su senzori za mjerenje nivoa tekućine pomoću plastične svjetlovodne niti omotane oko cilindrične cijevi i vertikalno uronjene u tank s tekućinom. Takav senzor konstruiran je tako da se u središtu svakog punog namota oko cijevi, postavlja ispolirana nit te se uklanja dio njezine jezgre. Kako je indeks loma zraka i tekućine različit, on stvara signal koji je proporcionalan poziciji uronjene niti, odnosno nivou tekućine u tanku. Sustav za takva mjerenja se sastoji od svjetlovodnog kabela priključenog između optičkog izvora i detektora signala, a u najčešćoj konfiguraciji i predajnik i prijemnik nalaze se na istoj strani.

³⁵ Ibidem

³⁶ Ibid., str. 279.

Na prijemnik se priključuje mjerni instrument (optički reflektometar, interferometar, mjerac snage ili optički spektralni analizator), te se na njemu očitava mjerena veličina. Primjena takvog senzora vidljiva je na shematskom prikazu na sljedećoj slici:



Slika 14. Shematski prikaz svjetlovodnog senzora za razinu vode na brodu

Izvor((I. Jurdana, „Primjena svjetlovodne tehnologije na brodovima“, Pomorstvo, god. 22, br. 2 (2008), str. 280))

Distribuirani optički senzori primjenjuju se za mjerenje naprezanja i otkrivanje oštećenja na takmičarskim jedrilicama. Opisana metoda primijenila se je na jedrilici dužine 24 m i širine 4 m. Svjetlovodna nit ugrađena je poprečno u trupu jedrilice i prolazi uz spoj nepropusne pregrade i trupa. Mjeri se naprezanje sastavljeno od dvije komponente: vučne sile od približno 15 t od svakog snasta i sile pritiska jarbola od 30 t. Naprezanja uzrokuju frekvencijski pomak Brillouinovog raspršenja svjetlosnog signala u ugrađenoj niti. Raspodjela naprezanja na trupu broda može se detektirati očitavanjem promjena u Brillouinovom spektru. Te promjene ovisne su o profilu raspodjele naprezanja i iznosu naprezanja. Za ovu primjenu koristi se specijalni reflektometar BOTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer).³⁷

3.2. Primjena svjetlovoda u medicini

Svjetlovodi i optički sustavi svoju su primjenu našli u medicini u obliku lasera kojima se danas obavlja sve veći broj operativnih zahvata kao i dijagnostičkih ispitivanja. Laser je jedan od temeljnih izuma koji obilježava doba moderne tehnologije.

³⁷ Ibid., str. 280.

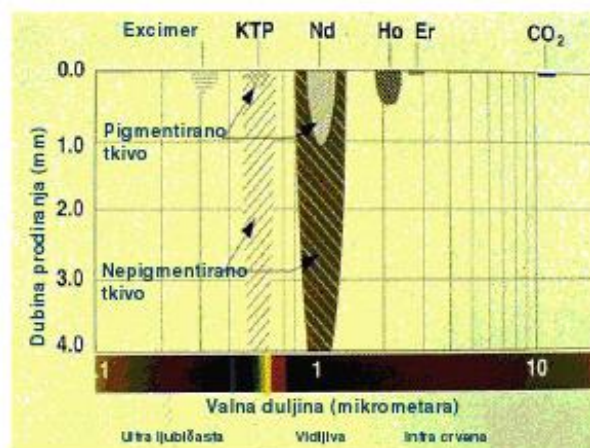
Primjena lasera je velika, od metalurgije (za rezanje čelika), komunikacijskih sustava (svjetlovodna vlakna), do spektroskopije i holografije. Ipak, laseri se najviše rabe u biomedicini i u vojne svrhe.

Zbog raznolikosti interakcije laserskog zračenja i bioloških struktura, primjena lasera u biomedicini vrlo je široka i uključuje brojne dijagnostičke i terapijske postupke. U dijagnostici se primjenjuju samo laseri niskih energija, jer se njihovo zračenje reflektira, apsorbira ili ponovno emitira u obliku fluorescencija bez promjene u biološkim tkivima. Primjenjuju se u biologiji i medicini, u mikrodijagnostici na razini molekula i atoma, u makrodijagnostici na staničnoj i tkivnoj razini. Laserska spektroskopija i spektrofluorometrija dovedena je gotovo do savršenstva, tako da je moguća detekcija bioloških uzoraka do pojedinačnih atoma. Nadalje, zbog mogućnosti fokusiranja laserske zrake, moguća je mikrospektralna analiza biološke tvari. Ako se visokoenergetsko zračenje fokusira na biološko tkivo, moguće je vaporizirati 1 μ m uzorka i u njemu odrediti molekularni ili atomski sastav. Laserska holografška mikroskopija daje trodimenzionalni prikaz površine 1 μ m i dubine 40 μ m. S obzirom na to da je laser izvor monokromatskog, koherentnog zračenja, omogućuje mjerenje položaja, brzine i oblika raznih bioloških struktura. Ta se činjenica već niz godina koristi za razlučivanje vrsta stanica u protočnom citometru.

Na istom se načelu temelji i rad laserskog Dopplerova mjerča protoka kojim je moguće mjeriti brzinu protoka u kapilarama mrežnice. Klinička dijagnostička primjena lasera veoma je značajna u otkrivanju ranih stadija zloćudnih fotosenzibilizirajućih agensa, osobito hematoporfirinskog derivata-HpD. Nakon intravenske primjene, te se tvari nakupljaju i zadržavaju u tumorskom tkivu. Izlaganjem ultravioletnom zračenju (valne duljine 406,7 nm) tumorsko tkivo postaje vidljivo jer fluorescira crvenom bojom i na taj se način razlikuje od okolnoga zdravog tkiva. Tim se postupkom mogu otkriti vrlo mali tumori, koji bi se uobičajenim endoskopskim pregledima zasigurno propustili dijagnosticirati (carcinoma in situ).

Iako se sličan učinak može postići i inkohherentnim svjetlom, laser ima prednost jer se pri prijenosu svjetlovodom endoskopskim putem ne gubi intenzitet svjetla, pa se jednim kratkim impulsom postiže dovoljna doza zračenja čime se izbjegava učinak svjetlosti na sekundarne kemijske reakcije tumora bronha i mokraćnog mjehura uz sistemsku

primjenu fotosenzibilizirajućih agensa, osobito hematoporfirinskog derivata-HpD.³⁸ Laseri se koriste i u terapijske svrhe, najčešće kao sredstva za obavljanje operativnih zahvata. Terapijsku primjenu određuje količina energije koja se apsorbira u biološkom tkivu. Ako se koristi toplinski učinak laserskog zračenja, govori se o toplinskim (termalnim) laserima, za razliku od netoplinskih (netermalnih) lasera, čija mala količina energije izaziva fotokemijske promjene pa se koristi u fotodinamičkoj terapiji tumora i biostimulaciji. Pri upotrebi lasera treba voditi računa i o optičkim svojstvima koje posjeduju tkiva. Djelovanje laserskoga zračenja na tkiva potpuno je drugačije od djelovanja na uniformno građen materijal, kao što je metal. Na primjer, visokoenergetski pulsni rubinski laser s gustoćom snage 198 W/cm² buši bakreni lim, dok na kožnoj bradavici izaziva samo blagi površinski učinak. Heterogena građa tkiva uvjetuje i različita optička svojstva tkiva. Prodor i apsorpcija energije ovise o vrsti tkiva i o valnoj duljini laserskog zračenja. Poznato je da patološke promjene u tkivu mijenjaju dubinu prodora zračenja, pa tako zračenje najslabije prodire u zdravu jetru, dublje u cirotičnu, a najdublje u tumorsko tkivo jetre. Poznavanje svih navedenih činjenica omogućuje najsvrsishodnije korištenje pojedinih vrsta lasera.³⁹



Slika 15. Prodiranje pojedinih vrsta laserskih zraka u tkivo

Izvor(Bedalov G., Usporedba učinaka transuretralne resekcije prostate i endoskopske laserske ablacije prostate na postoperativni imunološki status bolesnika s adenomom prostate, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 2003., str. 22.)

³⁸ (Bedalov G., Usporedba učinaka transuretralne resekcije prostate i endoskopske laserske ablacije prostate na postoperativni imunološki status bolesnika s adenomom prostate, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 2003., str. 22.)

³⁹ Ibidem

Pod utjecajem laserskoga zračenja u tkivu se javljaju fotokemijski, toplinski i ionizacijski učinci. Odavno je poznato da svjetlo djeluje na metaboličke procese živog organizma, sudjeluje u fotosintezi, proizvodnji vitamina D i sl. Metabolički učinci rezultat su djelovanja neštetnog zračenja niske energije. Ti se učinci danas najviše koriste u fotodinamičkoj dijagnostici i terapiji tumora, te u biostimulaciji cijeljenja rana i trofičkih ulcera.⁴⁰

⁴⁰ Ibid., str. 21.

4. KARAKTERISTIKE SVJETLOVODA

Sustavi temeljeni na svjetlovodima imaju mnoge prednosti u odnosu na sustave bazirane na bakrenom vodiču. Te prednosti su interferencija, prigušenje i širina pojasa. Osim toga, zbog malog presjeka jezgre javlja se stanoviti kapacitet svjetlovoda. Karakteristike svjetlovoda možemo podijeliti na nelinearne i linearne. U linearne spadaju: prigušenje (atenuacija), kromatska disperzija (CD), polarizacijski mod disperzije (PMD), optički odnos signal – šum. Nelinearne pojave na svjetlovodu su sljedeće: vlastita modulacija faze (SPM – self – phase modulation), križna modulacija faze (XPM – cross – phase modulation), mješanje 4 vala (FWM – four – wave mixing), Ramanovo raspršenje (SRS – stimulated Raman scattering), Brillouinovo (SBS – stimulated Brillouin scattering) i Kerrov efekt.⁴¹

4.1. Interferencija

Svjetlovodi su neosjetljivi na elektromagnetsku interferenciju (EMI) i radio – frekvencijsku interferenciju (RFI). Utjecaj svjetlosne interferencije i interferencije zbog visokog napona je također eliminirana. Pogodni su na mjestima gdje se javljaju smetnje zbog naponskih udara i smetnje generirane zbog elektrostatskog pražnjenja. Zbog toga se koriste u industriji i u mrežama biomedicine.

4.2. Prigušenje

Optička snaga u svjetlovodu se transmisijom u svjetlovodnoj niti prigušuje eksponencijalno:

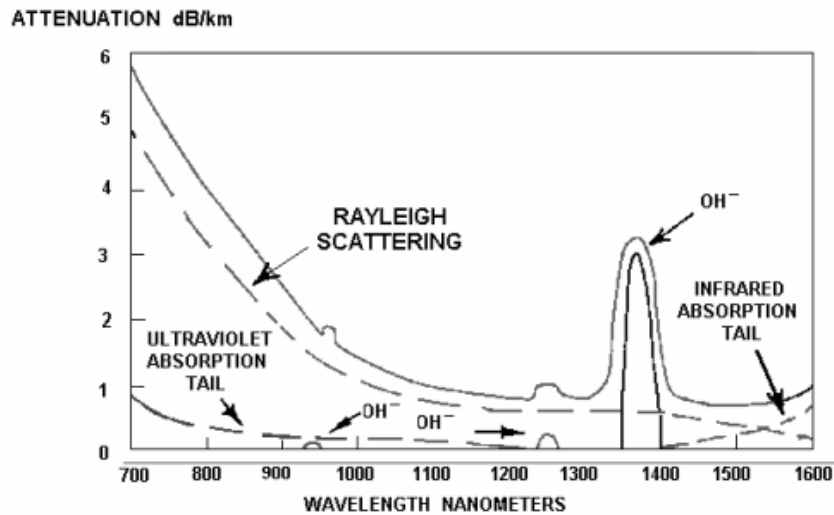
$$P(x): P_0 \exp(-\alpha x), (3)$$

gdje je α koeficijent prigušenja i izražava se u dB/km i pokazuje gubitke u dB po jednom kilometru.

Prigušenje u svjetlovodima nastaje zbog gubitaka, koji opet nastaju zbog raznih uzroka, a možemo ih podijeliti na vanjske i unutrašnje. Unutrašnji uzrok je postojanje inherentnih nečistoća koje onda uzrokuju apsorpciju svjetlosti u materijalu zbog interakcije fotona s molekularnim nečistoćama u staklu, premještanja elektrona, te prijelaza elektrona između energetske razina.

⁴¹ J. Marasović, str. 15.

Kada foton udari o nečistoću, on će se raspršiti ili apsorbirati. Vanjski utjecaji su posljedica savijanja svjetlovoda pa se mjenja put koji zrake prolaze, što je naročito izraženo kod višemodnog svjetlovoda.⁴²



Slika 16. Prigušenje u ovisnosti o valnoj dužini

Izvor(J. Marasović – Svjetlovodi, str. 16)

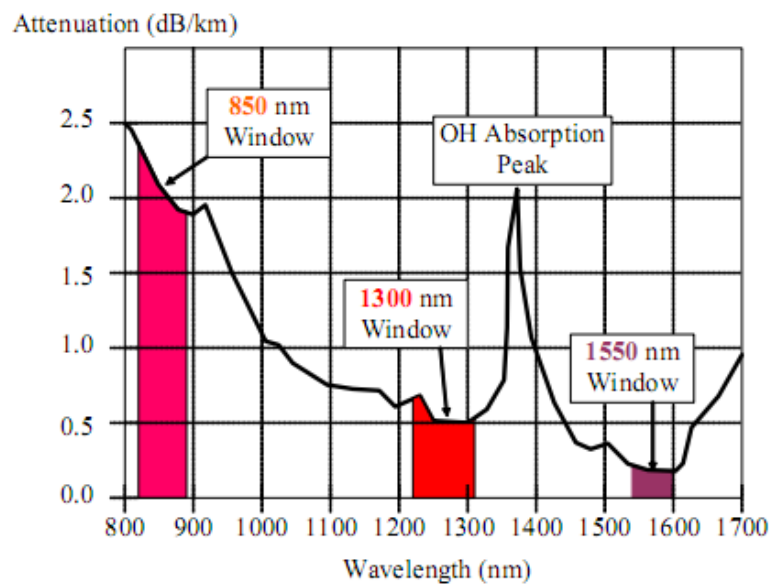
Na slici su prikazani svi faktori koji se zbrajaju i određuju ukupni faktor prigušenja. Gušenje kojem je uzrok raspršenje svjetlosti na nehomogenostima i nečistoćama u materijalu (scattering) koje postoje otprije ili nastaju za vrijeme proizvodnje svjetlovoda, kao pojava naziva se Rayleighovo raspršenje, a emitirana svjetlost Tyndallova svjetlost. To raspršenje proporcionalno je sa λ^{-4} . Faktor prigušenja najviše doprinosi koeficijent prigušenja zbog Rayleighovog raspršenja čak 96 %. Ono je posebno izraženo od 700 nm do 1000 nm s tim da prema većim valnim duljinama opada. Međutim, na većim valnim duljinama smo ograničeni sa infracrvenom svjetlošću, tj. imamo infracrvenu apsorpciju. Nadalje, ispod 800 nm počinje rasti utjecaj ultraljubičastog zračenja. Ekstremi koji su dobiveni na rezultanoj krivulji, posljedica su postojanja hidroksilnih molekula OH koje su posljedica vlage. Uzrokuju jako rezonantno gušenje, a ne mogu se u potpunosti izbjeći proizvodnim procesom. Osnovni mod im je na 2,73 μm , a viši harmonici su na 950 nm, 1250 nm, 1380 nm. Postojanje vlage kritično je na spojevima i konektorima te kod upotrebe svjetlovoda potrebno je paziti da ne dođe vlaga u optičaj s vlaknom, jer ako vlaga uđe, povećava se gušenje.

⁴² Ibidem

Na temelju slike 16. također se može zaključiti da valovi veće valne duljine imaju manje gušenje od kratkih valova. Sve ispod 800 nm postaje neupotrebljivo. Isto tako vidimo na slici najpovoljnije valne duljine na kojima je ukupno gušenje najmanje.

Zbog toga su konstruirana tri optička prozora koja se koriste u svjetlovodima:

- na oko 850 nm (I. prozor),
- na oko 1300nm (II. prozor),
- na oko 1550 nm, (III. prozor).(J. Marasović – Svjetlovodi, str. 16)



Slika 17. Optički prozori

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 17)

Minimum prigušenja za prvi prozor iznosi oko 2 dB/km, za drugi 0,5 dB/km, i za treći 0,2 dB/km. Danas su već proizvedena vlakna s prigušenjem, koje se bliži teoretskom, pa se danas pojavljuju nova optička vlakna koja mogu imati i više od 3 prozora jer je smanjeno prigušenje. U praksi je u početku najviše korišten I. prozor, iako to nije optimalno rješenje, ali je bilo uvjetovano početnim teškoćama u realizaciji izvora svjetlosti, a danas se koristi prvenstveno zbog jeftine realizacije izvora svjetlosti, iako je na I. prozoru najveće gušenje. Danas se koriste uglavnom II. i III. prozor.

Raspršenje svjetlosti zbog nepravilnosti u geometriji (npr. promjer jezgre) (Radiation) i raspršenje svjetlosti na zakrivljenjima (obično zanemarivo, ali pri malim polumjerima zakrivljenja naglo raste) (Microbends, Macrobends) također utječu na gušenje svjetlosti u svjetlovodu. Gušenju još doprinosi i raspršenje svjetlosti na spojevima pri nastavljanju svjetlovoda, odnosno njihovog priključka na izvor ili detektor svjetlosti. Pritom izravno utječu razlike u numeričkim otvorima i promjerima vlakana, udaljenosti vlakana te pomaku osi, bočnom i kutnom.

Prigušenje svjetlovoda ovisi u prvom redu o vrsti materijala. Najmanje prigušenje ima kvarcno staklo (0,5 – 2 dB/km), nešto lošije je silikatno staklo (5 – 10 dB/km), dok su plastične mase znatno lošije. Dalje prigušenje svjetlovoda ovisi o vrsti tih vlakana. Monomodna vlakna imaju najmanje prigušenje (0,3 – 1 dB/km), nešto su lošija multimodna vlakna sa gradijentnom promjenom indeksa loma (1 – 5 dB/km), a najlošija su multimodna vlakna sa skokovitom promjenom indeksa loma (5 – 10 dB/km). Na kraju, prigušenje ovisi i o valnoj dužini svjetlosti koja se koristi za prijenos.⁴³

4.3. Disperzija

Disperzija je pojava, da se impulsi svjetlosti pri prijenosu po svjetlovodu proširuju, pa na taj način ograničuju širinu propusnog opsega. Ukupna disperzija posljedica je dvije vrste disperzija, i to kromatske koja ne ovisi o λ , a može biti međumodna i polarizacijska.

1. Disperzija materijala je kromatska disperzija koja nastaje zato što indeks loma materijala zavisi od frekvencije (valne dužine), zbog čega pojedini elementarni pojasevi prenašanog spektra stižu na kraj linije s različitim vremenskim zakašnjenjem, posljedica čega je proširenje impulsa. Veličina te disperzije za pojedine vrste svjetlovoda je sljedeća:

- za svjetloводе za skokovitom promjenom indeksa loma (multimodne i monomodne): 2 – 5 ns/km
- za svjetloводе s kontinuiranom promjenom indeksa loma (multimodni i gradijentni): 0,1 – 2 ns/km.

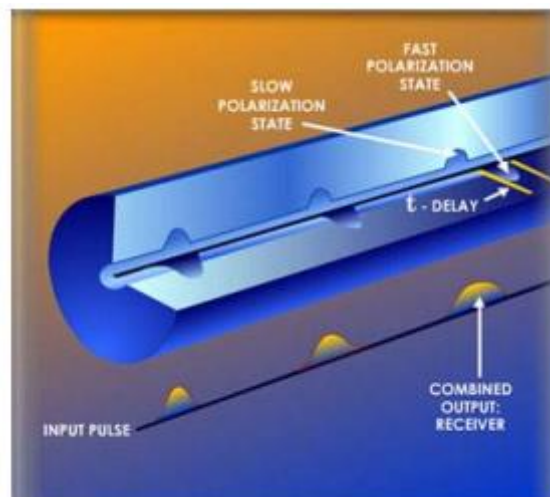
2. Multimodna ili intermodna disperzija (nekromatska) koja nastaje zato što različiti modovi imaju različite grupne fazne brzine i zato dolaze na kraj linije s različitim

⁴³ Ibid., str. 18.

vremenskim zakašnjenjem, posljedica čega je proširenje impulsa. Veličina te disperzije za pojedine vrste svjetlovoda je sljedeća:

- za multimodne svjetloводе sa skokovitom promjenom indeksa loma $< 20\text{ns/km}$
- za multimodne svjetloводе s kontinuiranom promjenom indeksa loma (gradijentne) $< 50\text{ps/km}$

3. Polarizacijska disperzija nekromatska koja nastaje zbog toga što jezgra svjetlovoda nije idealni valjak nego je malo eliptičan. To je posebno karakteristično za jednomodne svjetloводе čija se zraka širi središtem vlakna sa dva ortogonalna polarizacijska moda x i y. Zbog toga se javljaju promjene u indeksu loma za ta dva stanja polarizacije. To uzrokuje pomak u vremenu te dvije osi, odnosno javlja se diferencijalna grupna brzina (DGV) što uzrokuje proširenje impulsa. Obično se DGV izražava u ps. Polarizacijska disperzija (PDM) nije značajna kod niskog BER-a, ali postaje utjecajna kod visokog BER-a, iznad 5 Gbps.



Slika 18. Polarizacijska disperzija

Izvor (J. Marasović – Svjetlovodi, str. 19)

Zbog efekta polarizacijske disperzije obično se za rezervu uzima 0.5 dB snage više od planirane.⁴⁴

⁴⁴ Ibid., str. 19

4.4. Optički odnos signal – šum

Optički odnos signala i šuma također je bitan jer o njemu ovisi kvaliteta prijenosa signala. Izražava se u decibelima, a vezan je uz BER i faktor dobrote Q. Faktor dobrote definira minimalni OSNR da bi se ostvario potrební BER za dani signal. Primjerice za komunikacijski standard OC – 192 OSNR je od 27 – 31 dB, a za OC – 48 od 18 – 21 dB.⁴⁵

4.5. Širina propusnog opsega

Širina propusnog opsega svjetlovoda određena je područjem frekvencija, u kome se amplituda impulsa ne smanji više od polovine. To odgovara sniženju razine optičke snage signala za 3 dB ili smanjenju razine električnog signala na izlazu detektora za 6 dB. Širina propusnog opsega je usko povezana s disperzijom i za pojedine vrste svjetlovoda iznosi:

- multimodni, sa skokovitom promjenom indeksa loma – desetine MHz
- multimodni, s kontinuiranom promjenom indeksa loma – stotine MHz
- monomodni, sa skokovitom promjenom indeksa loma – tisuće MHz

Taj produkt definira moguće duljine kvalitetnog prijenosa po svjetlovodu. Primjerice, svjetlovod s produktom 200 MHz dopušta korištenje signala 200MHz – 1 km ili 400 MHz – 0,5 km ili 100 MHz – 2 km.⁴⁶

4.6. Nelinearni optički efekti

Kod vlastite modulacije faze imamo promjenu faze uslijed puta signala svjetlovodom i nelinearno širenje impulsa. Ovaj efekt raste s porastom snage signala. Križna modulacija je posljedica zbirnog efekta koji se javlja u sustavima s više valnih duljina u jednom svjetlovodu. Svaka pojedina valna duljina ne uzrokuje modulaciju faze jer im je mala snaga, ali ako se one pribroje jedna drugoj onda efekt postaje značajan. Mješanje 4 vala nastaje zbog toga što je efekt nelinearan pa ne vrijedi princip superpozicije. Posljedica je generiranje novih nosioca. Karakteristično je kod WDM sustava, tj. sustav s multipleksiranjem valne duljine – više valnih duljina u svjetlovodu. Efekt se javlja smanjenjem razmaka između pojedinih kanala i podizanjem snage. Ramannovo raspršenje je nelastično raspršenje kod kojeg se dio optičke energije pretvara u druge

⁴⁵ Ibidem

⁴⁶ Ibid., str. 20.

oblike energije. To možemo promatrati kao jednu vrstu Dopplerovog efekta. Nelinearna raspršenja su puno slabija od linearnih, npr. Rayleighovog. Ovaj efekt povećava amplitudu zraka manjih valnih duljina, dok veće valne duljine slabe. Brillouinovo raspršenje je pojava akustičke interakcije fotona i medija. U prvom koraku prisutno električno polje će uzrokovati pomicanje molekula, mjenjanje indeksa loma i generiranje akustičkog vala.

U drugom koraku događa se raspršenje na periodičkoj rešetki (primamo periodičku varijaciju loma). Kerrov efekt ima za posljedicu izobličenje atoma i molekula pod utjecajem električnog polja. Prvi nelinearni efekti javljaju se pri snagama manjim od 20 mW.⁴⁷

⁴⁷ Ibid., str. 21.

5. ONEČIŠĆENJE MORA

Ekologija i očuvanje ljudskog okoliša postali su odnedavno jedan od najvažnijih segmenata u znanstvenom istraživanju. S obzirom na to da su se u prvom redu rješavala pitanja onečišćenja s kopna, danas se sve više i zahtjevnije obraća pozornost onečišćenjima mora iz raznih drugih izvora. Brodski je motor jedan od najvećih onečišćivača mora emisijama ispušnih plinova, pa se one s više međunarodnih konvencija i nacionalnih propisa pokušavaju ograničiti, nadzirati i spriječiti. Još jedan izvor onečišćenja su i balastne vode koje redovito sadrže otpadnu nečistu vodu, strane morske organizme u različitim razvojnim stadijima, meduze, toksične alge, planktone, patogene bakterije, viruse, razno neživo smeće, kanalizacijski otpad iz polaznih luka, kemikalije... Ispust balastnih voda u prvom redu znači unos stranih vrsta u ekosustav, što može dovesti do uništavanja staništa morskih organizama u ukrcajnoj luci. U balastnim tankovima mogu se pronaći vrste iz svih morskih staništa.

Sveukupni razvoj u povijesti, znanstvena otkrića, rast globalne trgovine, industrijska i poljoprivredna revolucija, uz nedvojbene dobrobiti koje su donijele, sabrale su i većinu sadašnjih problema vezanih uz okoliš i njegovu održivost. Današnje se znanost, gospodarstvo, politika moraju prije svega pozabaviti zaštitom makar postojećega stanja.

Proizvođači brodskih dizelskih motora i znanstvenici istražuju mnoštvo tehnika kojima je osnovni cilj smanjenje dizelskih emisija u praktičnim okvirima, kao jednoga od segmenata globalnog onečišćenja. Razlog intenziviranja potrebe za rješanjem ovog problema jest sve veći porast onečišćenja zraka brodskim emisijama, i to zbog toga što je emisija stacionarnih proizvođača znatno smanjena donošenjem različitih ekoloških zakona. Ovaj je problem tako postao primaran, pa se međunarodnima pridružuju i nacionalni propisi u pojedinim zemljama, i to osobito onima izrazitije izloženima brodskim emisijama i koje su bliže morskim plovnim putovima. Istraživanje emisije ispušnih plinova iz dizelskih motora sve je više izazov i za konstruktore motora i za proizvođače opreme za obradu ispušnih plinova.⁴⁸

⁴⁸ Naše more, B. Milošević-Pujo, N. Jurjević: Onečišćenje mora iz zraka emisijom ispušnih plinova, str. 178

5.1. Pravni aspekt onečišćenja mora ispušnim plinovima

Onečišćenje mora zrakom tek se u novije doba počelo međunarodno pravno regulirati. Do tog onečišćenja može doći na različite načine. Bilo da se štetne tvari nastale na kopnu prenose vjetrom u more, bilo da onečišćenje nastane izravno iz zraka. Uzrok mu mogu biti i djelatnosti na moru kao što su spaljivanje otpada i odašiljanje štetnih tvari s brodova u zrak. Zrak se sve više onečišćuje s razvojem industrije i korištenjem energijom u različite svrhe, čime dolazi i do globalnog zatopljenja. Onečišćenje iz zraka uglavnom je regulirano međunarodnim i regionalnim ugovorima koji se odnose na onečišćenja s kopna i s brodova te ugovorima kojima se nadziru emisije štetnih tvari u atmosferu.

U tom smislu treba spomenuti Konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka na velikim udaljenostima (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution - LRTAP), u kojoj se odredbama pokušava ograničiti ili smanjiti i spriječiti onečišćenje zraka uopće, pa samim tim i mora jer se time posredno onečišćuje i more. Konvencija je donesena pod okriljem Gospodarske komisije za Europu Gospodarskog i socijalnog vijeća UN-a. Ona je općeg karaktera pa će obveze država biti detaljnije razrađene protokolima donesenima uz Konvenciju. Dosad su usvojeni:

- Protokol u svezi s dugoročnim financiranjem programa suradnje za praćenje i procjenu dalekosežnoga prekograničnog prijenosa onečišćujućih tvari u zrak u Europi (EMEP)
- Protokol o smanjivanju emisija sumpora,
- Protokol o teškim metalima,
- Protokol o postojećim organskim onečišćivačima
- Protokol o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona
- Protokol o nadzoru emisija dušikovih oksida ili njihovih prekograničnih strujanja
- Protokol o nadzoru emisija hlapivih organskih spojeva ili njihovih prekograničnih strujanja

Pod okriljem Konvencije osnovano je i nekoliko radnih tijela. To su: Komitet za nadzor nad provođenjem Konvencije, Radna skupina za učinke na okoliš, Upravni odbor EMEP-programa i Radna skupina za strategiju i izvješće. Kao stranka Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka i Protokola o daljnjem smanjenju emisije sumpora, Hrvatska sudjeluje u Međunarodnom programu za računanje i kartiranje kritičnih opterećenja (ICP Mapping & Modelling of Critical Load and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends – ICP Modelling & Mapping).⁴⁹

Od 1990. godine ovaj se program provodi u koordinacijskom centru pri institutu (Research for man and environment) u Nizozemskoj u suradnji s nacionalnim centrima. Program je jedan od šest međunarodnih programa Radne skupine za učinke (Working Group for Effects). Programom se želi odrediti kritična razina koncentracije štetnih tvari a osobito kiselih plinova, sumpornog dioksida i dušikovih oksida, te procijeniti štetno djelovanje na ljudsko zdravlje i okoliš. Zaštitom ozonskog omotača i smanjenjem štetnih emisija u zrak osim spomenutih Konvencija i Protokola bavi se i Bečka konvencija o zaštiti ozonskog omotača i, uz nju donesen, Montrealski protokol o tvarima koje oštećuju ozonski omotač.

Bečka konvencija i Montrealski protokol važni su međunarodni instrumenti za zaštitu ekosustava cijele Zemlje, pa tako i mora i oceana. Naime, proteklih desetljeća došlo je do velikog porasta koncentracije ugljikova dioksida, metana, dušikova oksida i halogeniziranih spojeva, što je imalo za posljedicu oštećeni ozonski omotač; to sve dovodi do promjene klime i do globalnog zatopljenja. Procjenjuje se da je ugljični dioksid najvažniji uzročnik zatopljenja i sudjeluje s čak 64% svih emisija, zatim je metan s 20%, dušikov oksid sa 6% i halogenizirani spojevi s 10%. Ne budu li se kontrolirale emisije ovih tvari, došlo bi do daljnjeg porasta temperature na Zemlji, čime bi čovjekov opstanak postao dvojben. U tom smislu Bečka konvencija obvezuje države da zaštite okoliš i ljudsko zdravlje od štetnih utjecaja što mogu nastati zbog oštećenja ozonskog omotača, i to tako da smanje i postupno prestanu s proizvodnjom štetnih tvari. Jednako tako Konvencija obvezuje države na uporabu alternativnih tehnologija i opreme koje ne štete ozonskom omotaču. Bečka konvencija navodi i popis posebno štetnih tvari.

⁴⁹ Ibid., str. 179.

Konvencija je općeg karaktera, pa države preuzimaju detaljnije obveze protokolima donesenima uz Konvenciju. Tako je 1997. potpisan Montrealski protokol, kojim se ograničuje proizvodnja i uporaba tvari štetnih za ozonski omotač.⁵⁰

Vrlo brzo nakon Montrealskog protokola nastala je potreba za njegovom izmjenom kako bi se uveo nadzor proizvodnje i uporabe onih štetnih tvari što ih on nije bio obuhvatio. Dopune su Protokola prihvaćene u Londonu 1990. i u Kopenhagenu 1992. godine, uz određene krajnje rokove za uklanjanje štetnih tvari. Zemljama u razvoju omogućeno je deset godina mirovanja za primjenu Protokola, nastojeći im u tome pomoći osnivanjem posebnog fonda koji formiraju razvijene zemlje, a radi pružanja tehničke suradnje i bržega prijenosa tehnologije kako bi se što skorije implementirao Protokol u nacionalno zakonodavstvo.

Ako se ne zaustavi daljnje globalno zatopljenje, očekuje se da će klimatske promjene imati veliki učinak na topljenje ledenjaka i na porast razine mora i oceana, te samim tim na plavljenje priobalnog područja. Kad bi se to doista i dogodilo, rezultat bi bile nesagledive posljedice za zdravlje ljudi, ekosustave i, općenito, život na Zemlji. Poradi kontrole i utjecaja na klimatske promjene smanjenjem emisija opasnih tvari u zrak, donesena je u Rio de Janeiru 1992. godine Konvencija UN-a o promjeni klime. U njezinoj primjeni države su obvezne surađivati u izradi nacionalnih i regionalnih programa mjera za ublažavanje klimatskih promjena kontrolom emisija plinova koji pridonose globalnom porastu temperature, a nisu obuhvaćeni Montrealskim protokolom. Uz Konvenciju donesen je i Protokol u Kyotu 1997. godine.

Prema nekim mišljenjima, s primjenom se Protokola zakasnilo jer njime predviđene mjere neće biti dostatne s obzirom na to da je na Zemlji sve više znakova globalnog zatopljenja. Ipak, stupanjem na snagu Protokola, smatra se, plinovi koji izazivaju učinak staklenika reducirat će se za čak 60%, čime bi se stabilizirale svjetske klimatske prilike. Nakon ruske ratifikacije Protokola i njegova stupanja na snagu, sve će industrijske zemlje potpisnice sporazuma do 2012. godine smanjiti količine plinova koji izazivaju učinak staklenika - za 5% ispod razine iz 1990. godine. Prema nekim podacima udio Rusije u emisiji tih plinova iznosi 17%. S druge strane, činjenica je da Protokol nije potpisao SAD, a sam sudjeluje u onečišćenju zraka s 36% svih emisija.

⁵⁰ Ibidem

Kina, ni ostale zemlje u razvoju, nije dužna smanjiti ispušne plinove iako je ratificirala Protokol iz Kyota. Sve ove činjenice znatno umanjuju njegovu učinkovitost. Međutim, samo njegovo stupanje na snagu ipak je veliki korak naprijed u nastojanju da se smanje štetne emisije.⁵¹

5.2. Konvencije koje se izravno bave onečišćenjem mora iz zraka

Osim konvencija općeg karaktera koje se odnose na onečišćenje zraka, pa tako posredno i mora zrakom, onečišćenjem mora iz zraka posebno se bavi Konvencija o pravu mora iz 1982. godine, i to njezin članak 212. Pritom, države su ovlaštene donijeti nacionalne antipolucijske propise radi sprječavanja, smanjivanja i nadziranja onečišćenja mora iz zraka ili posredno zrakom. Prilikom donošenja propisa države moraju voditi računa o međunarodno priznatim pravilima i standardima i preporučenoj praksi. One se obvezuju primijeniti nacionalne propise i međunarodna pravila o sprečavanju onečišćenja zraka na području pod njihovim suverenitetom, na brodovima koji viju njihovu zastavu i na zrakoplovima upisanima u upisnik na njihovu području poštujući pri tome pravila zračne plovidbe. U pogledu donošenja općih i regionalnih pravila, Konvencija upućuje države da ta pravila utvrđuju preko ovlaštenih međunarodnih organizacija ili na diplomatskoj konferenciji. Uz okvirne odredbe Konvencije o pravu mora onečišćenjem mora emisijama s brodova posebno se bavi MARPOL - konvencija, i to njezin Prilog VI., podijeljen u tri dijela unutar kojih je 19 pravila. Prvo poglavlje odnosi se na konačnu aplikaciju pravila, definicije i slično. Drugo poglavlje daje upute za potrebne preglede, certifikaciju i inspekcijske kontrole. Treće je poglavlje posvećeno operacijskim zahvatima koji se odnose na kontrolu mjerenja i smanjenje emisija, a pokrivaju sljedeća područja:

- ODS – tvari su koje sudjeluju u smanjenju ozona (Ozone Depleting Substances), a uključuju i halone. Zabranjene su namjerne emisije ovih tvari, a na novogradnjama se zabranjuje instalacija uređaja koji ih sadrže. Ovim se pravilom udovoljilo potrebi da i pomorska industrija bude u skladu sa zahtjevima Montrealskog protokola.

⁵¹ Ibid., str. 180.

- NO_x – emisija dušičnih oksida, regulirana je zasebnim pravilima: “Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines” (NO_x Technical Code).
- SO_x – emisija sumpornih oksida, za koju Konvencija zahtijeva da sadržaj sumpora u gorivu ne smije premašiti 4,5%. Dopušteni su i dodatni regionalni zahtjevi, pa se tako u tzv. područjima povećane kontrole SO_x-a (SECAs) dopušta sadržaj sumpora od samo 1,5%, tj. 6 g SO_x/kWh, ili se alternativno mora ugraditi sustav za pročišćivanje ispušnih plinova, ili valja ograničiti emisiju na neki drugi način.
- VOC – emisija hlapivih organskih spojeva (Volatile Organic Compounds), za koje se zahtjevi prvenstveno odnose na reguliranju emisije u luci i terminalima.
- Brodskim incineratorima – zabranjuje se spaljivanje određenih proizvoda. Spaljivači smeća ugrađeni nakon 1.1.2000. moraju biti odobreni prema zahtjevima MEPC 59(33) rezolucije.
- Prihvatnim uređajima – obalnim sustavima prihvaćaju se ostaci nakon izgaranja i čišćenja, i to prije svega tvari koje sudjeluju u smanjenju ozona.
- Posebni se zahtjevi tiču odobalnih objekata.⁵²

5.3. Kontrola emisija brodskih ispušnih plinova

Kad se govori o onečišćenju zraka s broda, prvenstveno se misli na emisije štetnih plinova s brodova kojima je glavni pogonski sustav dizelski motor. Sporohodni dizelski motori čine osnovu pogona većini velikih trgovačkih brodova (tankera, brodova za prijevoz rasutog tereta...). Kako bi se postigla što veća efikasnost brodskih dizelskih motora, skraćuje se vrijeme izgaranja goriva u cilindru, pa se motoru s dugim stapajem povećava kompresijski omjer. To dovodi do izgaranja goriva u cilindru pri višim temperaturama, što uzrokuje pojavu štetnih plinova. Sumpor je jedan od sastojaka goriva sporohodnih dizelskih motora; povećanje kvalitete goriva, tj. smanjenje udjela sumpora u gorivu, poskupljuje proizvodnju i time povisuje cijenu.

⁵² Ibidem

Srednjohodni dizelski motori, kao i plinske turbine, rabe kvalitetnija goriva, pa time smanjuju onečišćenje, ali imaju i manji stupanj iskoristivosti. Desumporizacija goriva na brodu ili "čišćenje" ispušnih plinova nakon izgaranja goriva skuplji su, zahtijevaju dodatni prostor i manipulaciju ostatnim produktima. Ovakva ograničenja visoke iskoristivosti i povećanih ekoloških zahtjeva otvaraju, međutim, potrebu za razvojem novih pogonskih postrojenja.⁵³

Putnički i ro-ro brodovi danas zato imaju prihvatljiviji elektromotorni pogon, intenzivno se radi i na razvoju nove generacije plinskih turbina, a i kombinirani pogonski sustavi nisu više iznimka. Istodobno veliki proizvođači dizelskih motora užurbano rade na novim rješenjima radi smanjenja štetnih emisija; formiraju se timovi stručnjaka čiji je jedini cilj motor visoke iskoristivosti, rentabilnosti i ekološke prihvatljivosti. Emisija NO_x-a prepoznata je kao najštetnija, pa se novi propisi odnose upravo na smanjenje te emisije, dok su propisi za smanjenje ostalih emisija tek u razvoju. Glavni onečišćivači iz dizelskih motora su (kao, uostalom, i ostalih motora s unutrašnjim izgaranjem):

- dušikovi oksidi (NO_x) – njihova emisija utječe na stvaranje smoga i kiselih kiša. U atmosferi s hlapivim organskim spojevima i ostalim reaktivnim plinovima, a uz sunčevo zračenje, sudjeluje u stvaranju prizemnog ozona. Emisija dušikovih oksida neprestano raste kao rezultat povećanoga prometa; ona, naime, uglavnom nastaje kao posljedica izgaranja bilo kojega tekućeg goriva.
- sumporni oksidi (SO_x) – sumporni dioksid SO₂ poznat je kao "kisel" plin jer njegovom transformacijom nastaju kiseli sastojci što se izdvajaju iz atmosfere u obliku kiselih kiša. Emisija SO₂ ovisi izravno o kvaliteti goriva, tj. sadržaju sumpora u njemu.
- ugljični monoksid (CO) – posljedica nepotpunog izgaranja goriva, utječe na stvaranje smoga i ozonskih rupa. Današnji motori imaju vrlo malu emisiju ugljičnog monoksida poradi visoke koncentracije kisika i efikasnoga procesa izgaranja.

⁵³ Ibid., str. 181.

- ugljikovodici (HC) – sadržaj ugljikovodika u ispušnim plinovima ovisi o vrsti goriva, ugađanju i konstrukciji motora. Samo mali dio HC napustit će proces neizgoren – utječe na efekt staklenika.
- ugljični dioksid (CO₂) – iako nije otrovan, posvećuje mu se posebna pozornost kao osnovnom uzroku stvaranja efekta staklenika. Motori s visokim stupnjem iskoristivosti i uporaba goriva s niskim udjelom ugljika preduvjet su da se smanje te emisije.

Proučavanjem danih emisija uočeno je da je udio utjecaja ugljikovodika i ugljičnog monoksida s brodova nizak u usporedbi s drugim tehničkim pogonima, a također, zbog superiornije termalne iskoristivosti dizelskog procesa, niska je i emisija ugljičnog i sumpornog dioksida. Sva je pozornost u brodarstvu zato prebačena na smanjenje dušikovih oksida (NO_x).⁵⁴

5.4. Kontrola i smanjenje emisija dušikovih oksida

Dušikovi oksidi iz dizelskih ispuha nastaju oksidacijom molekularnog dušika (N₂) zrakom izgaranja na visokim temperaturama (termički NO_x) i oksidacijom dušika u gorivu. Formiranje termalnog NO_x-a ovisi o koncentraciji dušika i kisika, o temperaturi i vremenu. Proces je vrlo složen i uključuje stotine reakcija. Presudni su i lokalni uvjeti zbog nehomogenosti zbivanja u komori izgaranja. Bitno je zaključiti da što je viša temperatura tijekom dužeg vremena, nastat će više termalnog NO_x. On je ujedno i glavni činitelj cjelokupne emisije NO_x; ona nastala oksidacijom iz goriva sudjeluje samo s 10 - 20%. Tehnike smanjenja NO_x mogu se podijeliti na tri osnovne kategorije: obradu prije uporabe goriva, unutarnje ili primarne metode i sekundarne metode.

Obrada prije uporabe goriva uglavnom se bazira na smanjenju dušika u gorivu, tj. na njegovoj denitraciji, ali zasad za to nema praktičnih metoda. Unutarnje ili primarne metode mijenjaju konfiguraciju samog motora i u nekom obliku djeluju izravno na proces izgaranja u njemu. Stvarni stupanj smanjenja ovisi o tipu motora i metodi smanjenja, i varira od 10 do 50%. Postoji veći broj načina da se smanji emisija s pomoću modifikacije procesa izgaranja; jedan je od njih smanjeni tlak izgaranja. Ovim će se postupkom usporenim uštrcavanjem smanjiti skok temperature i tako zastupljenost

⁵⁴ Ibid., str. 182.

NO_x, ali će to neminovno utjecati na visoku potrošnju goriva. Na parcijalni tlak reagenata kisika i dušika može se utjecati samo promjenom specifične količine zraka koji ulazi u motor ili promjenom omjera kisika i dušika. Omjer se mijenja recirkulacijom ispušnog plina (EGR - exhaust gas recirculation). Ako se 15% ispušnog plina recirkulira, rezultat je da će se koncentracije kisika u zraku s 21% smanjiti na 18% pa će utjecaj na sastav NO_x biti znatan.⁵⁵

Smanjenje emisije štetnih plinova postiže se prilagodbom sapnice rasprskavača. Tijekom ispitivanja, naime, dokazano je da različiti tipovi rasprskavača, tj. intenzitet uštrcavanja goriva, znatno utječu na stvaranje NO_x, CO i na potrošnju goriva. MAN B&W je na novim motorima uveo novi rasprskavač kliznog tipa. Ovi tipovi održavaju motor čistim, postižu manje emisije (smanjuje se količina ugljikovodika i krutih čestica za 30%) i manju potrošnju goriva. Rabe se za tipove motora s više od 600 mm promjera cilindra. S promjenom karakteristika uštrcavanja goriva (jednostruko ili dvostruko uštrcavanje i/ili tlak/vrijeme) može se birati prema potrebi između ekonomičnosti goriva ili niske emisije NO_x. Istraživanja pokazuju da je u ovoj fazi razvoja moguće smanjiti NO_x oko 20% uz smanjenu potrošnju goriva za 3,5%. Sljedeći način da se smanji emisija postiže se uštrcavanjem vode ili vlaženjem. Voda se može dodati u komoru izgaranja kroz odvojene sapnice ili slojevitim uštrcavanjem vode i goriva iz istog rasprskavača goriva. Prednosti izravnoga uštrcavanja vode su:

- smanjena emisija NO_x od 50 do 60%,
- vrijednosti NO_x za motor na brodski dizel (MDO) obično su 4 - 6 g/kWh, a kad radi na teško gorivo (HFO), obično su 5 - 7 g/kWh,
- nema negativnih utjecaja na ostale dijelove motora,
- motor također može raditi i kad se ne zahtijeva rad s uštrcavanjem vode,
- motor se može vratiti na rad "bez vode" pri bilo kojem opterećenju,
- prostor koji je potreban za ugradnju ovog sustava je minimalan,
- troškovi ugradnje i cijena sustava vrlo su niski,
- omjer uštrcavanja vode i uštrcavanja goriva obično su od 4:10 - 7:10.

⁵⁵ Ibidem

Drugi način da se ubaci voda u prostor izgaranja je vlaženje ispirnog zraka. Međutim, znajući da previše vode u ispirnom zraku može štetiti cilindru, ova se metoda donedavno nije primjenjivala. Voda se pod tlakom dodaje u ulazni zrak poslije kompresora turbopuhala. Zbog visokih temperatura komprimiranog zraka, voda trenutno isparuje i ulazi u cilindar kao para, pa s time smanjuje temperatura izgaranja i nastanak NO_x i do 50%. Ovakav je sustav unekoliko i djelotvorniji od sustava izravnoga uštrcavanja, ali mu je nedostatak velika potrošnja vode.

Sekundarne metode podrazumijevaju smanjenu razinu emisije bez promjene konstrukcije motora, tj. uklanjanje NO_x iz ispušnih plinova u sustavu koji prerađuje sastojke ostale nakon izgaranja.

Najzanimljivija sekundarna metoda je selektivno katalitičko smanjenje (SCR) NO_x. Ona može smanjiti razinu NO_x više od 95% uz dodatak amonijaka ili uree u ispušni plin prije nego on uđe u katalitički pretvarač. Na taj se način emisija svodi na neopasne supstancije što se mogu normalno pronaći u zraku koji udišemo. S pomoću ove metode ispušni se plin miješa s amonijakom (NH₃) prije prolaska kroz sloj specijalnih katalizatora na temperaturi od 290 do 450 °C, čime se NO_x ponovno pretvara u neopasni dušik i vodu (N₂ i H₂O). Kisik je pri tome u procesu. Ako je temperatura previsoka, NH₃ će prije izgarati nego reagirati s NO/NO₂. Pri previše niskoj temperaturi reakcija će biti spora i kondenzacijom amonijevih sulfata uništavati će se katalizator. Količina uštrcanoga NH₃ u cijev ispušnih plinova nadzire se procesnim računalom koje dozira NH₃ u odnosu na NO_x što ga proizvodi motor ovisno o opterećenju. Odnos između proizvedenog NO_x i opterećenja motora mjeri se tijekom pokusnog rada na ispitnom stolu. Dobiveni odnos programira se računalom i služi za kontrolu doziranja NH₃. Doza se amonijaka potom namješta na odstupanje povratnog sustava na osnovi izmjerenoga izlaznog signala NO_x. Stupanj uklanjanja NO_x ovisi o količini dodanog amonijaka (izražen u omjeru NH₃/NO_x).

Pri velikim odnosima NH₃/NO_x može se dobiti visok stupanj uklanjanja NO_x, a u isto će vrijeme količina neiskorištenog amonijaka (ispušteni NH₃) porasti u očišćenom ispušnom plinu. Poželjno je da koncentracija neiskorištenog amonijaka u očišćenom plinu bude što manja jer kada ispušni plin dođe u kotao ili izmjenjivač topline, amonijak može reagirati s SO₃ u ispušnom plinu pa će se ogrjevna površina onečistiti amonijevim

sulfatom. Oksidacijom u SCR-procesu osim smanjenja emisije NO_x uklanja se i ponešto neizgorivih čestica i ugljikovodika iz ispušnih plinova. SCR-metoda trenutno je najdjelotvornija; moguće je postići razinu NO_x od 2 g/kWh i niže, što zadovoljava i najstrože zahtjeve za plovidbu morem.⁵⁶

5.5. Onečišćenje zraka na području luke Rijeka

U proteklih nekoliko desetljeća ubrzano se razvijala broderska industrija i pomorski promet. S ekonomskog stajališta taj trend koji traje i danas, ima pozitivne utjecaje na razvoj gospodarstva, ali s druge strane negativno djeluje na okoliš zbog onečišćenja atmosfere.

Ekologija i očuvanje ljudskog okoliša postali su jedno od najvažnijih pitanja suvremenog doba. S obzirom da su se u prvom redu rješavala pitanja onečišćenja s kopna, danas se sve više i zahtjevnije obraća pozornost onečišćenjima s brodova. Onečišćenje zraka ozbiljan je problem i za zdravlje ljudi i za ukupni ekosustav.

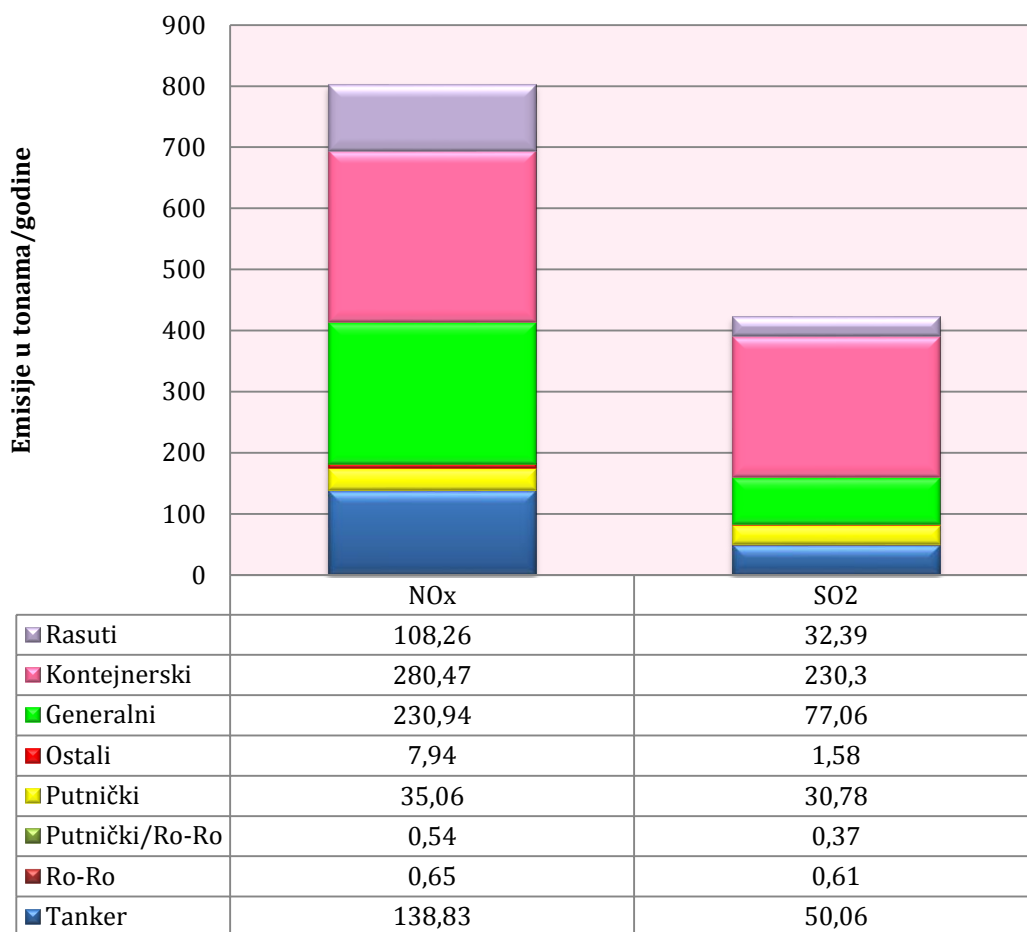
Emisije s brodova uključuju onečišćivače zraka, stakleničke plinove i supstance koje razaraju ozonski omotač s posljedicom ugrožavanja ljudskog zdravlja i okoliša, jednako kao i emisije sumpornih (SO_x) i dušikovih oksida (NO_x) koje uzrokuju zakiseljavanje zraka⁵⁷. Emisija lakohlapljivih organskih spojeva (VOC) sudjeluje u spoju s dušikovim oksidima u formiranju prizemnog ozona štetnoga za ljude i okoliš.

Onečišćenje zrakom ne poznaje državne granice pa je to područje jedno od onih koje zahtijeva najvišu razinu međunarodne suradnje. Razlog intenzivnim potrebama za rješenje ovog problema jest sve veći porast onečišćenja zraka brodskim emisijama, stoga je on postao primaran zbog čega se međunarodnim propisima pridružuju i nacionalni propisi. Sljedeće tablice predstavlja količinu ispuštanja emisija sumpornih i dušikovih oksida, lako hlapljivih tvari te ugljikovog dioksida na području luke Rijeka.

⁵⁶ Ibid., str. 179.

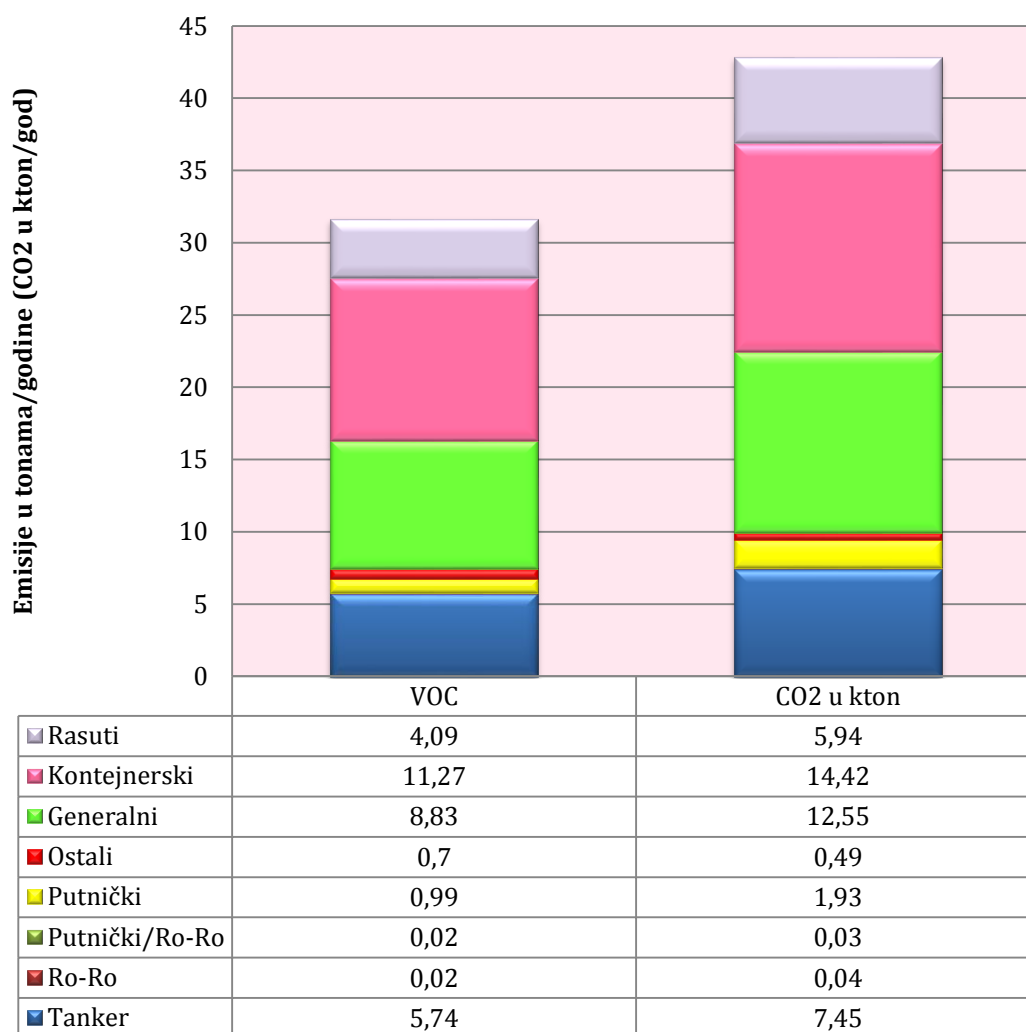
⁵⁷ mr.sc.Ivan Komar, mr.sc.Dorđe Dobrota, Branko Lalić, dipl.ing., 2010, str.138

Grafikon 1. Količina ispuštanja NO_x i SO₂ prema vrstama brodova na području luke Rijeka



Izvor: izradio student „Air quality in the Port of Rijeka_Draft Report November 2010“

Grafikon 2. Količina ispuštanja VOC i CO₂ prema vrstama brodova na području luke Rijeka



Izvor: izradio student prema „Air quality in the Port of Rijeka_Draft Report November 2010“

Obzirom na količinu štetnih emisija, primjenjuju se sljedeće metode kojima će se smanjiti emisije štetnih tvari sa brodova u zrak, a to su⁵⁸:

- obrada prije uporabe goriva uglavnom se bazira na smanjivanju dušika u gorivu
- unutarnje ili primarne metode mijenjaju konfiguraciju samog motora i djeluju izravno na proces izgaranja u njemu

⁵⁸ Sveučilište u Splitu Pomorski fakultet, 2012

- stupanj smanjenja ovisi o tipu motora i metodi – varira od 10 do 50%
- u primarne metode spadaju:
 - preinake sustava izgaranja
 - preinake sustava za dovod zraka
 - izravno ubrizgavanje vode
 - recirkuliranje ispušnih plinova
 - emulzija vode i goriva
 - sustav zajedničkog cjevovoda
- sekundarne metode podrazumijevaju smanjenu razinu emisije bez promjene konstrukcije motora
 - moguće je smanjiti emisiju NO_x čak do 95%
 - u sekundarne metode spadaju:
 - selektivna katalitička redukcija
 - upotreba goriva sa malim postotkom sumpora
 - sustav smanjenja emisije pomoću plazme.

Najjednostavnija i najjeftinija metoda za smanjenje emisije sumpornog dioksida je upotreba goriva sa malim postotkom sumpora. Najučinkovitija primarna metoda je recirkulacija ispušnih plinova što može smanjiti emisiju NO_x i do 80%, ali povećati potrošnju goriva za 10%. Metoda elektivne katalitičke redukcije najučinkovitija je sekundarna metoda koja može smanjiti emisiju NO_x za čak 85-95%.⁵⁹

5.6. Uvođenje sustava LIDAR

Porast pomorskog prometa u Jadranskom moru uzrokuje povećanje emisije štetnih onečišćivača koji značajno utječu na kvalitetu zraka, ljudsko zdravlje te okoliš općenito. Zbog svega navedenog, postojeća mjerenja od strane IMO-a⁶⁰ i drugih važnih entiteta koji kontroliraju emisije s brodova nisu dovoljna. Kako bi se napravile statističke analize razine emisijskih onečišćenja, u Jadranskim lukama uveden je sustav LIDAR.⁶¹ Metodologija sustava bazirana je na laserskom skeniranju ispušnih plinova brodskog ispušnog kolektora. Razina onečišćenja određuje se putem analize povratnog signala.

⁵⁹ Ibidem

⁶⁰ IMO – eng. International Maritime Organization

⁶¹ LIDAR – sustav sastavljen od nekoliko modernih tehnologija prikupljanja podataka kao što su: 3D pozicioniranje GPS tehnologijom, inercijalna tehnologija, lasersko skeniranje, te digitalna fotografija.

Iako upotreba sustava bazirana na LIDAR tehnologiji nije zakonski regulirana, ona se može sigurno upotrijebiti za stvaranje nacionalnog registra brodskih emisija te za detekciju brodova koji sagorijevaju gorivo koje nije u skladu sa standardima očuvanja okoliša.

Moderni terminali za kružna putovanja sposobni su za prihvat nekoliko velikih brodova odjednom. To su područja od najveće zabrinutosti kada se vrše mjerenja brodskih emisija. Za vrijeme boravka u luci potrošnja električne energije na velikim brodovima za kružna putovanja u uobičajenim situacijama iznosi između 8 i 12 MW što ih čini ozbiljnim izvorima onečišćenja jer sva potrebna struja koja je proizvedena na brodu pomoću dizelskih i plinskih turbina pokreće generatore. Indirektni troškovi su uzrokovani onečišćenjima sa terminala za kružna putovanja, i za neke Mediteranske luke, npr. Barcelonu, procjenjuju se na 35.000,00 eura, a za luku u Napulju indirektni troškovi iznose 23.000,00 eura.

Iako postoje određene studije koje indiciraju negativni efekt brodova za kružna putovanja po pitanju onečišćenja zraka i mora u Jadranu, nema točnih mjerenja koja pokazuju razinu onečišćenja navedenih brodova. Znati točnu razinu onečišćenja koja dolazi sa brodova koji plove u Jadranu važno je za određivanje podjele brodskih emisija u nacionalnom registru brodskih emisija te kalkulaciju direktnih i indirektnih troškova uzrokovanih emisijama.

Postoji nekoliko metoda za izračunavanje razine brodskih emisija. One su većinom bazirane na rastućim metodama⁶², koje koriste tehničke podatke i prethodno određene specifične parametre za kalkulaciju emisija. Napredne metode koriste podatke prikupljene od AIS-a⁶³, kako bi se dobili precizniji rezultati. Iako, rezultati i točnost ovih modela zavise o tome kako su postavljena ograničenja točnosti i dostupnosti korištenih parametara. Rezultati su upotrebljivi za procjenu brodskih emisija u otvorenim vodama gdje je utjecaj izvora emisije, osim brodskih, beznačajan.

Ipak, pravi izazov je kako izmjeriti onečišćivače koji nastaju za vrijeme boravka brodova u lukama. Pristup koji je baziran na postojećim modelima za određivanje brodskih

⁶² Rastuća metoda – eng. bottom up method

⁶³ AIS - eng. Automatic Identification System

emisija nije primjenjiv u lukama kao ni postojeće metode za mjerenje emisije u urbanim i industrijskim područjima. Razlog tome je kontaminacija brodskih emisija sa emisijama cestovnog prometa te okolnih industrijskih pogona.

Kako bi se eliminirao navedeni problem potrebno je implementirati prikladne tehnike mjerenja bazirane na daljinskom očitovanju, koje omogućuje izravno mjerenje onečišćenja koje proizvode brodski dimnjaci.

Tehnike mjerenja emisije onečišćenja mogu biti podijeljene u dvije osnovne kategorije:

1. Na mjestu
2. Daljinsko opažanje

Suprotno mjerenjima „na mjestu“, tehnike daljinskog mjerenja omogućuju mjerenje koncentracije štetnih onečišćenja u relativno velikom volumenu zraka. Mjerni instrumenti korišteni za daljinsko mjerenje onečišćenja ispuštenih sa brodova, bazirana je na detekciji elektromagnetskih zračenja i spektroskopskim tehnikama.

Spektroskopske metode mogu biti podijeljene na aktivne i pasivne. Pasivni sustavi su bazirani na svjetlosti sunca, mjeseca i zvijezda te se koriste kao izvori energije, dok aktivni sustavi koriste vlastite sustave osvjetljenja.

Tehnike mjerenja za praćenje vrsta atmosfere trebale bi ispuniti dva glavna zahtjeva: da budu dovoljno osjetljivi kako bi očitali vrste emisija prema njihovim koncentracijskim razinama te da budu selektivni. Mjerni uređaji moraju pružiti pouzdane informacije u realnom vremenu, neovisne o uvjetima prirodne okoline u kojoj djeluju.

Tehnike daljinskog mjerenja za mjerenje ispušnih plinova koje se koriste u svrhu istraživanja okoliša koriste lasere koji su sposobni za emitiranje snažnih, kratkotrajnih te ograničenih frekvencijskih impulsa svjetlosne energije sa niskim stupnjem odstupanja.

Tablica 1. Područje primjene LIDAR-a

Vrste LIDAR-a		Laser	Mjerenja		Domet
			Direktna	Indirektna	
Elastični	Direktno otkrivanje	Ruby ($\lambda=694,3$; 347,2 nm) Nd:YAG ($\lambda=1064, 532$, 355 nm); XeF (ekscimer; $\lambda=351$ nm)	Prašina, oblaci, dim	Pomak, slojevitost, temperatura u gornjim slojevima atmosfere, brzina vjetra	10 – 50 km
	Homogeno ili heterogeno raspršenje	CO ₂ ($\lambda=10,6$ μ m) Nd:YAG ($\lambda=1064$ nm) Tm, Ho:YAG ($\lambda=2,1$ μ m)	Dopplerov pomak u zračenju koje izaziva obrnuto raspršenje čestica	Brzina vjetra	15 km
	Poboljšana tehnika	Nd:YAG ($\lambda=1064$ nm)	Dopplerov pomak u zračenju koje izaziva obrnuto raspršenje čestica	Brzina vjetra	3-5 km
Diferencijalna apsorpcija		Dye, CO ₂ , ekscimer, optički parametarski oscilator (OPO), Ti:Safir	Koncentracija kemijskih spojeva (SO ₂ , O ₃ , C ₂ F ₄ , NH ₃ , CO, CO ₂ , HCl, ...)	Temperatura, tlak	1 – 5 km
Fluoroscentnost		Dye N ₂ ($\lambda=337$ nm) Ne	Koncentracija kemijskih spojeva, posebno u gornjim slojevima atmosfere (OH, Na, K, Li, Ca Ca+), ulje na površini vode, klorofil		1 – 90 km
Ramanovo raspršenje		Ruby ($\lambda=694,3$; 347,2 nm) N ₂ ($\lambda=337$ nm) Nd:YAG ($\lambda=1064, 532$,	Koncentracija kemijskih spojeva u atmosferi (SO ₂ , NO, CO, H ₂ S, C ₂ H ₄ , CH ₄ ,	Temperatura	1 – 5 km

	355 nm)	H ₂ CO, H ₂ O, N ₂ , O ₂ ...)		
--	---------	--	--	--

Izvor: izradio student

Riječ „laser“ nastao je kao akronim od početnih slova sintagme Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, tj. pojačanje svjetla poticanjem emisije zračenja.⁶⁴

Naime, laser je optičko pojačalo – uređaj koji pojačava valove svjetlosti. Takvo pojačalo stvara jako dobro definiranu svjetlost kojom se lako upravlja, tj. pogodna je za korištenje u različite svrhe. Po tim se značajkama laser uvelike razlikuje od drugih izvora svjetlosti poput sunca ili svjetiljke. Zapravo, složni su stručnjaci, laser proizvodi svjetlost kakva ne postoji u svemiru.

Prvi laser predstavljen je 1960. godine. Tim otkrićem razvoj tehnologije krenuo je u posve novom smjeru. Danas je svijet bez uporabe lasera nezamisliv. Medicina koristi lasere za najdelikatnije operacije, a mjesto su pronašli i u drugim područjima koja traže besprijekornu preciznost, npr. laseri se koriste za rezanje materijala u visokoj tehnologiji. Nezamisliv je i svakodnevni život bez lasera. Ugrađeni su u mnoge uređaje – od skenera barkodova na blagajnama do cd i dvd playera.

Vrste lasera:

Rubinski laser je laser s krutom jezgrom. Rubin je aluminijev oksid dopiran atomima kroma u obliku trostruko nabijenog kationa. Lasersko zračenje ima valnu duljinu 694.3 nm, što odgovara crvenom svjetlu.⁶⁵

Nd:YAG laser je laser s krutom jezgrom koji se sastoji od štapića itrij-aluminijevog granata (YAG), dopiranog atomima neodimija. To je četverostupanjski laser, koji emitira infracrveno zračenje valne duljine 1064 nm. Koriste za rezanje, bušenje, varenje, graviranje i drugu obradu metala, plastike i drugih materijala.⁶⁶

Ekscimer laser (ponekad mu je naziv i ekscipler laser) je oblik ultraljubičastog lasera koji se obično koristi u proizvodnji mikroelektroničkih uređaja (poluvodičkih

⁶⁴ http://www.prolight.hr/laser-show-rasvjeta-efekti/laser_show-2-o-laserima (20.09.2013)

⁶⁵ http://hr.wikipedia.org/wiki/Rubinski_laser (20.09.2013)

⁶⁶ <http://hr.wikipedia.org/wiki/Nd:YAG> (20.09.2013)

integriranih krugova ili čipova), u očnoj kirurgiji, i mikro obradi. Ekscimer laser je izumio Nikolaj Basov 1970 godine u Moskvi.⁶⁷

CO₂ laser je plinski laser koji kao aktivni medij koristi molekule ugljikovog dioksida. Sastoji se od staklene cijevi ispunjene smjesom plinova: ugljikovog dioksida, dušika, helija i eventualno nekog drugog plina. Na krajevima se cijevi nalaze dva paralelna zrcala koja reflektiraju lasersku zraku natrag u cijev i tvore rezonator. U cijevi se nalaze i elektrode na koje je priključen visoki napon. CO₂ laser se može prilagoditi na valne duljine 9,4 μm i 10,6 μm, što je u infracrvenom području. Mogu imati velike izlazne snage, pa se zbog toga koriste za obradu materijala: rezanje, bušenje i zavarivanje, a također i u kirurgiji.⁶⁸

Tm:YAG laser je laser koji djeluje između 1930 i 2040 nm.⁶⁹

Dye laser je laser koji koristi organski pigment kao trajan medij, obično u tekućem obliku.⁷⁰

OPO - je parametarski oscilator koji oscilira na optičkim frekvencijama. OPO se u osnovi sastoji od optičkih rezonatora (dva paralelna ogledala, smještena oko laserskog medija, koji omogućuju povratnu vezu svjetla) i nelinearnih optičkih kristala.⁷¹

Ti: safir laseri – su podesivi laseri koji emitiraju crvenu i gotovo infracrvenu svjetlost u rasponu 650 - 1100 nanometara.⁷²

⁶⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Excimer_laser (20.09.2013)

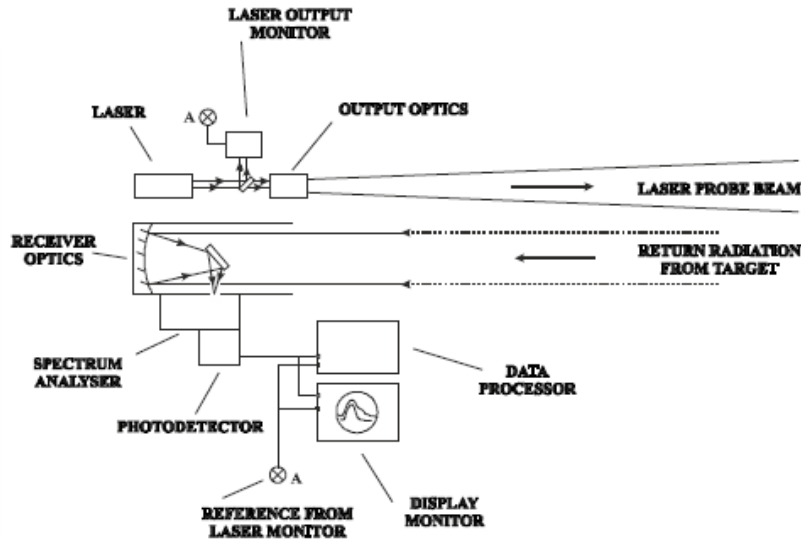
⁶⁸ http://hr.wikipedia.org/wiki/CO2_laser (20.09.2013)

⁶⁹ http://en.wikipedia.org/wiki/Yttrium_aluminium_garnet (20.09.2013)

⁷⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Dye_laser (20.09.2013)

⁷¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_parametric_oscillator (20.09.2013)

⁷² http://en.wikipedia.org/wiki/Ti-sapphire_laser (20.09.2013)



Slika 19. Osnovni elementi laserskog senzora rad u okolišu

Absorpcija i raspršenje su posebno važne karakteristike elektromagnetskih valova. Uglavnom, dvije vrste raspršenja se koriste kao: elastično raspršenje (Rayleighovo raspršenje) za čestice koje su manje ili jednake valnoj duljini svjetlosti (λ) i neelastično (geometrijsko) raspršenje (npr. Ramanovo) za mnogo veće čestice.

Jedan od primjera tehnike daljinskog mjerenja je LIDAR koji djeluje na istom principu kao radar, ali koristi lasersku zraku umjesto radiovalova. U osnovi, LIDAR se temelji na jedinstvenom apsorpcijskom spektru za svaki tip molekule, tj. onečišćenju u ovom slučaju. Pulsirajuća laserska zraka emitira se u atmosferu, a lasersko svjetlo se rasipa na atome i molekule, materiju čestica, aerosole i oblake. Raspršeno svjetlo skuplja se pomoću prijemnog teleskopa korištenjem analizatora spektra i detektora, a podaci o vrstama primjese i njegovoj odgovarajućoj gustoći i veličini prikazani su na slici 1. Vrste LIDAR-a sa pripadajućim načinima rada, mjernim sposobnostima i područjima primjene prikazani su u tablici 1.

DIAL (Differential Absorption Lidar) metoda je često korištena metoda, pogotovo kada je u pitanju mjerenje emisije ispušnih plinova vozila i onečišćenja koja dolaze iz rafinerije nafte. Funkcioniranje DIAL sustava se zasniva na diferencijalnom povratku dviju usko raspoređenih valnih duljina, od kojih je jedna snažno apsorbirana antikatodnim plinom. Snagu povratnog diferencijalnog signala na različitim udaljenostima unaprijed daje laserska zraka koja pokazuje koncentraciju izmjerenih

primjesa. Zbog svojih svojstava, DIAL predstavlja prikladno rješenje za praćenje emisija u lukama.

Postoje i brojni drugi načini za mjerenje količine i koncentracije različitih plinova, temeljeni na spektroskopskoj analizi, kao što su⁷³: BAGE – Backscatter Absorption Gas Imaging, OAS – Optical Acoustic Spectroscopy, DOAS – Differential Optical Acoustic Spectroscopy, REMPI – Resonant Enhanced Ionization Multi Photon, AGCS – Active Gas Correlation Spectroscopy, CRDS – Cavity Ring Down Spectroscopy, LIF – Laser Induced Fluorescence, MPEF – Multi Photon Excited Fluorescence, LIBS (or LIPS) – Laser Induced Breakdown Spectroscopy, FTIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy [28], TDLAS – Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy itd., koji se mogu primjeniti za mjerenje onečišćenja.

Prijedlog nadzornog sustava temeljenog na LIDAR-u

Nakon odabira onečišćenja koje se mjeri (npr. SO₂), odgovarajuća mjerna instrumentacija se temelji na unaprijed određenim kriterijima, npr. DIAL.

Za svaku odabranu luku u Jadranu (npr. Rijeku), potrebno je odrediti odgovarajući broj DIAL uređaja i njihove pozicije s obzirom na geografski položaj lučkog bazena, položaj brodova koji ulaze i izlaze iz lučkog bazena, meteorološke uvjete (brzina i smjer vjeta, kiša, magla, vlaga zraka itd.) Da bi se mogla napraviti klasifikacija brodskih emisija i odrediti količina zagađivača prema tipu broda, vrsti goriva, glavnim i pomoćnim motorima itd., potrebno je napraviti odabir brodova čija će se emisija mjeriti i dobiti njihove karakteristike iz odgovarajućih baza podataka, kao što su Lloyd registar brodova ili AIS sustav.

Na temelju prikupljenih podataka, izrađuje se baza podataka brodskih emisija. Dobiveni podaci mogu se koristiti za različite analize, uključujući i određivanje količine onečišćenja u kg/h⁷⁴, (npr. NO₂, SO₂, ...), ppb⁷⁵ (npr. benzeni) itd., kao i koncentracija i postotak bilo koje vrste u ukupnom iznosu emisije uzoraka. Ilustracija predloženog modela nadzornog sustava temeljenog na LIDAR-u prikazana je na slici 2.

⁷³ Jasmin Celic, Aleksandar Cuculic, Marko Valcic; Remote Sensing for Ship Emissions Monitoring, str. 2 in Adriatic Ports: An Approach

⁷⁴ kg/h – kilogram per hour

⁷⁵ ppb – parts per notation

5.7. Balastne vode

Zbog najisplativijeg načina prijevoza dobara, morskim putem se odvija 80% svjetskog prometa. Svojstva tereta koji se prevoze brodovima uvjetuju njihovu gradnju, no svi brodovi imaju zajedničku karakteristiku, a to je da za uspostavljanje ravnoteže, stabilnosti, očuvanja integriteta broda koriste balast koji je od posebne važnosti kad je brod prazan tj. kad ne nosi teret. U prošlosti se kao balast koristilo kamenje, drvo i pijesak, dok se od kraja 19. stoljeća koristi voda (morska, riječna). Procjenjuje se da se godišnje transportira 10 i 12 milijardi tona balastne vode širom svijeta.

Balastne vode redovito sadrže otpadnu nečistu vodu, strane morske organizme u različitim razvojnim stadijima, meduze, toksične alge, planktone, patogene bakterije, viruse, razno neživo smeće, kanalizacijski otpad iz polaznih luka, kemikalije... Balastne vode uzimaju se u luci iskrcaja. Morska voda u lukama često je zagađena kanalizacijskim ispustima, te se tako mogu proširiti zaraze, poput kolere u Peruu 1990.-ih godina. Ispust balastnih voda u prvom redu znači unos stranih vrsta u ekosustav, što može dovesti do uništavanja staništa morskih organizama u ukrcajnoj luci. U balastnim tankovima mogu se pronaći vrste iz svih morskih staništa.

Smatra se da se svakodnevno tankerima prenosi više od 10.000 različitih morskih vrsta. Takva neprirodna i masovna distribucija organizama ugrožava ekologiju svakog mora u koje se ispuštaju balastne vode. Iako mnoge vrste organizama ugibaju tijekom tankerskog transporta, one otpornije ostaju žive te postaju vrlo prilagodljive i invazivne u novome morskom okolišu.

Vrlo važno je predložiti ekološki prihvatljivo postupanje izmjene i metode vodenog balasta uz predložene tehničke elemente koje će poboljšati zbrinjavanje balastnih sustava na brodu.⁷⁶

5.8. Balastni tankovi na brodu i negativni utjecaji morskih organizama

Termin balast nastao je od engleske riječi *ballast*, što znači opterećenje koje brod uzima za normalnu plovidbu kada plovi bez korisnog tereta.⁷⁷

⁷⁶ Jerković, Prelec.; Upravljanje balastnim vodama u fokusu ekološki prihvatljivog transporta, str. 1

Karakteristike konstrukcija su takve da prazan brod mora, kako bi imao, sigurnost kretanja odnosno stabilnost konstrukcije, ispunjavati prostor tereta s "priručnim" kompenzacijskim teretom, a to je najdostupniji okolni medij - morska voda. Voda se uzima na mjestu iskrcaja i po količini zna iznositi od jedne trećina kapaciteta nosivosti broda na više, a u slučajevima lošeg vremena te količine mogu biti i do dva puta veće. Ukoliko se balastna voda ispušta direktno iz broda, to je svojevrsni oblik površinskog ispusta otpadnih voda. Kako se radi o količinama koje iznose nekoliko desetaka tisuća kubika balastnih voda na sat, odnosno radi se o količinama koje su po protoku veće od ispusta otpadnih voda i najvećih pojedinačnih gradova na obalnom pojasu Jadrana!

Različite vrste brodova (tankeri, brodovi za prijevoz kontejnera, brodovi za prijevoz rasutog tereta) zahtijevaju i različite načine postupanja s balastnom vodom za vrijeme manipulacije teretom. U nekim slučajevima npr. kod brodova za prijevoz kontejnera ne dolazi isključivo do iskrcajanja/ukrcavanja balasta već se s balastnim vodama manipulira unutar broda. Može doći do iskrcajanja/ukrcavanja samo dijela balastne vode što sve ovisi o količini, rasporedu, težini tereta te vremenskim uvjetima plovnog puta na kojem plovi brod.

Problem balastnih voda vezan je najčešće uz tankerski prijevoz. Slikovito govoreći, tankeri uzimaju balastnu vodu na jednom kraju svijeta, a ispuštaju je skoro doslovno na drugom. Uz balastne vode balastni tankovi sadrže i određene količine sedimenta koji dodatno pogoršava situaciju. Problem vezan uz to je da zajedno s vodom (morem) tanker uzima i prenosi iz domicilnog mora u odredišno more alge i druge vodene organizme, npr. razne planktonske vrste, male beskralježnjake, spore, jaja i larve većih vrsta.⁷⁸

5.8.1. Ekološki utjecaj

U „moru domaćinu“ strana flora i fauna je u pravilu agresivnija nego domicilne vrste, počinje dominirati i time uništavati bioraznolikost. Jednom kada se prekine prirodni hranidbeni lanac posljedice su nepredvidljive i nesagledive. Primjer iz svijeta je sjevernopacifička zvjezdača *Asterias amurensis*. Unesena je u područje južne Australije i

⁷⁷ Martinović, D.: Brodski strojni sustavi. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2004., str.

227

⁷⁸ Jerković, Prelec, str. 3.

Tasmanije. Ova velika zvjezdača se razmnožava vrlo brzo i u jednom području Tasmanije dosegla je gustoću naseljenosti puno veću nego u ikojem originalnom okruženju.

U našem Jadranu primjer su unesene tropske alge *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa racemosa* koje su zamijećene na više lokacija širom Jadrana, a kontrola njihovog rasta je, čini se, vrlo težak zadatak, možda i nemoguć.

5.8.2. Ekonomski utjecaj

Ribarstvo, obalna industrija i druge komercijalne aktivnosti (turizam) i izvori, ometani su najezdom donesenih vrsta. Procijenjeno je da je samo u SAD šteta nanesena najezdom stranih vrsta veća od 138 milijardi dolara godišnje! Jedan od krivaca je europski školjkaš. *Dreissena polymorpha*: proširila se u sjevernoamerička Velika jezera i u 40% vodenih putova SAD i smeta crpilištima vode za industriju. Procijenjeno je da su kontrolne mjere od 1989 do 2000, koštale između 750 milijuna i jedne milijarde dolara.

5.8.3. Ljudsko zdravlje

Toksični organizmi putem zaraza i patogenih promjena uzrokuju bolest ili čak i smrt kod ljudi. Takve su npr. toksične dinoflagelate (modrozeleno alge) *Gymnodinium catenatum* koje su balastnim vodama proširene na mnoge lokacije diljem svijeta.

Pod određenim povoljnim uvjetima ove alge cvjetaju i ako se apsorbiraju u školjkaše koji se hrane filtriranjem mora, kao što su npr. oštrige ili jakovljeve kapice, ispuštaju toksine. Ti toksini uneseni u ljudski organizam mogu izazvati tzv. paralitičko trovanje (*PSP - Paralytic shellfish poisoning*) koje često završi paralizom ili čak smrću!⁷⁹

5.9. Način obrade balastnih voda i sedimenata

Promatrajući problem balasta naizgled se čini da postoji veliki broj mogućnosti obrade balastnih voda na brodu. Međutim, ako se uzme u obzir da odabrane opcije moraju zadovoljiti ostale ekološke zahtjeve (rješavanjem jednog problema ne smije se stvoriti drugi), te da se predloženi sustav treba što bezbolnije uklopiti u postojeće brodske sustave, i to uz što manje troškove ugradnje i troškove obrade, može se zaključiti da na

⁷⁹ Ibid., str. 4.

posljetku preostaje vrlo mali broj mogućnosti. Da bi predložena metoda obrade bila prihvaćena ona mora zadovoljiti sljedeće zahtjeve:⁸⁰

- Sigurnost – vezano uz pojavu nedozvoljenih naprezanja brodske konstrukcije, lokalna naprezanja uslijed porasta tlaka u tankovima i sl.
- Ekološku prikladnost – vezano uz problem obrade kemikalijama – napr. klor, natrijev hipoklorit.
- Efikasnost u tehničkom smislu – postizanje ugibanja ili odstranjivanja što većeg broja potencijalnih invazivnih organizama.
- Niske troškove ugradnje postrojenja za obradu i niske troškove iskorištavanja.
- Praktičnost – vezano uz trajanje obrade, automatiziranost procesa, kompleksnost izvedbe i mogućnost kvara ili zastoja uređaja.

Mehanička obrada temelji se na mehaničkoj separaciji ili uklanjanju organizama i/ili sedimenata iz vode na osnovu veličine ili specifične težine. Mehaničke obrade su:

- izmjena balasta,
- filtracija,
- hidrociklonska separacija,
- centrifugalna separacija.

Fizikalna obrada upotrebljava različitu osjetljivost organizama kako bi ih napravila neštetnom. Fizikalne obrade su:

- ultraljubičasta (UV zračenje),
- toplinska,
- ultrazvuk,
- obrada pulsirajućom plazmom,
- ionizirajuće zračenje.

⁸⁰ Radan,D., Lovrić,J.: Prijedlozi provedbe nadzora izmijene balastnih voda na tankerima. Sveučilište u Dubrovniku, Zagreb, 2010, str. 2

Kemijske obrade balastne vode podrazumijeva kemijsko djelovanje anorganskih i organskih biocida na balastne vode. Razmatranje ovih obrada pokazalo je da postoje potencijalni negativni efekti od akumulacije zabrinjavajućih ostataka. Kemijske obrade su:

- dezinfekcija,
- organski biocidi (biokili).

Trenutno jedina metoda koja ima široku primjenu u svijetu metoda je izmjene balastnih voda. U skladu s tim razvijeno je nekoliko prihvatljivih metoda izmjene balasta. Pritom se nastojalo što manje utjecati na sigurnost broda i odrediti metode izmjene od kojih bi, barem jednu, svaki brod morao moći izvesti.⁸¹

5.9.1. Tehnički načini kontrole izmjene balastnih voda

Osim uzimanja uzoraka balastne vode kod koje je potrebno procijeniti količinu organizama ili odrediti postojanje određenih vrsta organizama koje bi mogle biti štetne za okoliš (biološki načini kontrole), postoji nekoliko tehničkih načina kontrole izmjene balasta, koji se mogu odnositi na sve tipove brodova i mogu se podijeliti na sljedeći način:

- Dnevnici palube i stroja pokazuju **vremena izmjene balasta**. Kontrola izmjene može se postići uspoređivanjem podataka u dnevnicima sondiranja tankova, gdje se bilježi izmjerena razina u tankovima s danima kad je izvođena izmjena balasta, a koji se također trebaju zabilježiti.
- Nazivni kapacitet i **zabilježeno vrijeme rada balastnih pumpi**, odnosno upućivanja i zaustavljanja može poslužiti za procjenu ukupnog izmijenjenog volumena balasta prema sljedećoj jednostavnoj jednadžbi:

$$Q_{BP} \cdot t_{BP} > 3 \cdot Q_{Bmin}, (4)$$

gdje je: Q_{BP} – nazivni ukupni protok (kapacitet) balastnih pumpi, m³/h;

t_{BP} – vrijeme rada pumpi, h (sati);

Q_{Bmin} – minimalni dozvoljeni volumen balasta, m³.

⁸¹ „Naše more“55(1-2)/2008. str 73-74

- U dnevnicima stroja treba biti zabilježena povećana **potrošnja goriva brodskih generatora pare** što upućuje na povećanu potrošnju energije koja je posljedica rada balastnih pumpi pogonjenih parnim turbinama. To se odnosi na tankere za sirovu naftu. Za ostale tipove brodova u dnevnicima stroja treba biti **zabilježeno povećano opterećenje na brodskoj mreži** izraženo kao snaga u kW.
- U dnevnicima stroja treba biti **zabilježeno upućivanje dodatnog generatora** (engl. *gen set*) da bi se pokrila dodatna potrošnja struje pri radu balastnih pumpi odnosno povećano opterećenje na brodskoj mreži izraženo kao snaga u kW. Generatori veće snage mogu pokriti povećano opterećenje nastalo zbog rada dvaju balastnih pumpi. U tom slučaju treba koristiti kontrolu pod točkom 3.

Kod kontrole metode rebalastiranja (sekvencijalne) u provjeru treba uključiti i metodu opisanu pod točkom 1. Za ostale metode izmjene balasta koriste se ostale metode provjere navedene pod točkama 2, 3 i 4. Da bi se izmjenu balasta moglo provjeravati po navedenim metodama osoblje broda mora ispuniti sljedeće zahtjeve:

- Voditi poseban dnevnik o izmjeni balasta (eng. *Ballast water treatment/exchange log*);
- Voditi poseban dnevnik o uzimanju i ispuštanju balasta (eng. *Ballast water uptake/discharge log*);
- Uredno voditi dnevnik stroja i dnevnik palube.⁸²

Nedostatak ovih tehničkih metoda nadzora je u tome što postoji mogućnost da posada prikaže podatke koji bi trebali zadovoljiti inspekcije službe, a koji ne prikazuju stvarno stanje. Posadi je to u ineteresu kako bi sebi olakšali posao, a tvrtki donijeli određene ušted.

Međutim, veći opseg mjera kontrole doprinosi i većoj mogućnosti pogreške, ako se pokušava ne prikazati stvarno stanje, a prikazivanje lažnih podataka treba posebno tretirati. To također omogućava smanjenje opsega nadzora brodova i tvrtki za koje se pokazalo da uredno ispunjavaju obveze, što doprinosi i smanjenju troškova

⁸² Ibid., str. 8.

nadzora. Kazne pri neizvršavanju obveza izmjene balasta trebaju biti veće od troškova izmjene balasta. Njih, naravno treba usuglasiti s ostalim zemljama koji vode pojačani nadzor izmjene balasta.

5.10. Biološki načini kontrole izmjene balastnih voda

Najbolji način provjere izmjene balasta je analiza uzoraka balastne vode iz pojedinih tankova. Međutim, i kod tog načina postoje određene poteškoće oko pristupa tankovima kao i problemi vezani uz reprezentativnost uzoraka. Po ugledu na zemlje s više iskustva u problemu balasta, uzorke treba iskoristiti ne samo za kontrolu izmjene balasta pojedinih brodova već za stvaranje opsežne baze podataka o vrstama koje mogu biti donešene u Jadransko more kako bi se već za nekoliko godina mogli izraditi algoritmi za procjenu rizika. Ovisno o riziku, pristup nadzoru i opseg kontrole također može varirati.

Problem reprezentativnosti uzoraka vezan je uz kompleksnu strukturu balastnih tankova odnosno postojanje odjeljaka u samom tanku u kojima balastna voda ne mora sadržavati isti broj i vrste organizama.

Uzorci se mogu uzeti za vrijeme balastiranja ili debalastiranja, te za vrijeme putovanja, odnosno pri izmjeni balasta na otvorenom moru. Budući da balastiranje/debalastiranje traje više sati, da bi se dobilo reprezentativne uzorke potrebno ih je uzimati dovoljno dugo – slično kao što se uzimaju uzorci brodskog goriva pri ukrcaju.⁸³

5.10.1. Uzimanje uzoraka na mjestima za pristup i inspekciju tankova

Iz tankova u koje je omogućen pristup direktno s glavne palube, kroz otvore za inspekciju, moguće je uzimati uzorke balastnih voda koristeći mreže za plankton čiji je promjer obično oko 50 cm.

Dimenzije otvora za inspekciju (engl. *manholes*) obično su 75 x 54 cm. Problem predstavlja otvaranje ovih otvora zbog većeg broja vijaka koje treba odviti. Također, problem predstavljaju ljestve za pristup u tank, zbog kojih spuštanje mreža za uzimanje uzoraka može biti otežano

⁸³ Ibid., str. 9.

5.10.2. Uzimanje uzoraka kroz cijevi za mjerenje razine tekućine u tanku

Ovaj način uzimanja uzoraka korišten je u brojnim studijama budući da su ove cijevi ugrađene gotovo na svim brodovima.

Ove cijevi obično su učvršćene za vodonepropusne pregrade i protežu se gotovo do dna tanka.

Donji kraj cijevi je zatvoren, a spajanje s tekućinom u tanku kod nekih je izvedbi riješeno provrtima manjeg promjera po visini, ili jednim većim žlijebom. Po zakonu spojenih posuda, u cijevima je razina tekućine jednaka razini u tanku. Promjer ovih cijevi varira između 25 do 40 mm. Uzorak vode u tanku uzima se spuštanjem fleksibilne cijevi do dna i ekstrakcijom vode pomoću pumpe.⁸⁴

Osnovni nedostatak pri korištenju ovih cijevi za uzimanje uzoraka je što su im otvori koji ih spajaju s tankom na samom dnu tanka, što onemogućava uzimanje uzoraka s više razina u tanku.

Za izvlačenje uzoraka zaključeno je da je najbolje koristiti inercijske (bunarske) pumpe s ručnim pogonom ili pogonom na struju. Dobava pomoću ovih pumpi je obično između 2,5 i 6 l/min. Prednost izvlačenja uzoraka pomoću inercijske pumpe je u tome što omogućavaju izvlačenje veće količine organizama od pumpe s rotorom. Naime, rotor pumpe ošteti dio organizama što umanjuje reprezentativnost uzetog uzorka.

Za uzimanje uzoraka dovoljne su dvije osobe. Uzorci se mogu uzeti iz više tankova prije početka iskrcaja balasta, dok je za vrijeme iskrcaja dovoljno svakih 20-40 minuta, iz jednog tanka. Kod tankova u kojima balastna voda nije često mijenjana, voda je pri izvlačenju u početku nešto mutnija nego što je to kasnije. To znači da je prvih 20 litara vode drukčije kvalitete od vode koja je kasnije izvučena jer sadrži veći broj organizama koji su sadržani u mulju. Standardizacija uzorka je obavljena za volumen od 100 litara vode koja je filtrirana radi hvatanja organizama veličine 20 do 100 μm ; 100 do 250 μm ; > 250 μm . Uspoređivanjem uzoraka vode izvučene inercijskom pumpom s uzorcima dobijenim pomoću mreže zaključeno je da u tanku ipak postoji slojevitost organizama što znači da dio *zoo-planktona* izbjegne usisavanje inercijskom pumpom. S druge strane,

⁸⁴ Ibid., str. 10.

inercijska pumpa usisava vodu s dna tanka što omogućuje procjenu *cista dinoflagelata*, najotpornijih organizama, kao i ostalih orgaizama koji se skrivaju u talogu.⁸⁵

Osim prednosti u otkrivanju cista dinoflagelata, ova metoda uzimanja uzoraka smatra se vrlo povoljnom za određivanje:

- saliniteta vode;
- optičkih svojstava voda–veća količina taloga je u tankovima u kojima voda nije često mijenjana;
- organizama u talogu – kao što su *ciste dinoflagelata*.

Kada bi postojale rupice ili žljebovi koji se protežu preko veće visine cijevi za sondiranje, uzeti uzorak sadržavao bi vodu s različitih visina u tanku, čime bi uzorak bio tim bolji jer bi se rješio problem slojevitosti organizama.

5.10.3. Uzimanje uzoraka s balastnog cjevovoda

Uzorak je moguće uzeti s balastne pumpe ili negdje uzduž cjevovoda (s filtra), gdje postoji ventil. Prednost ove je metode što se uzorak može uzimati kroz dulje vrijeme, i što uzorak sadrži manje-više vodu iz većine tankova (a ne nasumice odabranih tankova).

Reprezentativniji uzorak dobije se kad se voda ispušta iz balastnih tankova, nego kada se uzima u luci balansiranja. Pokazalo se da ova metoda kao i mnoge druge ima svoje negativnosti i nedostatke koje nisu nezanemarive uz posebne uvjete uzimanja uzoraka.

Osnovni nedostaci korištenja ove metode su:

- uzorak se može uzeti samo pri radu balastne pumpe – dakle pri debalastiranju;
- cijevi spojene na balastni cjevovod uzimaju vodu s oboda cijevi dok je u sredini cijevi brzina turbulentnog protoka najveća – problem hvatanja vrlo pokretljivog *zoo-plankton*;
- uzorak treba uzimati na tlačnoj strani pumpe.⁸⁶

⁸⁵ Ibid., str. 10.

⁸⁶ Ibidem

5.11. Konvencija o balastnim vodama

Kako bi se pravno i legalno zaštitilo onečišćenje okoliša u Londonu je organizirana Diplomatska konferencija pod pokroviteljstvom IMO - *International Maritime Organization*, u veljači 2004 godine čiji je Hrvatska član od 1992 godine, kamo su prisustvovali delegati iz 74 zemlje svijeta, promatrači međuvladinih organizacija i 18 nevladinih međunarodnih organizacija.

Na Konferenciji je uočena problematika balastnih voda i donijeta je *Međunarodna konvencija za kontrolu i upravljanje brodskih balastnih voda i sedimentata*. Svrha Konvencije je prevencija, minimaliziranje i konačno sprječavanje prijenosa opasnih i otrovnih morskih organizama kontrolom balastnih voda i sedimentata.

Konvencija će zahtijevati da svi brodovi primjenjuju tzv. *Plan za balastne vode i upravljanje sedimentima (Ballast Water and Sediments Management Plan)*. Svi će brodovi morati imati tzv. *Kontrolnu knjižicu za balastne vode (Ballast Water Record Book)* i morat će provoditi zadane procedure upravljanja balastnim vodama. Od novih brodova to će se tražiti odmah, dok će postojeći imati određeni vremenski period za implementaciju. Konvencija će stupiti na snagu dvanaest mjeseci nakon ratifikacije od strane 30 zemalja, koje predstavljaju 35 % svjetskih trgovačkih brodskih tona.

Konvencija zatim navodi razne mjere i procedure koje moraju poštivati i provoditi i brodovi i luke. U vezi aktualne problematike povećanja tankerskog prometa u Jadranu, dobro je osvrnuti se na odredbu Konvencije kojom brodovi trebaju izmijeniti balastne vode najmanje 200 nautičkih milja od najbližeg kopna i na dubini od minimalno 200 m. Ako se taj uvjet ne može ostvariti onda to moraju učiniti najmanje 50 nautičkih milja od najbližeg kopna i na dubini od minimalno 200 tona. Zbog male širine Jadrana nije moguće praktično ostvariti ni jednu od tih dviju opcija, u tom slučaju Konvencija predviđa da se načinu izmjene balastnih voda moraju dogovoriti sve relevantne strane, u slučaju Jadrana to bi bile zemlje koje ga dijele. Konvencija dalje propisuje različite standarde kvalitete balastne vode i standarde izmjena tih voda.

U hrvatske luke ispušta se relativno mala količina vodenog balasta, ali ipak, zbog stanja normizacijskih faktora s elementima stanja veće razine štetnosti postoji razlog za ozbiljnu zabrinutost.⁸⁷

5.12. Određivanje razine tekućine u tankovima primjenom svjetlovodne tehnologije

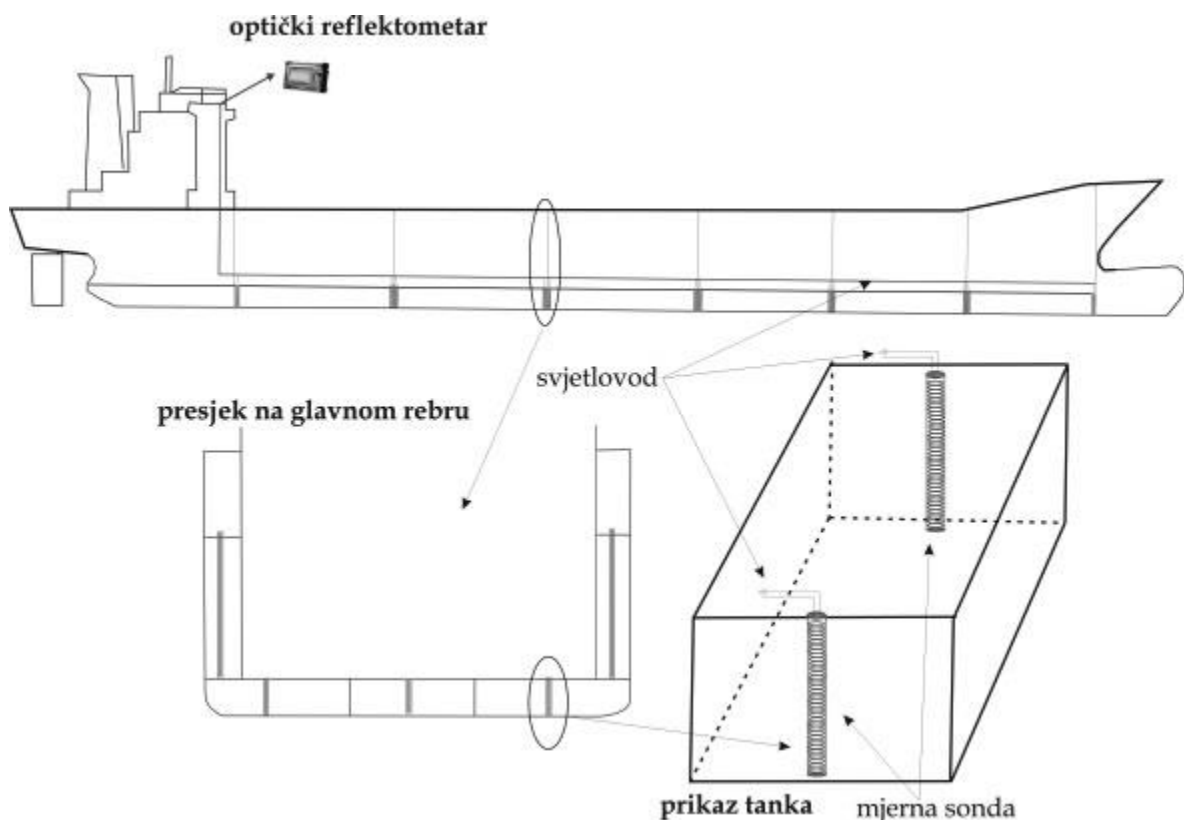
Svjetlovodna tehnologija temelji se na emitiranju, prijenosu i prijemu svjetla, odnosno na generiranju svjetlosnog signala električnom pobudom. Početkom ovoga stoljeća zbog svojih prednosti u prijenosu informacija i velikom prijenosnom kapacitetu intenzivirana je njena primjena u različitim gospodarskim djelatnostima te tako i u pomorstvu. Primjena svjetlovodne tehnologije može biti u vidu:

- komunikacijske svjetlovodne mreže za prijenos različitih vrsta podataka (mjerni podaci, komunikacije, nadzor i signalizacija), te
- optičkog senzora (za mjerenje neelektričnih i električnih veličina).

Optički senzori služe za mjerenje raznih neelektričnih i električnih veličina (naprezanja, tlaka, temperature, pomaka, vibracija, električne struje, magnetskog i električnog polja, kemikalija). Oni su malih dimenzija, lagani, a osjetljivost, dinamički opseg i rezolucija im je veća od konvencionalnih senzora. Izrađeni su od dielektričnih materijala i imuni na bilo kakve elektromagnetske utjecaje te se mogu ugraditi i u zahtjevne okoline. Osnovni elementi optičkog senzora su: izvor svjetlosti, svjetlovodna nit, osjetilni element i detektor. Optički senzori rade na principu moduliranja svjetlosti unutar niti kao odgovor na vanjsku električnu ili neelektričnu pobudu. Prema namjeni i obilježjima razlikuju se dvije vrste senzora: ekstrinzični i intrinzični. Kod ekstrinzičnih senzora svjetlovodna nit služi za prijenos signala do osjetilnog elementa gdje se signal modulira pod nekim vanjskim utjecajem kojeg želimo mjeriti. Signal se dalje vodi svjetlovodnom niti do detektora koji izdvaja željenu informaciju iz moduliranog signala. Intrinzični senzori za mjerenje vanjskog utjecaja koriste fizikalna svojstva same svjetlovodne niti. Fizikalna svojstva svjetla koje prolazi kroz nit, kao što su amplituda, frekvencija, faza ili polarizacija, mijenjaju se pod djelovanjem vanjskih utjecaja. Te se promjene mogu

⁸⁷ Kurtela.Ž., Metodologija postupanja vodenim balastom na brodu, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2008., str.132

jednostavno detektirati i zabilježiti odgovarajućim mjernim instrumentom.⁸⁸ U ovom konceptu određivanja količine tekućine u tankovima balasta, vode te stonovima predlaže se uvođenje kontinuiranog mjerenja razine tekućine primjenom svjetlovodne tehnologije. Sustav za mjerenje razine tekućine sastoji se od svjetlovodne niti pružene između optičkog izvora i detektora signala koji očitava vrijednost mjerene veličine. Kao senzori u određivanju razine tekućine u pojedinom tanku koristili bi se posebni intrinzični senzori, tzv. distribuirani senzori, koji se sastoje od plastične svjetlovodne niti omotane oko cilindrične cijevi i vertikalno uronjene u tank s tekućinom. Na sredini svakog punog namota oko cijevi, nit je ispolirana i uklonjen je dio jezgre niti. Različiti indeks loma zraka i tekućine uzrokuje povratno raspršenje svjetla na poziciji uronjene niti, odnosno razini tekućine u tanku. Za očitavanje mjenog signala koristio bi se optički reflektometar (eng. optical time domain Reflectometer), mjerni uređaj koji obavlja mjerenja s jednog kraja (i optički izvor i detektor nalaze se na istoj strani svjetlovodne niti). U svaki tank bila bi postavljena ukupno dva distribuirana senzora, smještena po sredini prednjeg i stražnjeg dijela tanka.



Slika 20. Smještaj senzora za mjerenje razine tekućine

⁸⁸ R. IVČE, R. MOHOVIĆ, I. JURDANA: Metode i analiza mjernih postupaka za određivanje razine tekućine u brodskim tankovima i stonovima, Pomorstvo, god. 23, br. 2 (2009), str. 635-648

Izvor (R. IVČE, R. MOHOVIĆ, I. JURDANA: Metode i analiza mjernih postupaka za određivanje razine tekućine u brodskim tankovima i stonovima, Pomorstvo, str. 635-648)

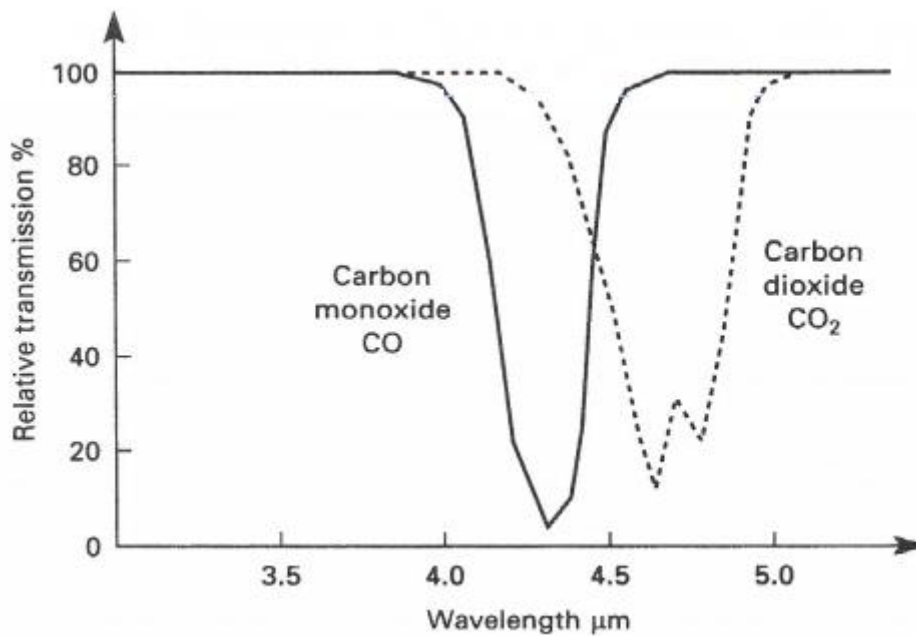
Razina tekućine određena na ovaj način bi se koristila kao ulazni podatak u računalnom određivanju mase tekućine u tankovima i stonovima. Predloženom pozicijom smještaja senzora izbjegnuto je utjecaj pogreške u očitavanju razine uslijed bočnog nagiba broda. Također utvrđivanje razine na oba dijela tanka pruža mogućnost preciznijeg određivanja mase tekućine u pojedinom tanku, posebno u slučajevima značajnijeg trima broda. Smještaj senzora vidljiv je na slici . Osnovna prednost primjene svjetlovodne tehnologije u određivanju mase tekućine u tanku je u eliminiranju mogućih pogrešaka koje se pojavljuju tijekom određivanja razine tekućine sondiranjem. Također postoji mogućnost prijenosa podataka o razini tekućine u pojedinom tanku primjenom svjetlovodne tehnologije što dodatno umanjuje mogućnost pojave pogreške koje se pojavljuju korištenjem klasičnih tehnologija prijenosa podataka na brodu. Sustav određivanja razine tekućine primjenom svjetlovodne tehnologije umanjuje utjecaj objektivnih okolnosti koje mogu dovesti do pogreške tijekom očitavanja, te u potpunosti eliminira izravne subjektivne pogreške, a time i posljedice koje mogu proizaći iz nepoznavanja mase tekućine u brodskim tankovima i stonovima tijekom izvođenja pomorsko plovidbenog procesa. Načelno bi se razina tekućina u tankovima tereta mogla određivati primjenom sustava sličnog prethodno opisanom. Međutim, pristup problemu određivanja razine tekućine u tankovima tereta, pored ostalog i zbog obilježja tekućih tereta, zahtijeva sveobuhvatnije istraživanje kako bi se iznašlo odgovarajuće rješenje.⁸⁹

5.13. Određivanje razine ispušnih plinova putem svjetlovodne tehnologije

Enorman porast cijene goriva te visoki ekološki zahtjevi postavili su pred proces izgaranja zahtjeve da se postigne što veća efikasnost izgaranja i što je manje moguća emisija štetnih plinova. Zrak sadrži volumno 21% kisika i 79% dušika (teoretski). S potpunim izgaranjem sav ugljik u gorivu se pretvara u ugljični dioksid te je sadržaj ugljičnog dioksida u ispušnim plinovima oko 12%. S nepotpunim izgaranjem osim ugljičnog dioksida stvara se i ugljični monoksid. Efikasnost procesa izgaranja može se kontrolirati promatrajući koncentracije kisika, ugljičnog dioksida, ugljičnog monoksida i dušikovih oksida u ispušnim kolektorima. Porast npr. sadržaja kisika u ispušnim

⁸⁹ Ibidem

plinovima signalizira da je pretičak zraka prevelik dok veliki sadržaj ugljičnog monoksida signalizira da je pretičak zraka premalen tj. nema dovoljno kisika za potpunu kemijsku reakciju izgaranja. Svaki kemijski element zadržava pojedine valne dužine svjetlost koje prolaze kroz njega. Zemljina atmosfera (ozon) blokira većinu sunčevih radijacijskih zraka osim vidljivog svjetlosnog zračenja s valnim duljinama od $0.38 \mu\text{m}$ (ljubičasta) do $0.78 \mu\text{m}$ (crvena). Na slici 20. prikazan je dio apsorpcijskog spektra za ugljični dioksid i ugljični monoksid.

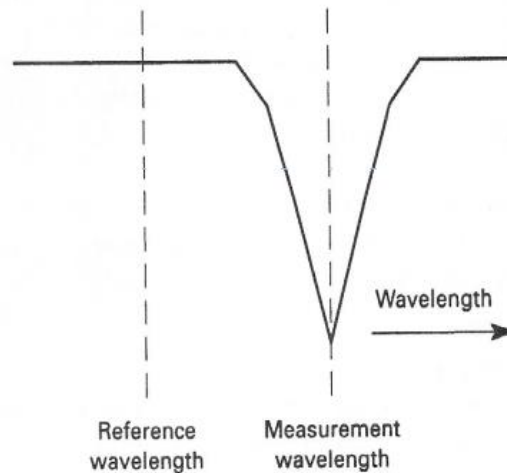


Slika 21. Apsorpcijski spektar CO₂ i CO

Izvor(unidu.hr/datoteke/majelic/ABP-7.pdf, str. 25)

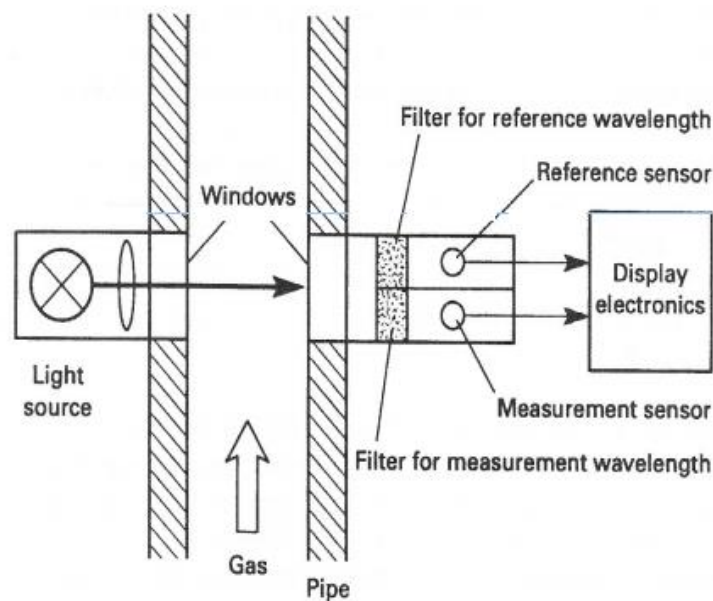
Apsorpcijski spektar i CO₂ i CO nalazi se u infracrvenom području. Dijelovi spektra gdje je prolaz valova blokiran zove se apsorpcijski opseg plina. Različiti dijelovi svjetlosnog spektra koriste se za različite plinove pa se tako infracrveni dijelovi spektra koriste za CO₂ i CO, vidljivi dijelovi spektra za dušične okside NO_x, a ultraljubičasti za sumporne okside. Temelj rada optičkog analizatora prikazan je na slici 21. Izabiru se dvije valne dužine od kojih se prva zove referentna valna duljina te za tu valnu dužinu nema apsorpcije promatranog plina, niti bilo kojeg drugog plina valnu dužinu nema apsorpcije promatranog plina, niti bilo kojeg drugog plina. Druga valna duljina naziva se mjerna valna duljina, te je locirana u apsorpcijskom opsegu specifičnom za promatrani plin. Prikaz rada optičkog analizatora koji se primjenjuje u industriji dat je na slici 22. Uzorak

promatranog plina prolazi kroz cijev a jednostruka svjetlosna zraka (infracrvena) prolazi poprečno po presjeku cijevi do dva detektora. Svjetlosna zraka prvo prolazi kroz prvi filter koji propušta na senzor samo referentnu valnu duljinu, dok drugi filter propušta na senzor samo mjernu valnu duljinu. Intezitet svjetlosti primljen na oba senzora ne ovisi samo o sastavu plinova već i od temperature plinova, intezitetu svjetlosne zrake, čistoći leća na obje strane cijevi.



Slika 21. Valne duljine upotrijebljene u optičkom analizatoru

Izvor(unidu.hr/datoteke/majelic/ABP-7.pdf, str. 27)



Slika 22. Temelj rada optičkog analizatora

Izvor(unidu.hr/datoteke/majelic/ABP-7.pdf, str. 27)

6. ZAKLJUČAK

Zaštita morskog okoliša od onečišćenja iz zraka novijeg je doba. Nema ni međunarodnih ni regionalnih ugovora koji su samo posvećeni zaštiti mora od onečišćenja iz zraka. Iz tog razloga pravila za sprečavanje onečišćenja iz zraka nalazimo u konvencijama koje se bave nadziranjem i sprečavanjem emisija u atmosferu i konvencijama o onečišćenjima s brodova i iz kopnenih izvora. U tom smislu, treba od općih konvencija posebno spomenuti Konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka na velikim udaljenostima, kojom se pokušava smanjiti onečišćenje zraka, pa posredno i mora iz zraka. Odabir optimalnoga porivnog sustava jedan je od najvećih izazova u projektiranju broda. Postavljaju se povećani zahtjevi sigurnosti plovidbe, visoke rentabilnosti i ekološke prihvatljivosti, čemu je ponekad teško udovoljiti. Remećenje vjekovima uspostavljenog ekosustava dokazuje se prorijeđivanjem i isčezavanjem pojedinih biljnih i životinjskih vrsta te oštećenjem prirodnih dobara. Osim izravnim djelovanjem, čovjek uzrokuje ekološke poremećaje i posredstvom ispuštenih otpadnih tvari u okolinu. Prekomjerno nagomilavanje onečišćenja u biosferi nepovoljno utječe na cikluse prirodne pretvorbe tvari te na zdravlje čovjeka, pa čak i na njegov opstanak. Štetno djelovanje onečišćivača na ljudska bića suštinski je razlogom njihova proučavanja, praćenja raspodjele u biosferi, odnosno migracije u prirodnom mediju te naročito kontrole ispuštanja iz različitih antropogenih izvora. Čovjekovo bavljenje posljedicama svojih aktivnosti osobito je važno za argumentirano prikazivanje porasta onečišćenja i potencijane štetnosti pojedinih onečišćivača.

Većina svjetske trgovine obavlja se morima i njima plovi više od 86.000 preoceanskih trgovačkih brodova, od kojih je 90% pogonjeno dizelskim motorima. Oni, iako pouzdani, efikasni, laki za održavanje, moraju udovoljiti i zahtjevima za što nižom emisijom štetnih plinova. NO_x se ograničuje primarnim i sekundarnim metodama, od kojih prve mijenjaju konfiguraciju samog motora i djeluju izravno na proces izgaranja. Sekundarne se oslanjaju na uklanjanje NO_x iz ispušnih plinova izvan motora, i upravo se selektivno katalitičko smanjenje (SCR) pokazalo najučinkovitijim, i danas je najviše u uporabi. Svaka od metoda nosi sa sobom i određeni kompromis; smanjenjem NO_x može se povećati potrošnja goriva ili emisija nekih drugih štetnih plinova. Za neke od njih (CO₂) utvrđeno je eksponencijalno povećanje i nepoznavanje gornjih granica mogućeg rasta.

Teškoće nadziranja budućeg stanja dinamičke globalne perspektive ekoloških sustava iz većine onečišćivača globalno raspoređenih i što se njihovi učinci javljaju podalje od mjesta nastajanja. U izučavanju globalnog onečišćenja potrebno je osim prostora uzimati i vrijeme kao utjecajni čimbenik. Zakašnjenje djelovanja na ekološke procese povećava vjerojatnost "nehotičnog" dostizanja gornjih granica zbog potcijenjivanja preventivnih mjera. S druge strane, općenito nije poznato koliko se pojedinih onečišćivača može ispustiti u biosferu, a da se ne prouzroče pojave većih poremećaja životnih procesa, kao i nepovratnih promjena u klimatskim uvjetima. Stupanj degradacije i onečišćenja čovjekovog okoliša povećava se porastom industrijalizacije i urbanizacijom, kao i popratnom pojavom razvojem pomorskog prometa, odnosno gospodarskim razvitkom općenito. Očuvanje kvalitete okoline uz racionalno korištenje prirodnih resursa predstavlja stoga jedan od najaktualnijih problema daljnjeg tehnološkog, odnosno gospodarskog razvoja svake zemlje. Spriječavanje onečišćenja biosfere iziskuje suradnju pomorskog gospodarstva i javnog sektora, pri čemu nauka mora dati svoj doprinos u razumijevanju i rješavanju problema. Metode za poboljšavanje i održavanje ekoloških standarda trebaju pomoći pomorskom gospodarstvu u cjelini za unaprijeđenje, uključivanje i održavanje visokih standarda u pomorskom prometu, radi očuvanja kvalitete čovjekovog okoliša, oko međunarodno dogovorenog minimuma. Osim standarda neophodno je povećati kapitalna ulaganja i ustrajati na daljnjem tehničko-tehnološkom razvoju. Neophodno je unaprijed označiti mogući rizik i osjetljivu strukturu brodskih sustava u odnosu na preventivne mjere za spriječavanje onečišćenja mora s brodova te osigurati da zahtjevi za zaštitu morskog okoliša budu integrirani dio procesa izgradnje broda.

Evolucijski proces bioloških vrsta pao je u nesklad s prirodom drugih staništa, a balastne vode su u svjetskim razmjerima drugi najveći razlog uništenja biološke raznolikosti (nakon sječe šuma). Dok je problem od havarije realna ali potencijalna opasnost, problem balastnih voda je neminovnost i stvar koja se može vrlo teško izbjeći, budući da su balastne vode neophodne za sigurnu plovidbu praznih tankera i drugih trgovačkih brodova. Sistematski gledano, u balastnim vodama sakupljeni su živi organizmi od virusa, bakterija i modrozelenih algi do višestaničnih životinja. Najmanje 50 vrsta mikroorganizama pronađeno je u tankovima u samo jednom pregledu jednog tankera.

Invazija novih organizama, danas predstavlja veoma ozbiljan problem, koji može imati značajan utjecaj na okolinu i veoma nepovoljan učinak na gospodarstvo mnogih zemalja (turizam, ribarstvo, kao i na različite vrste industrije čija su postrojenja vezana uz more). Zato je danas jedan od glavnih zadataka znanstvenika da pronađu najbolji način kako bi se isključio ili barem značajno umanjio prijenos ili utjecaj novih organizama putem balastnih voda.

Realizacijom projekta Družba Adria, Omišaljska luka, koja je do sada bila uvozna luka za naftu, postat će i izvozna luka. Kako je problem balastnih voda postojeći problem, a ne tek dolazeći, potrebno je i u međuvremenu, do donošenja Konvencije, rizike svesti na minimum. Od samog početka potrebno je djelovati proaktivno u smislu uzimanja "kvalitetnog" balasta na brod kojim se može smanjiti unos/prijenos različitih vodenih organizama.

Metode izmjene i obrade koje su primjenjive za jedan tip broda ne moraju nužno značiti da će biti optimalne za drugi tip broda. Ono ovisi o raznim faktorima. Trajanju putovanja broda, brzini broda, rute kojima brod plovi, odnosu ukupnog kapaciteta balasnih tankova i balasnih pumpi, te raspoložive količine otpadne topline. Do danas ni jedna metoda obrade i izmjene vodenoga balasta ne omogućuje odstranjivanje organizama, potpunu biološku efikasnost te se na temelju toga provedena istraživanja usmjerena na štetnost ispuštenog vodenog balasta. Isključivo štiteći prirodu, a time i vodu koja je izvor života moći ćemo zaštititi i sebe.

Brodari, brodograđevna industrija i proizvođači različite brodske opreme, ali i zakonodavstvo, intenzivno rade na stvaranju novih spoznaja bitnih za odabir porivnog postrojenja i goriva te na prilagodbi onih postojećih zahtjevima sigurnosti i očuvanja okoliša.

Sustavni pristup spriječavanju onečišćenja mora s brodova omogućava sagledavanje sustava pomorskog prometa u cjelini, čime je olakšano upravljanje. Obnašanje odgovornosti u upravljanju zaštitom morskog okoliša mora postati politički aksiom koji, ako zatreba, smanjuje zaradu i u doba kada je svaka "mrvica" te zarade vrlo značajna. To znači da onečišćenje morskog okoliša postaje i politički važno, što se zapravo već počelo događati i u zemljama u tranziciji. Interes za održavanje dobrog imidža u pomorstvu raste. Takva filozofija i ekonomske kalkulacije moraju ohrabriti te treba ustrajati u

određivanju akcija protiv onih koji nanose ljagu pomorstvu, jer je zbog toga, nažalost, potrebno uložiti još više znanja, napora, novčanih sredstava i vremena.

Zbog povećanja onečišćenja zraka , uzrokovanog brodskim emisijama u urbanim područjima u blizini lučkih bazena, postoji potreba za uvođenjem novih metoda koje mjere i prate količinu onečišćenja ispuštenih sa brodova u lukama. LIDAR se temelji na daljinskom mjerenju i analizi onečišćenja brodskih ispušnih plinova. Osim toga, na temelju odabrane vrste koja se mjeri, prikladni mjerni uređaji temeljeni na LIDAR tehnologiji, moraju biti izabrani u skladu sa određenim kriterijima. Konačno, predlaže se nadzorni sustav temeljen na LIDAR-u koji je pogodan za praćenje brodskih emisija u lukama Jadrana.

LITERATURA

Knjige:

1. Kurtela.Ž., Metodologija postupanja vodenim balastom na brodu, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2008
2. Lacković M., Modeliranje i analiza performansi optičkih transmisijskih mreža s komutacijom paketa, Magistarski rad, FER Zagreb, 2004
3. Martinović, D.: Brodski strojni sustavi. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2004
4. Radan,D., Lovrić,J.: Prijedlozi provedbe nadzora izmijene balastnih voda na tankerima. Sveučilište u Dubrovniku, Zagreb, 2010

Časopisi i ostale tiskovine:

5. Bedalov G., Usporedba učinaka transuretralne resekcije prostate i endoskopske laserske ablacije prostate na postoperativni imunološki status bolesnika s adenomom prostate, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 2003.
6. CARNet, Sigurnost i svjetloodi, CERT pubdoc-2007-06-15
7. Jurdana I., „Primjena svjetlovodne tehnologije na brodovima“, Pomorstvo, god. 22, br. 2 (2008)
8. R. IVČE, R. MOHOVIĆ, I. JURDANA: Metode i analiza mjernih postupaka za određivanje razine tekućine u brodskim tankovima i stonovima, Pomorstvo, god. 23, br. 2 (2009)
9. Marasović J., Svjetlovodi, seminarski rad, FER Zagreb, 2005.
10. Pomorstvo, god. 22, br. 2 (2008)
11. Naše more, B. Milošević-Pujo, N. Jurjević: Onečišćenje mora iz zraka emisijom ispušnih plinova

12. Jerković, Prelec,: Upravljanje balastnim vodama u fokusu ekološki prihvatljivog transporta,
13. Naše more, 55(1-2)/2008
14. Luka Rijeka d.d., Bazen Rijeka, „Operativni plan interventnih mjera u slučaju izvanrednog i iznenadnog onečišćenja voda za lokaciju bazena Rijeka“, Rijeka, 2012.
15. mr.sc. Ivan Komar, Branko Lalić, dipl.ing., mr.sc. Dorđe Dobrota, „Sprječavanje onečišćenja zrakom emisijom lakohlapljivih organskih spojeva s tankera za prijevoz sirove nafte“, Naše more 57 (3-4) 2010, Dubrovnik, 2010.
16. Jasmin Celic, Aleksandar Cuculic, Marko Valcic; Remote Sensing for Ship Emissions Monitoring, in Adriatic Ports: An Approach

Web izvori:

17. <http://hr.wikipedia.org/wiki/Kvarc> (10/08/2013)
18. unidu.hr/datoteke/majelic/ABP-7.pdf (14/08/2013)
19. http://www.prolight.hr/laser-show-rasvjeta-efekti/laser_show-2-o-laserima (20/09/2013)
20. http://www.prolight.hr/laser-show-rasvjeta-efekti/laser_show-2-o-laserima (20.09.2013)
21. http://hr.wikipedia.org/wiki/Rubinski_laser (20.09.2013)
22. <http://hr.wikipedia.org/wiki/Nd:YAG> (20.09.2013)
23. http://en.wikipedia.org/wiki/Excimer_laser (20.09.2013)
24. http://hr.wikipedia.org/wiki/CO2_laser (20.09.2013)
25. http://en.wikipedia.org/wiki/Yttrium_aluminium_garnet (20.09.2013)
26. http://en.wikipedia.org/wiki/Dye_laser (20.09.2013)
27. http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_parametric_oscillator (20.09.2013)

28. http://en.wikipedia.org/wiki/Ti-sapphire_laser (20.09.2013)

POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA:

Popis slika:

Slika 1. Svjetlovodna nit	4
Slika 2. Spektar elektromagnetskog zračenja.....	5
Slika 3. Zakon refleksije svjetlosti	6
Slika 4. Zakon loma svjetlosti.....	6
Slika 5. Totalna refleksija svjetlosti.....	7
Slika 6. Shematski prikaz zrake kroz svjetlovod	8
Slika 7. Kritični, maksimalni kut upada – numerički otvor	8
Slika 8. Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma	12
Slika 9. Višemodni svjetlovod sa gradijentnim indeksom loma	14
Slika 10. Jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma	15
Slika 11. Dimenzije svjetlovodnih niti.....	17
Slika 12. Silicijev dioksid – kvarc.....	18
Slika 13. Prikaz svjetlovodnog kabela za instalaciju na brodovima	23
Slika 14. Shematski prikaz svjetlovodnog senzora za razinu vode na brodu	26
Slika 15. Prodiranje pojedinih vrsta laserskih zraka u tkivo	28
Slika 16. Prigušenje u ovisnosti o valnoj dužini	31
Slika 17. Optički prozori.....	32
Slika 18. Polarizacijska disperzija	34
Slika 19. Osnovni elementi laserskog senzora rad u okolišu	56
Slika 20. Smještaj senzora za mjerenje razine tekućine	69
Slika 21. Apsorpcijski spektar CO ₂ i CO.....	71
Slika 22. Temelj rada optičkog analizatora.....	72

Popis tablica:

Tablica 1. Područje primjene LIDAR-a	53
--	----

Popis grafikona:

Grafikon 1. Količina ispuštanja NO _x i SO ₂ prema vrstama brodova na području luke Rijeka	48
Grafikon 2. Količina ispuštanja VOC i CO ₂ prema vrstama brodova na području luke Rijeka	49