

# Radni procesi koji dovode do proizvodnje ugljičnog monoksida na brodu, mjere prevencije, klinička slika otrovanja i liječenje otrovanih s ugljičnim monoksidom

---

Šarić, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:472319>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**DOMINIK ŠARIĆ**

**RADNI PROCESI KOJI DOVODE DO  
PROIZVODNJE UGLJIČNOG MONOKSIDA NA  
BRODU, MJERE PREVENCIJE, KLINIČKA  
SLIKA OTROVANJA I LIJEČENJE OTROVANIH  
S UGLJIČNIM MONOKSIDOM**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2022.  
SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA**

**RADNI PROCESI KOJI DOVODE DO  
PROIZVODNJE UGLJIČNOG MONOKSIDA NA  
BRODU, MJERE PREVENCIJE, KLINIČKA  
SLIKA OTROVANJA I LIJEČENJE OTROVANIH  
S UGLJIČNIM MONOKSIDOM**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**

**Dr.sc. Rosanda Mulić**

**STUDENT:**

**Dominik Šarić  
(MB:0171279110)**

**SPLIT, 2022.**

## SAŽETAK

U ovom radu analizirani su radni procesi koji dovode do proizvodnje ugljičnog monoksida (CO), koji predstavlja veliku opasnost za čovjeka, kako u životnom prostoru gdje najviše obitava, tako i na brodu. Otrovanje koje se opisuje u radu uzrokovano je izlaganjem opasnom plinu, koji je plin sistemskog djelovanja. Pomorcima u svakodnevnom radu na brodu, pogotovo onima koji dugi niz godina plove prijeti jako mnogo otrova. Posebnu opasnost od izlaganja ugljičnom monoksidu imaju pomorci koji prevoze teret pogodan za stvaranje ovog plina te oni koji plove na manjim brodovima gdje je opasnost od otrovanja ugljičnim monoksidom realno veća.

Zadovoljavanje odgovarajućih konstrukcijskih standarda kao i korištenje osobnih zaštitnih sredstava i postupaka mjere su za sprječavanje otrovanja ugljičnim monoksidom. Brodski časnik ima veliku ulogu u pružanju prve pomoći kod životno ugroženih članova posade broda. Jedna od ključnih uloga časnika odgovornog za pružanje prve pomoći i medicinske skrbi je pružanje adekvatne skrbi oboljelom ili životno ugroženom članu posade prema propisanim procedurama. Važno je napomenuti kako i svi ostali članovi posade snose određenu odgovornost, počevši od prepoznavanja znakova opasnosti od stvaranja plina te prevencije istog.

**Ključne riječi:** ugljični monoksid, otrovanje, prevencija.

## **ABSTRACT**

This paper analyzes the work processes that lead to the production of carbon monoxide (CO), which represents a great danger for humans, both in the living space where most people live, and on board. The poisoning described in the paper is caused by exposure to a dangerous gas, which is a systemic gas. Seafarers are exposed to many poisons in their daily work on board, especially those who have been sailing for many years. Seafarers who transport cargo suitable for the formation of this gas, and those who sail on smaller ships where the risk of carbon monoxide poisoning is actually greater, are at particular risk of exposure to carbon monoxide.

Meeting appropriate construction standards as well as using personal protective equipment and procedures are measures to prevent carbon monoxide poisoning. The ship's officer plays a major role in providing first aid to life-threatening ship crew members. One of the key roles of the officer responsible for providing first aid and medical care is to provide adequate care to a sick or life-threatening crew member according to prescribed procedures. However, it is important to note that all other crew members bear a certain responsibility, starting with recognizing the signs of the danger of gas formation and preventing it.

**Key words:** carbon monoxide, poisoning, prevention.

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
1.1.	Kemijska svojstva i izvori ugljičnog monoksida.....	2
2.	RADNI PROCESI KOJI DOVODE DO PROIZVODNJE I TROVANJA UGLJIČNIM MONOKSIDOM NA BRODU.....	7
2.1.	Opasnosti od otrovanja ugljičnim monoksidom tijekom oceanskog prijevoza drvenih peleta .....	9
2.2.	Istraživanje o otrovnim plinovima na teretnim brodovima .....	11
3.	METODE PREVENCIJE.....	16
3.1.	Postavljanje alarma za detekciju CO na brodu .....	18
4.	KLINIČKA SLIKA I LIJEČENJE OTROVANIH UGLJIČNIM MONOKSIDOM.....	20
5.	ZAKLJUČAK .....	27
	LITERATURA .....	28
	POPIS SLIKA .....	30
	POPIS KRATICA .....	31

# 1. UVOD

Ugljični monoksid (CO) jedan je od najopasnijih otrova koji se na brodovima stvara u radnim procesima ili se nalazi u teretu. Često pomorci ne shvate da je prisutan sve dok ne bude prekasno, stoga je važno educirati se o opasnostima trovanja ugljičnim monoksidom kako bi se pomorci zaštitili na vrijeme. Ugljični monoksid je organski dativni kovalentni spoj formule CO. Industrijski se proizvodi u velikim količinama jer se koristi za proizvodnju brojnih organskih i anorganskih spojeva. Zapaljiv je i otrovan plin pa se s njim mora pažljivo rukovati. Grčki filozof Aristotel prvi je primijetio ili zabilježio da ugljen izgaranjem proizvodi ugljični monoksid. Francuski kemičar de Lassone 1776. godine proizveo je ugljikov monoksid. Zagrijao je cinkov oksid (ZnO) s koksom kako bi proizveo CO, ali kako je CO gorio plavim plamenom, greškom je zaključio da je plin vodik. Škotski kemičar William Cruickshank, 1800. godine otkrio je kako plin ipak nije vodik, već spoj ugljika i kisika [1].

Prema izvješću Obalne straže SAD-a o statistici rekreacijske vožnje čamcima za 2017. godinu, trovanje ugljičnim monoksidom nalazi se na petom mjestu u prvih pet poznatih uzroka smrti među nautičarima i najčešći je uzrok bolesti i smrti od trovanja kod nautičara. Ranija zajednička studija koju su proveli US National Park Service, National Institute for Occupational Safety and Health i US Coast Guard o opasnostima od ugljičnog monoksida povezanima s plovidbom, posebno čamcima, otkrila je da se više od 800 ljudi u posljednjih 15 godina otrovalo ugljičnim monoksidom tijekom plovidbe, pri čemu je više od 140 trovanja rezultiralo smrtnim ishodom [2].

Razlog češćeg otrovanja ugljičnim monoksidom na manjim brodicama je sama činjenica kako iste uglavnom nemaju poprečnih konstruktivnih pregrada, već one pregrade koje samo djelomično dijele prostor. Prema tome se i prostor strojarnice kod manjih brodica najčešće svodi samo na kutiju koja pokriva motor i koja se nerijetko makar jednim dijelom nalazi u kabini odakle se u slučaju kvara na ispušnom sustavu CO može lako „razliti“ po kabini. Manje brodice, u slučaju potrebe za većom proizvodnjom struje, često koriste male prijenosne generatore koji se postavljaju na palubu odakle se ispušni plinovi mogu „izliti“ u stambene prostorije i otrovati putnike [3].

Određene aktivnosti koje je stvorio čovjek također doprinose zagađivačima zraka koji se ispuštaju u zrak poput određenih tvornica, elektrana, ispušnih plinova automobila i spaljivanja drva za ogrjev, a sve su to djelatnosti u kojima se otpad ne zbrinjava na

odgovarajući način. Uz ugljični monoksid, postoje brojni plinovi i kemikalije koje zagađuju zrak poput dušikovih oksida, ugljičnog dioksida, metana i sumpornog dioksida. Ovo su neki od glavnih zagađivača u zraku i mogu izazvati akutna i kronična otrovanja kod svih živih bića. Trovanje ugljičnim monoksidom nastaje kada se ugljični monoksid počne nakupljati u krvotoku. Kada postoji višak ugljičnog monoksida u zraku, on istovremeno počinje zamjenjivati kisik prisutan u crvenim krvnim stanicama, čime se onemogućuje transport kisika u tkivima, što dovodi do ozbiljnih zdravstvenih problema poput oštećenja tkiva ili čak smrti [2].

Uređaji koji nisu pravilno ventilirani, a posebno motori koji su dobro zatvoreni, mogu dovesti do nakupljanja ugljičnog monoksida do iznimno opasnih razina. Ako se kod neke osobe sumnja na otrovanje ugljičnim monoksidom, odmah ju treba izvesti na svjež zrak, do dolaska Hitne medicinske pomoći [2].

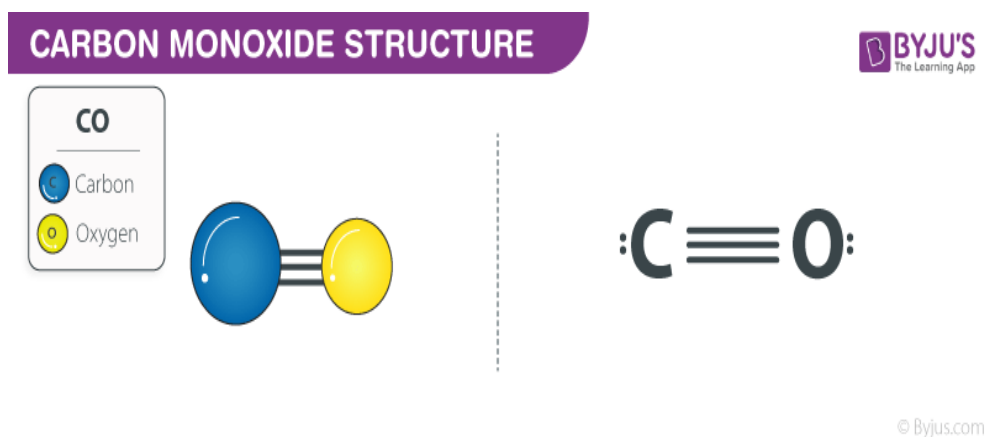
### **1.1. Kemijska svojstva i izvori ugljičnog monoksida**

Ugljični monoksid je otrovan plin koji se ne može vidjeti, pomirisati ili okusiti. Proizvodi se izgaranjem goriva na bazi ugljika, poput benzina i propana. Molekulska formula ugljičnog monoksida je CO. Jedna molekula ugljičnog monoksida sastoji se od jednog atoma ugljika i jednog atoma kisika koji su spojeni s dvije pi veze i jednom sigma vezom. Atom ugljika ima 4 valentna elektrona, a atom kisika ima 6 valentnih elektrona, ukupno ugljik i kisik imaju 10 elektrona u valentnoj ljusci u jednoj molekuli ugljikovog monoksida. Trostruke veze nastaju prema pravilu okteta za oba atoma. Ugljik ima sp hibridizaciju u ugljičnom monoksidu. Vezni kut je  $180^\circ$ , a duljina veze mu je 112,8 pm. Samo 25 mg CO je topivo u jednoj litri vode na  $25^\circ\text{C}$ . Topljiv je u kloroformu, octenoj kiselini, etil acetatu, etanolu, amonijevom hidroksidu i benzenu [3].

Ugljični monoksid proizvodi se u laboratorijima, a njegova velika proizvodnja odvija se u industriji gdje je glavni izvor ugljičnog monoksida proizvodni plin. Plin za proizvodnju je mješavina ugljičnog monoksida i dušika. Proizvodi se od koksa. Zrak prolazi preko užarenog ugljičnog goriva ili koksa i stvara se ugljični monoksid. Drugi izvor ugljičnog monoksida je vodeni plin, koji nastaje reakcijom pare i ugljika. Njegova velika proizvodnja na industrijskoj razini jasno ukazuje na njegovu važnost u raznim područjima. Koristi se kao jedan od reagensa za proizvodnju aldehida, proizvodnju deterdženata, pročišćavanju nikla, bojenje mesa, kao reduksijsko sredstvo, u mnogim pićima; u infracrvenim laserima velike snage i uklanjanju hrđe s površine metala te u metalurgiji [3].



Potencijalni izvori ugljičnog monoksida na plovilima su motori, generatori, grijači prostora i vode te štednjaci. Brodski teret također može sadržavati ili proizvoditi CO. Količina ugljičnog monoksida koju ovi izvori proizvode nije razlog za zabrinutost, međutim, ukoliko su nepravilno postavljeni, slabo prozračeni ili čak djelomično zatvoreni, količina ugljičnog monoksida se može brzo povećati do opasnih razina. Kada u zraku ima previše ugljičnog monoksida, on kroz pluća može ući u krvotok, a kada jednom uđe u krvotok, zauzima mjesto kisika čime se onemogućuje transport kisika koji je čovjeku potreban da ostane živ, što znači da visoka razina ugljičnog monoksida u organizmu može uzrokovati oštećenje organa i smrt [2]. Na slici 1. prikazana je struktura ugljičnog monoksida.



**Slika 1. Ugljični monoksid [3]**

Ugljični monoksid (CO) nastaje kad se materijal na bazi ugljika kao što je drvo, papir, nafta, benzin, plin ili drugi materijali koji sadrže ugljik spaljuju u ograničenoj količini zraka ili kisika, što dovodi do nepotpunog izgaranja. Obično se nalazi u ispušnim plinovima benzinskih, dizelskih ili LPG motora s unutarnjim izgaranjem i odgovoran je za većinu emisija koje uzrokuje čovjek i posljedičnih opasnosti na radnom mjestu.

Drugi industrijski izvori CO uključuju:

- 1) opremu za grijanje na bazi izgaranja
- 2) kupole u ljevaonicama željeza i čelika
- 3) jedinice katalitičkog kreiranja u rafinerijama nafte
- 4) taljenje sirovina visokih peći u postrojenjima za sinteriranje [4].

Nepravilno postavljeni i neispravni uređaji za grijanje na izgaranje često su uzročnici trovanja u kućanstvu. Ako se ventilacija smanji ili se stopa ili trajanje proizvodnje CO poveća, normalno i sigurno okruženje može odjednom postati iznimno opasno. CO je također

velika opasnost za vatrogasne službe. Dnevni osmosatni vremenski ponderirani prosječni standard izloženosti za CO trenutno je 30 milijuntinki (ppm). Kratkotrajna veća izloženost može biti dopuštena pod uvjetom da prosjek ne prelazi 30 ppm. Kontrole izloženosti trebaju imati za cilj održavanje razine karboksihemoglobina (COHb) ispod 5% [3].

Od brodskih tereta opasne mogu biti drvene pelete. Prema rezultatima istraživanja i male količine drvenih peleta također proizvode po život opasne razine CO u zatvorenim prostorima na temperaturi od 26°C, koje su povezane sa smanjenjem kisika. U istraživanju uskladištenih drvenih peleta iz 2008. godine, Kuang i suradnici utvrdili su da čak i male količine drvenih peleta mogu proizvesti visoke koncentracije CO te da emisije CO jako ovise o temperaturi. Visoke koncentracije CO brzo su postignute na visokim temperaturama, dok su niže koncentracije nastajale sporije na nižim temperaturama. Drveni peleti u količini od 800-1200 g skladište se u hermetički zatvorenim spremnicima od 2 l na razdoblje između 42 i 56 dana. Emisije CO kod takvog skladištenja kreću se od 13 973 do 15 086 ppm na 40°C i između 335 i 7662 ppm na 20°C. Istraživanje iz 2009. godine, koje su proveli Emhofer i Pointner pokazalo je da male količine drvenih peleta (2,2-6,5 kg) emitiraju visoke koncentracije CO, ovisno o raspoloživom kisiku, vrsti drva i temperaturi. Koncentracija CO je eksponencijalno rasla i bila 10-15 puta veća s porastom temperature od 15 do 40°C. Unatoč tomu, koncentracije CO izmjerene na sobnoj temperaturi od 20°C bile su znatno iznad maksimalne granice izloženosti (447 ppm) [4].

Kuang i sur. utvrdili su da su koncentracije CO u spremnicima bile najveće u onima gdje su se skladištili sitni komadi drvenog peleta, što je dovelo do sugestije da povećana površina peleta može potaknuti kemijske procese odgovorne za emisiju CO. Emhofer i Pointner dobili su slične rezultate, utvrdivši da se emisija CO povećava s većom mehaničkom abrazijom drvenih peleta. Postojala je linearna veza između starosti peleta i proizvodnje CO. Svježi peleti ili peleti od svježe piljevine stvaraju veće koncentracije plina nego stari peleti ili peleti od stare piljevine.

Obzirom na vrijeme skladištenja, Emhofer i Pointner utvrdili su da drveni peleti emitiraju više razine CO u prvih 6 tjedana nakon proizvodnje, što se može pripisati smanjenom sadržaju masnih kiselina u uskladištenom drvu. Studije Arshadija i suradnika iz 2009. godine također su pokazale da udio masnih kiselina u uskladištenim drvenim peletima opada s vremenom [5].

Pretpostavlja se da su kemijske reakcije odgovorne za proizvodnju CO iz drvenih peleta zapravo autooksidacijski procesi, a naročito oksidacija masnih kiselina koje se nalaze u drvu. Kako različite vrste drva sadrže različite udjele masnih kiselina, proizvodnja CO iz peleta također ovisi o vrsti drva koje se koristi. Borovina sadrži veći udio nezasićenih masnih kiselina, što znači da je proizvodnja CO iz autooksidacijskih procesa kod peleta od borovine veća nego kod peleta od smreke.

Druge eksperimentalne studije Kuanga i suradnika istraživale su odnos između preostalog volumena zraka i emisije CO. Emisija plinova bila je veća iz drvenih peleta kada je postojao veliki prostor iznad, tj. s manjim volumenom punjenja peleta, jer je više kisika bilo dostupno za kemijske procese po peletu, čak i ako je trebalo više vremena da se postigne visoka emisija. S obzirom na relativnu vlagu, utvrdili su tek neznatno rastuće koncentracije CO s višom relativnom vlagom. U drugim materijalima s visokim sadržajem vode, kao što su drvena sječka i drvo za ogrjev, mjerenja tijekom prijevoza brodom pokazala su niske koncentracije CO (<100 ppm) u zraku; što ukazuje na to da postoje različiti mehanizmi odgovorni za proizvodnju CO, CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> u različitim materijalima koji ovise o njihovom sadržaju vode [5].

Terenska mjerenja koja su Emhofer i Pointner izvršili u skladištima drvenih peleta za kupce u sklopu studije Bioenergie2020+, pokazala su da se povišene koncentracije CO mogu naći osobito u hermetički zatvorenim skladištima peleta. Koncentracija CO bila je veća od 30 ppm (maksimalna granica izloženosti u Austriji) u 68% mjerenja i viša od 1000 ppm u 9% mjerenja. Ova su mjerenja obavljena najmanje 6 tjedana nakon skladištenja drvenih peleta u skladišta, tako da se odmah nakon skladištenja mogu očekivati još veće koncentracije CO.

Može se reći da CO nastaje procesima autooksidacije koji ovise o dostupnom kisiku, temperaturi, starosti peleta, vrsti upotrijebljenog drva i postupcima punjenja, kao i mehaničkoj abraziji i površini od drvenih peleta. Obzirom na skladišta peleta u privatnim kućanstvima postoji povećani rizik od po život opasnih koncentracija CO zimi, kada hladno vrijeme dovodi do češćeg punjenja skladišta svježim proizvedenim peletima ili peletima koji su bili samo kratko uskladišteni. Zbog povećane potražnje, proizvođači zimi proizvode više drvenih peleta i skladište ih kraće nego ljeti, što znači da će emisija otrovnih plinova u skladištu krajnjeg potrošača biti veća zimi [7].

Zaključuje se da po život opasne razine ugljičnog monoksida mogu proizaći iz drvenih peleta koji se drže u skladištima, ne samo na visokim temperaturama već i na prosječnoj

sobnoj temperaturi, s velikim prostorom, svježe proizvedenim i/ili nedavno punjenim peletima i iz vlažnosti koja se obično nalazi u tim skladištima. Opasnost je veća zimi, kada povećana potražnja za peletima rezultira češćom nadopunom svježe proizvedenih peleta i može doći do više tehničkih problema sa sustavom grijanja na drvene pelete. Opasnost od trovanja CO treba posebno objasniti osobama koje će možda morati ući u skladišta drvenih peleta u slučaju kvara i trebaju proći posebnu sigurnosnu obuku za taj događaj [8].

## 2. RADNI PROCESI KOJI DOVODE DO PROIZVODNJE I TROVANJA UGLJIČNIM MONOKSIDOM NA BRODU

Afinitet vezanja CO na ljudski hemoglobin je nekih 200-300 puta veći od kisika; što znači da nakon udisanja emisije CO u zatvorenim prostorima, tijelo zbog stvaranja karboksihemoglobina nema transport kisika u plućima i smrt nastupa od unutarnjeg gušenja. Koncentracija karboksihemoglobina u krvi od oko 10-20% uzrokuje simptome glavobolje i vrtoglavice, 30% COHb ili više oštećuje cerebralnu funkciju i rezultira letargijom, a oko 60% COHb vjerojatno će uzrokovati smrt kod zdravih ljudi. Teoretski se može pretpostaviti da koncentracija od 0,05% CO u zraku (ekvivalentno 500 ppm) daje koncentraciju karboksihemoglobina od 50% COHb, ovisno o fizičkoj aktivnosti osobe, trajanju izloženosti i općem zdravstvenom stanju [10].

Simptomi trovanja ugljičnim monoksidom mogu se pojačati s produljenom izloženošću ugljičnom monoksidu. Dugotrajna ili visoka izloženost ugljičnom monoksidu može uzrokovati ubrzan rad srca, gubitak svijesti i napadaje. Ako osoba spava ili je pod utjecajem alkohola, možda neće primijetiti simptome trovanja ugljičnim monoksidom dok se razvijaju, što dovodi do opasnosti od nepovratnog oštećenja mozga ili smrti [9]. Ljudi često povezuju prijetnju od trovanja ugljičnim monoksidom s domovima ili automobilima, ali nisu educirani kako određeni brodovi također proizvode znatnu količinu plina.

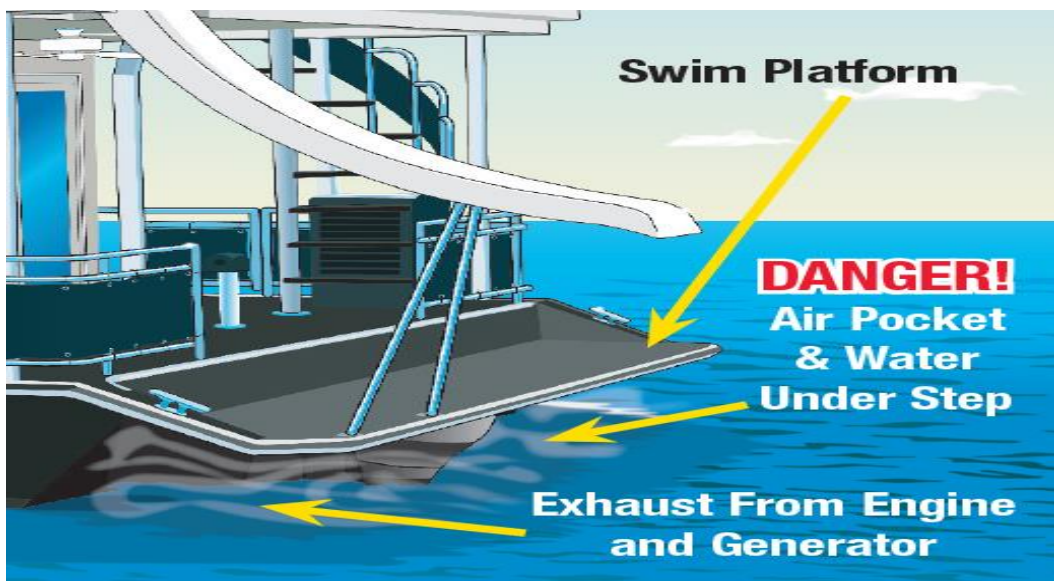
Plovila opremljena motorima na benzin ili ugrađenim generatorima proizvode veliku količinu ugljičnog monoksida (CO), plina bez mirisa i boje koji može otrovati pa čak i ubiti nekoga tko ga udahne previše. Dizelski motori također ispuštaju malu količinu ugljičnog monoksida. Izvori CO plina na brodovima uključuju motore, generatore, grijače prostora, grijače vode i štednjake. Uobičajeno, količina CO koju ti izvori proizvode nije razlog za zabrinutost. Raspored nekih brodova i način na koji se njima upravlja može uzrokovati nakupljanje ugljičnog monoksida, stvarajući opasnu pa čak i smrtonosnu situaciju [10].

Posada i putnici su pod povećanim rizikom od trovanja ugljičnim monoksidom ukoliko:

- 1) putuju brodom opremljenim ispušnim sustavom sa stražnjom ventilacijom. Ova vrsta ventilacije može uzrokovati nakupljanje ugljičnog monoksida iznad vode u blizini stražnje palube i platforme za plivanje. Koncentracija ugljičnog monoksida

koji ispunjava kapacitet ovog područja sposoban je ubiti nekoga u nekoliko sekundi;

- 2) redovito putuju malim brzinama jer to može uzrokovati nakupljanje ugljičnog monoksida u kabini, mostu, kokpitu, stražnjoj palubi i otvorenim područjima;
- 3) posada upravlja plovilom pod velikim pramčanim kutom, preopterećuje ili nepropisno opterećuje brod te ukoliko plove na brodu s otvorom koji uvlači ispušne plinove što dovodi do opasnosti od povratnog gaza i uzrokuje nakupljanje ugljičnog monoksida u kabini ili kokpitu. Povratni gaz se ubrzava ako je brod jako natovaren i radi pod velikim pramčanim kutom. Također, ako postoji otvor u blizini ispuha, emisije plina će brzo proći kroz otvor;
- 4) u slučajevima ako se plovilo ne održava ispravno. Začepljen ispušni sustav, blokirani ispušni otvori ili nepropisno ventilirana kućišta iznimno su prijeteći uzroci nakupljanja CO. Blokirani ili začepljen ispuh može uzrokovati nakupljanje po život opasnih razina ugljičnog monoksida u kabini plovila;
- 5) putnici sjede ili plivaju blizu/ispod stražnje palube ili platforme dok su motor ili generator uključeni. Stručnjaci za sigurnost preporučuju izbjegavanje ovog područja najmanje 15 minuta nakon što se motor ugasi;
- 6) plovilo pristane ili se usidri unutar 20 stopa od drugih brodova koji imaju upaljene motore ili generatore;
- 7) se zanemari rutinsko održavanje CO detektora [10].



Slika 2. Jedan od izvora ugljičnog monoksida na brodu [10]

## **2.1. Opasnosti od otrovanja ugljičnim monoksidom tijekom oceanskog prijevoza drvenih peleta**

Budući da se smatra posebno isplativim i klimatski neutralnim, grijanje na drvene pelete posljednjih je godina znatno poraslo. Prema Njemačkoj udruzi za drvena goriva i pelete (DEPV), broj sustava grijanja na drvene pelete u Njemačkoj porastao je s 3000 instalacija u 2000. godini na oko 140 000 u 2010. Drveni peleti se proizvode od prirodnog, komprimiranog drvnog otpada (piljevina, drvena sječka, strugotine ili otpaci). Sadrže manje od 10% vode i moraju biti proizvedeni od najmanje 98% čistog drva, s najviše 2% vezivnih aditiva poput škroba [11].

Grijanje na drvene pelete može se koristiti za opskrbu energijom samostojećih kuća i velikih stambenih naselja. Glavna komponenta ovih sustava grijanja je skladište peleta, koje je obično suha, zrakopropusna prostorija iz koje se peleti dovode putem transportne trake u ložište koje se nalazi u susjednoj prostoriji. Dobivena toplinska energija se distribuira po zgradi iz spremnika topline, drveni peleti se upuhuju u skladište pomoću crijeva pumpe kroz jedan ili više otvora za punjenje. Svako skladište ima pokazivač nivoa koji pokazuje količinu peleta u spremištu. Ako je moguće, nitko ne bi trebao ulaziti u skladište osim ako to nije prijeko potrebno za postavljanje ili održavanje. U tom slučaju za skladišta kapaciteta do 10 tona peleta, preporučuje se da se grijanje isključi 1h prije ulaska u prostoriju [11].

Skladište treba biti odgovarajuće prozračeno 24 sata prije ulaska, otvaranjem glavnih ulaznih vrata. Dodatno, postavljanje posebnih ventilacijskih stropova iznad priključaka za ubrizgavanje i usisavanje omogućuje izmjenu zraka u skladištu. Do danas su smrtni slučajevi od trovanja CO opisani samo u vezi s transportom ili skladištenjem velikih količina drvenih peleta. Korištenje drvenih peleta kao izvora energije za kućnu, komunalnu i industrijsku uporabu dramatično je poraslo tijekom posljednjih nekoliko godina. Izravna posljedica navedenoga je da je oceanski prijevoz robe u rasutom stanju tereta postao uobičajen, a 2007. godine 40% ukupne globalne proizvodnje drvenih peleta od 9 milijuna tona prošlo je kraći ili dulji oceanski prijevoz [11].

Rizici povezani s prijevozom naizgled bezopasnog tereta kao što su drvo i proizvodi od drva, uključujući drvene pelete, nisu dobro poznati niti dobro shvaćeni. Ovo je istraživanje pokrenuto nakon fatalne nesreće na brodu u luci Helsingborg, u studenom 2006., koja se dogodila dok je brod iskrcavao drvene pelete iz Britanske Kolumbije. Jedan pomorac je poginuo, lučki radnik je teško ozlijeđen, a nekoliko spasilaca je lakše ozlijeđeno nakon što su

ušli u neprozračeni prostor brodskih skala pored teretnog prostora. Poginuli pomorac uklonjen je nakon 15 min. Ozlijeđeni lučki radnik izgubio je svijest i bio je bez pulsa kada je uklonjen iz kontaminirane atmosfere nakon 10 minuta. Liječen je hiperbaričnim kisikom, ali mu se stanje pogoršalo s pojavom neuroloških simptoma za koje se kasnije pokazalo da su uzrokovani oštećenjem krvnih žila mozga koje ga je na kraju ostavilo prikovanog za invalidska kolica. Prvo se vjerovalo da su radnici pogođeni nedostatkom kisika, no po dolasku u bolnicu zaključeno je da su bili izloženi i ugljičnom monoksidu [12].

Brodovi koji se koriste za 7 do 9 tjedana putovanja preko oceana klasificiraju se kao brodovi za suhi teret u obliku kutije i koriste se za prijevoz celuloze, drva, drvenih peleta itd. u Tihom oceanu kao i u Atlantskom oceanu. Drveni peleti se prevoze između Britanske Kolumbije i europskih luka od 1997. godine. Tipičan brod ovog tipa ima do 10 skladišta tereta, od kojih svako može primiti 3000 tona drvenih peleta. Pokraj svakog skladišta su pristupne brodske skale koje vode od vanjske palube do dna skladišta. Brodskim skalama se ulazi kroz vrata za pristup palubi. Ta su vrata tijekom putovanja zatvorena i ponekad zalijepljena trakom. Drveni peleti moraju uvijek biti zaštićeni od vode, a poklopci grotla (pontonski tip) i pristupna vrata na palubi su zatvorena tijekom putovanja. Vrata su izvana, a ponekad i iznutra, označena upozorenjima o mogućoj atmosferi s nedostatkom kisika, ali se ne spominje potencijalna prisutnost opasnih plinova [12].

Od 2002. godine postoje izvješća o ukupno 14 smrtnih slučajeva i nekoliko incidenata bez smrtnog ishoda. Devet od ovih nesreća sa smrtnim ishodom dogodilo se u vezi s drvenim peletima, gdje je pet žrtava umrlo nakon ulaska u skladišta ili silose za drvene pelete. Sveukupno devet smrtonosnih nesreća dogodilo se na teretnim brodovima nakon pomorskog prijevoza, od kojih su se četiri dogodile u vezi s drvenim peletima. Tri od tih devet bila su zbog drugih drvenih proizvoda poput drva ili celuloze, a dva slučaja dogodila su se u Timri u Švedskoj, gdje nisu bile dostupne dodatne informacije. Žrtve su koristile neventiliranim komunikacijskim prostorom do skladišta tereta koja su sadržavala drvene pelete, drvnu sječku ili cjepanice. Iz literature se ne može zaključiti u kojoj se mjeri ove prijavljene smrti zapravo mogu pripisati smrtonosnom trovanju CO; jer postoje i drugi uzroci kao što je značajno smanjenje kisika ispod njegove normalne razine od 20,9% u zraku koji također mogu biti odgovorni [13].

U vrijeme nesreće u luci Helsingborg, nisu obavljena nikakva mjerenja zraka prije ulaska u skladište, što je suprotno uobičajenoj rutini provjere kisika. Vrata za pristup palubi ostavljena su otvorena osam sati prethodnog dana dok je još jedno skladište tereta



ispražnjeno. Zbog opasnosti od kiše, sva su vrata zatvorena nakon završetka smjene u 22 sata i ponovno otvorena u 05:45 sljedećeg jutra, na dan nesreće. Nesreća se dogodila oko 8 sati [13].

Ranije je objavljeno da se CO i drugi spojevi s jednim ugljikom, kao što su metanol, mravlja kiselina i formaldehid, emitiraju iz drvenih peleta tijekom skladištenja u skladištima. Autori su također izvijestili o emisijama aldehida, pretežno heksanala i pentanala, za koje su sugerirali da su nastali radikalima induciranom oksidativnom razgradnjom prirodnih lipida, posebice višestruko nezasićene linolne kiseline. Biokemijski mehanizam po kojem su nastali spojevi s jednim ugljikom nije bio jasan, ali ponovno se činilo da je oksidacija masnih kiselina i drugih komponenti u drvu vjerojatna. Oksidacijski procesi odvijali su se ispod sobne temperature, ali su ubrzani povišenom temperaturom [13].

U daljnjem tekstu opisuje se istraživanje provedeno na pet različitih brodova, čiji je cilj bio istražiti i opisati sastav i koncentracije plinovitih spojeva u komunikacijskim i teretnim prostorima brodova koji prevoze drvene pelete, kako bi se bolje razumjelo ispuštanje plinova i pitanja vezana uz izloženost radnika.

## **2.2. Istraživanje o otrovnim plinovima na teretnim brodovima**

Pet različitih brodova koji su prevozili drvene pelete iz Britanske Kolumbije istražena su nakon dolaska u luku Helsingborg u Švedskoj. Prije nego što su poklopci otvora uklonjeni, uzorci zraka su prikupljeni kroz mala bočna vrata koja su vodila do zraka iznad sloja peleta. Uzorci zraka prikupljeni su 2 dana nakon opisane nesreće u prethodnom poglavlju. Uzorci su prikupljeni upumpavanjem zraka u Tedlar vreće za uzorke koji su analizirani odmah na doku u mobilnom laboratoriju instaliranom u kombiju ili u sljedećih nekoliko dana u jednom od laboratorija u Švedskoj. Svi uzorci analizirani su instrumentima za infracrvenu spektroskopiju s Fourierovom transformacijom (eng. Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR), opremljenim plinskim ćelijama i dušikom hlađenim živa-kadmij-telurid detektorima. FTIR tehnika otkriva plinovite spojeve u području infracrvenih valnih duljina od 2,5 do 11,5  $\mu\text{m}$ . Koncentracije CO, ugljičnog dioksida i metana u spektrima analizirane su uklapanjem skupa kalibracijskih spektara temeljenih na spektralnoj bazi podataka Hitran2000 [13].

Koncentracije alkana, etilena, propilena, metanola i propanala dobivene su korištenjem baze podataka PNNL. Nesigurnost u dohvatanju koncentracije sastoji se od apsolutne nesigurnosti u presjecima apsorpcije u bazama podataka i nesigurnosti u samom postupku

prilagođavanja. Za CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etilen i alkane (C<sub>3</sub> i više), ukupna nesigurnost bila je 5%, za propilen 6% i 8% za metanol. Koncentracije etana i propanala bile su povezane s nesigurnošću od 15% u ovoj studiji. Alkani su pronađeni u području valnih duljina od 3,2 do 3,7  $\mu\text{m}$ , gdje je apsorpcija posljedica C–H veze. Specifičnost među različitim alkanima je stoga donekle ograničena, ali ukupna masa alkana može se dobro pronaći, uklapajući skup različitih alkana. U prilagodbi su korišteni propan i pentan, dok je ukupna masa alkana prikazana kao butanski ekvivalent. Nakon ispuštanja drvenih peleta, kisik je izmjeren korištenjem ručnog instrumenta za izravno očitavanje, RKI-GX-2001, sa senzorom galvanske ćelije, kalibriranim s okolnim zrakom i 12 % kisika rasponskog plina [13].

U pokušaju da se opiše dinamika ispuštanja plinova tijekom putovanja, sustav točaka uzorkovanja instaliran je u komunikacijskom prostoru između skladištu tereta prije ukrcaja jednog od pet brodova. Uzorkovanje se provodilo s dvije ploče za uzorkovanje bez otvaranja vrata za pristup palubi i poklopca grotla. Mjerenja CO i kisika provodila je posada broda tri puta dnevno tijekom oceanskog transporta, koristeći plinomjer, model ATX620, opremljen elektrokemijskim senzorom i kalibriran s nultim plinom ( 20,9% O<sub>2</sub> i 79,1% N<sub>2</sub> ) i 100 ppm CO. Vjeruje se da smanjenje kisika u skladištu tereta uzrokuje nekoliko mehanizama. Korozija troši kisik. Mikrobiološka aktivnost troši kisik i proizvodi CO<sub>2</sub>, a kisik se također može otopiti u vodi. Vjeruje se da su primarni mehanizmi za smanjenje kisika u drvenim peletima potaknuti oksidativnim reakcijama sa sastojcima drva.

Linoleinska kiselina (CAS 60-33-3) je prevladavajuća nezasićena masna kiselina u drvu, a vjerojatno i u drvenim peletima. Teško je kupiti čiste masne kiseline prisutne u drvu u većim količinama, ali one su lako dostupne u mješavini u komercijalnom lanenom ulju. Glavni sastojci lanenog ulja koje se prodaje u Švedskoj su nezasićene masne kiseline linolenska kiselina (CAS 463-40-1) ~56%, oleinska kiselina (CAS 112-80-1) ~18% i linolna kiselina ~15,4 %. Da bi se istražila hipoteza da dolazi do oksidativne razgradnje masnih kiselina i da bi se identificirale plinovite emisije, izveden je jednostavan pokus u kojem je ispitivan prostorni zrak običnog sirovog lanenog ulja. Zatvorena plastična boca od 1 l s lanenim uljem nabavljena je u lakirnici. Boca je pokazivala jasne znakove ispuhanosti, što je upućivalo na nedostatak kisika u zraku iznad glave. Uz hermetičku štrcaljku, prikupljen je i analiziran uzorak zraka iznad glave, bez razrjeđivanja, u plinskoj ćeliji FTIR od 50 ml s optičkim putem od 1 m. Razina kisika u boci mjerena je ručnim instrumentom RKI-GX-2001 [13].

Rezultati mjerenja na brodovima pokazali su vidljive visoke koncentracije CO i CO<sub>2</sub> te niske razine kisika. Koncentracije aldehida na brodovima bile su mnogo niže nego u prethodnim nalazima u skladištima peleta. Kvalitativna analiza zraka iznad lanenog ulja otkrila je prisutnost svih plinskih vrsta pronađenih u skladištima tereta, a smanjenje razine kisika bilo je slično. Relativne koncentracije aldehida i etana bile su veće.

Koncentracije u komunikacijskim prostorima broda bile su znatno niže od razina pronađenih u susjednim teretnim skladištima drugih brodova. Stabilno stanje s 10% razine kisika postignuto je nakon 3 tjedna na moru. Razina CO u prostoru iznad skladišta dosegla je ~900 ppm nakon 7 dana. Utvrđeno je da instrumenti za CO na brodu nisu pouzdani iznad ~1000 ppm i daljnja procjena ovog parametra nije bila moguća sve dok FTIR analiza nije bila dostupna u vrijeme kada je teret iskrcan u luci Helsingborg [13].

Dok se posuda u svrhu uzorkovanja s jednog od ispitivanih brodova ispuštala, raspadanje CO na donjoj razini brodskih skala praćeno je u intervalima od 2,5 minute tijekom razdoblja od 2 sata. Uzorak zraka upumpavan je u mobilnu FTIR jedinicu smještenu uz posudu. U početku su pristupna vrata brodskih skala bila zatvorena i nije se moglo vidjeti gotovo nikakvo propadanje. Vrata su zatim otvorena kako bi se simulirao uobičajeni postupak samoventilacije. Tijekom sljedećih 45 minuta, zabilježeno je eksponencijalno opadanje koje odgovara stopi ventilacije od 0,23 izmjene zraka po satu. Kako bi koncentracija CO na donjoj razini brodskih skala dosegla prihvatljivu 8-satnu granicu profesionalne izloženosti od 35 ppm prema švedskim standardima, bilo bi potrebno 26 h ventilacije [13].

Rezultati ove studije upućuju na to da je potrebno odmah poduzeti mjere u pomorskoj industriji kako bi se spriječile nesreće sa smrtnim ishodom na teretnim brodovima. Ekstremno visoke koncentracije CO i niske razine kisika pronađene u komunikacijskim prostorima najvažnija su otkrića sa stajališta zdravlja radnika. Kombinirani toksični učinak CO i niskog sadržaja kisika najvjerojatnije je objašnjenje brzog tijeka događaja koji je doveo do tragične smrti i teške ozljede na brodu iz prethodnog poglavlja. Zabilježene koncentracije CO<sub>2</sub> povremeno su bile iznad prihvaćenih granica kratkoročne profesionalne izloženosti, ali ne smatraju se opasnim po život, iako imaju sinergijske učinke na zdravlje. Ostale identificirane kemikalije bile su ispod ili znatno ispod prihvaćenih granica izloženosti. Niske razine aldehida u usporedbi s prethodnim nalazima u skladištima vjerojatno se mogu objasniti činjenicom da se ova posebna emisija s vremenom smanjuje brže od ostalih te nekoliko ponovnih punjenja peleta između proizvodnje i konačnog pražnjenja [13].

Drveni peleti podvrgavaju se sušenju i toplinskoj obradi tijekom obrade, što može promijeniti kemijski sastav masnih kiselina u drvu. Rezultati analize gornjeg prostora lanenog ulja podržavaju hipotezu da dolazi do oksidativne razgradnje masnih kiselina i mogu objasniti barem dio stvaranja plinovitih spojeva identificiranih u slobodnom prostoru iznad drvenih peleta. Stvaranje CO objašnjava samo djelić gubitka kisika. Vjeruje se da je većina kisika kemijski vezana u procesu oksidativne razgradnje masnih kiselina i drugih organskih materijala prisutnih u drvu.

Vjeruje se da su mehanizmi koji stoje iza iscrpljivanja kisika i stvaranja plinovitih spojeva prilično složeni i da je dublja analiza izvan dosega ove studije. Visoka korelacija utvrđena između nekoliko plinovitih spojeva može pružiti dodatne korake ka razumijevanju ovih mehanizama. Unatoč svojim ograničenjima, informacije dobivene iz eksperimentalne studije s lanenim uljem pružaju važne informacije koje mogu biti korisne u planiranju budućih studija ovih procesa [14].

Granice profesionalne izloženosti inhalacijskom CO u Švedskoj su ~35 ppm tijekom 8 sati i ~100 ppm tijekom 15 minuta. Trenutačni ACGIH-ov vremenski ponderirani prosjek je ~25 ppm. 10-minutna izloženost pri ~1700 ppm ili 30-minutna izloženost pri ~600 ppm predložena je kao koncentracija CO u zraku, iznad koje se predviđa da bi opća populacija, uključujući osjetljive pojedince, mogla doživjeti po život opasne učinke na zdravlje ili smrt.

Dostupne su znanstvene informacije o toksičnim učincima izloženosti CO i nedostatku kisika kada se proučavaju zasebno. Informacije o bilo kakvim kombiniranim učincima vrlo su rijetke i čini se da su ograničene na napomene o mogućim učincima na većim nadmorskim visinama. CO se kompetitivno veže za hemoglobin ~200 puta jače od kisika. Vjerojatno je da smanjeni parcijalni tlak kisika povećava dostupna mjesta za vezanje CO i toksični učinak se uzrokuje brže i pri nižim koncentracijama CO. Tjelesna aktivnost će povećati unos CO. Američki nacionalni institut za sigurnost i zdravlje na radu definira atmosferu s nedostatkom kisika kao onu s parcijalnim tlakom kisika <132 torra, što je ekvivalentno ~17,2% kisika na razini mora. Iznad ove razine ne očekuju se nikakvi fiziološki učinci kao posljedica nedostatka kisika. Minimalna razina kisika od ~19,5% preporučuje se za većinu radnih situacija i osigurava marginu sigurnosti. Ova preporuka je primjenjiva samo ako nema drugih otrovnih plinova, kao što je CO [13].

Budući da nije bilo drvenih peleta i nije otkrivena nikakva korozija u komunikacijskom prostoru pri pražnjenju, što bi moglo predstavljati alternativni mehanizam

za gubitak kisika, bilo je očito da se plin prilično slobodno kretao između skladišta tereta i komunikacijskog prostora. Koncentracije blizini brodskih skala bile su niže nego u skladištima tereta, ali su i dalje ostale na vrlo visokim razinama. Rezultati s jedne stepenice pokazali su da nije bilo stratifikacije koncentracija; međutim, neispravne brtve oko vrata mogu u drugim slučajevima povećati curenje i stvoriti niske razine na vrhu i toksične razine na dnu brodskih skala, stvarajući potencijalnu opasnost pri ulasku.

U uputama za upotrebu plovila navedeno je 2 sata samoventilacije prije ulaska u komunikacijske prostore broda. Sporo raspadanje CO, koje je istraživanjem zabilježeno, pokazuje da to nije dovoljno. Brodovi koji su pristigli nakon nesreće, uveli su različite metode ventilacije svojih komunikacijskih prostorija. Iz promatranja je bilo jasno da su neke posade bile nenavikle na procedure i imale su poteškoća zbog korištenja neprikladne, teške i glomazne opreme. Radni prostor je često bio skućen, osobito kada je ventilacijska cijev privremeno umetnuta i spojena na ventilatorsku jedinicu postavljenu blizu vrata za pristup palubi [14].

Prije ulaska u prostor brodskih skala, posada je izmjerila kisik i CO spuštanjem mjerača na gornji podest brodskih skala. Donji podest nije se mogao ventilirati sve dok se nije smatralo sigurnim za ulazak u gornje odmorište, nakon čega je član posade poslan dolje s opremom za ventilaciju da nastavi na sljedeću razinu. U nesretnoj situaciji, „džepovi“ otrovnih plinova mogli bi se ispustiti u prethodno očišćeni radni prostor. Razumijevanje vremena potrebnog za uklanjanje otrovnih plinova bilo je predmet značajne neizvjesnosti među posadom, kao i razumijevanje da ako se ventilirani prostor brodskih skala zatvori prije nego što se teret drvenih peleta ispusti, moraju se ventilirati i ponovno nadzirati prije nego što netko siđe na njih.

### 3. METODE PREVENCIJE

Kako bi se spriječilo nakupljanje opasnih razina CO, moraju se identificirati svi mogući izvori kemikalija unutar bilo koje zgrade ili djelomično zatvorene strukture. To uključuje opremu za grijanje koja se temelji na izgaranju, kao i industrijske procese koji mogu proizvesti ugljični monoksid. Viličari s motorom s unutarnjim izgaranjem (uključujući LPG) ne smiju se koristiti u područjima gdje se ne može jamčiti odgovarajuća ventilacija u svim mogućim radnim uvjetima, kao što su kada su vrata i prozori zatvoreni zimi ili ako je ventilacija smanjena iz bilo kojeg razloga [14].

Motorna vozila moraju biti projektirana i održavana tako da ispušni plinovi ne mogu ući u kabinu i utjecati na putnike. Opasnosti često proizlaze iz oštećenih ili istrošenih ispušnih sustava, modifikacija vozila i kada se na šasiju gospodarskog vozila postavlja specijalizirana karoserija. Postoji niz dostupnih uređaja za praćenje razine CO i upozoravanje, putem zvučnih i vidljivih alarma, ako se približe potencijalno opasnim razinama. Oni se trebaju koristiti samo za potvrdu da su postignuti sigurni uvjeti. Ako postoji značajna mogućnost nesigurnih razina, moraju se provesti korektivne mjere za sprječavanje nakupljanja CO [14].

Kombinirana opažanja ukazuju na potrebu za ugradnjom dobro osmišljenih, automatskih, mehaničkih sustava ventilacije za prostorije brodskih skala. Ovakvi sustavi značajno bi povećali sigurnost radnika i spriječili gubitak skupog vremena u luci. Najprikladnija vrsta ventilacije za ove komunikacijske prostore vjerojatno je uravnotežena ventilacija s mehaničkim dovodom i odvodom zraka, čime se ograničavaju rizici od razlika u tlaku u odnosu na skladišta tereta. Drugo najbolje rješenje je usmjeravanje zraka na donju razinu brodskih skala čime se kontaminirani zrak istiskuje na gornju razinu i dalje u slobodni vanjski zračni prostor. Uvlačenje zraka s dna skala treba izbjegavati jer postoji rizik da će kontaminirani zrak biti uvučen iz skladišta tereta. Na nekim brodovima, pristupna vrata brodskim skalama nalaze se u poluzatvorenim prostorijama. Ispuštanje zraka takve prostore može stvoriti opasnu atmosferu [14].

Ventilacijski sustav ne bi trebao biti uključen tijekom putovanja kako bi se izbjegao rizik od oksigenacije obližnjeg skladišta tereta zbog curenja. Povećana oksidacija peleta može dovesti do povišene temperature i nekontroliranih toplinskih uvjeta u teretu, osobito kada prolazi kroz toplije tropske vode. Nizak sadržaj kisika je sam po sebi zaštita od nekontrolirane oksidacije. Požar na moru bio bi katastrofalan scenarij i vrlo ga je teško kontrolirati, što je slično požarima u silosima [14].

Unatoč poboljšanoj ventilaciji, važno je izmjeriti i kisik i CO prije ulaska u zatvorene prostore u kontaktu s drvenim peletima. U idealnom slučaju, instrumenti bi trebali biti kalibrirani za razine kisika i CO koje bi se mogle pojaviti. Ako se kalibracija provodi pri koncentraciji koja se vrlo razlikuje od razine koja se mjeri, to može dovesti do potencijalno velike pod- ili precijenjene procjene. Međutim, instrumenti dizajnirani za korištenje s visokim koncentracijama mogu biti manje točni pri niskim koncentracijama gdje je potreban slobodan radni prostor. Možda će biti teško pronaći jedan instrument koji može točno izmjeriti cijeli raspon od 0 do 15 000 ppm CO. S obzirom na okolnosti, od primarne je važnosti da su mjerni instrumenti točni pri ~19,5% kisika i pri ~35 ppm CO. Izvedbu instrumenata, kao što su vrijeme oporavka i točnost, nakon izlaganja šoku ekstremnim koncentracijama CO trebaju specificirati proizvođači. Kako bi se izbjeglo izlaganje instrumenata šoku, moguće je koristiti indikatorske cijevi u boji dizajnirane za visoke razine CO, prije provjere elektrokemijskim i galvanskim detektorima ćelija [14].

Preporuka je da se skladište prozračiti 24 sata prije ulaska, otvaranjem glavnih pristupnih vrata i obično se nalazi na znaku upozorenja pričvršćenom na vrata skladišta. Svedberg i suradnici primijetili su da nije dobra ideja ostaviti pristupna vrata otvorena, jer se to može protumačiti kao poziv za ulazak u skladište peleta, pogotovo ako je znak upozorenja pričvršćen na vanjskoj strani vrata i više se ne može vidjeti kada su vrata otvorena, stoga se preporuča da se sličan znak upozorenja pričvrsti i na unutarnju stranu ulaznih vrata i da vrata budu opremljena zaštitnom mrežom kako bi se spriječio ulazak kroz otvorena vrata dok se prostorija provjetrava. Kako bi se osigurala sigurnost radnika na teretnim brodovima preporučuje se kontinuirano provjetravanje skladišta peleta i mjerenje razine CO prije ulaska s posebnom pažnjom ako je izmjerena koncentracija CO >50 ppm-a ili sekundarno ako nema drugih otrovnih plinova [13].

Za brodarstvo je karakteristična privremena i mobilna radna snaga. Novi članovi posade moraju biti učinkovito informirani o opasnostima povezanim s drvenim materijalima. Pružanje informativnog lista pošiljatelja o teretu, koji identificira inherentne opasnosti povezane s rukovanjem drvenim peletima, važan je ključ za zaštitu radnika. Čini se da ekipe za hitne slučajeve koje prate nesreće ove prirode moraju biti bolje pripremljene kako bi izbjegle izloženost prilikom ulaska na mjesto nesreće. Redizajn pristupnih vrata omogućio bi lakše procedure ulaska i izlaska te omogućio bolje uvjete tijekom hitnih spasilačkih akcija. Vrlo je teško manevrirati osobom bez svijesti preko okomitih ljestvi i kroz uska vrata, osobito ako spasilac nosi boce s plinom za disanje.

Neposredna i isplativa sigurnosna mjera opreza je zaključavanje i označavanje svih pristupnih vrata brodskim skalama te uspostavljanje i provođenje strogih procedura za ulazak koje su već propisane postojećim propisima. Ostavljanje ulaznih vrata otvorenih radi ventilacije poziv je ljudima da uđu u otrovnu atmosferu. Otvori na vratima mogu biti opremljeni zaštitnom mrežicom koja propušta zrak, ali sprječava ulazak tijekom prozračivanja. Znakovi upozorenja postavljeni na vrhu vrata bit će skriveni kada su vrata otvorena osim ako postoji znak s unutarnje strane takvih vrata. Preporučuje se ponovljena sigurnosna obuka ili sustav certificiranja dotičnog osoblja [14].

Oceanski prijevoz drvenih peleta u ograničenim prostorima može brzo proizvesti smrtonosne razine CO i atmosferu s nedostatkom kisika koja može iscuriti u susjedne pristupne prostore. Smanjenje kisika i stvaranje CO vjerojatno su uzrokovani oksidativnom razgradnjom prirodnih lipida i drugih organskih materijala prirodno prisutnih u drvenim peletima. Smanjivanje kisika može imati vrijednost jer smanjuje opasnost od požara povezanu s ovim teretom.

Mjerenje razine CO i kisika bitno je prije ulaska u prostore sa zračnom komunikacijom s teretom drvenih peleta. Samo mjerenje kisika nije sigurno. Samoprovjetranje komunikacijskih prostorija nije dovoljno. Prisilna ventilacija je neophodna kako bi se postigli sigurni uvjeti ulaska u razumnom vremenu. Osiguravanje odgovarajućih instrumenata za praćenje plina te obuka i obrazovanje posade od vitalne su važnosti, kao i pravilan dizajn, označavanje i zaključavanje pristupnih vrata koja vode u zatvorene prostore [14].

### **3.1. Postavljanje alarma za detekciju CO na brodu**

Sve kabine na manjim brodicama koje imaju uređaje na gorivo moraju imati ugrađen CO alarm. Ako se uređaji za izgaranje goriva, generatori ili motori koriste dok ljudi spavaju, sve prostorije za spavanje moraju imati vlastite alarme, osim u slučajevima kada brod ima jednu višenamjensku kabinu gdje je dovoljan jedan alarm.

U slučajevima kada okolnosti ili struktura broda ne dozvoljavaju instalaciju alarma koju zahtjeva proizvođač, postoje posebna pravila kako ih postaviti. Alarme prvenstveno treba postaviti u prostorijama između 1 i 3 m (na tlocrtu) od uređaja. Kad je riječ o stambenim prostorijama alarmi se postavljaju visoko na zid, ali najmanje 150 mm od stropa gdje se mogu



vidjeti njihovi svjetleći indikatori. U spavaćim sobama alarm treba biti u „zoni disanja“, odnosno blizu uzglavlja kreveta [15].

Prije instalacije potrebno je provjeriti može li se alarm čuti s bilo kojeg mjesta u plovilu. Ukoliko se ne čuje, potrebno je postaviti dodatni alarm. Testiranje alarma je potrebno prije svakog ukrcaja na brod, a potrebno ga je raditi i periodično svaki tjedan kada je brod u upotrebi. CO alarmi nisu dugovječni i na njima je naznačen datum kada ih je potrebno zamijeniti ili servisirati. Korištenje alarma nakon isteka naznačenog datuma je nedopustivo. Uređaj se preporučuje zamijeniti i ranije nego je to potrebno, pogotovo ako postoji sumnja u njegovu valjanost [15].

Kada se na brodu koriste boje, otapala, odmašćivači ili jake kemikalije potrebno je privremeno pokriti ili deinstalirati uređaj, kako bi se zaštitio senzor. Ne smije se zaboraviti ukloniti poklopac ili zamijeniti alarme čim se zrak razbistri te prije upotrebe bilo kojeg uređaja ili motora. Poželjno je uklanjanje alarma s broda pripremljenog za zimu, jer duga razdoblja temperatura ispod nule mogu utjecati na njegov senzor i bateriju [15].

Važno je napomenuti kako CO alarm samo detektira, ali ne može spriječiti opasno nakupljanje ugljikovog monoksida te kako CO alarmi možda neće u potpunosti zaštititi pojedince s određenim zdravstvenim stanjima. Osim toga CO alarmi neće detektirati požare, dim ili curenje benzina ili LPG goriva i mogu se aktivirati pri curenju vodika iz brodskih baterija koje se ispuštaju kada su premalo napunjene; što možda ukazuje na problem s punjenjem [15]. Na slici 4. prikazat će se opisani hodogram postavljanja alarma.



Slika 3. Postavljanje uređaja za detekciju CO [15]

#### **4. KLINIČKA SLIKA I LIJEČENJE OTROVANIH UGLJIČNIM MONOKSIDOM**

Neki od ranih simptoma trovanja ugljičnim monoksidom mogu biti slični simptomima morske bolesti, toplinskog stresa ili trovanja. Ukoliko neki od članova posade ili putnika osjeti bilo koji od navedenih simptoma, odmah bi trebao potražiti svježi zrak. Nakon što je osoba izašla na otvoreno, treba razmotriti uzrok svojih simptoma i poduzeti odgovarajuće mjere za pomoć kod iznenadnih bolesti tijekom putovanja [10].

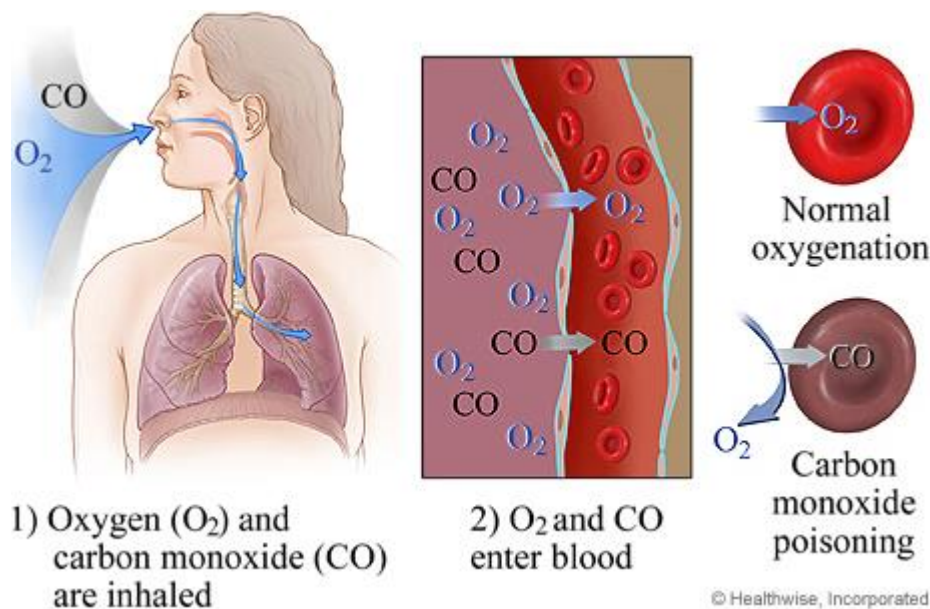
Jako je važno obavijestiti Hitnu medicinsku pomoć o mogućem trovanju ugljičnim monoksidom. Liječnici mogu dati trenutnu preporuku, kao što je početak kardiopulmonalne reanimacije, ili mogu organizirati prijevoz do odgovarajuće medicinske ustanove i liječenje u njoj. Ako otrovana osoba ne diše, potrebno je započeti sa kardiopulmonalnom reanimacijom (eng. Cardiopulmonary reanimation, CPR) i nastaviti dok on ili ona ne počne disati ili dok ne stigne osoblje Hitne medicinske pomoći. Ovisno o ozbiljnosti izloženosti može biti potrebna terapija kisikom. Trovanje ugljičnim monoksidom može predstavljati ozbiljan zdravstveni rizik za nautičare. Ovisno o okolnostima, možda je potrebno izvršiti CPR na licu mjesta i/ili hitno liječenje u najbližoj medicinskoj ustanovi. Poduzimanjem koraka za rano otkrivanje i liječenje trovanja ugljičnim monoksidom, nautičari mogu spasiti svoj ili živote svojih putnika ili suputnika [10].

Treba istaknuti da je opseg pružanja prve pomoći na brodu drugačiji od opsega pružanja prve pomoći na kopnu. Na kopnu se osoba kojoj se pruža prva pomoć poslije pružene pomoći predaje liječniku na zdravstvenu njegu, dok se na brodu nakon ukazane prve pomoći redovito nastavlja zdravstvena njega pomorca kojem je pružena pomoć jer on često ne može odmah biti prepušten na zdravstvenu njegu liječniku. Dok je brod u navigaciji, pomorci moraju čekati da brod uplovi u sljedeću luku kako bi mogli posjetiti liječnika, a to može trajati danima, čak i tjednima. Uglavnom putnički brodovi među posadom imaju liječnika, a češći je slučaj da zapovjednik broda ili časnik, kojeg on zaduži za pružanje prve pomoći, u slučaju potrebe, putem uputa sa radio veze s medicinskim centrom pružaju pomoć unesrećenom pomorcu [10].

Trovanje ugljičnim monoksidom može nastupiti iznenada ili postupno, stoga je važno obratiti pozornost na znakove i simptome te pozvati Hitnu medicinsku pomoć ukoliko se primijete simptomi trovanja. Rani simptomi trovanja, kao što su glavobolja i mučnina, nisu

specifični pa se epizode značajne izloženosti ugljičnom monoksidu mogu dogoditi bez da se problem prepozna. Poznato je da se CO spaja s komponentom koja prenosi kisik u krvi poznatom kao hemoglobin (Hb) i stvara karboksihemoglobin (COHb). Ova kombinacija smanjuje sposobnost krvi da prenosi kisik do tkiva.

Simptomi izloženosti CO kojih treba biti svjestan, s povećanjem ozbiljnosti trovanja, su glavobolja, mučnina ili povraćanje, slabost, zadihanost, pospanost, razdražljivost i poremećaj rasuđivanja, kolaps, koma i smrt. Ako je nedostatak oksigenacije tkiva povezan s trovanjem CO produljen, postoji mogućnost razvoja teških i trajnih patoloških promjena, poput oštećenja mozga. Postoje brojni dokazi koji sugeriraju kako i akutna i kronična izloženost niskim razinama CO može utjecati na srce i krvne žile [7].



**Slika 4. Trovanje ugljičnim monoksidom [5]**

Ugljični monoksid se lako apsorbira i ostaje nepromijenjen u plućima. Nakon apsorpcije većim se dijelom (90%) veže za hemoglobin, a rijetko (10%) za mioglobin i citokrom C-oksidadzu. Manje od 1% je otopljeno u plazmi, a manje od 1% CO je oksidirano u ugljični dioksid. Ozljeda srca povezana je s hipoksijom u studijama na ljudima i životinjama, a objavljeno je da su neurološke i perivaskularne ozljede bile hipoksične kao posljedica oksidativnog stresa (reoksigencije) sekundarnog izlaganja CO. Oštećenje središnjeg živčanog sustava može dovesti do kardiovaskularnog zatajenja, a učinak visokih doza CO na glatke mišiće može rezultirati padom krvnog tlaka [7].

Budući da se CO veže na hemoglobin s većim afinitetom od kisika, dolazi do pomaka u krivulji disocijacije kisika i hemoglobina, a ovim pomakom smanjuje se sposobnost hemoglobina da dostavi kisik tkivima, s posljedičnim razvojem tkivne hipoksije. Vezanje CO na hemoglobin ne objašnjava sve patofiziološke učinke uočene kod trovanja CO.

CO oštećuje normalnu respiratornu funkciju stanica, jer se ireverzibilno veže na hemoproteine (citokrom a-3 i mioglobin), koji prenose kisik unutar stanice, što dovodi do stanične respiratorne disfunkcije. Posljedica toga je propadanje mitohondrija u stanicama središnjeg živčanog sustava i srca, koje zahtijevaju veću razinu energije, oštećenje stanica i na kraju oštećenje tkiva. Iako se mitohondrijske funkcije poboljšavaju s terapijom kisikom, stanična oštećenja ne mogu se oporaviti [7].

CO uzrokuje ozljedu miokarda vežući se za srčani mioglobin s afinitetom 60 puta jačim od kisika. Vezanje CO na srčani mioglobin izaziva depresiju miokarda, hipotenziju i aritmije. Srčana disfunkcija koja se razvija kao posljedica trovanja CO dodatno pogoršava hipoksiju tkiva u začaranom krugu. Osim toga CO uzrokuje hipoksiju, koja inducira proizvodnju slobodnih radikala kisika, što rezultira reverzibilnom demijelinizacijom u mozgu.

Fetusi, dojenčad, djeca, starije osobe, pacijenti s kardiovaskularnim bolestima, anemijom, plućnim bolestima i trudnice izloženi su većem riziku od trovanja CO u usporedbi s ostalim pacijentima. Klinička težina trovanja CO ovisi o količini CO u udahnutom zraku, trajanju izloženosti CO i općem zdravstvenom stanju oboljele osobe. Otrovanje CO štetno je za sve sustave, ali najčešće su zahvaćeni središnji živčani sustav i kardiovaskularni sustav. Neurološki nalazi su jasno definirani; međutim, podaci koji se odnose na srčane patologije, osobito u djece, ograničeni su u broju, a takvu patologiju može biti teško prepoznati. Ozljeda miokarda može se razviti bez ikakvih sustavnih simptoma. Najčešći uzrok smrti kod trovanja CO je zastoj srca kao posljedica ubrzanog srčanog ritma koji nastaje u srčanim klijetkama [7].

U 30% slučajeva s nespecifičnim simptomima trovanja CO pacijentima se može pogrešno dijagnosticirati gripa, gastroenteritis ili infantilne kolike. Kod umjereno teškog akutnog trovanja CO, nespecifični simptomi, kao što su ubrzan rad srca, ubrzano plitko disanje, glavobolja, mučnina, povraćanje i letargija, mogu se zamijeniti s virusnim infekcijama. Tijekom zimskih mjeseci postaje još teže napraviti razliku. Detaljna anamneza može otkriti izloženost CO; međutim, mnogi blagi slučajevi trovanja ostaju nedijagnosticirani, a kasne smrti mogu nastupiti zbog trovanja ugljičnim monoksidom.

U pacijenata koji su kronično izloženi niskim dozama CO mogu se primijetiti glavobolja, malaksalost, poremećaji mišljenja, vrtoglavica, parestezije, bolovi u prsima, palpitacije, oštećenje vida, mučnina, proljev i bolovi u truhu. Kod djece se školski uspjeh može pogoršati, a ti se simptomi često mogu zamijeniti sa simptomima drugih bolesti. U slučajevima kroničnog trovanja treba imati na umu da se klinička slika može pogoršati, a mogu se razviti znakovi i simptomi akutne faze [8].

Nakon povlačenja simptoma akutnog trovanja, odgođeni neuropsihijatrijski sindrom manifestira se u gotovo 20% pacijenata unutar 3 do 240 dana. U tih pacijenata uočavaju se neuropsihijatrijski poremećaji, poput: demencije, nedostatka pamćenja, promjene osobnosti, poteškoća u učenju, poremećaja ponašanja, pažnje i koncentracije, paralize, apraksije ili periferne neuropatije. Nikakvi klinički ili biokemijski markeri ne mogu odrediti pacijente koji će razviti neuropsihijatrijske poremećaje nakon trovanja; međutim, simptomi 60% pacijenata s odgođenim neuropsihijatrijskim sindromom povlače se unutar jedne godine i češće su kod odraslih osoba.

Klinička sumnja je najvažniji korak u dijagnozi. Tijekom uzimanja anamneze prilikom dolaska u bolnicu trebaju se ispitati uvjeti okoliša, sustavi grijanja, nedostaci u sustavima grijanja, održavanje sustava, opseg požara (ako postoji), trajanje i intenzitet izloženosti CO, broj pogođenih jedinki te opseg izloženog područja. Pratinju svih onesviještenih osoba potrebno je ispitati radi diferencijalne dijagnoze i pribaviti podatke o svim komorbidnim sustavnim bolestima, a osobito kardiopulmonalnim i hematološkim bolestima. Sve te informacije važne su za određivanje dijagnoze i prognoze [8].

Najprije treba procijeniti vitalne znakove i simptome gdje se kod trovanja primjećuje ubrzan rad srca, plitko disanje, blagi porast krvnog tlaka i hipertermija, a kako se ozbiljnost trovanja povećava, mogu se pojaviti bradikardija, hipotenzija i hipotermija. Potrebno je obaviti kompletan sistemski pregled i ispitati diferencijalno dijagnostički nalaz, a nakon stabilizacije pacijenta učiniti detaljan neurološki pregled. Ako je moguće, pacijenta treba zamoliti da hoda kako bi se utvrdio poremećaj ravnoteže. Na površini kože mogu se vidjeti bule, vezikule i eritematozne mrlje. Oslušivanje šumova srca treba uključivati istraživanje nedostatka ili poremećaja srčanog ritma. U teškim slučajevima trovanja CO može se otkriti edem papile, optička atrofija, jarko crvene vene (rani znak) i proširenje vena [8].

Biokemijskom analizom primjećuju se abnormalni rezultati ispitivanja bubrežne ili jetrene funkcije, hiperglikemija, povišeni anionski jaz, hipokalijemija ili povišene razine

kreatinin kinaze i srčanih enzima, kao što su troponin-I i kreatinin kinaza-MB. Hemogram može otkriti blagi stupanj leukocitoze, a također se može otkriti trombocitopenija ili produljenje vremena koagulacije. Blagi stupanj otrovanja očituje se u respiratornoj alkaloziji, a u slučaju teškog otrovanja u metaboličkoj acidozi ili laktacidozi. Čak i ako su vrijednosti COHb u granicama normale, povećana razina laktata u serumu bolji je pokazatelj tkivne hipoksije. Potpuna analiza urina može otkriti proteinuriju ili glukozuriju. Teško trovanje može dovesti do mioglobinurije, albuminurije, oligurijskog ili neoligurijskog zatajenja bubrega. U sklopu diferencijalne dijagnoze potrebno je napraviti i toksikološku analizu na druge otrove [8].

Dijagnoza se postavlja na temelju postotka COHb u krvi. Pacijentima bez svijesti sa sumnjom na nedijagnosticirano trovanje CO treba izmjeriti COHb što je prije moguće. U procjeni COHb treba imati na umu da je početna razina u pušača viša te da ako je pacijent kasno doveden na Hitnu medicinsku pomoć i primio čak i malu količinu kisika tijekom transporta, razina COHb može biti podcijenjena. Klinički podaci trebaju činiti temelj dijagnoze. Jaka korelacija između težine trovanja i razine COHb ne postoji; međutim, postotak COHb može se koristiti za praćenje liječenja. Povišena razina važna je za dijagnozu i praćenje, ali niža razina ne isključuje dijagnozu. Uzorak venske ili arterijske krvi može se koristiti za mjerenje razine COHb; međutim, prednost se daje arterijskoj krvi. Razina COHb ispod 10% je normalna. Zasićenost kisikom prati se pulsним oksimetrom. Međutim, budući da će pulsni oksimetar apsorbirati oksihemoglobin i COHb u jednakim omjerima, izmjerena vrijednost predstavlja zbroj. Potrebno je imati na umu da se može prikazati lažno normalna koncentracija. Povećana razina serumskog laktata, koju treba mjeriti pacijentu s metaboličkom acidozom, ukazuje na dugotrajnu izloženost CO [8].

Elektrokardiogram (EKG) treba napraviti u svim slučajevima. Iako za djecu nema dovoljno podataka, kod gotovo 35% pacijenata na EKG-u se uočavaju znakovi trovanja CO. Često se opažaju lezije miokarda; međutim te su lezije smrtonosne u manje od 5% pacijenata. Na EKG-u mogu biti prisutne ishemijske promjene, poput ST depresije ili ST elevacije. Ako se vidi ST elevacija, trombotičko liječenje nije prikladno, budući da uzrok srčane ishemije nije trombotička okluzija koronarnih arterija, već je povezana s ozljedom miokarda uzrokovanom izravnim učinkom CO.

Glavni su kriteriji za hospitalizaciju znakovi i simptomi koji traju do 4 sata nakon početka liječenja, a to su: povišena razina COHb (>25%), znakovi koji pokazuju zahvaćenost miokarda, trudnoća, metabolička acidoza otporna na liječenje, napadaji i sinkopa. U

nedostatku kriterija za hospitalizaciju, ili ako postoji povlačenje ili nedostatak tegoba ili znakova nakon 4 sata promatranja, pacijent se može poslati kući. Prilikom otpusta pacijenta treba obavijestiti o dugoročnim učincima trovanja i preporučiti mirovanje u krevetu kako bi se smanjila potrošnja kisika. Treba izbjegavati sve aktivnosti koje mogu izazvati tjeskobu, a pacijente upozoriti na pušenje i boravak u područjima gdje drugi puše kao potencijalno ugrožavajućim za zdravlje [8].

Liječenje trovanja ugljičnim monoksidom provodi se davanjem kisika putem maske koja tijesno prianja uz lice, pod normalnim tlakom, brzinom od 10–15 L/min dok se klinički simptomi ne povuku ili razina COHb ne padne ispod 5% (u slučaju s kardiovaskularnim ili plućnim simptomima <2%), što traje otprilike 4 do 6 sati. Ako je pacijent bez svijesti ili je spašen iz požara, može biti potrebna endotrahealna intubacija ili mehanička ventilacija. Laktacidoza olakšava prodiranje kisika kroz tkiva stoga je ne treba korigirati osim ako pH ne padne ispod 7,15. Hiperbarična terapija kisikom (HBO) skraćuje poluživot COHb, smanjuje proizvodnju i razinu slobodnih radikala kisika, inhibira peroksidaciju lipida te poboljšava poremećene funkcije mitohondrija i agregaciju trombocita u kapilarama. HBO terapija nudi skraćeno vrijeme oporavka simptoma, smanjenu stopu smrtnosti i razvoj manjeg broja neuropsihijatrijskih simptoma u usporedbi s uporabom normobaričnog kisika [9].

Ako je pacijent stabilnog kliničkog statusa i pri svijesti, ali ima povijest gubitka svijesti prije prijema, HBO terapija se može primijeniti jednokratno. Kao što je navedeno u literaturi, ti pacijenti imaju veći rizik od dugoročnog doživljavanja neuropsihijatrijskih simptoma, a HBO terapija smanjuje taj rizik. Povoljni učinci terapije HBO-om dokazani su i nakon 3 tjedna kod pacijenata s perzistentnim neuropsihijatrijskim simptomima koji na početku nisu primali terapiju HBO-om. Budući da CO izaziva hipoksiju i da postoji i mogućnost izravne ozljede stanice, o rezultatima HBO terapije što se tiče kasnih posljedica i smrtnosti potrebno je napraviti dodatna istraživanja. Ako je moguće, HBO terapiju treba provesti unutar prvih 6 sati od trovanja. Ako nakon terapije HBO potraje gubitak svijesti, terapiju treba ponoviti unutar 6 do 8 sati. Prognoza se poboljšava nakon ponovljenih primjena. Preporučuje se isporuka 100% kisika u trajanju od 30 do 90 minuta pod 2,7 do 3 ATA. Zatim se smanjuje tlak i isporučuje se 100% kisik pod 2,2 ATA tijekom 90 minuta. HBO terapija može se ponoviti za pacijente čiji se simptomi ne povlače [9].

Neliječeni pneumotoraks smatra se apsolutnom kontraindikacijom za liječenje HBO. HBO nije poželjan ni za pacijente koji su primali produljenu kardiopulmonalnu reanimaciju,

hemodinamski nestabilne pacijente ili iste s emfizemom i/ili kroničnim bronhitisom. Moguće nuspojave HBO terapije su: ruptura bubnjača, nelagoda u uhu, tenzijski pneumotoraks, hipotenzija, aritmija, napadaj i toksičnost kisika, a postoji i rizik povezan s transportom nestabilnog pacijenta do mjesta terapije.

Od ostalih načina liječenja važno je spomenuti kako se kod hipotenzivnih pacijenata najprije provodi hidracija, a ako je potreban vazopresor, obično se daje prednost dopaminu. Ako je prisutna refraktorna hipotenzija, tada se liječenju dodaje noradrenalin. Za napadaje se u početku daju benzodiazepini. Ako pacijent ne reagira na liječenje ili ako dođe do recidiva, mogu se dodati drugi antiepileptici, poput fenobarbitala. Ako je razina hemoglobina niža od 10 g/dL, može se razmotriti suportivno liječenje za ispravljanje anemije. Savjetuje se mirovanje u krevetu i smanjena potrošnja kisika; treba izbjegavati bilo kakvu aktivnost koja izaziva anksioznost. Brzina izlučivanja urina trebala bi biti 1 ml/kg/h. Neke su publikacije pokazale da hipotermija odgađa oštećenje kortikalnih stanica ili čak isključuje ozljedu neurona te se može koristiti u liječenju trovanja CO [9].



## 5. ZAKLJUČAK

U otprilike 95% slučajeva trovanje ugljičnim monoksidom može se spriječiti. Veliki naglasak je na redovitom održavanju radnog prostora, pravovaljanoj reakciji i prepoznavanju simbola koji ukazuju na mogućnost neispravnog rukovanja radnim strojevima. Preventivno djelovanje odvija se u dva smjera: kroz aktivnu i pasivnu prevenciju. Aktivna prevencija znači kontinuiranu edukaciju brodskih časnika i posade, a pasivna uključuje zakonsku kontrolu i nadzor svega što može uzrokovati trovanje ugljičnim monoksidom. Brodski časnici i posada moraju osigurati sigurnu okolinu kako niti jedan član posade ili putnika ne bi bio izložen otrovnim tvarima.

Osim ljudskih resursa koji uvijek trebaju biti na oprezu, jedna od najboljih prevencija je upotreba detektora ugljičnog monoksida. Izrazito je važno da sva potrebna osobna zaštitna sredstva pogotovo za zaštitu dišnih organa, budu na raspolaganju svim članovima posade u bilo kojem potrebnom trenutku te da su propisno održavana i na vrijeme zamijenjena novima. Važno je također da su pomorci osposobljeni rukovati sa zaštitnom opremom, inače je ista uzaludna. Brod je opasna radna okolina i svaki pomorac treba znati koji se postupci na kojem brodu mogu poduzimati bez da se brod, odnosno posada na brodu i brodski teret dovedu u opasnost. Treba istaknuti da su neki brodovi opasniji od drugih pa pomorci trebaju biti još oprezniji na brodovima koji prevoze opasni teret na kemijskim tankerima, npr: LPG tankerima i sl. Pomorci se osposobljavaju za to da ostanu sabrani u iznimno stresnim situacijama i da znaju adekvatno i pravovremeno reagirati, što je najvažnija stavka u sprječavanju neke nesreće na brodu.

Prema važećim zakonskim propisima svi članovi posade koji rade na radnim mjestima gdje su izloženi djelovanju CO, podliježu periodičnim zdravstvenim pregledima koji se obavljaju svaka 24 mjeseca. Na tim poslovima ne smiju raditi osobe s kroničnim kardiovaskularnim smetnjama i jakom anemijom. Temeljem svega što je vidljivo u radu potpuna sigurnost nije moguća jer pomorcima prijeti rizik od različitih bolesti i nesreća. Svim rizicima može se upravljati edukacijom posade i pravovremenom reakcijom koji mogu rizik svesti na prihvatljivu razinu. Najviše stradanja se događa na brodicama koje se iznajmljuju u privatne svrhe ili na izletničkim brodovima. Svjesnošću svoje okoline i postupcima navedenima u radu svaki loš ishod se može dovesti na minimalnu razinu kako po pitanju pojedinca, tako i ostalih sudionika.

## LITERATURA

- [1] ACGIH, TLVs, and BEIs, “Threshold limit values for chemical substances and physical agents. Biological exposure limits.”, Cincinnati, 2007.
- [2] Arbetskyddsstyrelsen, “Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar,” SolnaArbetskyddsstyrelsen (In Swedish), 2005.
- [3] N. Nikolić, “Što sve može izazvati trovanje na brodu?,” Burza nautike, 2019. Available:  
[https://www.burzanautike.com/hr/sto\\_sve\\_moze\\_izazvati\\_trovanje\\_na\\_brodu/5847/52](https://www.burzanautike.com/hr/sto_sve_moze_izazvati_trovanje_na_brodu/5847/52)  
(accessed Nov. 07, 2022).
- [4] I. Blumenthal, “Carbon monoxide poisoning,” *J R Soc Med*, vol. 94, no. 6, pp. 270–272, 2001, doi: 10.1177/014107680109400604.
- [5] A. Ernst and J. D. Zibrak, “Carbon monoxide poisoning,” *N Engl J Med*, vol. 339, no. 22, pp. 1603–1608, Nov. 1998, doi: 10.1056/NEJM199811263392206.
- [6] D. W. T. Griffith, “Synthetic Calibration and Quantitative Analysis of Gas-Phase FT-IR Spectra,” *Appl Spectrosc*, vol. 50, no. 1, pp. 59–70, Aug. 1996, doi: 10.1366/0003702963906627.
- [7] J. Shah, “Hyperbaric oxygen therapy,” *J Am Col Certif Wound Spec*, vol. 2, no. 1, pp. 9–13, 2010, doi: 10.1016/J.JCWS.2010.04.001.
- [8] M. S., “Ocean transportation of pellets,” in *Canbio/IEA Conference*, 2007.
- [9] T. Meredith and A. Vale, “Carbon monoxide poisoning,” *Br Med J (Clin Res Ed)*, vol. 296, no. 6615, pp. 77–79, 1988, doi: 10.1136/BMJ.296.6615.77.
- [10] NAS/COTInterim, “Acute exposure guideline levels (AEGs) carbon monoxide: National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances,” 2005. Available: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/tsd306.pdf> (accessed Oct. 15, 2022).
- [11] L. S. Rothman et al., “The HITRAN molecular spectroscopic database: edition of 2000 including updates through 2001,” *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, vol. 82, pp. 5–44, 2003, doi: 10.1016/S0022-4073(03)00146-8.

[12] S. W. Sharpe, T. J. Johnson, R. L. Sams, P. M. Chu, G. C. Rhoderick, and P. A. Johnson, "Gas-phase databases for quantitative infrared spectroscopy," *Appl Spectrosc*, vol. 58, no. 12, pp. 1452–1461, Dec. 2004, doi: 10.1366/0003702042641281.

[13] U. R. A. Svedberg, H. E. Högberg, J. Högberg, and B. Galle, "Emission of hexanal and carbon monoxide from storage of wood pellets, a potential occupational and domestic health hazard," *Ann Occup Hyg*, vol. 48, no. 4, pp. 339–349, 2004, doi: 10.1093/ANNHYG/MEH015.

[14] T. C., *Carbon monoxide*, 11th ed. Goldfrank's Toxicologic Emergencies, McGraw Hill, 2019.

Available:

<https://accesspharmacy.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2569&sectionid=210264419>

[15] S. J. Wolf, E. J. Lavonas, E. P. Sloan, and A. S. Jagoda, "Clinical policy: Critical issues in the management of adult patients presenting to the emergency department with acute carbon monoxide poisoning," *Ann Emerg Med*, vol. 51, no. 2, pp. 138–152, Feb. 2008, doi: 10.1016/J.ANNEMERGMED.2007.10.012.

[16] BoatUS, "CO And Fume Detectors."

Available: <https://www.boatus.com/expert-advice/expert-advice-archive/2019/april/co-and-fume-detectors> (accessed Nov. 18, 2022).

## **POPIS SLIKA**

Slika1. Ugljični monoksid.....	3
Slika2. Jedan od izvora ugljičnog monoksida na brodu.....	8
Slika3. Postavljanje uređaja za detekciju CO.....	19
Slika4. Trovanje ugljičnim monoksidom.....	21

## POPIS KRATICA

ATA (engl. *atmosphere absolute*) apsolutna atmosfera

CO (engl. *Carbon monoksid*) ugljični monoksid

COHb (engl. *Carboxyhemoglobin*) karboksihemoglobin

CPR (engl. *Cardiopulmonary reanimation*) kardiopulmonalna reanimacija

DEPV (njem. *Deutscher Holzbrennstoff- und Pelletverband*) Njemačka udruga za drvena goriva i pelete

EKG/ECG (engl. *Electrocardiogram*) elektrokardiogram

FTIR (engl. *Fourier-transform infrared spectroscopy*) Fourierova transformacija

HBO (engl. *hyperbaric oxygen therapy*) hiperabična terapija kisikom

LPG (engl. *Liqefied Petroleum Gas*) ukapljeni naftni plin

PNNL (engl. *Pacific Northwest National Laboratory*) Pacifički sjeverozapadni nacionalni laboratorij

ppm (engl. *parts per milion*) milijuntinka

ZnO (engl. *Zinc oxide*) cinkov oksid

