

Dr Miodrag Živković,  
major  
Rade Biočanin,  
potpukovnik

## TROVANJE UGLJEN-MONOKSIDOM PRI RONJENJU I MERE ZAŠTITE

Hemijska trovanja su deo naše svakodnevice, a uzrok tome su uticaji energije razorne moći, prljave tehnologije, nuklearni i hemijski udesi, ratna razaranja i mnoštvo drugih faktora.

Trovanje ugljen-monoksidom — hemijskim zagušljivcem su vrlo česta, a posledice teške.

Trovanje ove vrste, a sa različitim uzrocima i posledicama, traže od nas istinsku i svestranu dijagnozu stanja stvarnosti, poznavanje efekata dejstva i preduzimanje mera zaštite, koja obuhvataju monitoring, zaštitu, urgenciju i znalačko uklanjanje posledica dejstva.

### Uvod

Ugljen-monoksid (CO) je izrazito toksičan gas bez boje, mirisa i ukusa, lakši od vazduha. Spada u grupu hemijskih zagušljivaca, a izaziva generalnu hipoksiju\* zbog vezivanja sa hemoglobinom (Hb) i drugim posrednicima disanja koji sadrže hem\*\* prostetičnu grupu. Toksični efekat ugljen monoksida nastupa brzo i pri malim koncentracijama.

Ugljen-monoksid nastaje u procesu nepotpune oksidacije organskih materija. Jedan od najčešćih izvora zagađenja vazduha su izduvni gasovi motora sa unutrašnjim sagorevanjem, gde koncentracija može biti od 1 do 14 vol. %. Sledeći veliki zagađivač je metalurška industrija.

Prema objavljenim podacima, u SAD od ukupne količine ugljen-monoksida u atmosferi, izduvni gasovi automobila emituju oko 58%.

Neki od izvora zagađenja atmosfere sa ugljen-monoksidom

Tabela 1

Izvor CO	Količina (Vol %)
Izduvni gasovi motora s unutrašnjim sagorevanjem	1—14 vol %
Sagorevanje prirodnog gasa ili petroleja	5 vol %
Dim jedne cigarete	4 vol %
Atmosfera garaža	do 0,024%

Dozvoljene koncentracije ugljen-monoksida

Tabela 2

Maksimalna dopuštena koncentracija — MAK	50 ppm (0,005 vol %)
Atmosfera naselja za 8 h	20 ppm (0,002 vol %)
Ronilački vazduh	10 ppm (0,001 vol %)

\* Smanjena koncepcija O<sub>2</sub> u krvi.  
\* Komponenta hemoglobina.

Od svih smrtonosnih trovanja gasovima, preko polovine su izazvana ugljen-monoksidom. Unošenje u organizam i eliminacija vrši se preko pluća, a krajnji toksični učinak je hipoksija, koja nastaje vezivanjem ugljen-monoksida za hemoglobin i stvaranjem stabilnih karbonil-jedinjenja, čime se zauzima prostor za vezivanje kiseonika, kao i za njegov prenos i korišćenje u tkivima i ćelijama. Brzina vezivanja ugljen-monoksida za hemoglobin je nešto sporija od brzine vezivanja kiseonika, ali je afinitet ugljen-monoksida za hemoglobin veći 220 puta od afiniteta kiseonika. Otuda i prednost na strani ugljen-monoksida u vezivanju sa hemoglobinom, čak i kada je prisutan u nesrazmerno manjim količinama.

Količina zaposednutog hemoglobina zavisi od koncentracije ugljen-monoksida u odnosu na koncentraciju kiseonika i vremena ekspozicije, a izračunava se po Haldaneovoj formuli:

$$\text{COHb} : \text{O}_2\text{Hb} = M \times P_{\text{CO}} : P_{\text{O}_2}$$

M — konstanta relativnog afiniteta CO za Hb

P — parcijalni pritisak.

dualne otpornosti organizma, koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi i stepena prethodne hipoksije u tkivima.

Smrtna doza ugljen-monoksida za ljude kreće se između 1000 i 2000 ppm (0,1—0,2 vol %) pri ekspoziciji od 30 minuta. Kod visokih koncentracija ugljen-monoksida smrt može nastupiti nakon 1—2 minute boravka u kontaminiranoj atmosferi.

### Klinička slika trovanja

Nakon kontaminacije (MDK 50 ppm) dolazi do razvoja kliničke slike, koja je netipična. Zbog nemogućnosti da niske koncentracije karboksi-hemoglobina daju bogatu simptomatologiju, a da koncentracije COHb preko 40% budu asimptomatske, postavljanje dijagnoze je otežano, a time i adekvatno lečenje.

Posebno je teško razlikovati trovanje ugljen-monoksidom i ronilačke incidente, koji se manifestuju gubitkom svesti pod vodom i komatoznim stanjem, a komplikuju se utapljanjem, barotraumatskom plinskom embolijom.

Tabela 3

Procenat vezanog hemoglobina za ugljen-monoksid u našoj svakodnevici

Koncentracija CO	vezani Hb (COHb) u krvi
Čist vazduh	1%
Pušači nakon 20 cigareta	6%
Radnici u garažama nakon 8 h	3—15%
Udahnuti vazduh (50 ppm) nakon 30 min.	3%

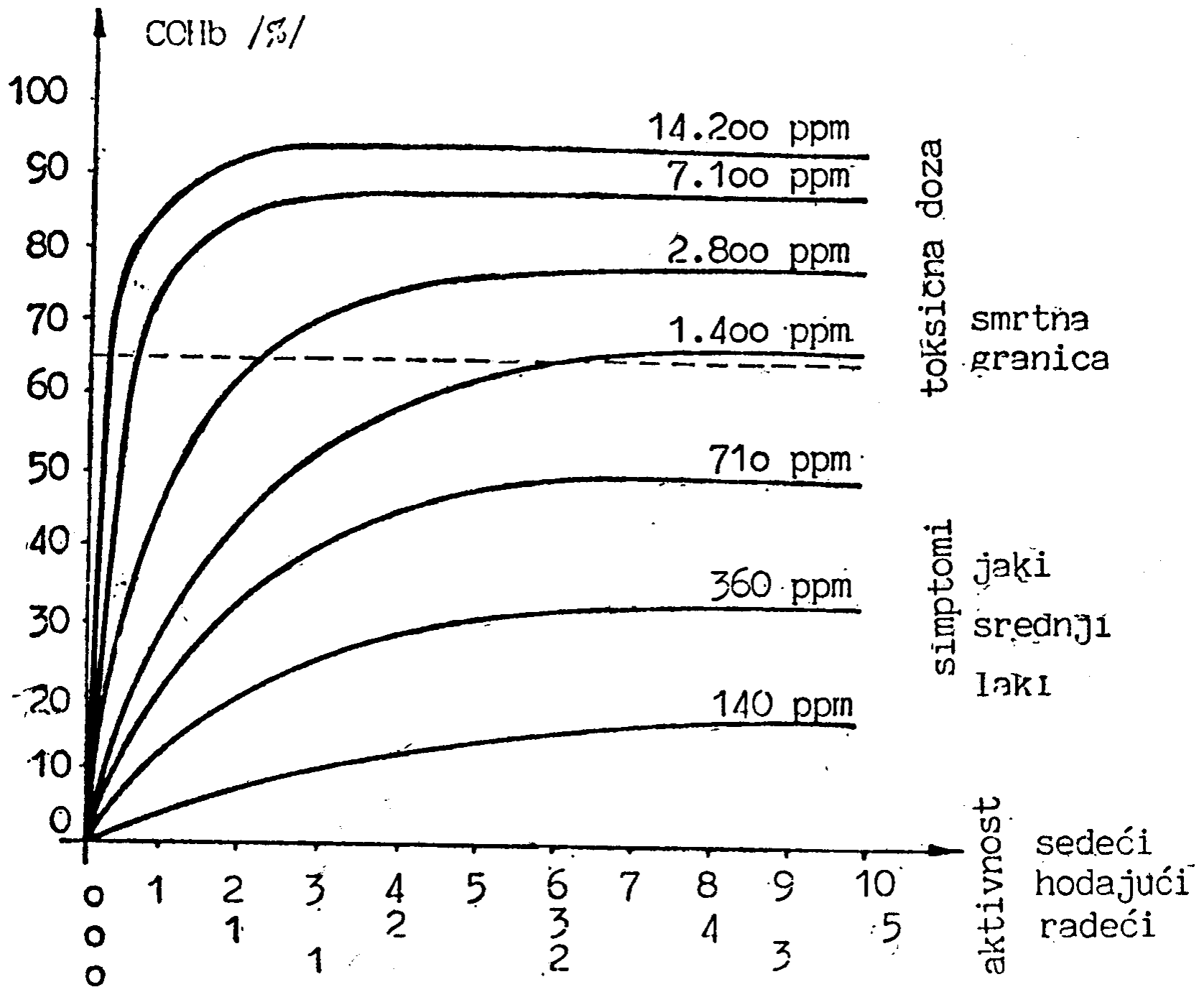
Toksično delovanje ugljen-monoksida na ljudski organizam zavisi od vremena eksplozije, koncentracije, kao i potencirajućih faktora: minutnog volumena disanja\* mišićnog rada, indivi-

\* Volumen disanja — iznosi 0,5—1,5dm<sup>3</sup>/udah, što zavisi od predispozicije organizma, stanja organizma i intenziteta disanja.

Otuda je potrebno imati na umu mogućnost trovanja ronilačkog vazduha ugljen-monoksidom i obavezno ga analizirati nakon svakog incidenta. Od koncentracije COHb zavisi intenzitet hipoksije, a od intenziteta hipoksije klinička slika. Načelno, koncentracija COHb u krvi od 10 do 20% izaziva mučninu, glavobolju i umor, od 30% vr-

Klinička slika trovanja s ugljen-monoksidom u zavisnosti od koncentracije COHb

% COHb	Klinička slika
4%	Smanjena vidna sposobnost, smanjena sposobnost rešavanja psiho-testova
10—20%	Mučnina, glavobolja, umor, greške u računanju i smanjena vidna sposobnost
30%	Vrtoglavica, bezorijentacija, malaksalost, mišićna nemoć
40—50%	Koma, poremećen rad srca i disanja, decerebracija i smrt



Koncentracija karboksi-hemoglobina u različitim uslovima

toglavicu, dezorijentaciju u vremenu i prostoru, malaksalost i mišićnu nemoć, a od 40 do 50% komu, poremećenu funkciju srca i disanja, decerebraciju i smrt. Kod 18% otrovanih dolazi do poremećaja funkcija drugih organskih sistema, a u 41% slučajeva zabeleženi su trajni neurološki ispadi karakteristični za difuznu spongioznu demijelinizaciju mozga.

## Terapija

Terapija zatrovanih ugljen-monoksidom obuhvata primenu hiperbaričkog kiseonika na apsolutnom pritisku od 3 bara, gde poluživot eliminacije CO iznosi 23,5 minuta. Ako ne postoji mogućnost hiperbarične terapije (HBO), potrebno je primeniti 100%-tni kiseonik na normalnom pritisku kada je poluživot eliminacije ugljen-monoksida 80 minuta.

Ako ne postoji mogućnost navedenih terapija, u najgorem slučaju zatrovanog treba izneti na čistu atmosferu uz apsolutno mirovanje, kada je poluživot eliminacije ugljen-monoksida oko 320 minuta. Održavanje ventilacije i rada srca postićiće se primenom klasičnih metoda kardio-respiratorne reanimacije. Ostala terapija je simptomatska.

## Prikaz trovanja CO u ronjenju

U jutarnjim satima septembra jedna ronilačka grupa, sastavljena od iskusnih ronilaca, obavljala je rutinski zadatak u blizini ostrva Hvara. Na matičnom brodu punjene su boce transportnim kompresorom. Ronjenja su se odvijala rutinski, iz dana u dan, uz iste režime za sve ronioce. Dubina ronjenja iznosila je 34 metra, a vreme boravka na dnu 35 minuta, uz dekompresioni zastanak na 3 metra/6 minuta. Sva ronjenja su se odvijala bez ikakvih problema.

Pri jednom ronjenju, ronilac A. T. nakon 10 minuta na dnu mora osetio je tegobe pri disanju. Obavestio je druga iz para i krenuo sa njim na izron. Na 9 metara dubine izgubio je svest i nekontrolisano isplutao na površinu, gde su ga u besvesnom stanju prihvatili članovi posade broda i izneli na palubu. Zatrovan ugljen-monoksidom, unesrećeni ronilac je ostao bez svesti 10 minuta, nakon čega se sporo budio, dezorijentisan, s izraženom mišićnom slabošću, nadražajem na kašalj, mučninom i povraćanjem. Odmah je organizovan transport i unesrećeni je za dva sata stigao u rekompresionu komoru, gde ga je prihvatio specijalista pomorske medicine. Pri prijemu je bio svestan, ali su nađeni neurološki ispadi i pozitivan nalaz na plućima (potvrđen rtg-snimkom), te je postavljena dijagnoza: *barotraumatska linska embolija*. Ronilac je lečen po protokolu barotraumatske plinske embolije (BPE). Nakon inicijalnog tretmana unesrećeni je izlečen uspešno.

Uprkos rtg-snimku, koji je ukazivao na oštećenje pluća, javila se sumnja u osnovni uzrok gubitka svesti, te je ronjocima ukazano i na tu mogućnost. Međutim, oni su tu mogućnost odbacili, jer su svi ronili pod istim uslovima, sa istim vazduhom i niko ranije nije imao sličnih problema.

Sutradan, iz iste ronilačke grupe dopremljen je ronilac sa sličnom anamnezom i objektivnim stanjem. Ronio je po istovetnom režimu ronjenja, ostao na dubini od 34 metra oko 25 minuta, pošao na dekompresioni zastanak i na 3 metra dubine izgubio svest, te nekontrolisano isplutao na površinu vode. Na palubi je bio bez svesti oko 20 minuta uz sličnu simptomatologiju nakon dolaska sebi. Pri prijemu je bio u dobrom stanju uz pozitivan nalaz na plućima koji je ukazivao na BPE. Nakon toga je lečen i posle inicijalnog tretmana izlečen po terapijskom protokolu za BPE. Nakon ovog incidenta tra-

žen je prekid ronjenja i doprema ronilačkih aparata da bi se izvršila ronilačka analiza vazduha.

Analizom ronilačkog vazduha ustanovljeno je prisustvo ugljen-monoksida u koncentraciji od 1400 ppm (0,14%). Ta koncentracija CO je subletalna u kratkim ekspozicijama, letalna za ekspozicijama, letalna za ekspozicije duže od 30 minuta, a teoretska koncentracija COHb iznosila je oko 50%.

Neposredni uzrok zagađenja ronilačkog vazduha otkriven je ponovnim pregledom kompresorskog sistema. Ustanovljeno je da je plastična cev usisa dodirnula izduvnu cev kompresora i pregorela. To je ostalo neprimećeno, pa su plinovi (nastali u toku ronjenja) bogati ugljen-monoksidom i drugim gasovima ozbiljno ugrozili živote i zdravlja ronilaca.

#### Literatura:

[1] R. H. Dreisbach: Trovanja, dijagnoza i lečenje. Savremena administracija, Beograd, 1980.

[2] Milosavljević J., D. Joković: Porodično trovanje ugljen-monoksidom sa različitim prome-

#### Zaključak

U izvršavanju specijalističkih zadataka, uz upotrebu hemijskih jedinjenja, često dolazi do profesionalnih i drugih trovanja, gde su različiti uzroci, a često teške posledice. Jedna vrsta incidenta je trovanje ugljen-monoksidom.

Trovanja ugljen-monoksidom nisu retka, naročito u specifičnim čovekovim aktivnostima, kao što je ronjenje. Preventivne aktivnosti u smislu stalnog sprečavanja zagađenja i kontrole čistoće vazduha su neophodne. Na mogućnost trovanja pri ronjenju treba misliti da bi se pravovremeno prepoznao incident, preduzele mere zaštite i sprovelo pravilno lečenje. To je jedna od posebnih mera hemijske zaštite koju preduzima pojedinac, grupa (posluga), jedinica, štab, ustanova ili specijalizovano preduzeće u uslovima hemijskih udesa.

nama u EKG-u. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju Vol. Vol. 40 br. 4, Zagreb, 1989.

[3] Bločanin R: Protivnuklearna, hemijska i biološka zaštita, Školski centar ABH odbrane, Kruševac, 1991.