



UNIVERZITET CRNE GORE

MEDICINSKI FAKULTET

SMJER: STOMATOLOGIJA

PREDMET: HEMIJA

SEMINARSKI RAD

TEMA: SUVI LED

Mentor: Dr Milica Kosović Perutović

Autor: Matijašević Jovana 6/24

Oktober, 2024.godina

Table of Contents

1	Uvod	3
2	Suvi Led	3
2.1	Sublimacija	3
3	Osobine ugljen-dioksida	4
3.1	Fizičke osobine	4
3.2	Hemijske osobine	5
3.2.1	Struktura ugljen-dioksida	5
4	Nastajanje ugljen-dioksida	7
4.1	Disanje	7
4.2	Gorenje	7
4.3	Fermentacija etanola	8
5	Način proizvodnje suvog leda	8
5.1	Kompresija suvog leda	8
5.2	Ekspanzija	9
5.3	Formiranje i oblikovanje suvog leda	10
5.4	Pakovanje	11
6	Mjere bezbjednosti	11
6.1	Bezbjednosne mjere prilikom korišćenja suvog leda	11
6.2	Bezbjedonosne mjere prilikom proizvodnje suvog leda	12
7	Primjena suvog leda	13
7.1	Dry ice blasting	13
7.2	Mehanizam gašenja požara	14
8	Zaključak	15
9	Literatura	15

1 Uvod

Suvi led ili čvrsti ugljen dioksid CO_2 postao je ključni materijal u različitim industrijama i naučnim istraživanjima. Njegovo jedinstveno svojstvo sublimacije, pri kojem prelazi iz čvrstog u gasovito stanje, bez tečne faze, omogućuje širu primjenu u situacijama koje zahtjevaju niske temperature. Sa porastom svijesti o očuvanju životne sredine i zdravlju suvi led je postao popularan zbog svoje ekološke prihvatljivosti. U upotrebi sa hemijskim rashladnim sredstvima suvi led ne ostavlja ostatke i ne predstavlja opasnost po život.

Cilj ovog rada je istražiti različite aspekte suvog leda uključujući njegove karakteristike, metode proizvodnje i širok spektar primjene. Takođe ćemo analizirati prednosti i nedostatke suvog leda u različitim kontekstima, što će pomoći u razumljevanju njegove uloge u savremenom društvu. Ovaj rad nastoji pružiti dublji uvid u značaj suvog leda kao ključnog resursa u različitim sektorima, te osvijetliti njegov potencijal za buduću primjenu i inovacije.



Slika 1. Suvi led

2 Suvi Led

Suvi led je ugljen-dioksid u čvrstom agregatnom stanju, na temperaturi od -78°C . Ne topi se kao običan led, već ima sposobnost sublimacije zbog čega je i dobio specifičan naziv (Slika 1.).

2.1 Sublimacija

Sublimacija je proces direktnog prelaska materije iz čvrstog u gasovito stanje. To je endotermni proces, koji se odvija na temperaturama i pritiscima ispod trojne tačke supstance u njenom faznom dijagramu, što odgovara najnižem pritisku pri kojem supstanca može postojati kao tečnost. Ova osobina se primjenjuje u hemiji za prečišćavanje supstanci, posebno kada je kristalizacijom to znatno otežano.

U najprostijem slučaju sublimacija se može izvesti sa dva sahatna stakla iste veličine. Između njih se stavi hartija za cijedjenje koja je po sredini izbušena i većeg prečnika. Željena supstanca se stavi na donje staklo i oba stakla se pričvrste štikaljkom. Donje se staklo polako zagrijava na pješčanom ili vodenom kupatilu pri čemu se para supstance u dodiru sa hladnom površinom sahatnog stakla pretvara u sitne kristale. Veći efekat se postiže kada se gornje staklo hladi vlažnom hartijom ili krpom. Postavljena hartija sprečava da kristali padnu na donje vrelo staklo. Veće količine supstance se prečišćavaju tako što se umjesto sahatnih stakala koriste porcelanske posude, epruvete, lončići ili drugo posudje. Česte sublimacije u laboratorijama su: sublimacija sumpora, joda, aluminijum-hlorida i drugih supstanci. Neke supstance sublimiraju i pri normalnim uslovima, a pravi primjer za to je ugljen-dioksid. [1]

3 Osobine ugljen-dioksida

Molecular Weight	44.01
Density (Solid)	97.5 lbs/ft ³ at -109° F / 1565 kg/m ³ at -78° C
Density (Liquid)	63.7 lbs/ft ³ at 0° F / 1022 kg/m ³ at -18° C
Density (Gas)	0.123 lbs/ft ³ at 32° F / 1.974 kg/m ³ at 0° C
Melting Point	-69.9° F at 75.1 psia / -56.6° C at 5.2 bar absolute(triple point)
Boiling Point	-109.3° F / -78.5° C(sublimates)
Liquid-to-Gas Conversion Rate	8.726 scf (gas)/lb / 0.544 m ³ (gas)/kg (liquid at 0° F / -18° C and 305 psia / 21 bar absolute)
Liquid-to-Snow Conversion Rate	.46 lb snow / lb liquid at 0° F / .46 kg snow / kg liquid at -18° C
	.57 lb snow / lb liquid at -55.0° F / .56 kg snow / kg liquid at -48° C

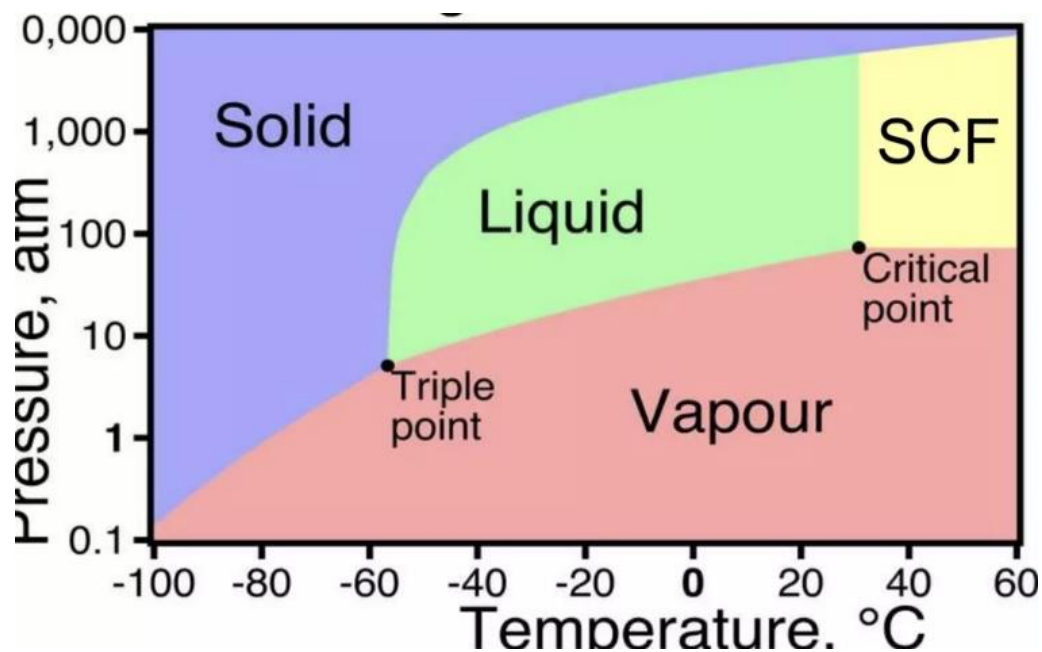
Slika 2. Tabela prikaz osobina ugljen-dioksida

3.1 Fizičke osobine

Ugljen-dioksid je gas bez boje i mirisa. Kada se udahne u većim koncentracijama ima slabo slani kiseli ukus i prouzrokuje blago peckanje u grlu i nosu, jer se rastvara u pljuvački i stvara slabi rastvor ugljene kiseline H₂CO₃. Pri standardnim uslovima, temperaturi od 0°C i normalnom atmosferskom pritisku od 1 (bar), gustoća mu je 1,98 kg/m³ što je oko 1,5 puta više od vazduha, pa se zbog toga zadržava u nižim djelovima prostorija, jamama, bunarina, podrumima i pećinama. Pod normalnim atmosferskim uslovima ugljen-dioksid je u gasovitom agregatnom stanju. Nema električne dipole. S obzirom da je zasićen kiseonikom veoma je slabo reaktivan. Nije provodnik električne struje i tipičan je realan gas. Njegova molarna masa iznosi 44,0095 g/mol (Slika 2.).

Ugljen-dioksid se može javiti u sva tri agregatna stanja: čvrstom, tečnom i gasovitom. Tačka u kojoj se nalazi u sva tri agregatna stanja, naziva se trojna tačka i definisana je temperaturom od $-56,6^{\circ}\text{C}$ i pritiskom $5,3\text{ bara}$ (Slika 3.).

CO_2 može postojati kao tečnost ispod kritične temperature od 31°C i ispod kritičnog pritiska od $74,4\text{ bara}$ i iznad trojne tačke sa temperaturom od $-56,6^{\circ}\text{C}$ i $5,3\text{ bara}$. Ispod trojne tačke ugljen dioksid može postojati samo u čvrstom i gasovitom stanju. Prema tome tečni CO_2 ne može postojati pri atmosferskom pritisku. Snižavanjem temperature ispod $-56,6^{\circ}\text{C}$, ugljen dioksid počinje da kristališe i pretvara se u inje, dok se na temperaturi od $-78,9^{\circ}\text{C}$ pretvara u suvi led.[2]

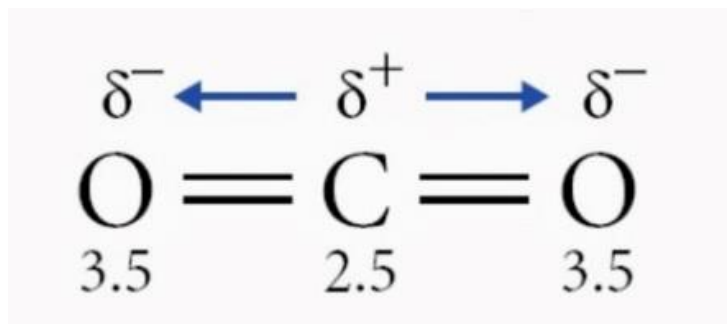


Slika 3. Fazni dijagram u uglje-dioksida

3.2 Hemijske osobine

3.2.1 Struktura ugljen-dioksida

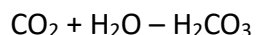
Ugljen dioksid se sastoji od jednog atoma ugljenika i dva atoma kiseonika spojenih kovalentnom vezom. To je linearan molekul. Elektronegativnosti njegovih elemenata su: kiseonika 3,5 a ugljenika 2,5 (Slika 4.). Veze elektronegativnosti su uvijek usmjerene ka elektronegativnijem elementu, a elektronegativniji element u ovom slučaju je kiseonik. Razlika između elektronegativnosti ova dva elementa je 1 i vektor je usmjeren ka kiseoniku. Vektori istog pravca a suprotnog smjera se poništavaju, pa je njegov ukupni dipolni momenat jednak nuli. To nas dovodi do zaključka da je ovaj molekul ipak nepolaran iako ima dvije polarne glave.[3]



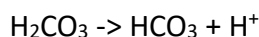
Slika 4. Elektronegativnost ugljen-dioksida

Ugljen dioksid je relativno inertan gas, što znači da ne reaguje lako sa mnogim supstancama pod normalnim uslovima. Međutim, postoji nekoliko značajnih reakcija u kojima može učestvovati:

1. Kiselost: Kada se ugljen dioksid rastvara u vodi, formira se slaba ugljena kiselina



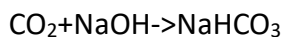
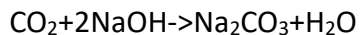
Ova reakcija je ključna za mnoge biološke i hemijske procese i ona može disociirati i osloboditi proton (H⁺), čime doprinosi kiselosti rastvora.



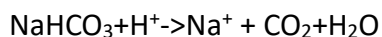
Bikarbonatni jon je amfoterična vrsta koja može reagovati i kao kiselina i kao baza, u zavisnosti od pH vrijednosti rastvora. Kod viših pH vrijednosti on se u velikoj mjeri disocira na karbonatni jon.

Ugljena kiselina doprinosi kiselosti prirodnih voda i zemljista, uticajuci na biogeochemijske cikluse.

2. Reakcije sa bazama: Ugljen dioksid reaguje sa bazama formirajući karbonate i bikarbonate:



Na primjer, u reakciji sa natrijum-hidrogenkarbonatom NaHCO₃ dolazi do reakcije koja oslobađa gas CO₂ koji se koristi u pekarskim procesima.



3. Rastvorljivost: Ugljen-dioksid je rastvorljiv u vodi a njegova rastvorljivost zavisi od temperature i pritiska. Viša temperatura smanjuje rastvorljivost, dok veći pritisak povećava

njegovu rastvorljivost prema Henrijevom zakonu. Ova osobina je ključna za procese gaziranih pića i bioloških sisteme.

4. Oksidacija : Ugljen dioksid se ne može oksidovati dalje u normalnim uslovima što ga čini stabilnim spojem. Međutim , pod ekstremnim uslovima, kao što su visoke temperature i pritisci, može reagovati sa drugim supstancama. U prisustvu jakih redukcionih sredstva kao što su litijum i magnezijum, ugljen dioksid se može redukovati do različitih organskih i neorganskih jedinjenja, poput metana CH_4 ili metanola CH_3O_2 .

4 Nastajanje ugljen-dioksida

Ugljen-dioksid nastaje pri potpunom sagorijevanju ugljenika, pa je pratilac svih procesa sagorijevanja organskih materija pri drugim hemijskim reakcijama kao što su : reakcije termičkog raspadanja NaHCO_3 (natrijum bikarbonat) I KHCO_3 (kalijum-bikarbonat) , kao I pri procesima vrenja , pri truljenju organskih materija I pri disanju.[4]

4.1 Disanje

Organizmi, uključujući ljude i životinje proizvode ugljen-dioksid kao rezultat metabolizma. Tokom disanja kiseonik se čuva I koristi za razgradnju hranjivih materija a ugljen dioksid se oslobadja kao nusproizvod. Proces stvaranja ugljen-dioksida (CO_2) tokom disanja može se detaljnije objasniti kroz faze ćeliskog disanja, koje je ključan metabolički proces za pretvaranje energije iz hranjivih materija u oblik koji ćelije mogu koristiti. Ćelisko disanje se sastoji iz tri glavne faze: glikolize, Krebsovog ciklusa (ciklus limunske kiseline) i oksidativne fosforilacije. Svaka faza doprinosi proizvodnji CO_2 na specifičan način.

4.2 Gorenje

Gorenje je hemijski proces koji uključuje oksidaciju gorive supstance uz prisustvo kiseonika, pri čemu nastaje toplota i svetlost. Ugljen-dioksid (CO_2) je jedan od glavnih nusprodukata ovog procesa, posebno kada gorivo sadrži ugljenik. Proces sagorevanja može se detaljno objasniti na nivou hemijskih reakcija, tipova goriva i faktora koji utiču na formiranje CO_2 . Gorenje se definiše kao egzotermna reakcija oksidacije, gdje se goriva supstanca spaja s kiseonikom, oslobađajući

energiju. Ako gorivo sadrži ugljenik, tokom sagorjevanja dolazi do oksidacije ugljenika, pri čemu nastaje ugljen-dioksid. Primjer osnovne hemijske reakcije za sagorijevanje ugljenika je:



U ovoj reakciji, ugljenik (C) reaguje s kiseonikom (O₂), formirajući CO₂ i oslobađajući značajnu količinu energije. Fosilna goriva (nafta, ugalj, prirodni gas) sadrže ugljenik i vodonik i kada sagorijevaju dolazi do reakcije u kojoj se ugljenik oksiduje do CO₂ a vodonik do H₂O. [5]

4.3 Fermentacija etanola

Fermentacija etanola ili alkoholno vrenje, je biohemijski proces u kome se konvertuju šećeri kao što su glukoza, fruktoza i saharoza u ćelijsku energiju, pri čemu se formira etanol i ugljen dioksid kao nusproizvodi. Fermentacija etanola ima mnoštvo primjena, uključujući produkciju alkoholnih pića, bioetanola i pripremu hljeba.

- Vulkanske aktivnosti: tokom erupcija vulkana, oslobađa se CO₂ iz unutrašnjosti Zemlje.
- Intustrijski procesi: U mnogim industrijama, kao što su proizvodnja cementa i hemikalija, CO₂ se stvara kao nusproizvod.

5 Način proizvodnje suvog leda

Proizvodnja suvog leda uključuje nekoliko koraka koji pretvaraju gasoviti ugljen-dioksid u čvrstu formu:

5.1 Kompresija suvog leda

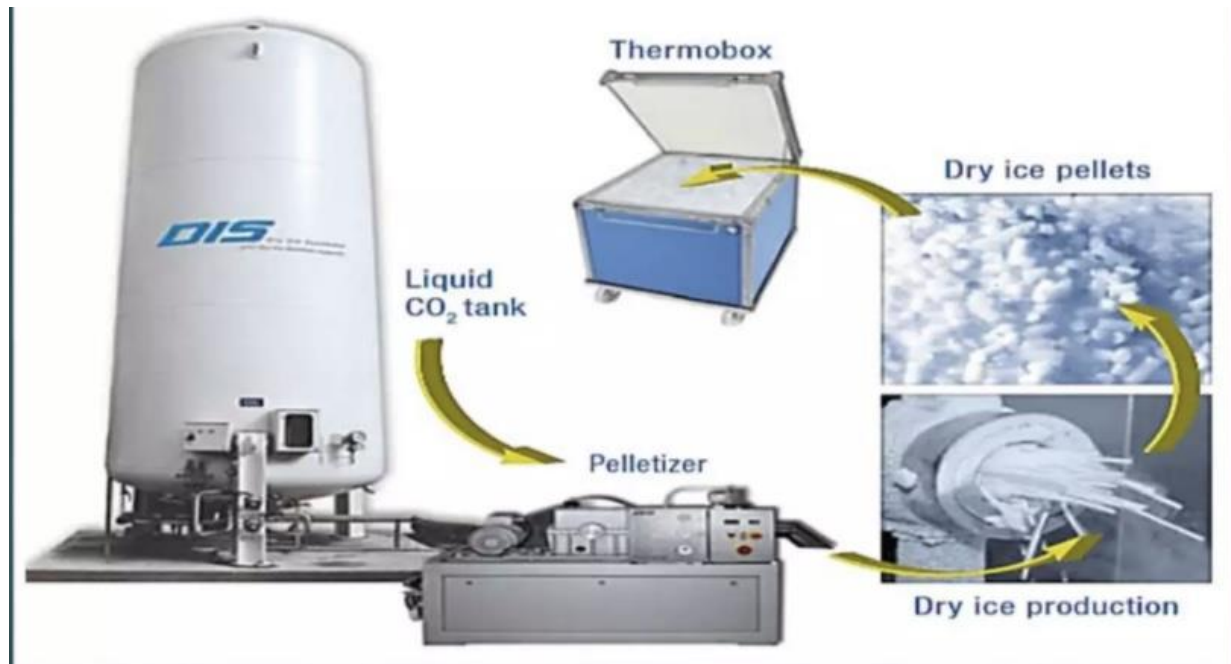
Nakon prikupljanja i prečišćavanja, gasoviti CO₂ se komprimuje pod visokim pritiskom, obično između 15 i 70 bara. Komprimovanje je neophodno kako bi se gas preveo u tečno stanje. Da bi CO₂ prešao iz gasovitog u tečno stanje, mora se takođe ohladiti do temperature ispod tačke kondenzacije (oko -20°C). Kombinacija visokog pritiska i niske temperature omogućava prelazak CO₂ u tečno stanje.

Kompresija suvog leda obično se vrši u specijalizovanim industrijskim postrojenjima ili fabrikama koje proizvode suvi led. Ove fabrike često sadrže kompletnu opremu za sve faze proizvodnje suvog leda, od kompresije CO₂ do formiranja konačnih proizvoda. Postrojenja za proizvodnju suvog leda nalaze se širom svijeta, a njihova lokacija zavisi od dostupnosti ugljen-dioksida i tržišne potražnje.

Pored industrijskih fabrika, postoje i mobilne ili manje mašine za kompresiju koje se mogu koristiti na licu mesta, na primer u restoranima, bolnicama ili laboratorijama. Ove prenosive mašine omogućavaju proizvodnju i kompresiju suvog leda u manjim količinama i po potrebi.

Trajanje procesa kompresije suvog leda zavisi od vrste i veličine proizvoda koji se formira. Za formiranje blokova suvog leda, kompresija može trajati od nekoliko sekundi do nekoliko minuta, u zavisnosti od željene gustine i čvrstoće (Slika 5.).

Kod proizvodnje peleta, proces je kontinuiran i može trajati neprekidno, pri čemu se suvi snijeg neprestano sabija i izbacuje u obliku peleta. Mašine koje proizvode pelete mogu proizvesti nekoliko stotina kilograma suvog leda na sat.



Slika 5. Proces nastajanja suvog leda

5.2 Ekspanzija

Kada se CO_2 nalazi u tečnom stanju, sljedeći korak je ekspanzija, odnosno naglo smanjenje pritiska. Ovaj proces uključuje:

- **Brzo oslobađanje tečnog CO_2** u posebnu komoru niskog pritiska, što uzrokuje naglo isparavanje dijela tečnog CO_2 .
- Zbog ovog naglog isparavanja, preostali CO_2 se hladi toliko brzo da se zamrzava u čvrsti oblik, stvarajući čvrsti CO_2 u obliku suvog snijega.
- Ovaj proces može se opisati kao adijabatska ekspanzija, gdje dolazi do smanjenja temperature zbog gubitka toplote tokom ekspanzije gasa.[6]

5.3 Formiranje i oblikovanje suvog leda

Suvi snijeg koji nastaje ekspanzijom može se odmah koristiti, ali u industrijskoj primeni se često oblikuje u određene forme:

- **Presovanje u blokove:** Suvi sneg se stavlja u hidraulične prese koje ga sabijaju u blokove različitih veličina. Blokovi se najčešće koriste za dugoročno hlađenje ili transport velikih količina proizvoda.
- **Formiranje peleta ili granula:** Za određene primjene, poput industrijskog čišćenja, suvi snijeg se presuje u manje komade, odnosno pelete ili granule prečnika od nekoliko milimetara. Ove manje čestice su praktične za precizne primjene, kao što je pjeskarenje suvog leda

Oblici suvog leda mogu biti (Slika 6.):

- 1. Kocke – standardni oblik za hlađenje, koriste se u transportu hrane i medicinskih proizvoda;
- 2. Granule – sitne čestice obično veličine 3-10mm; koriste se u industrijskim procesima posebno za suvo čišćenje;
- 3. Prah – oblik suvog leda koji se dobija drobljenjem kockica ili granula; koristi se u laboratorijskim eksperimentima i za stvaranje maglovitih efekata u zabavnim programima; prah se lako miješa sa tečnosti za brzu sublimaciju;
- 4. Peleti – male cilindricne čestice, prečnika 1cm. Peleti se brze sublimiraju od blokova, što ih čini idealnim za aplikacije koje zahtijevaju trenutni efekat hlađenja.[4]



Slika 6. Forme suvog leda

5.4 Pakovanje

Suvi led se pakuje na specifičan način kako bi se obezbijedila bezbjednost i očuvala njegova svojstva. Evo osnovnih koraka i načina pakovanja

1. **Ambalaža:** Suvi led se najčešće pakuje u specijalne termoizolacione kutije, kao što su kutije od stiropora ili polistirena. Ove kutije pomažu da se temperatura održi niskom i da se suvi led ne topi brzo.
2. **Pakovanje u vreće:** Prije stavljanja u termoizolacionu kutiju, suvi led može biti upakovan u plastične vreće kako bi se spriječilo njegovo direktno isparavanje. Vreće moraju biti dovoljno čvrste da izdrže niske temperature, ali ne potpuno zatvorene, kako bi ugljen-dioksid mogao da izlazi.
3. **Kartonska kutija:** Nakon što se suvi led stavi u termoizolacionu kutiju, ona se često dodatno pakuje u kartonsku kutiju radi dodatne zaštite i olakšavanja transporta.
4. **Ventilacija:** Prilikom pakovanja suvog leda važno je omogućiti odgovarajuću ventilaciju. Kutije ne smiju biti hermetički zatvorene jer suvi led sublimira (prelazi iz čvrstog u gasovito stanje) i stvara gas ugljen-dioksid, što može povećati pritisak unutar kutije.

6 Mjere bezbjednosti

6.1 Bezbjednosne mjere prilikom korišćenja suvog leda

Ventilacija :

- **Osigurati adekvatnu ventilaciju:** Kada suvi led sublimira, proizvodi ugljen-dioksid koji može zamijeniti kiseonik u prostoru, što može dovesti do gušenja. Zbog toga se ne preporučuje korišćenje suvog leda u malim, zatvorenim prostorijama bez adekvatne ventilacije.
- **Korišćenje u vozilima:** Nikada ne ostavljati suvi led u zatvorenim vozilima, jer nakupljeni ugljen-dioksid može postati opasan po život.

Kontakt sa kožom:

- **Nošenje zaštitnih rukavica:** Direktni kontakt sa suvim ledom može izazvati promrzline zbog njegove veoma niske temperature (-78,5°C). Preporučuje se upotreba termoizolacionih ili zaštitnih rukavica.
- **Izbegavanje kontakta sa golom kožom:** Suvi led se nikada ne smije dodirivati golim rukama ili direktno nanositi na kožu.

Oči i zaštitna oprema:

- **Nošenje zaštitnih naočara:** Pri rukovanju suvim ledom, moguće je da mali komadići otpadnu i povrede oči, pa se preporučuje nošenje zaštitnih naočara.

- **Termalna zaštita:** Ako radite sa suvim ledom duži vremenski period, preporučuje se nošenje zaštitne odjeće koja štiti od hladnoće.

6.2 Bezbjedonosne mjere prilikom proizvodnje suvog leda

Skladišćenje i transport

- **Korišćenje specijalizovanih kontejnera:** Suvi led se mora skladištiti u odgovarajućim termoizolacionim kontejnerima koji su dizajnirani za zadržavanje niske temperature.
- **Redovno provjetravanje skladišnih prostora:** Skladišta moraju biti dobro ventilisana kako bi se spriječilo nakupljanje ugljen-dioksida.

Oprema i mašine:

- **Upotreba odgovarajućih mašina:** Pri proizvodnji suvog leda koristi se specijalizovana oprema za kompresiju i hlađenje ugljen-dioksida. Mašine moraju biti redovno servisirane i održavane kako bi se smanjila mogućnost curenja plina.
- **Zaštitna oprema za operatere:** Radnici koji rade na mašinama za proizvodnju suvog leda treba da nose odgovarajuću zaštitnu opremu (rukavice, naočare, zaštitnu odjeću).

Suvi led sam po sebi nije zapaljiv ili eksplozivan, ali vrši pritisak dok prelazi iz čvrstog agregatnog stanja u gasoviti ugljen-dioksid. Ako bi se suvi led pri vršenju tog pritiska stavio u hermetički zatvorenu posudu, nastao bi rizik od pucanja. Budući da "suva ledena bomba" proizvodi izuzetno glasnu buku, osoba može ostati i bez sluha.

Za CO₂ može da se kaže da ne spada u izrazito toksične gasove, ali u slučaju izlaganja većim koncentracijama, može imati štetne posljedice po organizam čovjeka. Tako pri zapreminskim koncentracijama od:

- 2 do 2,5%, ugljen-dioksid ne ispoljava štetno djelovanje na ljudski organizam;
- 3 % čovjek diše teže i ubrzanije;
- 4 % javlja se glavobolja, zujanje u ušima i blaga nesvjestica;
- 9 % ugljen-dioksida u vazduhu izazvaće naglu nesvjesticu, kod slabijih osoba čak i prestanak rada srčanog mišića;
- 20 % nastaje, već poslije nekoliko minuta, oduzetost centralnog nervnog sistema, djelovanje ove koncentracije u trajanju od 20 do 30 min je smrtonosno;
- 25 % nastupa brza smrt, tzv. "efekat gašenja života". [6]

7 Primjena suvog leda

Suvi led ima široku primjenu u različitim sferama života , kako industriji tako i hemijskim procesima.

Jedna od najpopularnijih upotreba suvog leda je u specijalnim efektima, kako bi se stvorila magla i dim. Kada se kombinuje sa vodom, sublimira se u hladnu mješavinu ugljen-dioksida i vlažnog vazduha, što izaziva kondenzaciju vodene pare u vazduhu, formirajući maglu. Topla voda ubrzava proces sublimacije, stvarajući dramatične efekte magle.

Takvi uređaji se mogu koristiti za proizvodnju dimnih uređaja , iako bi se pojednostavljene verzije mogle stvoriti stavljanjem suvog leda u vodu i korištenjem ventilatora na niskim temperaturama.



Slika 7. Izgled suvog leda u pićima

- Hladjenje i transport

Suvi led se koristi za očuvanje svježine hrane , poput mesa, mliječnih proizvoda , voća i povrća tokom transporta. Efikasno hladi bez potrebe za električnom energijom. Pomaže u očuvanju osjetljivih medicinskih materijala koji zahtjevaju niske temperature.[7]

7.1 Dry ice blasting

Pjeskarenje suvim ledom je sigurna i efikasna metoda čišćenja koja koristi vazduh pod pritiskom za slanje mlaza kuglica suvog leda velikom brzinom prema površini koja se čisti (Slika 8.). Proces pjeskarenja suvim ledom vrlo je efikasan u procesu čišćenja nakupljene prljavštine, masnoće, boje i drugih ostataka s raznih površina. Takođe je efikasan način za uklanjanje boje ili drugih

premaza s površine. Suvi led je hladniji od površine koja se koristi za čišćenje, pa uzrokuje smrzavanje i lomljenje prljavštine i pukotina. Ovaj se postupak može koristiti na raznim površinama, uključujući metal, plastiku i drvo. Pjeskarenje suvim ledom popularan je izbor za čišćenje jer nije otrovno i ne oštećuje površinu koja se čisti.

Osim toga, pjeskarenje suvim ledom nije otrovno i ne koristi jake ili opasne hemikalije. To ga čini sigurnom alternativom tradicionalnim metodama čišćenja kao što su pranje pod pritiskom ili pjeskarenje.

Pjeskarenje suvim ledom uključuje izbacivanje peleta velikom brzinom. Kuglice su mekane i mnogo manje gustoće od drugih medija koji se koriste u pjeskarenju (npr. pijeska ili plastičnih kuglica). Nakon udara, kuglica odmah isparava, prenoseći vrlo malo kinetičke energije na površinu i stvarajući relativno nisku fizičku abraziju.

Površina apsorbira veliku količinu topline tokom procesa sublimacije, uzrokujući da površina stvara posmična naprezanja kao dio toplinskog udara.[8]



Slika 8. Mašina za suvo čišćenje

7.2 Mehanizam gašenja požara

- Pravovremenom primjenom ugljen-dioksida, u početnoj fazi razvoja požara, mogu da se gase mnogi požari klase B i C, kao i uređaja i postrojenja pod električnim naponom.
- Ugljen-dioksid je prvenstveno namjenjen gašenju:
 - zapaljivih tečnosti i gasova u zatvorenim prostorijama (kade za odmaščivanje, kaljenje, sušenje i miješanje; kabine za bojenje i lakiranje; sudovi sa tečnim gorivom i sl.),

- požara na elektrouređajima i opremi (trafostanice, generator, komandne i signalne centrale, telefonske centrale, računarski data centri i ostala oprema sa preciznim i skupocjenim uređajima, kada je neophodno izbjeći oštećenja koja nastaju upotrebom vode.
- požara u objektima gdje se čuvaju vrijedni predmeti (muzeji, arhive, galerije i sl.)[9]

8 Zaključak

Iako su izazovi u vezi sa skladištenjem i troškovima prisutni, prednosti suvog leda prevazilaze njegova ograničenja. On ostaje ključan u situacijama koje zahtijevaju pouzdano hlađenje bez prisustva vlage. S obzirom na to da se industrije i tehnologije neprestano razvijaju, moguće je da će suvi led naći nove i inovativne načine primjene, kao što su upotreba u ekološkim tehnologijama za smanjenje emisija CO₂ ili u naprednim metodama skladištenja energije.

Dakle, suvi led nije samo industrijski resurs, već i predmet kontinuiranih istraživanja i inovacija, što ga čini materijalom budućnosti sa značajnim potencijalom za razvoj novih rješenja u nauci i tehnologiji.

9 Literatura

1. *Wikipedia. Sublimacija (fizika)*. (2011). Dostupno na: [Sublimacija \(fizika\) — Википедија \(wikipedia.org\)](#)
2. *Hrvatska enciklopedija* (2015). Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Dostupno na: www.enciklopedija.hr
3. *Amorphous silica-like carbon dioxide*. (2006). Santoro, M. na: [\(PDF\) Amorphous silica-like carbon dioxide | Mario Santoro - Academia.edu](#)
4. *Ugljen dioksid kao sredstvo za gašenje požara*. Emina Mihailović. Dostupno na: https://www.znrfak.ni.ac.rs/PP_2022/OAS-2021/19-OZOP-05-SREDSTVA_I_OPREMA_ZA_GASENJE_POZARA/PREDAVANJA/2022-23/8.Ugljen-dioksid%20kao%20sredstvo%20za%20ga%C5%A1enje%20po%C5%BEara.pdf
5. *Chemistry of the Elements* (2. izd.). (1984). Butterworth–Heinemann. Greenwood, Norman Neill. Dostupno na: [Chemistry of the Elements - N. N. Greenwood, A. Earnshaw - Google Књиге](#)
6. *Kako bezbedno rukovati sa suvim ledom*. Dostupno na: <https://bs.eferrit.com/kako-bezbedno-rukovati-sa-suvim-ledom/>
7. *Primjena suvog leda*. Dostupno na: <https://mldenergy.rs/primena/>
8. *What is Dry Ice Blasting?* (2019). Dostupno na: <https://blog.coldjet.com/what-is-dry-ice-blasting>
9. *Ugljen dioksid kao sredstvo za gašenje požara*. Dostupno na: <https://prekucavanje.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/10/ugljen-dioksid.pdf>