

PRENOS GAOVA U TEHNOLOGIJI PRERIPREME VODE ZA PIĆE

Profesor dr Božo Dalmacija
Prirodno-matematički fakultet Novi Sad
Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine





💧 Rastvaranje gasova u vodi, ili u drugim tečnostima, naziva se apsorpcija.

- Apсорpcija je difuziona operacija pri kojoj se neka komponenta prenosi iz gasa u tečnost (vodi) i raspoređuje po celoj masi tečnosti (vode).
- 💧 Kada je u pitanju priprema vode za piće ti gasovi i isparljive materije koji se prenose u jedan ili drugi fluid najčešće su:
 - O_2 , CO_2 , N_2 , H_2S , CH_4 , NH_3 i
 - brojna identifikovana i neidentifikovana isparljiva organska jedinjenja koja zagađuju resurse vode za piće ili utiču na organoleptička svojstva vode za piće (ukus i miris).



Apsorpcija se javlja obično na dva karakteristična načina

- Prvi način je isključivo **fizička promena** kada se rastvaranjem iz smeše gasova izdvaja gas koji se lako apsorbuje (rastvara) u tečnosti i ne menja svoj sastav
 - (npr. apsorpcija kiseonika u vodu).
- Drugi način je apsorpcija pri kojoj je fizičko rastvaranje praćeno i **hemijskim promenama**.
 - U ovom slučaju, gas se apsorbuje, kao i ranije, u tečnosti, tj. u apsorbensu, samo što apsorbens stupa u reakciju sa apsorbovanim gasom, dajući izvesno hemijsko jedinjenje (npr. hlorisanje vode, korekcija pH sa CO_2 itd.).



Transfer može biti podeljen u dve ktegorije:

💧 **Apsorpcija** ili rastvaranje, podrazumeva transfer konstituenata iz gasne u tečnu fazu.

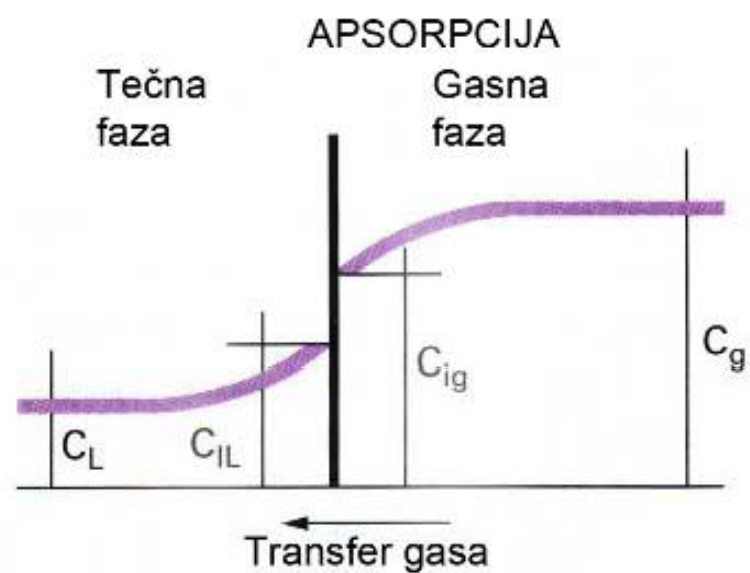
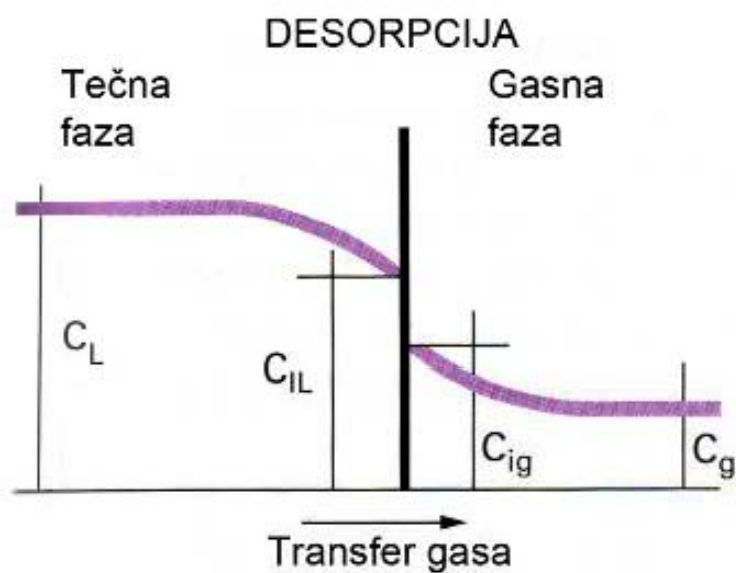
- Ovo podrazumeva ili rastvaranje gasa (vazduha, kiseonika, ozona, hlora, CO_2 itd) u vodi u cilju prerade vode (biološko prečišćavanje, uklanjanje gvožđa, oksidacija, dezinfekcija, pH korekcija itd.).
- Apsorpcija može biti kombinovana sa hemijskom reakcijom, pri čemu dolazi do fiksiranja komponente koje su transferovane precipitacijom, oksidacijom itd;

💧 **Desorpcija**, reverzna operacija koja se sastoji od transfera volatilnih jedinjenja (CO_2 , O_2 , H_2S , NH_3 , ispraljivih organskih materija) rastvorenih u vodi u gasovitu fazu, u ovom slučaju najčešće govorimo o **stripingu ili degasiranju**.

- Ova desorpcija se odvija bez ikakve hemijske reakcije.



Gas-tečnost razmena





Mehanizam prenosa gasa

- Prenos isparljivih materija u vodu ili iz nje, zavisi od niza faktora kao što su:
 - osobine gasa,
 - njegov parcijalni pritisak,
 - otpori pri prenosu gasa,
 - stepen turbulencije u gasovitoj i tečnoj fazi,
 - odnos površina zapremina gasovite i tečne faze,
 - vreme kontakta faza,
 - temperatura, itd.



Najvažniji zakoni koji definišu gas/tečnost rzmenu su:

- U tečnoj fazi i pri ravnotežnom stanju: **Henrijev zakon** koji povezuje, za datu temperaturu, parcijalni pritisak gasa p sa njegovim molskim udelom x u tečnoj fazi:

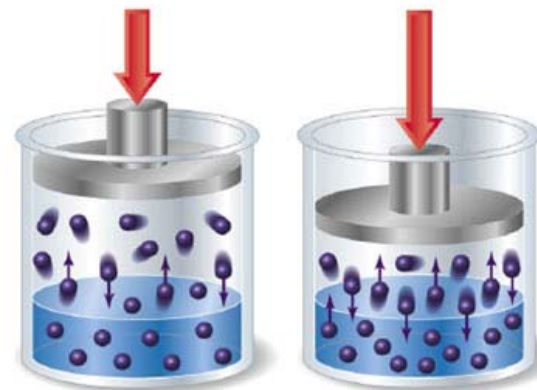
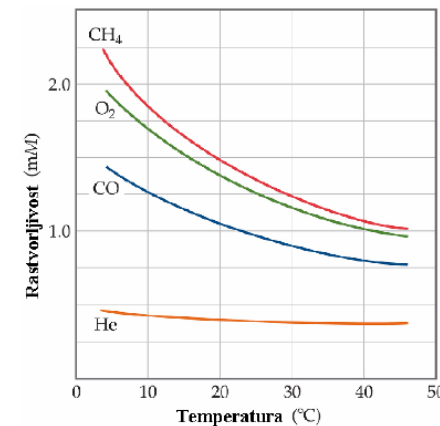
$$p = H \cdot x,$$

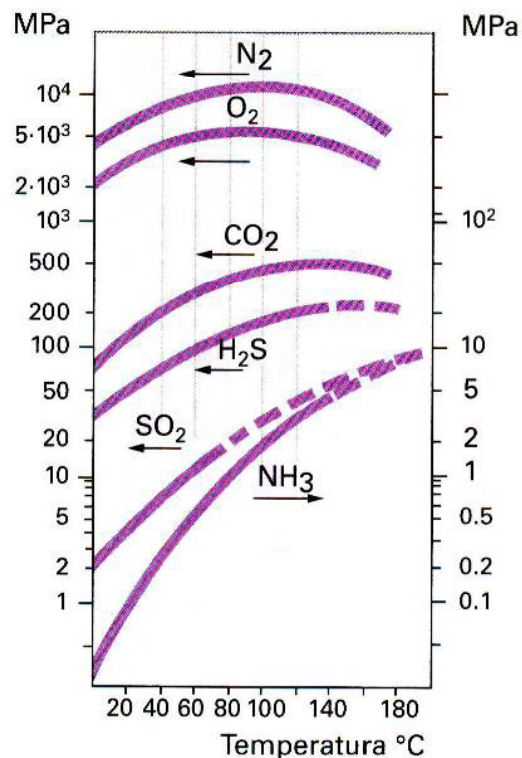
gde je H - *Henrijeva konstanta*.

- U gasnoj fazi: **Daltonov zakon i zakon idealnih gasova**.

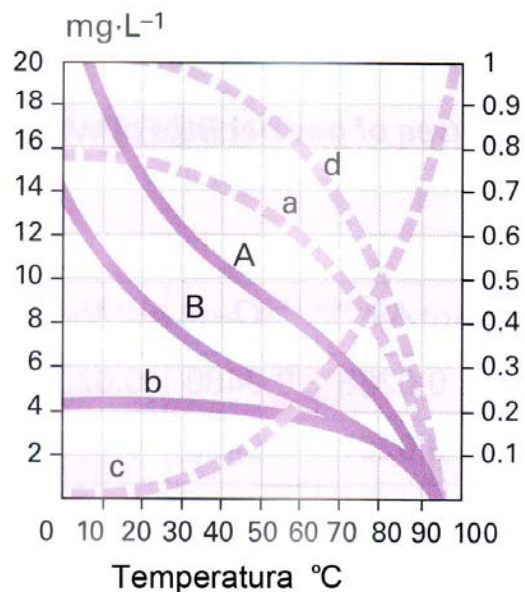
$$P = p_1 + p_2 + p_3 + \dots p_n$$

$$\frac{pM_1}{m_1} = \frac{pM_2}{m_2} = \dots = \frac{pM_n}{m_n}$$





Henrijeva konstanta za različite gasove



- A. Rastvorljivost azota
- B. Rastvorljivost kiseonika
- a. Parcijalni pritisak azota
- b. Parcijalni pritisak kiseonika
- c. Parcijalni pritisak vodene pare
- d. Parcijalni pritisak vazduha

Rastvorljivost u mg/l gasova iz vazduha u vodi na atmosferskom pritisku

Temperatura	O ₂	N ₂	Vazduh
0°C	10,3	18.0	28.3
10°C	8.0	15.0	23.0
20°C	6.5	12.3	18.8
30°C	5.5	10.5	16.0
40°C	4.9	9.2	14.1
50°C	4.5	8.5	13.0

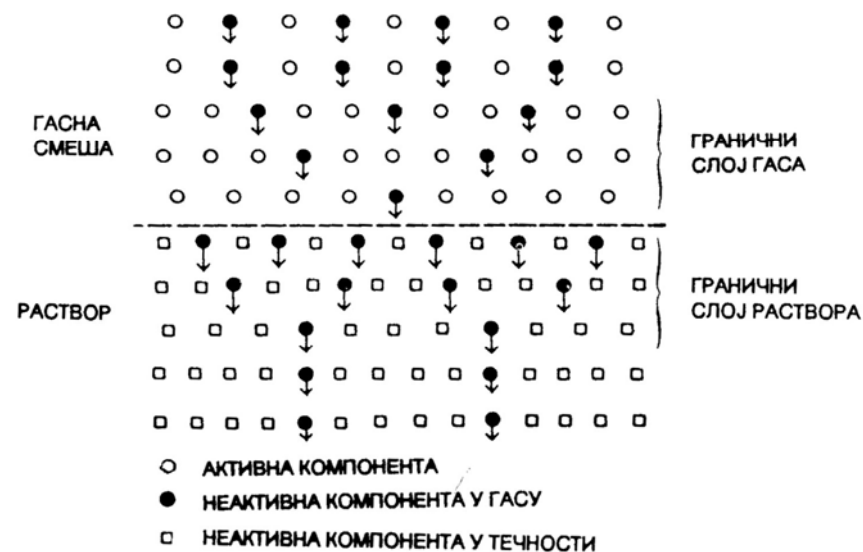
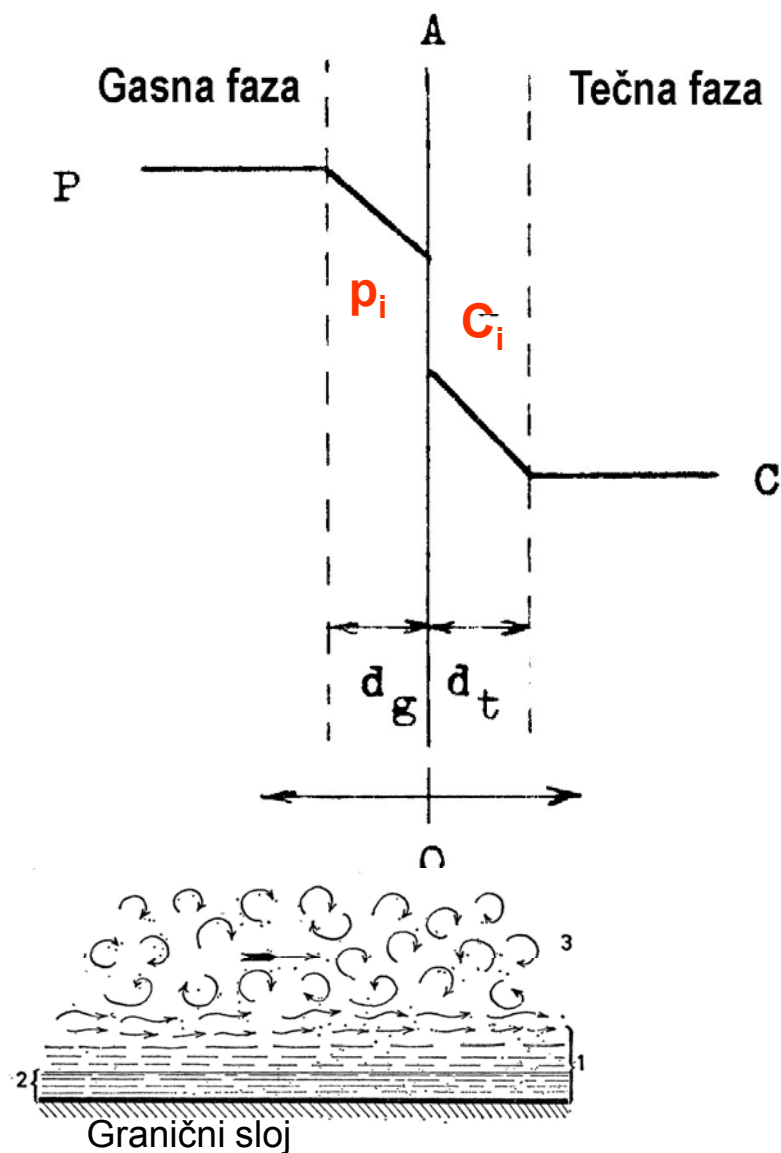


Za tumačenje fenomena prenosa mase u sistemu gas-tečnost koriste se tri teorijska pristupa (modela):

- a) teorija dva filma,**
- b) penetraciona teorija i**
- c) teorija obnavljanja kontaktne površine.**

Pored ravnotežnih uslova za projektovanje, poseban značaj ima i brzina postizanja ravnotežnog stanja. Ravnotežno stanje i brzina postizanja ravnoteže su u međusobnoj zavisnosti, jer što je sistem dalje od ravnoteže, razmena gasa u pravcu postizanja te ravnoteže je brža.

Šematski prikaz modela teorije dva filma.



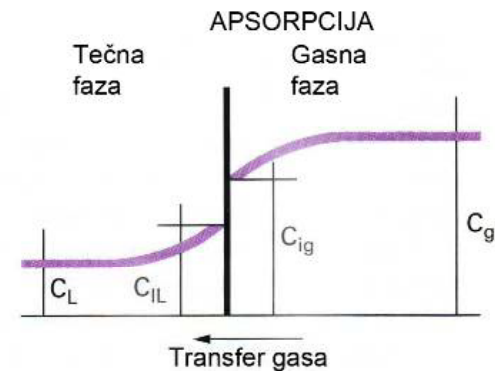
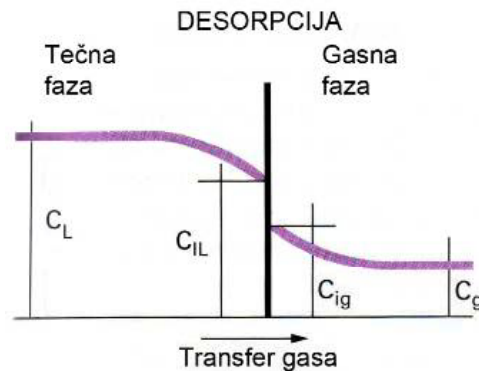
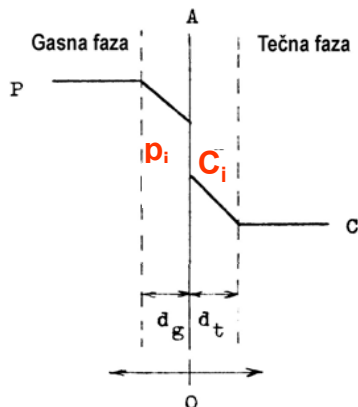
Kada aktivna komponenta prođe u granični sloj tečnosti, njene čestice **ne mogu odmah da prodru u dublje slojeve**, odnosno u masu tečnosti

Apsorbovani molekuli komponente, koja se prenosi, **nagomilavaju se u tečnom graničnom sloju**

Kojom će brzinom molekuli uspeti da prodiru od granične površine do donje granice tečnog graničnog sloja, odnosno do dubljih slojeva (mase) tečnosti, **zavisi pre svega, od koncentracije u masi tečnosti**



- Za teoriju dva filma baza su sledeće tri pretpostavke:
 - duž kontaktne površine gas-tečnost **formira se lamilarno kretanje**,
 - uspostavlja se stacionarno stanje tj. **polje koncentracija nezavisno od vremena**;
 - **trenutno se uspostavlja ravnoteža** između veličina p_i (ili C_{ig}) i C_i (ili C_{iL}) kada se gas i tečnost dovedu u kontakt.

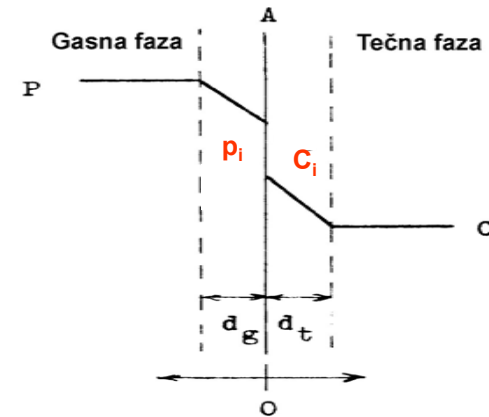




Prema teoriji dva filma i modelu prikazanom na slici, **brzina prenosa gasne komponente A** (npr. O_2) po jedinici površine u stacionarnom stanju može se izraziti kao:

$$N_A = \frac{\Delta p}{\frac{1}{k_g}} = \frac{\Delta C}{\frac{1}{k_L}}$$

- N_A - masa prenete gasne komponente
- k_g i k_L - koeficijenti prenosa mase u gasnom i tečnom filmu



Razvijanjem predhodne jednačine uvođenjem jednačine $p = H \cdot X$, i **hipotičkih veličina p^x i C^x** koje predstavljaju koncentracije gasne komponente u ravnoteži sa veličinama p odnosno C , dobija izraz:

$$N_A = k_g \left(p - p^x \right) = k_L \left(C^x - C \right)$$



- Predhodna jednačina uzima u obzir osnovne otpore koji se javljaju pri prenošenju gasne komponente i otpor kroz gasni i tečn film.
- Otpori prenosa kroz mase gasa i tečnosti nisu uzeti u obzir, jer se u odnosu na otpore u filmovima mogu zanemariti
- Isto tako se može uzeti da je otpor prenosa gasne komponente kroz gasni film daleko manji nego kroz tečni film, pa se jed načina pronosa gasne komponente može napisati u obliku;

$$N_A = k_L \cdot S \cdot (C_g - C_L)$$

N_A - količina prenete gasne komponente A u jedinici vremena preko kontaktne površine S; k_L - koeficijent prenosa mase gasne komponente; C_g - koncentracija zasićenja gasne komponente pri određenoj temperaturi u gasnoj fazi granične površine; C_L - koncentracija gasne komponente u masi tečnosti; S - kontaktna površina.



Penetraciona teorija

- Prema penetracionoj teoriji jednačina prenosa gasa ima oblik:

$$N_A = 2 \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot \tau}} (C_g - C_L)$$

- D - koeficijent kontakta gasa i tecnosti.
- τ - vreme
- Poređenjem ove molekularne difuzije gasa u tečnosti sa predhodnom vidi se da je:

$$k_L \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot \tau}}$$



- Iz predhodne jednačine sledi da je vrednost koeficijenta k_L (*koeficijent prenosa mase gasne komponente*) utoliko veća ukoliko je vreme kontakta kraće,
 - tj. da je vrednost k_L , veća u metastabilnom stanju sistema gas-tečnost nego u stabilnom stanju.
- Iz ovoga neposredno sledi da je za postizanje
 - efikasnijeg prenosa gasa pri aeraciji potrebno neprekidno obnavljati površinu kontakta ne dozvolivši da se uspostavi stacionarno stanje.



Teorija obnavljanja površina

- Teorija obnavljanja površina u jednačinu prenosa gasa uvodi veličinu, **S tj. brzinu obnavljanja kontaktne površine gas-tečnost.**
- Prema ovoj teoriji jednačina prenosa gasa ima oblik

$$N_A = \sqrt{D \cdot S} (C_g - C_L)$$

- Poređenjem jedanačine za prenos gasa u teoriji dva filima i predhodne jednačine vidi se da je:

$$k_L \approx \sqrt{D \cdot S}$$

- a to znači da je vrednost koeficijenta prenosa gasa k_L pri aeraciji proporcionalna brzini kojom se obnavlja kontaktna površina gas-tečnost.**

- Osnovna jednačina prenosa gasa, $N_A = k_L \cdot S(C_g - C_L)$, može se izraziti i u jedinicama koncentracije uvođenjem zapremine tečnosti V ;

$$N_A = \frac{dm}{dt} \frac{1}{V} = \frac{dC}{dt} = k_L \cdot \frac{S}{V} \cdot (C_g - C_L)$$

- odnosno, ako je $a = S/V$ sledi da je:

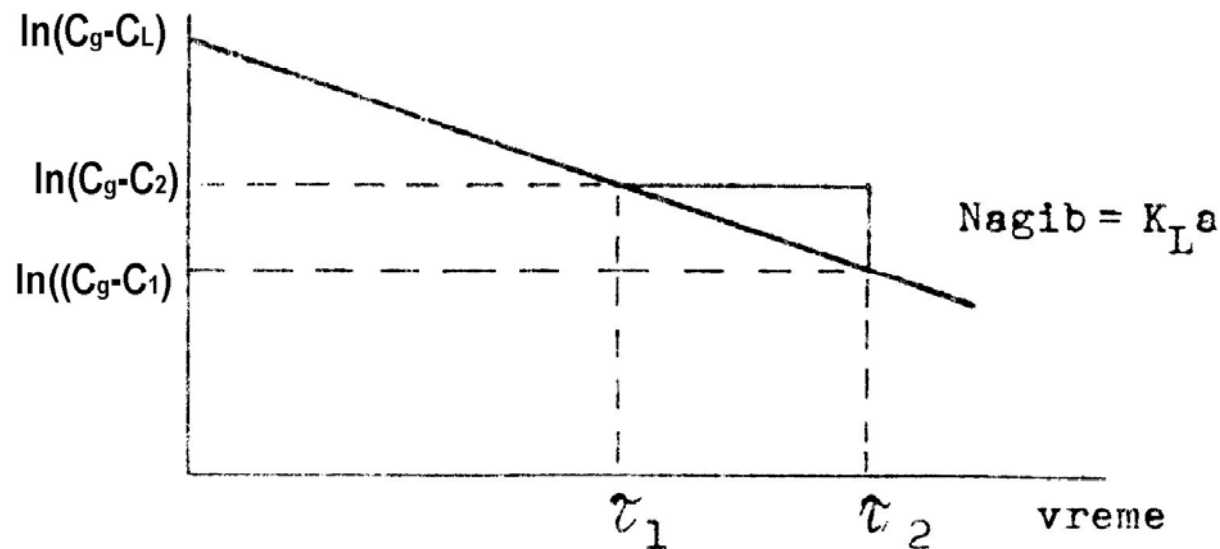
$$\frac{dC}{dt} = k_L \cdot a \cdot (C_g - C_L)$$

- integracijom predhodne jednačine i logaritmovanjem dobijenog izraza dobija se:

$$\ln(C_g - C_L) = -k_L \cdot a \cdot \tau + (C_g - C_{L0})$$

- gde je C_{L0} početna koncentracija gasne komponente u tečnosti.

Vrednosti C_L i C_{L_0} se mogu meriti u odgovarajućim vremenskim razmacima, dok se vrednost C_g može pretpostaviti. Ako se navedene vrednosti ucrtaju u dijagram $\ln(C_g - C_L)$ - vreme aeracije, τ , dobiće se prava linija čiji nagib, prema predhodnoj jednačini daje vrednost $k_L \cdot a$



$K_L a$ se naziva koeficijent transfera gasne komponente, gde je
 a - izraženo u m^{-1} ,
 K_L - je izraženo u ms^{-1}
i
 $K_L a$ - je izraženo u s^{-1} .

$$k_L \cdot a = \frac{\ln(C_g - C_2) - \ln(C_g - C_1)}{\tau_2 - \tau_1}$$



Za uspešno prenošenje gasa pri aeraciji neophodno ostvariti:

- Što veću **kontaktnu površinu** između gasne i tečne faze,
- Što **intenzivniju turbulenciju** u tečnoj fazi, kako bi se debljina tečnog filma što više smanjila,
- Što češću **izmenu kontaktnih površina**, kako bi sistem gas-točnost stalno bio u metastabilnom stanju (stanju izvan ravnoteže) i
- Što veću **razliku koncentracije gasne komponente** koja se prenosi u gasnoj i tečnoj fazi.



Postoje dva najznačajnija načina rastvaranja gasova u vodi:

- **u vodi:** u cilju dobijanja velike kontaktne površine, gas se fino disperguje proizvodnjom mehurića uz **pomoć difuzera** (porozne komponente, membrane itd.) ili se **injektuje kroz turbinu** (montiranu na površini ili potopljenu u tečnosti) ili kroz Venturi sistem;
- **na površini vode:** kontaktna površina je povećana **raspršavanjem vode** preko ispune koja može, a i ne mora biti postavljena u sekvencama; npr., gasni skruberi, CO₂ eliminatori, CO₂ apsorberi itd.



Striping (desorpcija)

- **Cilj desorpcije je uklanjanje gasova rastvorenih u vodi tako da oni mogu biti transferovani u gasnu fazu u cilju proizvodjenja vode koja sadrži veoma malo rastvorenih gasova.**
- U vodi se mogu naći veći broj gasova koje je potrebno ukloniti: CO_2 , H_2S , metan, amonijak itd.
- Prisustvo pojedinih gasova menja osobine vode, jer utiču na agresivnost (CO_2), ukus (H_2S), eksplozivnost (CH_4), te je neophopdno izvršiti njihovo uklanjanje.



U cilju dobijanja niskih nivoa rastvorenog gasa u vodi, moramo da:

- **snizimo molarni udeo gasa od interesa u gasu za ispiranje** - stripping CO_2 vazduhom, i O_2 primenom prirodnog gasa itd.;
- **snizimo pritisak gasne faze** - vakuumsko degasiranje kiseonika, CO_2 , CH_4 , itd.;
- **povećamo *Henrijevu konstantu* degasiranja** - primenom visokih temperatura (O_2 i CO_2).



Aeracija

- U tehnologiji pripreme vode za piće aeracija je difuziona operacija koja se najčeće koristi.
- **Aeracija je operacija u obradi voda kojom se gasovita faza, obično vazduh i voda dovode u kontakt u cilju ostvarivanja što intenzivnijeg prenošenja gasova ili isparljivih materija.**



Transfer vazduha u vodu

U ovoj tehnici se koristi kiseonik iz vazduha pri približno atmosferskom pritisku:

- 💧 **molekulski kiseonik nije jak oksidant.** Zbog toga se kiseonik može koristiti samo za oksidaciju jedinjenja koja se lako oksiduju kao što su: Fe^{2+} , Mn^{2+} , S^{2-} itd.;
- 💧 u vodi oksidovanoj aeracijom može doći do **pomeranja ravnoteže kalcijum-karbonata ka nestabilnijoj promeni; striping CO_2** na primer može da produkuje vodu sa velikim sadržajem kamenca, pa može doći do precipitacije kalcijum-karbonata;
- 💧 **dovođenje vode i vazduha u kontakt može se nazvati „pranjem“ vazduha.** Stoga, vazduh mora biti odgovarajuće čistoće i, ako je potrebno, mora se filtrirati (radi uklanjanja prašine, peska, kapi ulja itd).



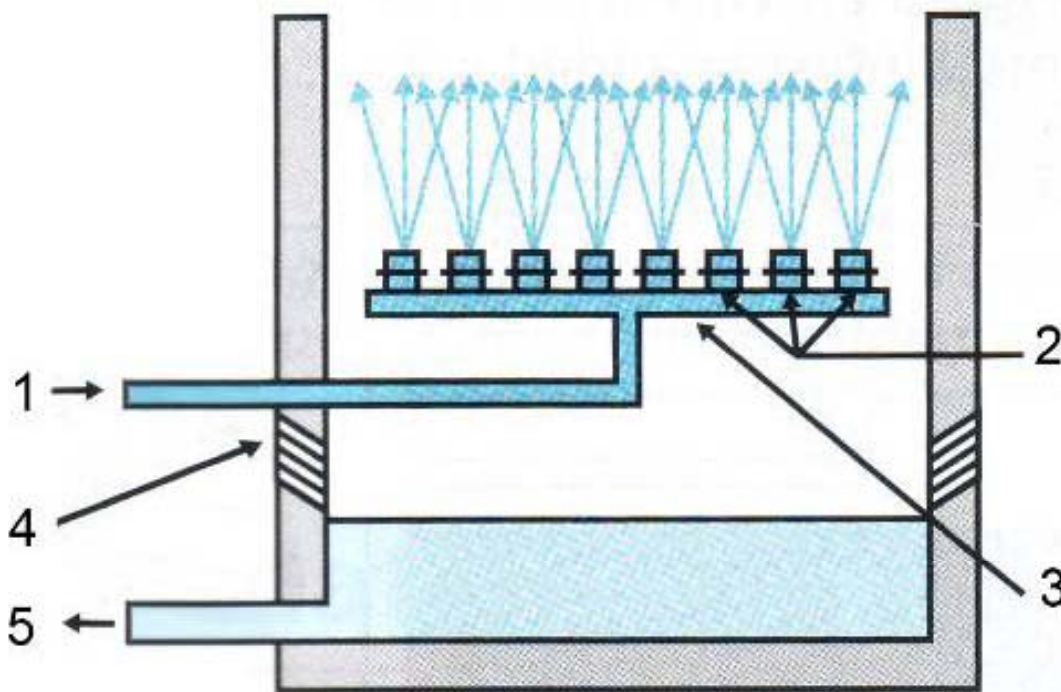
Oksidacioni proces može biti klasifikovan prema metodi korišćenoj za ostvarivanje kontakta između gasa i tečnosti:

- prilivanjem vode preko kaskada, ploča itd. (kapanje, curenje);
- raspršivanje vazduha;
- injektovanje vazduha u tečnost.



Aerator sa raspršivanjem

Ova vrsta aeratora je veoma efikasna s obzirom na veoma veliku kontaktnu površinu, ali im je mana što zahtevaju veliku površinu

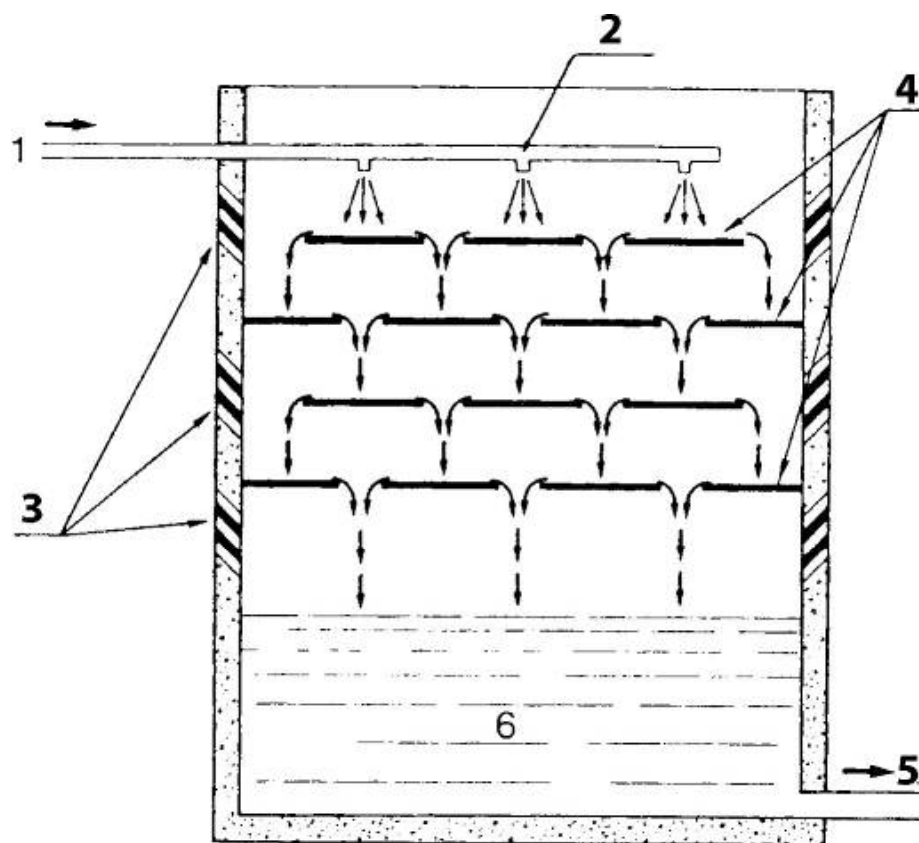


1-voda koja se aeriše; 2-dizne; 3-cevna rešetka; 4-ventilacija; 5-aerisana voda



Šematski prikaz aeratora sa podovima

U cilju povećanja efikasnosti delovanja ovakvih aeratora kontaktna površina se često povećava postavljanjem na podove grubih materijala, kao što je koks, kamen, keramički elementi veličine 20-150 mm



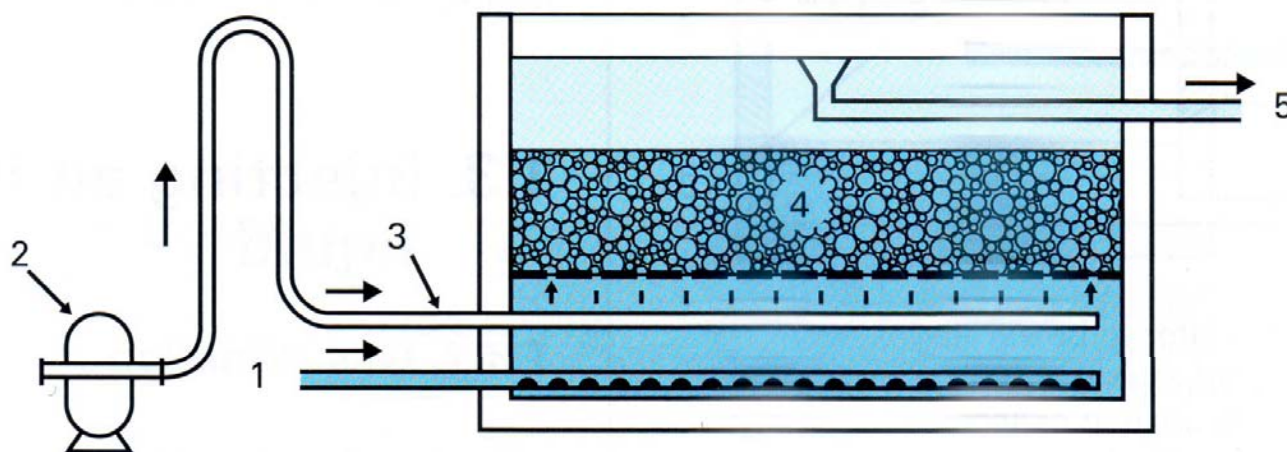
- 1-dovod vod,
- 2-dizne
- 3-provetravanja
- 4-podovi
- 5-odvod vode
- 6-rezervoar



Aeracija brbotiranjem sa velikom dubinom vode i ispune

Injektovanje se može izvesti:

- Direktno u cev pod pritiskom, preko miksera sa pregradama, ili sa *in line* statičnim mikserom ili preko opreme za formiranje vakuuma;
- U kontaktorima; u ovom slučaju, sistem koji se koristi je identičan onome kod aeracija u procesu sa aktivnim muljem.



1-sirova voda;
2-duvaljka za vazduh;
3-vazduh pod pritiskom;
4-ispuna (inetrni materijal);
5-odvod aerisane vode

Injektovanje vazduha u tečnost može se ostvariti primenom difuzinih sistema i aeratora sa kontaknim medijumom.



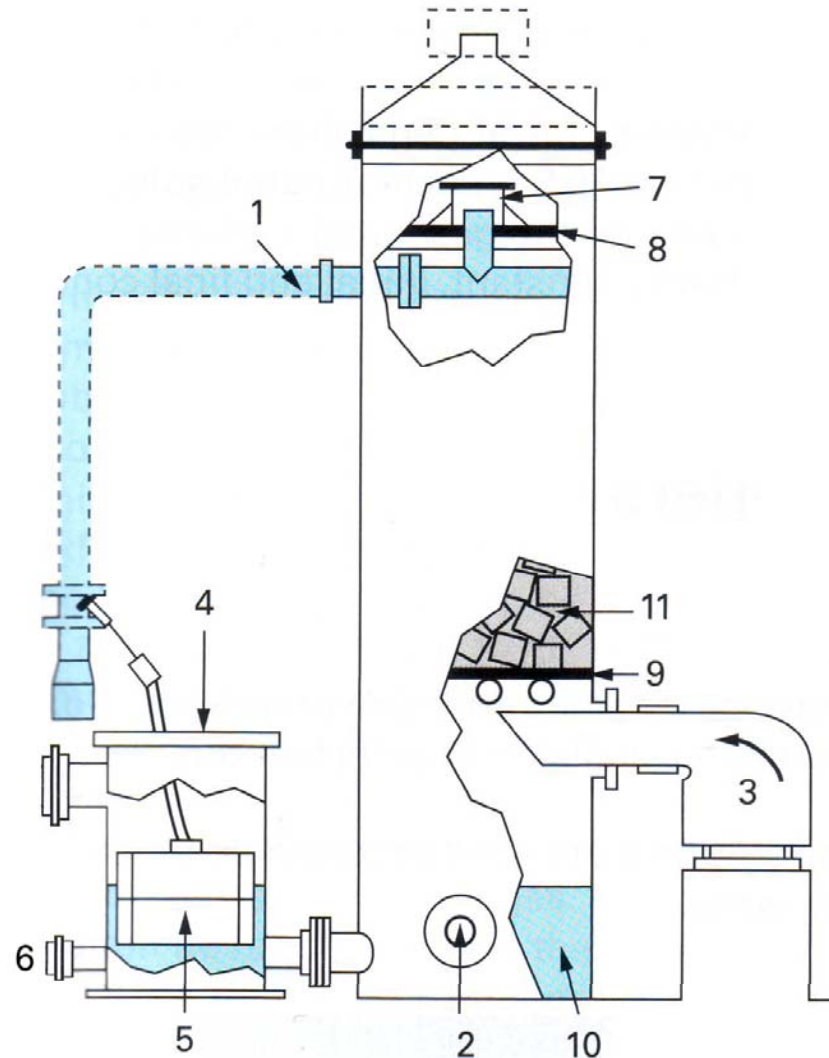
Toranj za uklanjanje CO₂ iz vode

Eliminisanje rastvorenog CO₂:

- jednostavnim raspršivanjem;
- barbotiranjem;
- mehaničkom disperzijom (kaskade).

Rezidualna koncentracija CO₂ u tečnoj fazi će zavisiti od temperature, od brzine vode, od vrste ispune i njene visine, kao i od protoka vazduha. Rezidualna koncentracija CO₂ veoma bliska ravnotežnoj koncentraciji (3-5 mg/l)

1-sirova vode; 2-voda nakon degazacije CO₂; 3-ventilator; 4-komora za kontrolu nivoa vode; 5-plovak; 6-drenaža; 7-dizne; 8-distribuciona ploča; 9-perforirano dno (nosač ispune); 10-rezervoar za vodu; 11-ispuna





Primena čistog kiseonika za oksidaciju

- Upotreba kiseonika umesto vazduha znatno povećava kapacitet filtera između dva pranja; posebno kod aeracije pod pritiskom voda se prezasićuje azotom.
 - Pad pritiska na filteru prouzrokuje izdvajanje azota u obliku gasa. Vodeni mehurići se sakupljaju u filterskom sloju i blokiraju filtere, što stvara potrebu za prevremnim ispiranjem filtra.
- Pomoću čistog kiseonika lako se postiže visoko obogaćivanje vode kiseonikom od 20 mg/l i više.
 - To je važno ako voda za piće pored gvožđa i mangana sadrži i amonijak ili vodonik sulfida, jer njihovo uklanjanje zahteva mnogo kiseonika.
- Sprečava se gubitak CO_2 iz meke vode pošto se injektira samo tačno određena količina kiseonika.



Primer

Aeracija sa čistim kiseonikom je na taj način ekonomičnija od one sa kiseonikom iz vazduha.

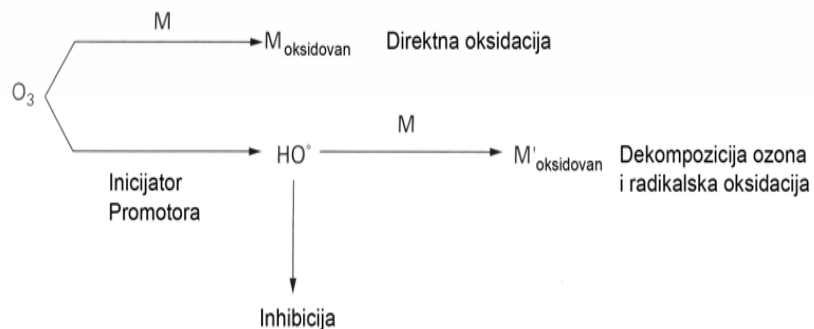
Manji investicioni i pogonski troškovi kao i to da nema održavanja kompresora i aeratora ili je znatno smanjeno govore u prilog upotrebe kiseonika.

Ove prednosti su dovele do toga da upotreba čistog kiseonika spada u savremena dostignuća tehnike





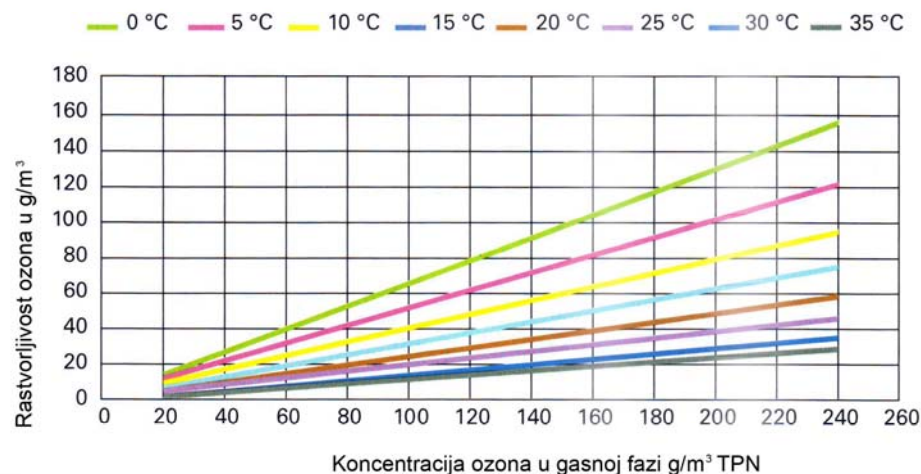
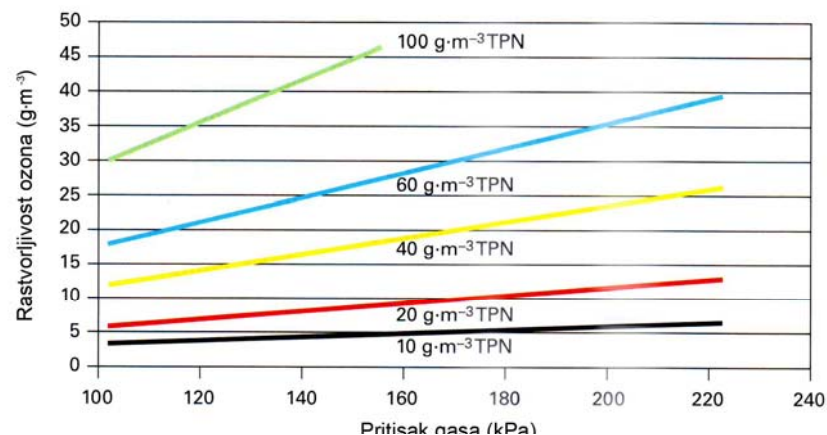
Transfer ozona

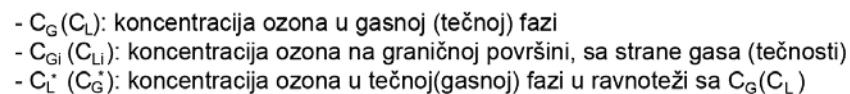
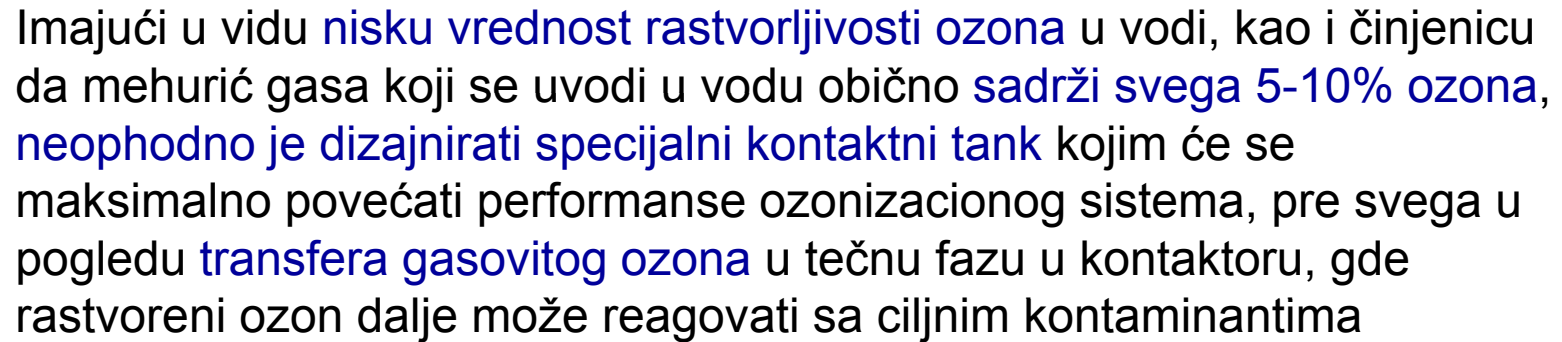


Metode oksidacije ozona

Brzina transfera zavisi od:

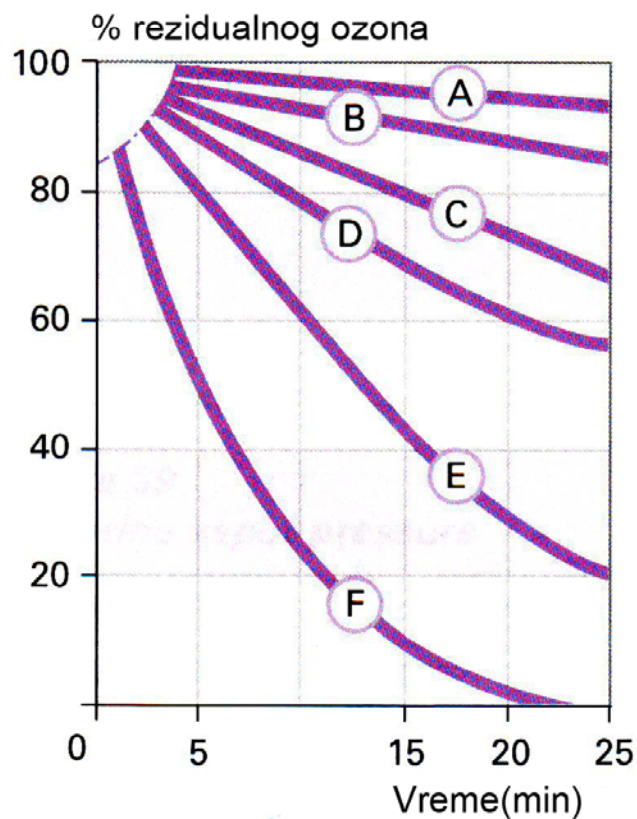
- fizičkih osobina obe faze (tečne i gasovite);
- razlike u koncentraciji sa svake strane granične površine zajedno sa brzinom hemijske reakcije potrošnje ozona;
- nivoa turbulencije u medijumu







Brzina destrukcije rezidualnog ozona



pH utiče na brzinu destrukcije ozona. Uticaj porasta pH vrednosti postaje značajan pri pH vrednostima iznad 8, koje rezultuju u redukciji koncentracije ozona u ravnotežnom stanju

Oznaka	Tempe- ratura °C	pH
A	1	7,6
B	10	7,6
C	15	7,6
D	20	7,6
E	15	8,5
F	15	9,2

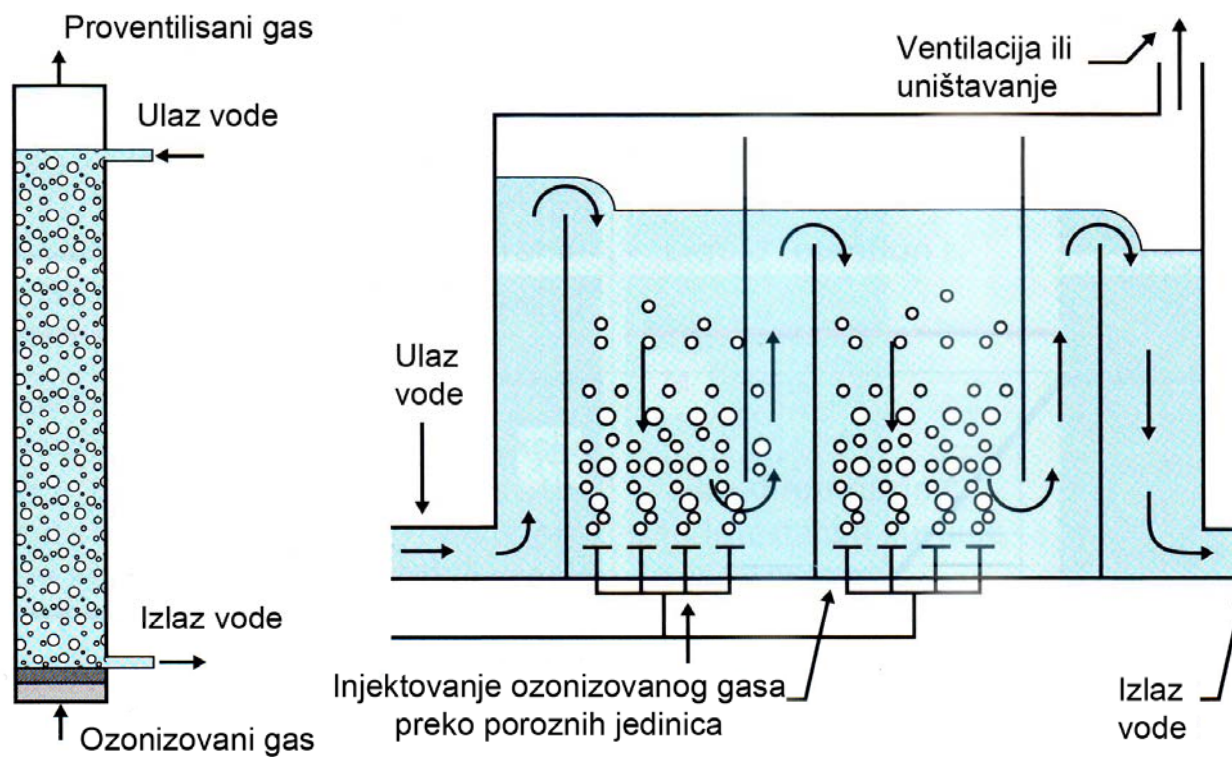


Izbor reaktora za ozonizaciju

- Ozon može da reaguje
 - preko molekularnog moda (aktivni oksidant je ozon) i/ili
 - preko radikalskog moda (aktivni oksidant je hidroksil radikal koji nastaje destrukcijom ozona u zavisnosti od sastava medijuma u koji se transferuje.
 - Ove reakcije mogu ubrzati transfer ozona.
- **Izbor najboljeg reaktora za oksidaciju zavisi od reakcije koja se odvija.**

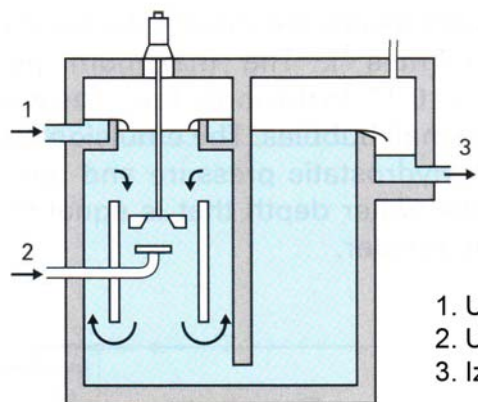


Šematski dijagram kolone sa mehurovima (sa leve strane) i
jonizaciona komora (sa desne strane)





Kontaktna kolona sa turbinom

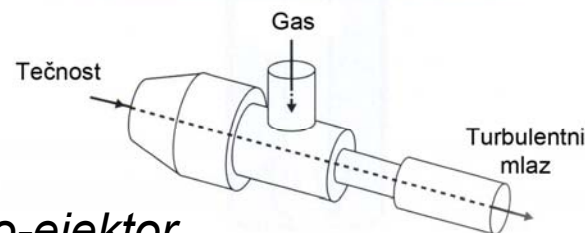
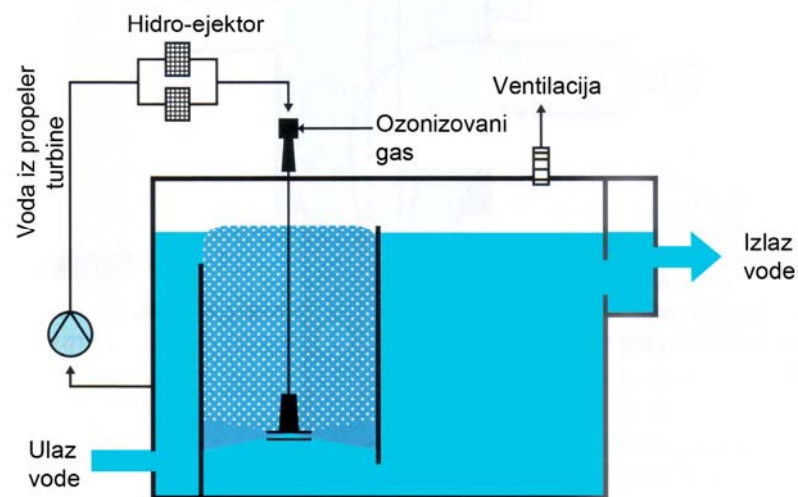


1. Ulaz vode
2. Ulaz ozonizovanog vazduha
3. Izlaz ozonizovane vode

Radijalnom propeler turbinom koja pumpa netretiranu vodu u usmerava je blizu struje gasa ozona pri čemu istovremeno dolazi do rastvaranja gasa

Radijalnim difuzerom koji ispušta turbulentni mlaz ozonirane smeše gasa i vode produkovanе hidro-ejektorom

Ovaj tip reaktora se koristi za homogenizaciju smeše u kontaktnoj zoni disperzijom gasa kroz tečnost

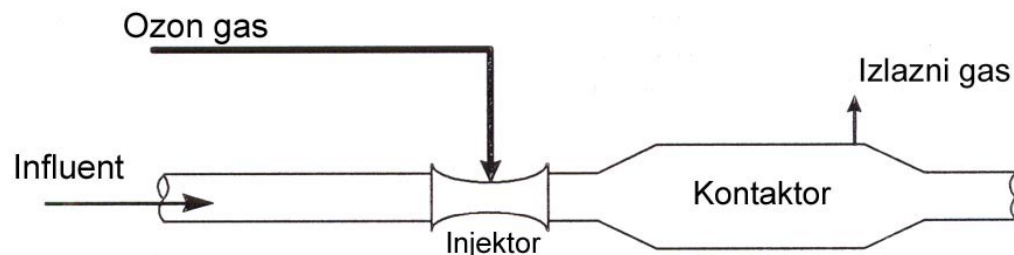


Hidro-ejektor

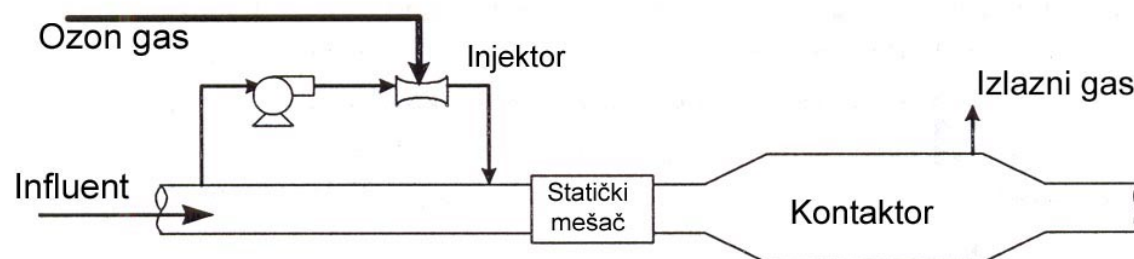


In-line uređajem za transfer ozona u vodu na licu mesta, sa venturi ili statičkim mikserima

“In-line” injektorski sistem



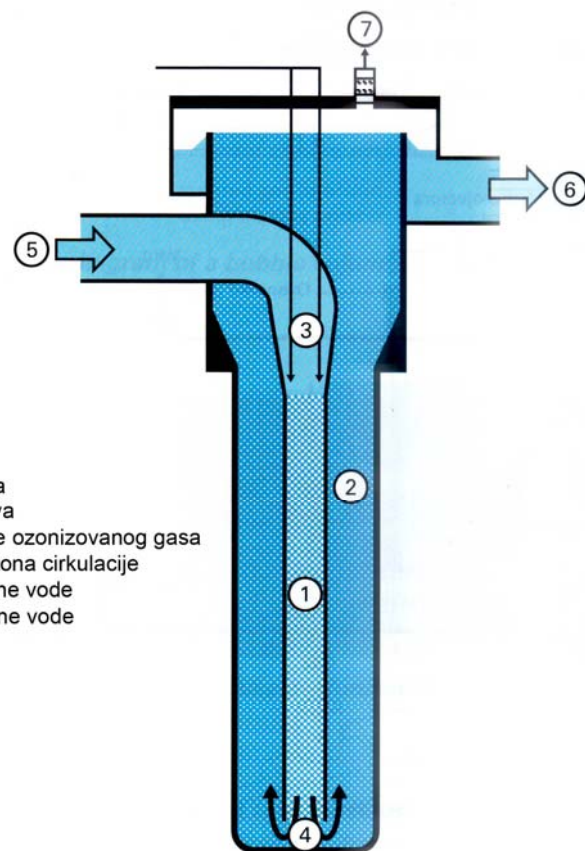
Bočni injektorski sistem



In-line mikseri odnosno, injektori, najčešće se primenjuju kada je u vodi potrebno obezbediti relativno nisku koncentraciju ozona i/ili nisku C·t vrednost.

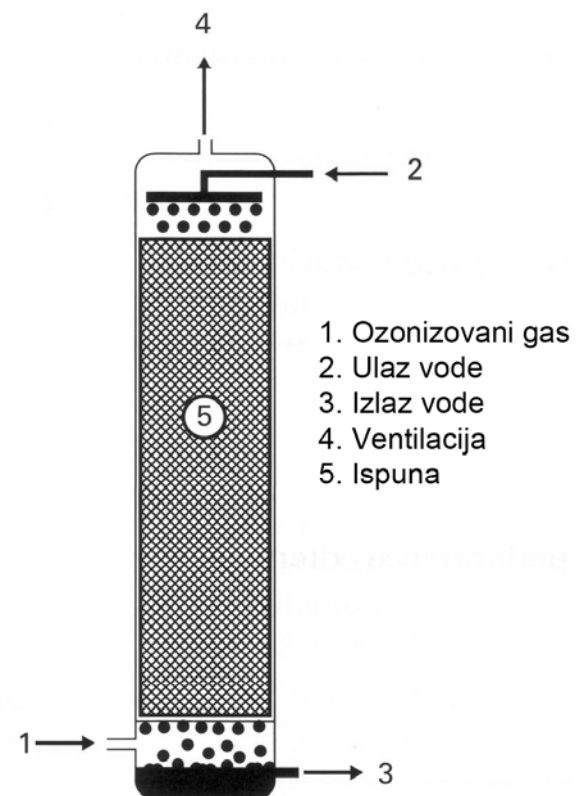
Ozonirani gas primenom injektora može biti uveden u vodu (injektiran), pod pozitivnim ili negativnim pritiskom, što zavisi od performansi celokupnog ozonizacionog sistema.

Najčešće se primenjuju injektori sa negativnim pritiskom gasa.



1. Donja račva
2. Gornja račva
3. Injektovanje ozonizovanog gasa
4. Reverzna zona cirkulacije
5. Ulaz tretirane vode
6. Izlaz tretirane vode
7. Ventilacija

Difuzija ozona u vodu – U cev

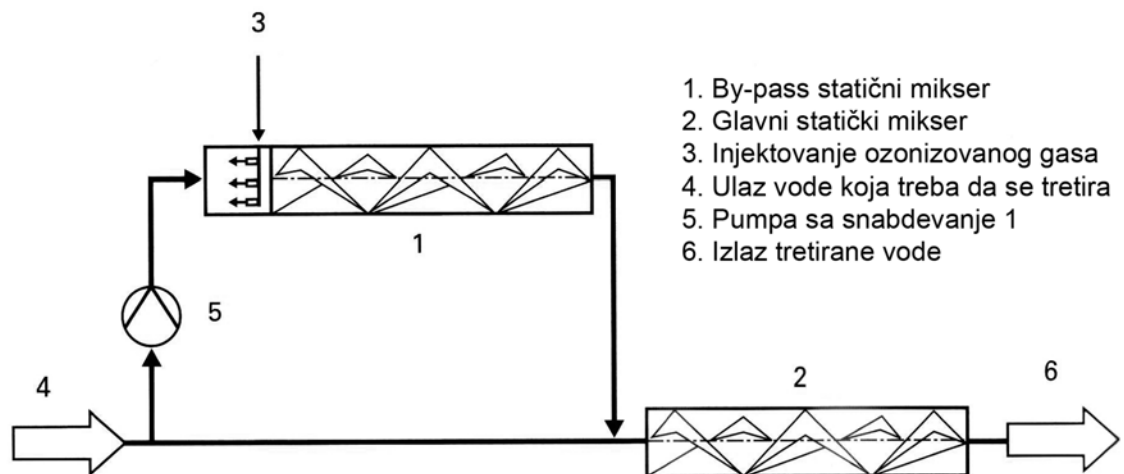


1. Ozonizovani gas
2. Ulaz vode
3. Izlaz vode
4. Ventilacija
5. Ispuna

Šematski dijagram kolone sa pakovanom ispunom



Moderni ozongenerator koristi kiseonik za pripremu ozona



Šematski dijagram statičkog miksera

Komparacija performansi za najbitnije ozonizacione reaktore

Kontaktor ozon-voda	Dispergovana faza	$k_L \cdot a \text{ (s}^{-1}\text{)}$	ε_G	Ulazna snaga (kW/m ³ reaktora)
Kolona sa mehurovima sa poroznim difuzerima	Gas	0,0001-0,1	<0,2	0,01-1
Reaktor sa turbinom ili radijalnim difuzerom	Gas	0,01-0,2	<0,1	0,5-4
Kolona sa ispunom	Tečnost	0,005-0,02	>0,3	0,01-0,2
Statični mikser	Gas	0,1-10	≈0,5	10-200



Za svaku izbor reaktora diktiran je faktorima koji određuju proces kao što su:

- Kontaktno vreme za spore reakcije;
- Hidrodinamika za brze i umereno brze reakcije (najadekvatniji su klipni kontaktori);
- Transfer ozona za izuzetno brze reakcije (najadekvatniji su kontaktori koji imaju veliku površinu za razmenu).



Praktična razmatranja vezana za izbor ozonizacionog reaktora

Kontaktor ozon-voda	Prednosti	Nedostaci	Polje primene
Kolona sa mehurovima sa poroznim difuzerima	Relativna fleksibilnost rada Mali troškovi održavanja	Kompleksna hidrodinamika Značajna dubina tečnosti Može doći do foulinga poroznih jedinica	Niske količine ozona Spora reakcija Voda za piće
Reaktor sa turbinom ili radijalnim difuzerom	Gas-tečnost mešanje i kontakt Fleksibilnost u pogledu fluktuacija u protoku tečnosti	Potrošnja energije Održavanje mehaničke opreme	Velike količine ozona Umereno brze reakcije Voda za piće i otpadna voda
U cev	Transfer i hidrodinamika Uređaj zauzima malo mesta	Troškovi bušenja bunara Male fluktuacije protoka tečnosti	Brze reakcije Voda za piće
Kolona sa ispunom	Transfer i uslovi klipnog reaktora Mali troškovi održavanja	Fouling ispune	Brze reakcije Ispiranje gasa Produkcija ozonirane vode
Statični mikser	Mešanje i transfer Mali troškovi održavanja Uređaj zauzima malo mesta	Potrošnja energije Veoma kratko kontaktno vreme Mogući fouling	Ekstremno brze reakcije Disperzioni sistemi Voda za piće i otpadna voda



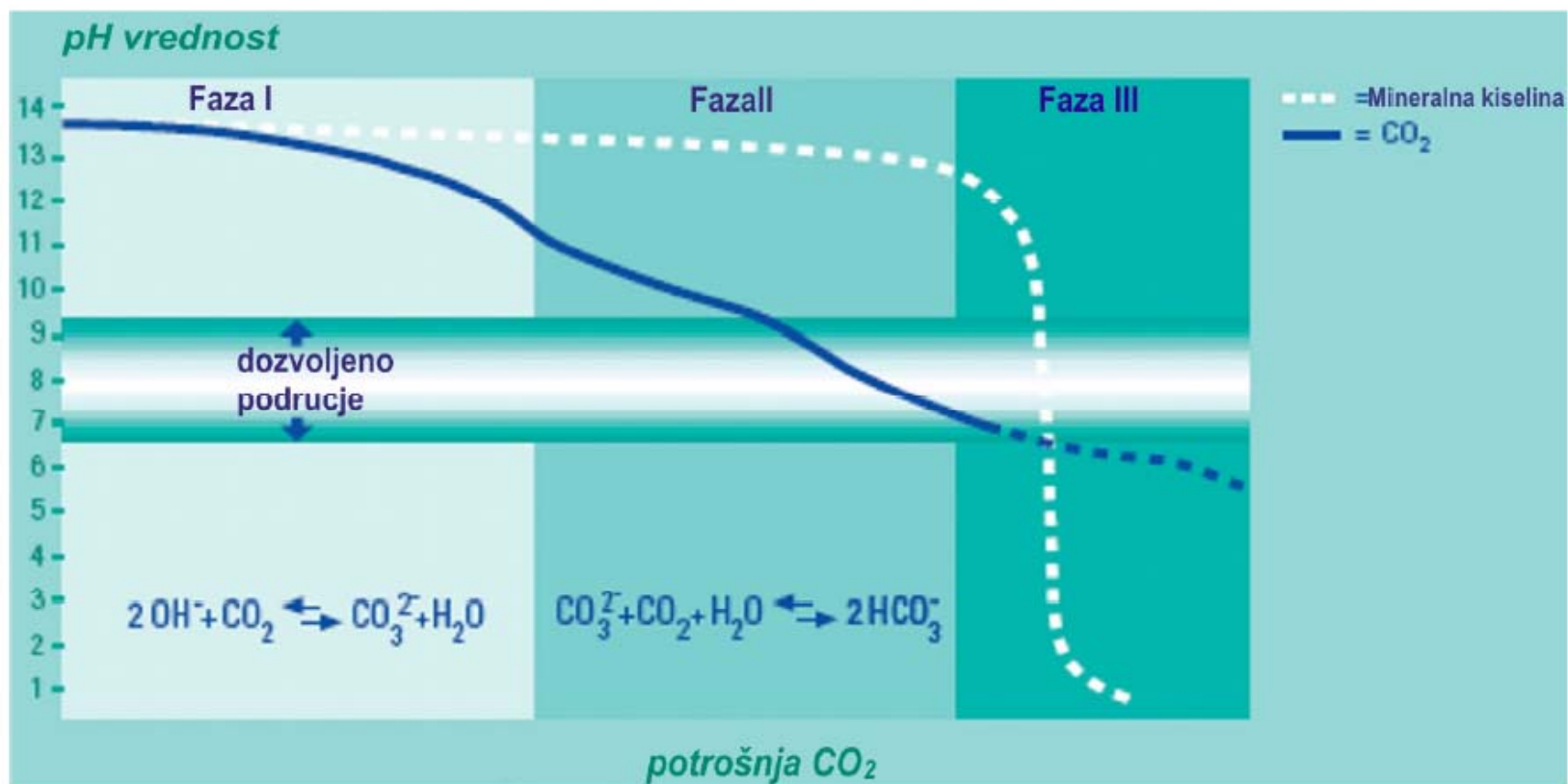
Korekcija pH vode pomoću ugljenik dioksida

Prednosti regulacije pH vrednosti ugljendioksidom u odnosu na mineralne kiseline je:

- nema zasoljavanja vode, jer se ne povećavaju koncentracije sulfata i hlorida, što je važno za koroziono-hemijske osobine vode;
- preciznija regulacija pH i nema potrebe za složenim tehnikama upravljanja procesom;
- skladištenje i čuvanje sredstva za korekciju pH (CO_2) jednostavno i sigurno; i
- veća ekomičnost procesa

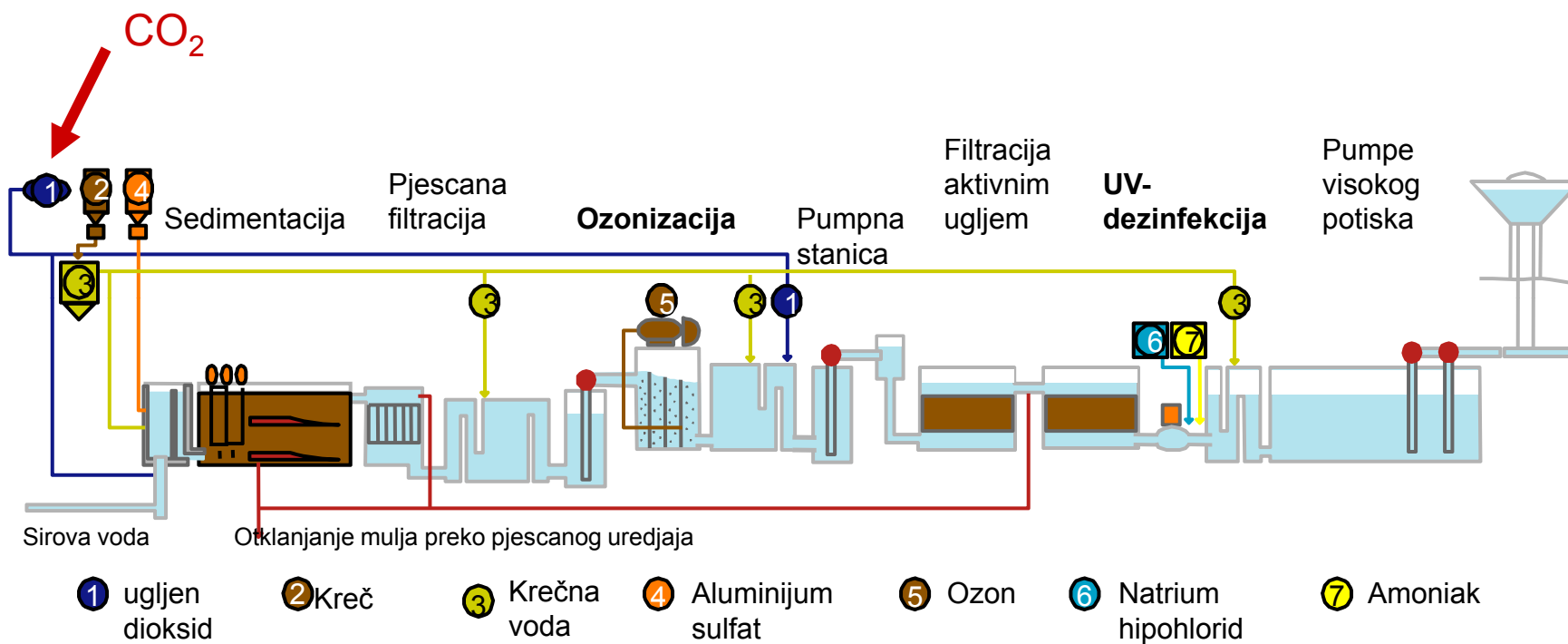


Poređenje krivih neutralizacije sa CO_2 i sa mineralnim kiselinama





Visestepeni proces obrade vode za pice





**HVALA NA
PAŽNJI !**

