



Učinkovito pročišćavanje  
otpadnih voda





# Učinkovito pročišćavanje otpadnih voda

Zahtjevi za pročišćavanje industrijskih otpadnih voda se konstantno povećavaju. Bez obzira radi li se o novim pravnim specifikacijama ili operativnim izmjenama, postoji potreba za konceptima i procesima koji osiguravaju maksimalnu fleksibilnost za postrojenja za pročišćavanje. Procesi s kisikom nude velike izvedbene rezerve koji omogućuju prilagodbu postojećih postrojenja za nove zahtjeve bez dodatnih proširenja ili ulaganja.

Pored ciljeva kao što je povećanje pouzdanosti kod usklađenosti s propisanim vrijednostima otpadnih voda ili osiguranje odgovarajuće kvalitete otpadnih voda za recikliranje u postrojenju, optimalno korištenje prostora igra važnu ulogu, posebno u industrijskom sektoru. Biološki filteri, sustavi sa fiksnim slojem i biološke membrane predstavljaju zanimljiv dodatak konvencionalnim konceptima postrojenja gdje se postojeća postrojenja nadograđuju ili potpuno zamjenjuju. I ovdje se potencijal u potpunosti može iskoristiti samo uporabom čistog kisika ( $O_2$ ).

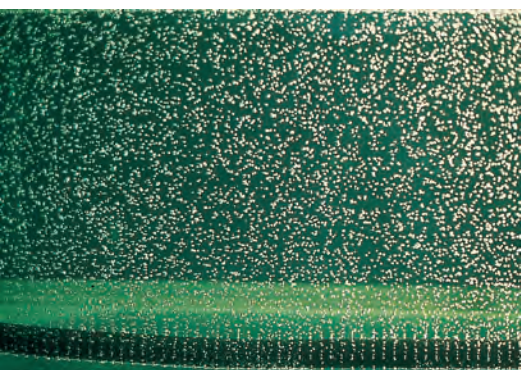
Za neutralizaciju alkalnih otpadnih voda, ugljični dioksid ( $CO_2$ ) nudi mnoge prednosti. Za tokove djelomično onečišćene teško razgradivim zagađivačima, izbor je ozon ( $O_3$ ).

Ova brošura opisuje, na temelju sadašnjih primjera primjene, kako se potencijal modernog procesnog inženjeringa može optimalno iskoristiti korištenjem tehničkih plinova  $O_2$ ,  $CO_2$  ili  $O_3$ .

## Kisik u tehnologiji za obradu otpadnih voda

Čisti kisik je "koncentrirani atmosferski kisik" bez učešća dušika. To njegov optimizacijski potencijal čini vrlo jasnim:

- kisik se može otopiti u vodi brže i koristeći manje energije. Ovo omogućuje fleksibilnu reakciju, čak i kod velikih varijacija u potrebnim količinama
- kada se koristi čisti kisik potrebno je injektirati samo oko 4% volumena zraka. To rezultira sljedećim prednostima:
- proporcionalno niži troškovi za injektiranje plina,
- minimalno stvaranje aerosola i manje oslobađanja tvari intenzivnog mirisa,
- manje hidrauličnih kvarova u radu filterskih postrojenja,
- bez zastoja procesa taloženja kroz nenamjernu flotaciju (izbjegnuta prezasićenost dušikom koja dovodi do degazacije u daljnim stupnjevima pročišćavanja).

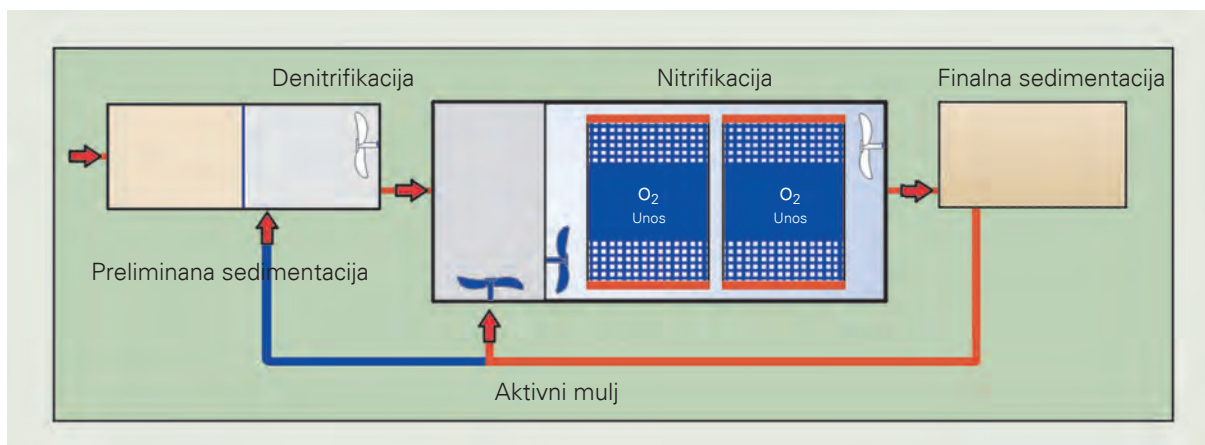


Slika 1: Tehnika injektiranja čistog kisika razvijena od strane Messera: crijevo za dovod plina (lijevo), injektor (sredina), oksidator (desno)

## Sustavi za injektiranje kisika

Ekonomske prednosti opskrbe čistim kisikom mogu se optimalno koristiti samo uz odgovarajuću tehnologiju postrojenja. U praksi su svoju vrijednost dokazali posebni aerateri, brizgaljke i oksidatori cijevi (Slika 1)

Izbor sustava ili kombinacije sustava u velikoj mjeri ovisi o primjeni i okolnostima na mjestu primjene. Važni parametri su, na primjer, oblik spremnika te dostupnost i trošak električne energije.



Slika 2: Dijagram konverzije postrojenja za tretman otpadnih voda na Biox®-N proces

## Rješavanje problema u praksi

### Pokrivenost vršnog opterećenja kroz djelimičnu gasifikaciju kisikom (POG)

Problemi s mirisima na postrojenju za pročišćavanje vode obično ukazuju na manjak kisika. Budući da su uočene velike trenutne promjene u potrebi za kisikom uzrokovale probleme s mirisom, Emschermündungov pogon za pročišćavanje vode u Njemačkoj uspješno djeluje više od 20 godina, još od 1981., uz dodatnu opskrbu čistim kisikom, eliminirajući potrebu za daljnjim mjerama.

U drugom primjeru, postrojenju za preradu krumpira u Mecklenburgu, bilo je potrebno povećanje performansi. Unatoč proširenju postrojenja za pročišćavanje SBR-om (Sequence Batch Reactor), potrebne vrijednosti otpadnih voda nije se moglo ostvariti. Jedan od dva reaktora opremljen je dodatnom opskrbom čistim kisikom. U tu svrhu, polovina postojećih aeratora bila je prilagođena na čisti kisik, dok je druga polovina još uvijek radila sa zrakom.

Nakon prelaska na rad s djelomičnom gasifikacijom (injektiranjem) kisikom, vrijednosti otpadnih voda daleko ispod graničnih vrijednosti moglo se postići korištenjem samo konvertiranog reaktora. Za šaržne procese kao što su šaržni tankovi ili SBR reaktori, koji su se dokazali mnogo puta u prehrambenoj industriji, karakteristična je povremeno visoka potreba za kisikom koji treba injektirati u tankove sa svježom otpadnom vodom. U postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda mljekare u Sachsenu, unatoč velikom sustavu za prozračivanje, vršno preopterećenje do 280% nominalnih vrijednosti redovito je dovodilo do privremenog nedostatka kisika. Opskrbu kisikom sada osigurava POG sustav doziranja čistog kisika koji također pouzdano pokriva faze maksimalne potražnje za kisikom.

## Bolja izvedba za nitrifikaciju i denitrifikaciju

Za uklanjanje dušika u trećoj fazi čišćenja, kako to zahtijeva zakonodavstvo, Messer je razvio proces Biox®. Performanse biološkog stadija znatno se poboljšavaju kroz podršku ili zamjenu konvencionalne ventilacije čistim kisikom, istodobno povećavajući biomasu prisutnu u sustavu (Slika 2). Tada je često moguće odvojiti dovoljnu količinu iz postojećeg spremnika za denitrifikaciju. Jedan od najvećih industrijskih postrojenja za pročišćavanje vode u svijetu također koristi čisti kisik za nitrifikaciju. Ovdje se kisik dovodi u otopinu pomoću Messerovog sustava za doziranje kisika koji je u obliku rešetke sa sitnim otvorima kroz koje prolazi kisik.

### Prezasićenje dušikom / flotacija: Problem riješen čistim kisikom

U dubokim spremnicima i tzv. tornjevima za biološki tretman otpadnih voda, aeracija može dovesti do tako visokih koncentracija otopljenog dušika (kojeg mikroorganizmi ne konzumiraju poput kisika) da se sporadično ispušta u plićem sedimentacijskom spremniku. Flotacija se zatim javlja u spremniku za taloženje, što rezultira velikim pogoršanjem vrijednosti otpadnih voda. S dubinom vode od 10 m u spremniku za prozračivanje, izmjereno je zasićenje dušikom od 150% u spremniku za taloženje 3000 EW pilot postrojenja. Kada su se duboki spremnici kontinuirano ili povremeno snabdijevali čistim kisikom umjesto komprimiranim zrakom, zasićenje dušikom je smanjeno, a sedimentacijski spremnik je radio bez problema.

## Kompaktno čišćenje u kisičnim filtrima

Ako se zahtjeva da otpadne vode ne sadrže čestice i imaju stabilne, niske vrijednosti (npr. za amonijak), za čišćenje ili nakon čišćenja koriste se postupci biofiltracije. Jedan posebno ekonomičan i kompaktan sustav je dvostupanjski kontinuirani pijesčani filter, u kojem se koristi kvarcni pijesak kao sredstvo za filtriranje i nosač za biomasu.

Postrojenja su prikladna i za trajnu i privremenu uporabu. Kada se aerobna prva faza snabdijeva čistim kisikom, osiguran je optimalan rad, tj

- filtracije bez smetnji zahvaljujući niskom protoku volumena plina
- bez formiranja kanala u pješčanicima
- smanjeno uklanjanje oslobađanje mirisa
- nema neželjenih taloženja, tj. stvaranja kamenca

Ukupni sadržaj krute tvari u otpadnoj vodi je znatno ispod 10 mg / l. To omogućuje izravno recikliranje pročišćene otpadne vode u proizvodnim procesima

Primjeri primjene:

- u kontekstu sanacije tla i isušivanja, kontinuirani pješčani filteri s kratkim vremenom zadržavanja (manje od 10 minuta) postigli su eliminaciju od preko 99% za MAH (= monociklički aromatski ugljikovodici) i više od 92% za PAH (= policiklički aromatski ugljikovodici). Vrijednosti otpadnih voda za MAH i PAH bile su manje od 3  $\mu\text{g}$  / l.
- u industriji prerade papirnog otpada, pješčani filter bio je priključen nakon stadija anaerobnog tretmana. Za opterećenja sulfidom do 2,7 kg S / m<sup>3</sup> • d, stupanj razgradnje bio je iznad 97% i vrijednost sulfida u otpadnim vodama manja od 1 mg / l. Stupanj eliminacije krutih tvari (TSS) dosegao je 80% do gotovo 100% i rezultirao je vrijednostima ETS-a manjim od 20 mg / l. COD redukcija u filteru bila je oko 50%.

### Membranska biologija: Sigurnost u minimalnom prostoru - idealno s kisikom

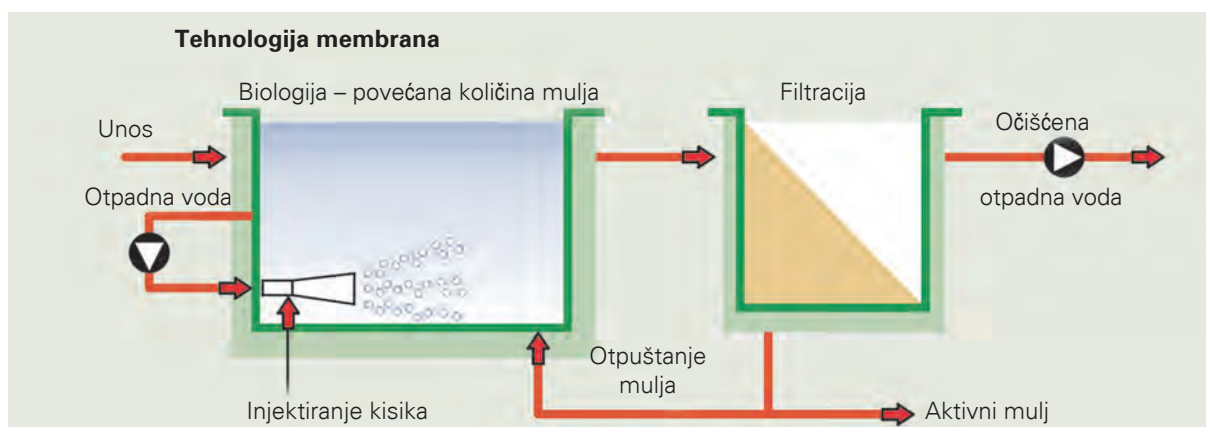
Pročišćavanje otpadnih voda u membranskoj biologiji, u kojoj mikrofiltracija kroz membrane zamjenjuje konvencionalnu sedimentaciju (Slika 3), posebno je sigurna i štedi prostor. Sadržaj aktivnog taloga je veći za faktor od 3 do 8 nego u konvencionalnim postrojenjima.

Dakle, osim sedimentacije, biološka faza je također znatno kompaktnija. Kvaliteta otpadne vode pri uporabi membranske biologije je bez krutih tvari i u skladu s higijenskim standardom vode za kupanje, tako da su mogućnosti ponovne uporabe vode velike.

Potencijalni učinak membranske biologije u potpunosti se može iskoristiti samo ako plinski dovodni sustav čistog kisika dopunjuje ili zamjenjuje uobičajena aeracija. Mješavina otpadne vode i aktivnog mulja u membranskoj biologiji iznimno je viskozna, što znatno otežava apsorpciju kisika od strane sustava fine aeracije u vidu mjehurića pod pritiskom. Messer je razvio sustav injektiranja kisika specijalno za ovaj visoko viskozni aktivni mulj, pri čemu se može biti ekonomičan čak i kod najviših ulaznih količina kisika. U izravnoj usporedbi pri korištenju membranske biologije, postignuta je više od 2,5 puta veća učinkovitost otapanja uz 2,5 puta manju potrošnju energije nego kod injektiranja zraka. U slučaju reaktora koji rade pod pritiskom, ušteda energije još je drastičnija. Kod postrojenja za tretman otpadnih voda na deponiji smeća, pri pojavi vršnih opterećenja sustav se također pokazao pozitivnim uz dodatnu opskrbu kisikom: Ovdje je bilo moguće izravno poboljšati učinkovitost pročišćavanja za 40%.

### Prednosti čistog kisika u industrijskim postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda:

- opće poboljšanje rezultata pročišćavanja bez obzira radi li se o naglim ili kontinuirano visokim opterećenjima otpadnih voda
- sigurna nitrifikacija
- znatno manje emisije mirisa
- injektiranje kisika odvija se tiho
- veća operativna pouzdanost
- pogodan za hitnu uporabu u slučaju kvara aeratora
- bez skupe i dugotrajne nadogradnje postrojenja
- može se koristiti kao prijelazno ili privremeno rješenje
- niži troškovi ulaganja od konvencionalno izgrađenih postrojenja



Slika 3: Štednja prostora kroz korištenje tehnologije membrana





Slika 4: Neutralizacija gradilišta korištenjem  $\text{CO}_2$  na berlinskoj Glavnoj stanici, ranije stanici Lehrter.

### Neutralizacija i regulacija pH s $\text{CO}_2$ : bez salinacije u cirkulaciji vode

Alkalna otpadna voda mora se neutralizirati prije nego što se prenese u biološko postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda. Ovdje važnost neutralizacije s  $\text{CO}_2$  pravom raste:

- pri usporedbi stehiometrijskih vrijednosti potrošnje između  $\text{CO}_2$  i mineralnih kiselina s potpunim iskorištenjem, rezultat značajno ide u korist  $\text{CO}_2$ . To je i jedan od razloga zašto usporedba troškova također često rezultira u korist uporabe  $\text{CO}_2$
- niže količine soli nisu važne samo za troškove otpadnih voda već i za višestruku uporabu (gotovo) zatvorenih cirkulacija vode: U slučaju  $\text{CO}_2$ , izbjegava se salinacija kloridima ili sulfatima jer se time izbjegavaju problemi povezani s korozijom.
- slika 5 prikazuje krivulju neutralizacije mineralne kiseline u usporedbi s karbonskom kiselinom. Pliće krivulje neutralizacije za  $\text{CO}_2$  znače da njegovo dodavanje, čak i u području oko neutralne točke, ima samo blagi utjecaj na pH vrijednost, što praktički isključuje pretjerano zakiseljavanje (za razliku od mineralnih kiselina). Slijedom toga, uz uporabu  $\text{CO}_2$  ne mora se razrađivati tehnologija regulacije

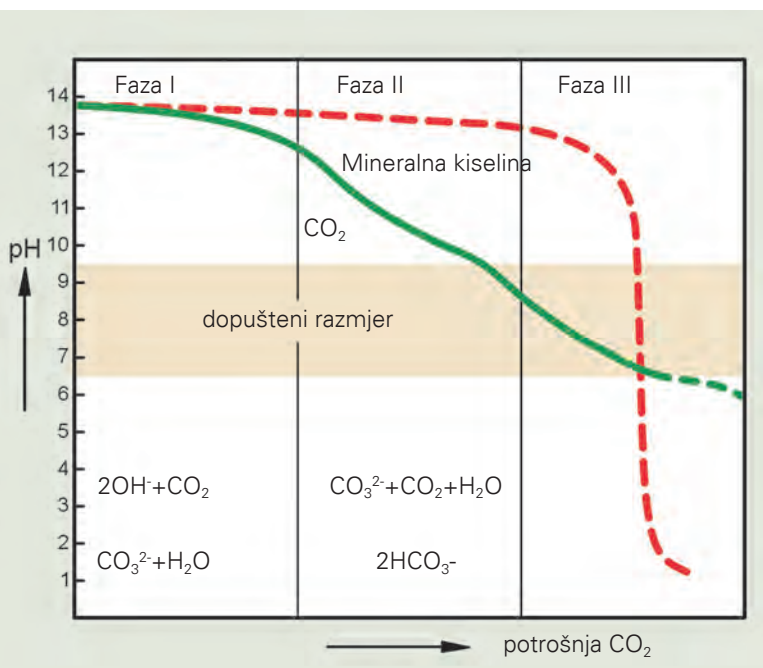


Fig. 5: Dijagrami krivulja neutralizacije pri korištenju  $\text{CO}_2$  i pri korištenju mineralnih kiselina





*Slika 6: Komponente neutralizacije koje koristi Messer: rešetke za prozračivanje (lijevo), šaržni tank izgrađen od strane kupca (sredina, ubacivanje tekućine (desno)*

Za unos i otapanje  $\text{CO}_2$  u vodi, Messer koristi različite sustave: cijevni reaktori, jet sustavi, statički mikseri, ejektori ili čak i mrežni sustavi s perforiranim otvorima. Tehnika koja se koristi ovisi o kvaliteti vode, na primjer tvrdoći vode i okolnostima na mjestu primjene.

Messer svakom korisniku isporučuje optimalni individualno osmišljen proces s najboljim iskorištenjem  $\text{CO}_2$ , što jamči najbolju ekonomičnost. Messer Vam može pružiti praktično iskustvo s više od 150 postrojenja za neutralizaciju (Sl. 4 i 7).



*Slika 7: Neutralizacija alkalne otpadne vode iz tekstilne industrije korištenjem  $\text{CO}_2$*

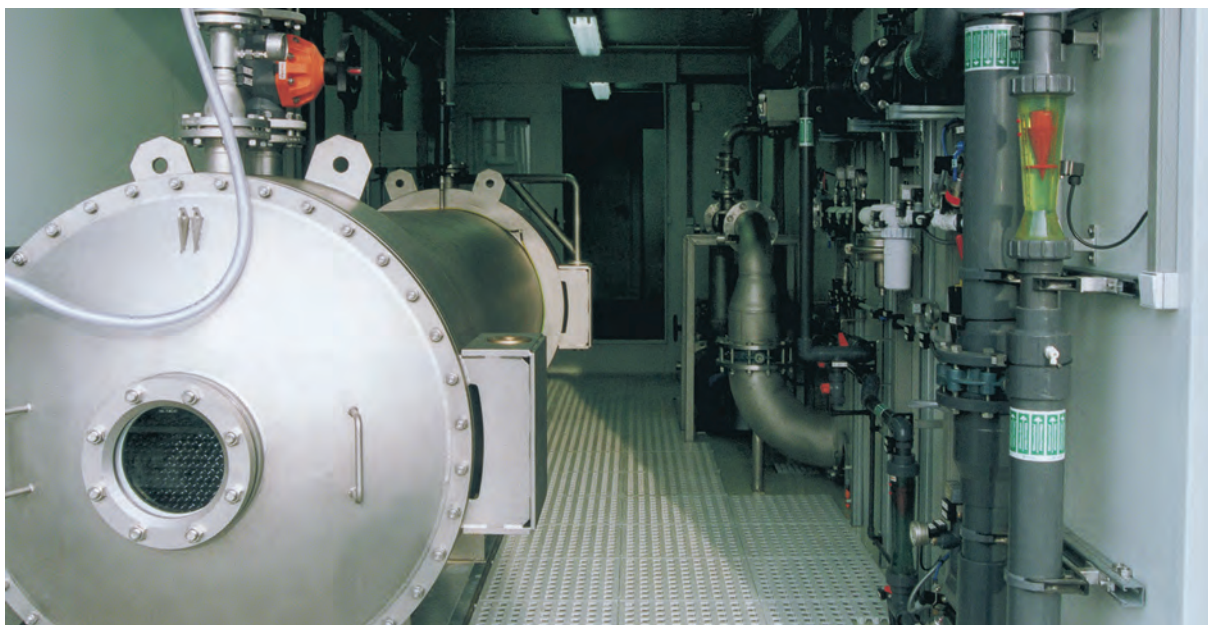
#### **Neutralizacija i pH regulacija $\text{CO}_2$ - Prednosti na prvi pogled:**

- nema saliniranja zbog klorida, sulfata itd., tako da je:
- ekološki prihvatljivo
- bez naknada zbog povećanog sadržaja soli
- pogodnije za ponovno vraćanje u optičaj
- problem pretjeranog zakiseljavanja gotovo isključen
- nema problema s korozijom
- niski troškovi rada
- moguće kontrolirati taloženje teških metala ili komponenti tvrdoće

#### **Neutralizacija s $\text{CO}_2$ već je provedena u sljedećim sektorima industrije:**

- industrija pića
- mljekare
- industrija papira i celuloze
- galvanski procesi
- metalurgija
- tekstilna i kožna industrija
- kemikalije
- staklo
- elektrane
- praonice
- neutralizacija gradilišta





Slika 8: Postrojenje za tretiranje otpadnih voda parcijalnom oksidacijom ozonom (Foto: Wedeco)

### Ozon - Oksidacija bez salinizacije

Ako otpadna voda sadrži organske supstance otporne na biorazgradnju, često se bira tretiranje ozonom. Nakon fluora, ozon je najsnažniji oksidant. Međutim, reagira na način da stvaranje relativno neproblematične produkte oksidacije i kisika, te ne uzrokuje salinizaciju tretirane vode.

Ozon se ne može skladištiti, tako da se uvijek proizvodi od kisika u generatorima ozona na licu mjesta (slika 8). Za industrijske primjene, koncentracije ozona od 10 do 14% mase mogu se ostvariti uz potrošnju energije ispod 10 kWh / kg ozona. Te su visoke koncentracije, ostvarive samo uporabom čistog kisika, korisne jer su troškovi energije i mehanizacije za otapanje ozona u vodi niži i reakcije se odvijaju brže. Slijedeći primjeri primjene ilustriraju prednosti ozona:

### Ozon u kombinaciji s fazama aerobnog biološkog tretmana

Kako bi se supstance koje su otporne na raspadanje tretirale izravno ozonom, tretman ozonom obično se uključuje nakon biološkog pročišćavanja. U parcijalnim oksidacijama, ozon nagriza tvrdokorne ostatke koji ostaju u otpadnim vodama i na taj način ih čini pogodnim za daljnje jeftino biološko pročišćavanje. Mjera razgradivosti sastojaka otpadnih voda je omjer COD prema BOD5 (kemijska potražnja za kisikom prema biološkoj potražnji za kisikom). Što je taj omjer manji, bolje se otpadna voda može biološki pročistiti. U otpadnim vodama iz tvornice celuloze omjer COD / BOD u prvom stadiju ispuštanja smanjen je s 8 na 3, te je na taj način povećana ukupna učinkovitost pročišćavanja COD-om sa 45% na više od 80%. U tekstilnoj industriji, tretman ozonom koristi se nakon postrojenja za obradu za uklanjanje boje iz otpadnih voda.

## **Ozon se koristi za slijedeće postupke s odgovarajućim učincima:**

### **Izbjeljivanje celuloze**

- ozon zamjenjuje klor u postupku izbjeljivanja
- poboljšani stupanj bjeline
- izbjegavanje AOX u otpadnoj vodi

### **Papir, tekstil, tiskanje i industrija plastike**

- izbjeljivanje papira i tekstilnih folija
- ozon kao pomoćno sredstvo za premazivanje papira
- poboljšano prijanjanje u proizvodnji materijala za pakiranje pića

### **Kemijska industrija**

- ozon kao oksidacijsko sredstvo za kemijske procese
- proizvodnja baznih tvari za farmaceutsku i kozmetičku industriju

### **Otpadne vode tekstilne industrije**

- izbjeljivanje
- izbjegavanje AOX u otpadnoj vodi

## **Sažetak**

U industrijskoj proizvodnji, pročišćavanje otpadnih voda često se sastoji od kombinacije različitih bioloških, kemijskih i fizičkih procesa. S rastućim trendom zatvorene cirkulacije vode, ovdje opisana tehnika preuzela je središnje značenje.

Messer ne samo da pruža plinove u tu svrhu, već nudi i cjelovite servisne pakete, od savjetovanja do dizajna, opreme, instalacije i puštanja u pogon. Messer radi u uskoj suradnji s korisnicima i, po želji, s lokalnim inženjerskim poduzećima.



Messer Tehnoplina d.o.o.  
Rajlovačka bb  
71000 Sarajevo  
Tel. +387 33 953 100  
Fax +387 33 953 129  
info@messer.ba  
www.messer.ba

Messer BH Gas d.o.o.  
Rajlovačka bb  
71000 Sarajevo  
Tel. +387 33 953 100  
Fax +387 33 953 129  
info@messer.ba  
www.messer.ba

Messer Mostar Plin d.o.o.  
Rodoč bb  
88000 Mostar  
Tel. +387 36 352 551  
Fax +387 36 350 097  
infomostar@messer.ba  
www.messer.ba