



**Onečišćenja zraka u zatvorenom prostoru, pročistači zraka i komparativni pregled tehnologija za pročišćavanje zraka u zatvorenom prostoru**



## Onečišćenja zraka u zatvorenom prostoru

### Zrak koji udišemo

Voda, hrana i zrak, osnovne su ljudske potrebe. Upravo su zato, kroz povijest, bivali uzrocima najveće smrtnosti. Dvadeseto je stoljeće donijelo velik napredak na području pripreme vode za piće, uzgoja namirnica, tehnologije namirnica i prerade... Nasuprot ovim pozitivnim pomacima, dojam je da se kvaliteta zraka pomiče u suprotnom pravcu. Posebice je to slučaj sa zrakom u zatvorenom prostoru. Problemima zagađenja atmosfere, propadanju ozonskog omotača i problemu globalnog zagrijavanja danas se poklanja bar neka pažnja. Iako je kvaliteta zraka u zatvorenom prostoru u posljedičnoj vezi s kvalitetom zraka u vanjskom okolišu, zrak u zatvorenom prostoru uvijek je višestruko zagađeniji. Nažalost, mala ili nikakva pažnja usmjerava se na probleme zagađenja zraka u zatvorenom prostoru i posljedice.

### Zrak u zatvorenom prostoru

Razlog onečišćenju zraka u zatvorenom prostoru je nemogućnost djelovanja prirodnih mehanizama čišćenja, te načini gradnje i stanovanja, kojima se čuva energija, ali koji istovremeno stvaraju uvjete za razvoj i rast mikroorganizama, mikročestica, alergena, toksina i štetnih kemikalija, prisutnost grinja, prašine, produkata gorenja, organskih produkata kućnih ljubimaca, te produkata pušenja.

Čovjek u zatvorenom prostoru provede 90% svog života. Dnevno udahne 10.000 – 15.000 l zraka. Gotovo 50% populacije boluje od različitih vrsta dišnih problema. 80% svih oboljenja uzrokuju mikroorganizmi koji se nalaze na površinama koje dotičemo, od kojih se velika većina nalazi u zatvorenom prostoru. Studije pokazuju i da su tegobe poput glavobolje, nadražljivosti oka, nosa i grla, crvenila i svrbeži kože, depresije, mučnine, vrtoglavice i opće slabosti često povezane s onečišćenjima zraka u zatvorenom prostoru.

### Deset zagađivača koje niti uz najveći oprez ne možemo izbjeći

1. Dim cigarete
2. Isparljive organske tvari (izvori su boje, lakovi, kućne kemikalije, mirisi za kuću, neke vrste drva i dr.)
3. Pesticidi (herbicidi, insekticidi, fungicidi, dezinficijensi, u masovnoj kućnoj uporabi)
4. Pelud (uzročnik alergija u ljudi i životinja)
5. Grinje (u prosjeku ih u 30 g prašine ima 10.000, a alergije uzrokuje protein iz njihova izmeta)
6. Produkti gorenja (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i policiklički aromatski ugljikovodici)
7. Radon (često sastavni dio građevinskog materijala)
8. Organski produkti kućnih ljubimaca

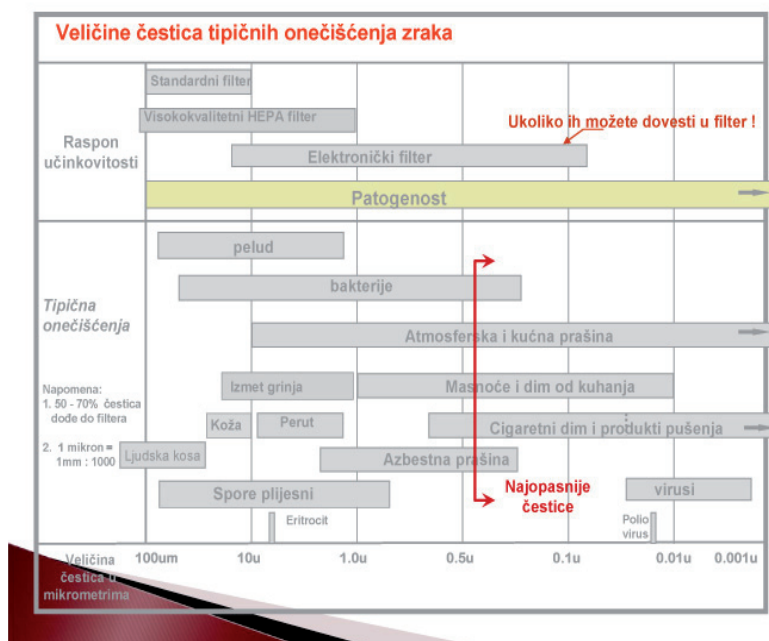
(proteinske izlučevine koje mogu uzrokovati alergije)

9. Prašina (različite vrste od kojih su najopasnije one iz izolacijskih materijala i azbesta)
10. Mikroorganizmi (izvor su im ljudi i životinje, kontaktne površine, često i sustavi klimatizacije)

### Zdrava kuća

“Zdrava kuća” označava prostor za stanovanje ili rad, u kojem su čimbenici koji mogu uzrokovati bolesna stanja maksimalno kontrolirani ili reducirani. To se prvenstveno odnosi na potencijalna onečišćenja zraka u zatvorenom prostoru. Energetski učinkovita kuća, niskoenergetska kuća, pasivna kuća ili trolitarska kuća, istoznačni su pojmovi koji definiraju novi trend izgradnje i legislative gradnje, pri čemu se posebna pozornost posvećuje čuvanju energije i smanjenju ukupnih izdataka za energiju, pri čemu se uštede mogu kretati i do 90% u odnosu na klasičnu gradnju. Uporaba modernih termoizolacijskih materijala ekološki je opravdana zbog čuvanja prirodnih energetskih resursa. Nažalost, u velikom se broju slučajeva u takvim prostorima stvaraju mikroklimatski uvjeti koji pogoduju višestrukom zagađenju zraka odnosno progresivnom povećanju uzročnika onečišćenja zraka. Pri gradnji takvih objekata posebnu je pozornost potrebno posvetiti opremanju prostora tehnologijama koje su sposobne reducirati sve vrste potencijalnih onečišćenja zraka u zatvorenom prostoru i time umanjiti rizike za zdravlje.

### Vrste i odnos veličine i patogenosti čestica onečišćenja zraka u zatvorenom prostoru



(dr. Christophe Suchy, prema TELSA; Journal of Modern Science, 1997. i Asthma Support News-group, veljača, 1998.).

## **Pokazatelji povećane opasnosti**

- Mali stambeni ili radni prostori.
- Nemogućnost prozračivanja.
- Korištenje kemikalija u radnom procesu.
- Prisutnost specifičnog mirisa.
- Prisutnost dima ili mirisa dima.
- Plijesni ili gljivice na zidnim površinama.
- Pušenje u prostoru.
- Namještaj od prešanog materijala.
- Podovi od prešanog materijala.
- Korištenje papirne galanterije.
- Korištenje peći na drva.
- Korištenje plinskog štednjaka.
- Svježe oličen prostor.
- Svježe lakirani podovi, namještaj ili druge površine. Prisutnost kućnih ljubimaca.
- Prisutnost prašine.
- Tepisi ili tepisoni na podu.
- Korištenje usluge servisa za čišćenje.
- Prisutnost proizvodnog pogona u blizini mjesta stanovanja ili rada.
- Blizina velikih prometnica

## **Pročistači zraka i tehnologije za pročišćavanje (čišćenje) zraka**

### **Filterski sustavi (pročistači s filterima)**

Prvu skupinu čine samostojeći sustavi, koji se obično sastoje od kućišta te ulaznog i izlaznog otvora za zrak. Između njih instaliran je materijal koji ima zadaću zadržati čestice onečišćenja koje su iz okoline ušle zrakom. Drugu skupinu čine kanalni sustavi, odnosno sustavi koji se instaliraju u dovode zraka, a koji pak mogu predstavljati jedini dovod zraka u prostoriju (uglavnom u laboratorijskim uvjetima), ili sekundarni dovod zraka kao što su sustavi grijanja, ventilacije i klimatizacije u velikim uredskim, trgovačkim centrima ili industriji.

Filterski su sustavi obično izrađeni slojevito i sadrže materijale koji predstavljaju mehaničku prepreku prolasku čestica, a istima mogu biti pridodani i materijali koji imaju afinitet vezanja nekih kemijskih spojeva (npr. aktivni ugljen u tzv. karbonskom filteru) ili biološki materijal. U filterski sustav mogu biti inkorporirani i elektronički filteri, koji rade na principu vezanja čestica suprotnog polariteta za električki nabijenu površinu.

Jedan od glavnih nedostataka samostojećeg filterskog sustava je ograničena mogućnost recikliranja zraka u prostoriji. Kako zrak u prostoriju ulazi svim raspoloživim dovodima (vrata, prozori, ventilacijski otvori i sl.) da bi učinak filtracije bio zadovoljavajući, samostojeći bi uređaj trebao ukupni volumen zraka provesti kroz svoj sustav, što je u uvjetima dovoda zraka iz različitih izvora, praktično nemoguće. Stoga, takvi uređaji mogu zadržati mnogo manje čestica u odnosu na deklarirane sposobnosti ugrađenog filterskog materijala.

Filterski sustav mnogo je djelotvorniji ukoliko je instaliran u kanalni sustav dovoda zraka i pod uvjetom da se radi o jedinom dovodu zraka u prostoriju. Na takvom, eksperimentalnom sustavu temelje se i različita ispitivanja kojima se često deklarira učinkovitosti pojedinog uređaja (CADR i sl.)

Drugi ograničavajući čimbenik djelotvornosti filtera je veličina pora. S obzirom da su čestice onečišćenja, ovisno o vrsti, i vrlo različitih dimenzija, učinkovitost sustava raste obrnuto proporcionalno s veličinom pora. Što su pore manje, filter je u mogućnosti zadržati više štetnih čestica. Prema veličini pora filtere klasificira nekoliko različitih sustava. Najpoznatiji američki sustav klasifikacije je MERV (Minimum Efficiency Reporting Value) koji filtere svrstava u brojčane kategorije od 1 – 11, pri čemu se učinkovitost izražava postotkom koji se odnosi na čestice veličine 3-10  $\mu$  (npr. MERV 6 može zadržati 50% čestica navedene veličine, a MERV 11, 85%). MERV klasifikacija se kod nekih proizvođača produljuju zaključno s brojem 13, a brojevima 14 – 16 ista označavaju tzv. HEPA filtere. HEPA filteri teroretski mogu zaustaviti čestice veličine do 0,3  $\mu$ , ali ostaje upitno mogu li se te čestice doista i dovesti do filtera. U Europi se u industrijskoj proizvodnji koristi tzv. EN klasifikacija, koja se temelji na istim principima kao i MERV, ali ima drugačije slovne i brojčane oznake. Ovdje treba napomenuti da se sve klasifikacije i deklaracije odnose na eksperimentalne uvjete, odnosno da je učinkovitost filtera mjerena u kanalnom sustavu, a ne u uvjetima uobičajenog radnog i stambenog okoliša odnosno različitih puteva dolaska zraka u prostoriju.

Posebni i ograničavajući čimbenik djelotvornosti filtera je raznovrsnost kontaminanata zraka, čija veličina može biti bitno manja od pora filtera. Patogenost čestica, u pravilu, raste obrnuto proporcionalno s njihovom veličinom, tako da filter praktično nema funkciju u području veličine čestice ispod 0,3  $\mu$ , odnosno 1-10  $\mu$ , kada se radi o komercijalno dostupnim sustavima. Nedostatak filterskih sustava je i njihova cijena. Iako inicijalni trošak nabavke filterskog sustava i ne mora biti visok, potrebno je učestalo mijenjati filterski materijal. Troškovi održavanja veći su kod sustava male propusnosti koji se lako začepuju. Isključivo mehaničko djelovanje filtera, odnosno nemogućnost da se u filter uhvaćene čestice trajno inaktiviraju ima za posljedicu stvaranje sekundarnog izvora onečišćenja u samom sustavu.

### **Ionizatori**

Primjena unipolarne ionizacije vrlo je popularna metoda pročišćavanja zraka u zatvorenom prostoru. Ionizacija je jedna od tri ekološke tehnologije jer se identični procesi zbivaju i u prirodi. Ionizatori djeluju na kemijskim, fizikalnim i biološkim principima. Osnovni princip je fizikalni

i odnosi se na promjene naboja čestica u zraku, kako bi se slijepile na površine, ili kako bi se međusobno spojile i stvorile veće tvorbe koje zbog težine nemaju mogućnost zadržavanja u struji zraka (ionizacijska precipitacija). Nije manje važna ni mogućnost kemijskih reakcija između iona i čestica onečišćenja, tako da se ionizacijom može reducirati neugodni miris. Dokazano je da ionizacija može uništiti i ovojnice nekih mikroorganizama. Negativne strane ionizacije vezane su uz klasične tehnologije, gdje je domet stvorenih iona relativno kratak, kao i njihova postojanost. Učinkovitost ionizacije u čvrstoj je i izravnoj vezi s tehnologijom ionizatora. Klasični ionizatori imaju vrlo ograničene zone djelovanja.

### **Ultraljubičaste lampe (UV)**

Iako postoje različite klasifikacije ultraljubičastog spektra, prihvatljivo je da isti obuhvaća valjne duljine od 10 – 400 nm, pri čemu klasični spektar zauzimaju one od 100 – 380 (400) nm koje čini tzv. UVA, UVB i UVC svjetlost. Valne duljine od 10 – 100 nm smatraju se tzv. vakumskim spektrom i označavaju s UVV. Neki autori smatraju da je granična vrijednost 1- 10 nm, a često se valne duljine koje graniče s x spektrom nazivaju UVX. Ova je činjenica važna zbog spoznaje da klasična UV lampa emitira svjetlost valne duljine od 100 – 400 nm, pri čemu germicidno djelovanje (uništenje mikroorganizama) ima valna duljina od 254 nm, a ozon se stvara pri 185 nm. Učinkovitost UV lampe značajno ovisi o vrsti, udaljenosti i vremenu izlaganja mikroorganizma. UV lampe nisu u mogućnosti neutralizirati mikroorganizme koji se velikom brzinom kreću u struji zraka.

### **Ozon (O3)**

Ozon je alotropska modifikacija kisika, molekula vrlo reaktivnih svojstava, oksidans sposoban ući u reakcije sa štetnim kemikalijama u zraku, a koji odlično neutralizira mirise i učinkovito ubija mikrobnu floru. Uporaba ozona ubraja se u aktivne tehnologije, vrlo je široke primjene, posebice kao dezinficijens u industriji pripreme i prerade prehrambenih proizvoda, te u medicini i stomatologiji u terapijske svrhe. Relativno ga je lako i jeftino proizvesti, najčešće generatorom ozona koji svoje djelovanje temelji na djelovanju visokonaponskog električnog polja na zrak, s posljedičnom destabilizacijom molekule kisika, njezinim raspadom i vezanjem slobodnog atoma na drugu molekulu kisika. S obzirom na svoja oksidativna svojstva i štetnost većih koncentracija na ljude i životinje, često je predmet prijepora u znanstvenim i tehnološkim krugovima. Pored toga, često se miješaju pojmovi stratosferskog ozona kao pokazatelja zagađenja vanjskog okoliša i ozona koji nastaje prirodnim procesima u blizini zemlje, a koji ima ulogu prirodnog čistača. Nesporno je da je kao dezinfekcijsko sredstvo izrazito učinkovit, a zbog svog kratkog života i brzog raspada na spojeve koji, za razliku od drugih dez-

inficijensa, nisu škodljivi za zdravlje, predstavlja kvalitetan izbor. Ozon je jeftin, manje korozivan od ostalih dezinficijensa, sposoban neutralizirati veliku većinu neugodnih mirisa, a njime se mogu uništiti i grinje. Iako ne postoji standardizirani propis koji regulira prihvatljivu koncentraciju ozona u prostoru u kojem borave ljudi i životinje, smatra se da je to 0,05 ppm.

### **Fotokatalitička oksidacija (PCO) i Fotohidroionizacija (PHI)**

Novije su tehnologije nastale za potrebe svemirskih programa. Temelje se na ekscitaciji katalitičke površine svjetlošću koju proizvodi ultraljubičasta lampa pri čemu dolazi do konverzije energije fotona u elektricitet, odnosno do oslobađanja elektrona koji reagiraju s plinovima i vodom u zraku. Reakciju potpomažu različiti katalitički elementi dodani u materijale od kojih su izrađene površine. Pri tim reakcijama nastaju reaktivne oksidativne vrste (ozon, hidroperoksidi, hidroksilni radikali i superoksianioni) koje su sposobne neutralizirati kemijska onečišćenja razlažući ih na neopasne spojeve, uglavnom CO<sub>2</sub> i vodu. Limitirane mogućnosti PCO tehnologije koja je koristila TiO<sub>2</sub> kao katalizator, uvjetuje razvoj tzv. fotohidroionizacije (PHI), koja pokazuje još bolja svojstva. Jeftina za uporabu, bez štetnih produkata, učinkovito neutralizira mirise, ubija mikroorganizme i eliminira štetne kemijske spojeve, a uz proizvodnju vrlo malih količina rezidualnog ozona koje odgovaraju zakonskim standardima.

### **ActivePure (RCI)**

Najnovija je tehnologija koja predstavlja vrhunac svih danas u svijetu dostupnih tehnologija za čišćenje zraka. Temelji se na principima fotohidroionizacije, i zapravo, pripada toj grupi tehnologija, ali se od iste razlikuje svojim bitno poboljšanim svojstvima:

- UV lampom posebne konstrukcije tijela lampe i žarne niti koja emitira specifičan spektar koji uključuje kraće valne duljine većeg energetskog potencijala
- Poboljšanom fizikalnom geometrijom katalitičke površine
- Specifičnim katalizatorskim elementima koji višestruko uvećavaju broj i brzinu katalitičkih reakcija
- Specifičnim sastavom ionizirajućeg plina (plazme) produljenog života
- Povećanim dometom plazme

Proces stvaranja ioniziranog plina odvija se u ćeliji, u čijem se središtu nalazi UV lampa visokog intenziteta, a okružuje je sačasti matriks s hidrofилnom ovojnicom koja sadrži četiri rijetka metala u funkciji katalizatora. Ćelija koristi ne samo germicidna svojstva UV svjetlosti valne duljine 254 nm već i produkte reakcija koje se događaju u samoj ćeliji odnosno na površini. Posebno konstruirana UV lampa emitira vrlo specifične valne duljine koje

pripadaju UV-B, UV-C i UV-V spektru, a čija energija uzrokuje ekscitaciju katalitičke površine s posljedičnim oslobađanjem elektrona koji ulaze u reakciju s plinovima i vodom u zraku, a pri čemu nastaju ioni ili novi spojevi. Ekscitacija katalitičke površine dovodi do niza reakcija na ovojnici:

1. Adsorpciji vlage iz zraka
2. Zadržavanju i otpuštanju atoma i molekula plinova
3. Kidanju molekularnih veza
4. Oslobađanju elektrona
5. Oduzimanju elektrona

Rezultat navedenih reakcija je stvaranje tzv. naprednih oksidacijskih produkata; iona superoksida, hidroperoksida, te hidroksilnih radikala koji zajedno čine tzv. plazmu (snažno ionizirani plin) koja putuje u struji zraka pronalazeći i neutralizirajući onečišćenja. Produkti RCI ćelije uništavaju mikroorganizme, oksidiraju i neutraliziraju isparljive organske tvari, precipitiraju mikro čestice (prašina, pelud i sl.), stvarajući veće tvorbe preteške da bi se održale u struji zraka koje padaju na tlo, te neutraliziraju mirise. Oni oksidiraju i steriliziraju kontaminante zraka u zatvorenom prostoru izvan samog uređaja i na većim udaljenostima.

Universty of Cincinnati dokazao je da RCI značajno smanjuje broj čestica aerosolnih kontaminanata u zatvorenom prostoru (mikro čestice, alergeni). (Sergey A. Grinshpun, Atin Adhikari, Takeshi Honda, Kiyoun Kim, Mika Toivola, K.S. Ramchander Rao, Tiina Reponen, 2007., Control of Aerosol Contaminants in Indoor Air: Combining the Particle Concentration Reduction with Microbial Inactivation, Environmental Science & Technology, Vol. 41, 606-612). Kansas State University proveo je opsežna istraživanja učinka na mikroorganizme na površinama, uključujući i MRSA-u (Methicilin rezistentni stafilokok), H1N1, H5N8 te još 8 mikroorganizama. Dokazano je da RCI neutralizira više od 99 % bakterijskih i kolonija gljivica na podlogama, u manje od 12 h. U eksperimentu s aparatom koji imitira kihanje, u izbačenom je aerosolu RCI sustav inaktivirao 78 % virulentnih čestica odmah. (M.T. Ortega, L.J. Franken, P.R. Hateosohl, J.L. Marsden, 2007., Efficiency of Ecoquest Radiant Catalytic Ionization Cell and Breeze AT Ozone generator at reducing microbial populations on Stainless Steel Surfaces, Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology Vol. 15, 359 – 368)

#### Literatura

1. Lela Riley, 2008., *Evaluation of the Efficacy of EcoQuest's Decontamination Systems in Reducing Murine Norovirus Titers*, Columbia MO
2. Sergey A. Grinshpun, Atin Adhikari, Takeshi Honda, Kiyoun Kim, Mika Toivola, K.S. Ramchander Rao, Tiina Reponen, 2007., *Control of Aerosol Contaminants in Indoor Air: Combining the Particle Concentration Reduction with Microbial Inactivation*, Environmental Science & Technology, Vol. 41, 606-612
3. M.T. Ortega, L.J. Franken, P.R. Hateosohl, J.L. Marsden, 2007., *Efficiency of Ecoquest Radiant Catalytic Ionization Cell and Breeze AT Ozone generator at reducing microbial populations on Stainless Steel Surfaces*, Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology Vol. 15, 359 – 368
4. A.C. Somersall, 2006., *Fresh Air For Life*, Natural Wellness Group
5. Kristen McClain, David Alburty, 2004., *PHI Quantative Testing of FCV (Feline Calicivirus) Deactivation*, Midwest Research Institute, Project No. 310545.1.001
6. Alfred T. Hodgson, Douglas P. Sullivan, William J. Fisk, 2005., *Evaluation of Ultra-Violet Photocatalytic Oxidation (UVPCO) for Indoor Air Applications: Conversion of Volatile Organic Compounds at Low Part-per-Billion Concentrations*, Indoor Environment Department, Environmental Energy Technologies Division, E.O. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, LBNL - 58936
7. D.T. Tompkins, 1999., *Photocatalysis and Application to Indoor Air*, Chelsea Group Ltd.