

Dezinfekcija i sterilizacija vazduha

J. E. Firman*

UVOD

U biološkim procesima ima više različitih razloga za sterilizaciju ili dezinfekciju vazduha, kao što su:

1) količina sterilnog komprimovanog vazduha za proces fermentacije;

2) sterilizacija ili dezinfekcija vazduha zagađenog mikroorganizmima nastalim u laboratorijskom ili proizvodnom procesu;

3) sterilizacija zona prostorija u kojima se moraju održati aseptični uslovi za sterilne procese;

4) sterilizacija ventilacionog vazduha u biološkim laboratorijama, radi zaštite od unakrsne zaraze organizama itd.;

5) Sterilizacija ulaznog vazduha koji izlazi iz sigurnosnih vitrina.

Sterilizacija ili dezinfekcija vazduha može biti postignuta sa više raznih procesa, tj. grejanjem, ozračivanjem, gasovitim hemijskim sredstvima, prečišćavanjem ili filtracijom. Koji će se proces odabrati, zavisiće od posebnih zahteva.

GASNA DEZINFEKCIJA

Jedan od prvih pokušaja u stvaranju sterilnih uslova prostora, učinio je lord Lister, 1867. godine. Da bi smanjio zahvatanje hirurške rane infekcijom organizama koji se stvaraju u vazduhu, on je uveo svoj čuveni aparat za disperziju aerosola karbolne kiseline u operacionoj sali, kao deo svoje anti-septičke tehnike u hirurgiji. Ovo je znatno smanjilo visoki stepen smrtnosti bolničkih pacijenata, ali je očito da potpuni sterilitet nije

* J. E. Firman, dipl. ing., *Microflow Ltd.*, Aldershot, Hampshire, England

moguće dostići, pošto bi koncentracija potrebne količine aerosola učinila prostoriju nemogućom za boravak ljudi.

U poslednje vreme se na ovakav način koriste brojne supstance, a najčešće formaldehid. Najefikasniji metod upotrebe opisao je Darlow [1]. Tehnika podrazumeva kuvanje mešavine formalina i tekuće vode u električno grejanom kotlu, u srazmeri oko 0,5 ml formalina i 0,33 ml vode prostora sobe.

Soba bi trebalo da bude zapečaćena pre izlivanja pare i ostavljena izvesno vreme — recimo 12 časova. Da bi se uklonila para nakon potpunog nadimljavanja, poželjno je opremiti sobu sredstvima za provetravanje, da bi se formalin mogao odstraniti ventilatorskim sistemom, upravljanim izvan zone. Ukoliko, međutim, nema takvog sistema za provetravanje, neophodno je nositi gas-masku sa aktivnim ugljenikom, kada se u prostoriju ulazi radi skidanja pečata ili provetravanja. Preostali formaldehid može tada biti uklonjen izlaganjem amonijum-hidroksida u jednoj plitkoj posudi.

Druge supstance, koje se koriste sa izvesnim uspehom su: sodijum hipohlorit, glikoli, fenoli i kresoli, ali njihova toksičnost im ograničava primenu i, kako kaže Sykes, »svi su oni odbačeni u praksi, kao vazdušni germicidi, zbog mirisa, nadraživanja i drugih sekundarnih uticaja« [2]. Oni se zato koriste uglavnom za dezinfekciju površina i poroznih materijala i u takvoj primeni su se pokazali kao veoma dobri.

Pojavili su se zahtevi za upotrebom ozona kao dezinfektora vazduha [3], ali, kao što je slučaj i sa svim gasovitim dezinfekcionim sredstvima, potrebna

koncentracija ozona bi bila opasna za one koji borave u prostoriji, te je i ozon kao sredstvo sterilizacije vazduha odbačen.

GREJANJE

Sterilizacija vazduha za tehnološke procese grejanjem je najefikasniji metod, ali pošto je potrebno imati visoku temperaturu, ona je neprimenljiva u mnogim slučajevima. Ako se traži visoki stepen sterilnosti vazduha, troškovi ulaganja u potrebnu opremu i tekuće održavanje su veliki. Pa ipak, grejači vazduha se koriste tamo gde vrednost finalnog produkta opravdava visoke izdatke. Ispitivanja obavljena na dva električno grejana sterilizatora vazduha — jednom kapaciteta za sterilizaciju 140 l/min vazduha i drugom, čiji je kapacitet 1 700 l/min — opisani su u lit. [4]. Sa manjim modelom, jedno minimalno izlaganje od 0,14 sec na 300° C, pruža penetraciju samo jedne od 470 miliona spora, sa najskeptičnijom procenom. Kasnije će biti opisana peć za spaljivanje, kao sterilizator otpadnog vazduha iz fermentacionih sudova, koji daju kontaktno vreme od 1 do 2 s, na temperaturi od 300°C [5].

Postoji mala sumnja u to da visoka temperatura ima preimućstva nad filtracijom, u vezi sa otpadnim vazduhom iz fermentacionih sudova, osobito tamo gde je penušanje jako. Glavna smetnja je međutim, što u slučaju nedostatka snage ili komponente, može nastati uslov u kome zagađeni otpadni vazduh odlazi u atmosferu. Isto tako, ako je projektovani stepen strujanja vazduha premašen, efekat sterilizacije bi mogao biti smanjen.

Zato je neophodno u sistem odvođenja otpadnog vazduha uključiti sredstva osiguranja, kao što je motorni ventil u vazdušnom vodu, koji se automatski zatvara ako temperatura opadne. U isto vreme, strujanje ulaznog vazduha bi se zaustavilo i uključilo neku vrstu alarmnog sistema.

Tamo gde je vrednost krajnjeg proizvoda izuzetno velika, električno pepeljenje vazduha radi sterilizacije dobavnog vazduha za procese primenjuje se u serijama sa izvanredno moćnim filtrom, koji je prvo bio u vazdušnoj struji ispred grejača i hladnjaka vazduha.

U prošlosti su činjeni pokušaji sterilizacije otpadnog vazduha iz kabina za cepljenje, pomoću gasnog gorionika, koji je grejao gazu u kanalu za izbacivanje vazduha kao i konvektivne vazdušne zavese prouzrokovane gasnim mlazom. To su bila sredstva za obezbeđenje strujanja vazduha kroz kabine. Ovi sistemi nisu zadovoljavali, jer je stepen strujanja vazduha kroz prednji deo kabine bio suviše mali, a sigurno manipulisanje patogenim organizmima, temperaturom i kontaktnim vremenom u širokom prostoru kanala za izbacivanje bilo je sasvim nedovoljno da bi se postigla zadovoljavajuća sterilizacija.

U najskorije vreme, na tržištu su se pojavile tzv. »sigurnosne vitrine«, koje su imale električni ventilator i grejni elemenat na izlazu iz vitrine. U toku ispitivanja, čak i sa vegetativnim bakterijama, one su se pokazale veoma nepogodne, kao što je stepen strujanja vazduha kroz prednji deo vitrine bio dosta niži od predviđenog u Britanskom standardu 3202 tip C, za dimne ormare. Temperatura vazduha nakon prolaza kroz grejni elemenat iznosila je samo 75° C, što nije dovoljno za postizanje zadovoljavajućih rezultata.

ULTRAVIOLETNO ZRAČENJE

Postoje dva osnovna tipa ultravioletnih cevi — topla i hladna katoda. Tip tople katode je isti kao i fluorescentna cev i ima vek trajanja od oko 2 500 časova. U tom periodu, emitovanje ultravioletnih zrakova se smanjuje

za oko 30% kada je korišćen u proseku od 3 časa. Češće paljenje skraćuje život lampe. Hladna katodna lampa ne gubi jačinu zračenja za vreme prvih 3 000 časova upotrebe, ali postepeno slabi u toku od 6 000 do 10 000 časova.

Zračenje je uglavnom kratkotalasno ultravioletno, na 2 537 Å — spektralna linija živine pare najbliža je najefikasnijoj talasnoj dužini za uništenje mikroorganizama.

Pri upotrebi ovih cevi, treba biti krajnje oprezan. One se ne mogu gledati bez zaštitnih naočara. Duže izlaganje kože takođe može biti opasno i treba ga uopšte izbegavati. Ove mere opreza su iste i za ljude i za životinje.

Ultravioletno zračenje se najčešće koristi u laboratorijama i zagađenim prebivalištima životinja, kao i u mnogim drugim prostorijama, kao sredstvo za smanjenje u vazduhu stvorenih bakterija ili virusnog zagađenja. Metod primene je isti kao i kod gornjeg zračenja, tj. zračenje je u visokoj zoni, tako da ne smeta onima koji borave u prostoriji. Prilična dezinfekcija vazduha se dostiže konvektivnom vazdušnom zavesom u prostoriji, koja izaziva unošenje organizama stvorenih u vazduhu u ozračenu zonu.

Efekat ultravioletne sterilizacije varira prema tipovima organizama. Prema Sykesu, »gram—negativne bakterije su najosetljivije, gram — pozitivne koke zauzimaju središni položaj, a bakterijske spore plesni pokazuju najveću otpornost« [2]. Virusni su takođe osetljivi na ultravioletno zračenje, ali su mišljenja o relativnoj otpornosti virusa i bakterija podeljena.

Vlažnost vazduha takođe utiče na moć ultravioletnog zračenja. Na primer, pretpostavljajući da pod kontrolisanim uslovima, sa datom ultravioletnom energijom, 99% uništenja se dostiže na relativnoj vlažnosti od 60%, a ultravioletnu energiju bi trebalo povećavati za 50%, da bi se dobio isti rezultat na 70% relativne vlažnosti.

Ostale nepovoljnosti vezane za upotrebu ultravioletnog zračenja kao sredstva dezinfekcije vazduha su:

— svi organizmi se mogu zaštititi od zračenja slojem prašine ili tanjom podlogom proteina;

— sakupljena prašina na cevima lampe može izvanredno mnogo da smanji ultravioletno emitovanje;

— Kvar na nekom delu električnog voda može prouzrokovati pregorevanje ultravioletne lampe;

— efekat zračenja opada sa kvadratom udaljenosti od izvora zračenja.

Ultravioletna energija se može meriti pomoću jednog posebno konstruisanog merača, koji sada još nije u komercijalnoj distribuciji. U svakom slučaju, prosta bakteriološka ispitivanja mogu i treba da budu izvedena u regularnim intervalima u laboratorijama, tako da se mogu dati izvesne indikacije kada je potrebno zameniti lampu.

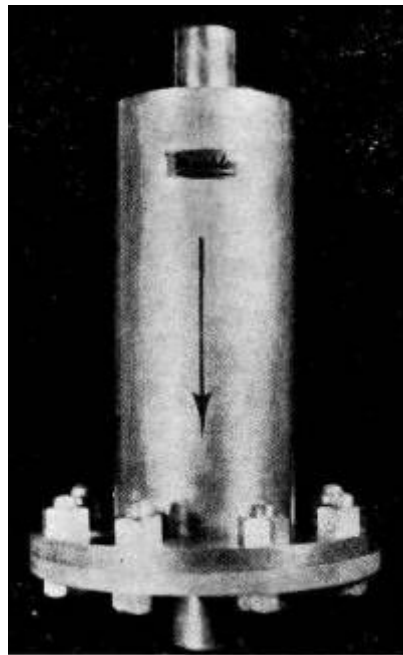
Upotreba ultravioletne lampe u sistemu vazdušnih kanala za ventilaciju nije preporučljiva iz sledećih razloga:

— zbog već pomenutih nepovoljnosti;

— zbog visokih ulaganja i troškova održavanja;

— mnogo viši stepen steriliteta se može postići upotrebom izvanredno moćnih filtera.

Sl. 1. Tipičan filter od nerđajućeg čelika za fermentacioni sud, pogodan za zapremine vazduha do 450 l/minut; filter je od staklenih vlakana i penetracija sodijum-hlorida je manja od 0,0001%



Možda najefikasniji i najsigurniji metod sterilizacije vazduha u prostoriji, koji koristi ultravioletnu lampu, je onaj koji primenjuje ultravioletni »perač vazduha«, razvijen u mikrobiološkoj istraživačkoj ustanovi, u Portonu, u Engleskoj. Ovaj aparat obuhvata četiri »filipsove« cevi za uništavanje klica od 30 W (tip TUV), smeštenih u jedan polirani aluminijski kanal prečnika 305 mm, 1 220 mm dug, sa filtrom za prašinu na jednom kraju i ventilatorom od 305 mm, na drugom kraju. On izvlači vazduh preko ultravioletnih lampi, po stopi od oko 1 700 m³/čas. Brojke o kapacitetu sterilizacije ovog aparata, nisu saopštene, ali su objavljeni zadovoljavajući rezultati.

Prečišćavanje i pranje

U industriji je uobičajena praksa prečišćavanja ili pranja otpadnog vazduha, da bi se otklonili nepodnošljivi dimovi ili mirisi. To se čini propuštanjem vazduha kroz naročiti rastvor. Upotrebom dezinfekcionog rastvora, na ovaj način, mogu se uništiti veće čestice stvorene u vazduhu, ali monodisperzioni organizmi mogu biti prekriveni mehurima i provučeni kroz rastvor.

Elektrostatičko taloženje

Ovaj proces je zasnovan na principu da se u vazduhu stvorenim česticama može dati pozitivno električno punjenje, tako ih privući i nataložiti na negativnim elektrodama. Princip je dobro ustanovljen i široko primenljiv za opšte ventilacione zahteve u otklanjanju čestica iz industrijskog otpadnog vazduha. Elektrostatički aparati za taloženje imaju osnovno preimущество što su im veličine kompaktne i što pružaju mali otpor vazдушnom strujanju. Pod normalnim radnim uslovima, može se očekivati da uklone 85—95% atmosferske zagađenosti.

Glavni tehnički nedostaci u upotrebi ovih sredstava filtracije, su što se oni oslanjaju na neprekidno dobavljanje električne snage za stvaranje vrlo velikog potencijala (6—100 kV prema veličini i nameni) potrebnog za održavanje

Sl. 2. Filtar pogodan za zapremine vazduha do 20 l/minut



moći filtracije, i što vrlo velike čestice i manji krilati insekti mogu proći bez zadržavanja. Pod izvesnim okolnostima, čestice mogu biti otklonjene sa elektroda i mogu ponovo ući u vazdušni mlaz.

Sa stanovišta ovih nedostataka, nije moguće osloniti se na elektrostatički aparat za taloženje za sterilizaciju vazduha i obična je praksa da se ugrade mehanički pred-filtri. Ako se želi veoma čist ili sterilan vazduh, potrebno je instalirati filtre velike moći ili sekundarne filtre ultravelike moći.

Na raspolaganju su aparati koji imaju ventilator i elektrostatičke aparate za taloženje koji se mogu upotrebljavati na isti način kao i opisani ultravioletni perač vazduha. Ali iako je vazдушna biološka pozadina smanjena, »živi« organizmi su zadržani u elektrostatičkom aparatu za taloženje.

FILTRACIJA

Upotreba filtracije za čišćenje i sterilizaciju vazduha i drugih gasova je besumnije najefikasniji, najekonomičniji i najprilagodljiviji od svih sistema za čišćenje i sterilizaciju vazduha. Postoji mnogo raznih tipova vazдушnih filtera, od grubih filtera za odstranjivanje većih čestica iz vazduha, do filtera ultra velike moći koji su u stanju da filtriraju čestice dimenzija virusa.

Do sada je mnogo pisano o filtraciji i primeni filtera [6—10], te ovo poglavlje nije mesto za razmatranje detalja mehanizama

i konstrukcije filtera. Ali je važno razmotriti tipove filtera koji se zahtevaju za uklanjanje čestica čije su dimenzije manje od mikrona kao i metode njihove primene.

Selekcija filtera

Ne postoji zvanična klasifikacija filtera, ali ima Britanskih standarda (BS 2831 i BS 3928) koji opisuju britanske metode za ispitivanje filtera sa metilenom kao i testova sa maglom sodijum hlorida. Oba ispitivanja oblaka magle imaju čestice dimenzija 0,02—2μ, i u oba oblaka 99% čestica su manje od 0,6 μ u prečniku.

Da bi se sterilisao vazduh na veoma visoki nivo, moraju se upotrebiti filtri ultra velike moći tj. filtri sa testom efikasnosti sodijumovog plamena, višom od 99,997%, ili, kako se obično izražava, koji imaju penetraciju NaCl manju od 0,003% kada su upotrebljeni na maksimalno preporučenom stepenu strujanja.

Filtri ovog dejstva su u komercijalnoj distribuciji i sl. 4. prikazuje tipičan panelni tip filtera velike moći u kome je filterarski medijum 100% papir od staklene vune. Filtri ovog tipa isporučuju se u standardnim veličinama. Tabela 1. pokazuje dimenzije i maksimum preporučenih stepeni strujanja, prema većini britanskih i američkih proizvođača.

Slika 3. pokazuje odnos između penetracije sodijum-hlorida i stepena strujanja vazduha kao i odnos između stapana strujanja i pada pritiska filtera GA i GAA *Microflow*. Iz ovih karakteristika

Sl. 3. Odnos između penetracije sodijum-hlorida i stepena strujanja vazduha kao i odnos između stepena strujanja i pada pritiska Grade GA i GAA »Microflow« filtera

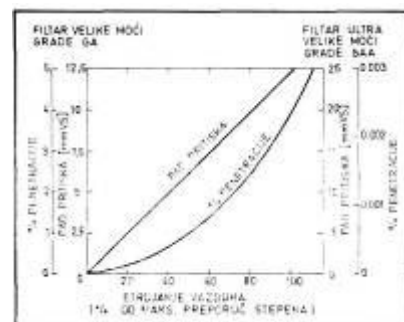


Tabela 1. Dimenzije panelnih filtara i preporučeni maksimalni stepen strujanja vazduha (po odobrenju firme Microflow)

Veličina filtra	Dimenzije A x B x C u mm	Maksim. preporučeno strujanje vazduha	Približan otpor na maks. preporučeni stepen strujanja vazduha		
			Filtar velike moći	Filtar ultra velike moći	
			mm VS	mm VS	
		m ³ /čas.			
0	8x 8x 331	203 x 203 x 84	51	12,5	25
1	8x 8x 643	203x203x156	85	12,5	25
2	12x12x 5.87	304.5x304.5x149	170	12,5	25
3	15x15x 8	381x381x203	340	12,5	25
3A	20x20x 6.13	508x508x156	680	12,5	25
4	24x24x 643	609x609x156	850	12,5	25
4A	20x20x11.75	508 x 508 x 298	1 360	12,5	25
5	24x24x11,75	609x609x298	1700	12,5	25

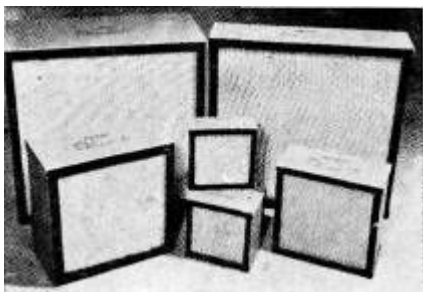
proizilaze dve veoma važne činjenice:

a) pošto je stepen strujanja redukovan, penetracija čestica nestaje;

b) otpor strujanju vazduha se smanjuje u direktnoj srazmeri sa stepenom strujanja vazduha.

Iz ovih razloga je korisno upotrebiti ovu klasu filtara sa manjim od preporučenog maksimuma strujanja vazduha.

Sl. 4. Tipičan panelni tip filtara velike moći u kome je filtarski medijum 100% papir od staklenih vlakana



Prilikom konstruisanja sistema provetravanja za sterilnu proizvodnju, zonu pakovanja i td., obično se upotrebljavaju filtar velike moći kao predfiltrar filtru ultra velike moći i filtri na recimo 30% preporučenog maksimalnog stepena strujanja. Iz dijagrama će se videti da bi penetracija NaCl kroz filtre bila približno 0,3% kroz GA filtar i 0,0003% kroz GAA filtar. Zato bi ukupna penetracija bila približno 0,3% od 0,0003% (0,0000009%) odnosno manja od 1 čestice od 100 miliona.

Za fermentacione procese, gde je neophodno sterilizovati komprimovani vazduh, prema svrsi konstruisani filtri su na raspolaganju sa kapacitetima u opsegu od 20 do 1 500 l/min. Sl. 1. i 2. pokazuju filtre ovog tipa. Na sl. 2. se vidi filtar pogodan za protoke vazduha do 20 l/min. Ovaj tip je pravljen od nerđajućeg čelika, aluminijuma ili modelovane plastike.

Mikrobiološka ispitivanja koja koriste monodisperzione test-magle organizama su na vreme iskorišćena u farmaceutskim i mikrobiološkim institucijama, kao što je Mikrobiološka istraživačka ustanova u Portonu. Dva takva testa su navedena rutinski; u jednom, monodisperzione spore *Bacillus subtilis* (0,7—1/μ) injektirane su u vazduh iznad filtara koji je ispitivan, i uzorci su prikupljeni za 5 minuta u ili na pogodnim medijumima na svakoj strani filtra. Nakon inkubacije, izvestan broj prikupljenih organizama je izbrojan i izračunat procenat penetracije. Drugi test je naveden pomoću test-magle koji simulira čestice virusnih dimenzija. Ovo je izvedeno upotrebom test-oblake monodispergovanog T3 bakteriografa (0,03 μ) uzoraka uzetih na isti način kao i u *B. subtilis* testu. Ovaj test je učinjen mogućim na osnovu razvoja elektrostatičkog aparata za taloženje uzoraka, koji osigurava sredstvo kojim se ovi imali organizmi mogu sakupiti uspešno i izbrojati tačno.

Upoređujući rezultate testova postignutih mikrobiološkim

ispitivanjem i testom sa sodijumovim plamenom, filtar koji ima penetraciju sodijumovog plamena od 0,001% može imati penetraciju *B. subtilis* reda 0,000005% i T3 bakteriografsku penetraciju od oko 0,00005% [12].

LITERATURA

- [1] DARLOW, H. M.: *Lab. Anim.*, 1967, 1,35.
- [2] SYKES, G.: *Disinfection and Sterilization*, Spon, 1965.
- [3] ALFORD, W. J. & van den ENDE, J.: *Hyg. Camb.*, 1942, 42, 240. i
- [4] ELSVVORTH, R. i saradn.: *Hyg.*, 1955, 53, 445.
- [5] ELSWORTH, R.: *Process Biochemistry*, 1970, 5(6), 30.
- [6] FIRMAN, J. E.: *Inst. Anim. Tech.*, 1966, 17, 138.
- [7] FIRMAN, J. E.: *Filtration Society*, Symposium on Filtration in Medical and Health Engineering, London, April, 1969.
- [9] HARRIS.SMITH, R. i saradn.: *Biotechn. and Bioeng.*, 1963, 5, 53.
- [10] RUDIN, R. W., *Inst. Mech. Engineers*, Symposium on Dust Control and Air Cleaning, 1963.
- [11] MORIS, E. J. i saradn., *Hyg. Camb.*, 1961, 59, 487.
- [12] DARLOW, H. M.: *Provision of Clean Air*, Animal Centre, Private communications, 1961.