

PLAZEMSKA STERILIZACIJA

Alenka Vesel, Miran Mozetič

Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Plazma postaja v zadnjih letih čedalje bolj zanimiva za sterilizacijo medicinskih in prehrabnih izdelkov ter raznih drugih (predvsem polimerov), ki so občutljivi za visoko temperaturo. Prednost plazme pred klasičnimi uveljavljenimi postopki sterilizacije je, da plazemska sterilizacija poteka pri sobni temperaturi, ne poškoduje predmetov oz. izdelkov, je ekološko neškodljiva in ne vsebuje toksičnih snovi, ki so človeku škodljive. Sterilizacija v plazmi poteka pod vplivom UV-žarkov in aktivnih delcev (atomi, radikali), ki uničijo genetski material (DNA) mikroorganizmov.

Plasma sterilization

ABSTRACT

In recent years plasma is becoming increasingly interesting for sterilization of medical devices and food especially for heat sensitive materials (like polymers). The benefit of plasma sterilization is operation near the room temperature, ecological suitability, it has no harmful toxic residues and it does not destroy the surface of treated materials. Sterilization in plasma is achieved by destroying genetic material (DNA) of microorganisms by UV-radiation and active particles (atoms, radicals).

1 UVOD

Plazma se danes uporablja v različnih vejah znanosti (fizika, kemija, biologija, medicina, metalurgija) in industrije (mikroelektronika, kemijska in avtomobilska industrija), o čemer smo v Vakuumistu že pisali.⁽²⁾ Danes pa se uporaba plazme čedalje bolj širi tudi na področje sterilizacije.^(1,3) Sterilizacija je postopek, s katerim uničimo žive mikroorganizme. Največ se uporablja v medicini in prehrabni industriji, kjer se že dolgo časa pojavljajo potrebe po postopku, ki bi deloval pri nizki temperaturi in ki bi bil učinkovit v krajših časih. Danes uveljavljeni postopki za sterilizacijo so:⁽³⁾

1. Visokotemperaturna sterilizacija
 - sterilizacija s paro (avtoklavi)
 - sterilizacija z vročim suhim zrakom
2. Nizkotemperaturna sterilizacija
 - kemična sterilizacija
 - gama- in UV-sevanje

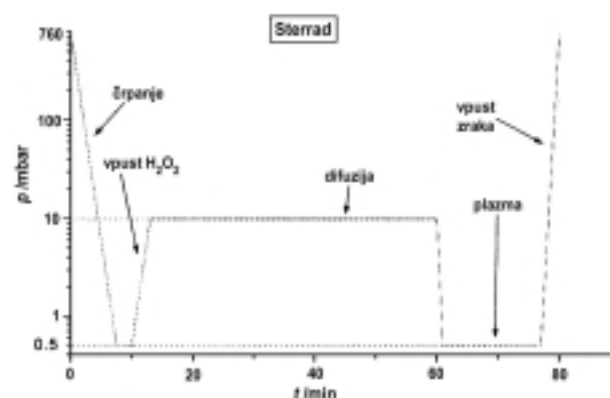
Vsi ti klasični postopki pa imajo nekatere pomanjkljivosti. Težava pri visokotemperaturni sterilizaciji je, da spore nekaterih bakterij lahko preživijo tudi pri visokih temperaturah. Poleg tega ta postopek ni primeren za predmete, ki ne prenesejo visoke temperature (npr. razni polimerni materiali).⁽⁴⁾ Kemična sterilizacija pogosto poteka s strupenimi agresivnimi sredstvi, kot npr. z etilen oksidom (EtO), ki je toksičen in se močno absorbira v plastičnih materialih. Taki

predmeti pomenijo potencialno nevarnost za paciente, in to je že imelo smrtno posledice, kot na primer smrt dializnih bolnikov v bolnišnici v Zagrebu. Ionizirajoče sevanje gama uničuje bakterije zaradi cepitve kemijskih vezi v bakterijah. To sevanje lahko prav tako povzroči spremembe v samem materialu, ki ga želimo sterilizirati.⁽⁴⁾ Tudi pri tem postopku lahko nekatere bakterije preživijo (zaradi senčenja in neprave izbire valovne dolžine svetlobe).

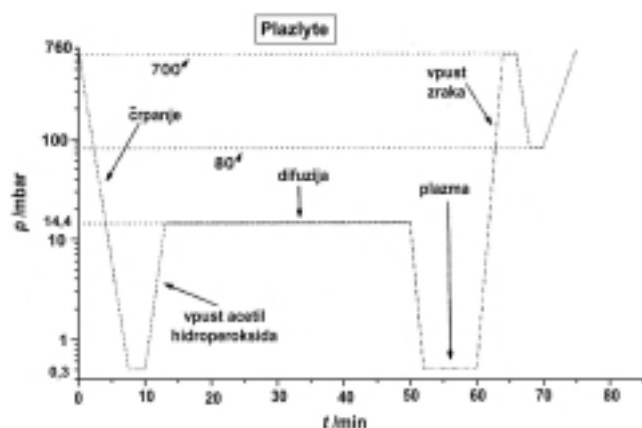
1.1 Sterilizatorja Sterrad® in Plazlyte®

Ob koncu osemdesetih let sta bila razvita Sterrad® (Johnson & Johnson)⁽⁵⁾ in Plazlyte® (Abtox), ki sta bila prva sterilizatorja, pri katerih so začeli uporabljati plazmo. Vendar je treba tu posebej poudariti, da se plazma ne uporablja za sterilizacijo, temveč le za odstranjevanje strupenih kemičnih snovi, ki jih pri sterilizaciji vpuščajo v sistem. Ker so mikroorganizmi higroskopni, kar pomeni, da se vodna para rada kondenzira na njihovi površini, delujejo kot nekakšna nukleacijska jedra, ki vežejo nase pare agresivnih kemijskih sredstev. Na tem kondenzacijskem mehanizmu sloni princip delovanja obeh sterilizatorjev. Sterrad® uporablja za sterilizacijo vodikov peroksid, Plazlyte® pa mešanico acetil hidroperoksida (5 %), vodikovega peroksida (22 %), očetne kisline (10 %) in vode (63 %).

Sterilizacija pri Sterradu® 100 poteka v treh fazah, prikazanih na sliki 1. Prvi fazi, kjer izčrpamo sterilizacijski sistem, da dosežemo tlak 65 Pa, sledi druga, ko v sterilizator (s prostornino 175 L) spustimo vodikov peroksid pri temperaturi 45 °C, da dosežemo tlak 1300 Pa. Začetni nižji tlak omogoča boljše difuzijo par. Pare se kondenzirajo na mikroorga-



Slika 1: Shematičen prikaz delovanja sterilizacijskega sistema Sterrad⁽⁸⁾



Slika 2: Shematičen prikaz delovanja sterilizacijskega sistema Plazlyte⁽⁹⁾

nizmih, kar vodi do njihove neaktivnosti. Po tem koraku sledi tretja faza, ko vklopimo RF-plazmo (15 minut), s katero uničimo toksične snovi. Na koncu sledi povečanje tlaka v komori na normalni zračni tlak. Celoten postopek traja 60 minut.⁽⁶⁾

Nasprotno od Sterrada, kjer ustvarimo plazmo kar iz par sterilizanta, pa pri Plazlytu uporabljamo mikrovalovno plazmo iz mešanice kisika, vodika in argona. Tu traja celoten postopek sterilizacije 75 minut (slika 2).⁽⁷⁾

Pri obeh navedenih sistemih torej ne gre za pravo plazemsko sterilizacijo, temveč samo za uporabo plazme za detoksifikacijo. Sterilizacijo v obeh sistemih pa dosežemo s kondenzacijo par kemičnih snovi na mikroorganizmih, kar povzroči sterilizacijski učinek. Oba postopka sta razmeroma dolgotrajna in draga.

2 PLAZEMSKA STERILIZACIJA

2.1 Kaj je plazma in kako deluje?

Plazma je ioniziran plin, v katerem se poleg ionov in elektronov nahajajo tudi razni nevtralni delci, kot so atomi, molekule in radikali, ki so lahko tudi v vzbujenem stanju. Vzbujeni delci razpadajo bodisi spontano z izsevanjem fotona ali pa pri trku s delcem na površini. Pri trku s površino lahko pride do kemijske reakcije (kot npr. oksidacija) med vpadnim delcem iz plazme in delcem na površini. Rezultat te reakcije je lahko hlapna molekula, ki se desorbira s površine in izčrpa iz sistema. Fotoni, ki jih emitirajo vzbujeni delci, lahko tudi povzročijo kemijske reakcije na površini. Tu so še posebej pomembni UV-fotoni.

Plazma nastane, če se plin nahaja v električnem polju. Primer plazemskega reaktorja je prikazan na sliki 3. Električno polje pospeši elektrone, ki trkajo v molekule plina in jih ionizirajo, zato plin sveti. Zaradi pretoka plina skozi posodo, v kateri ustvarimo



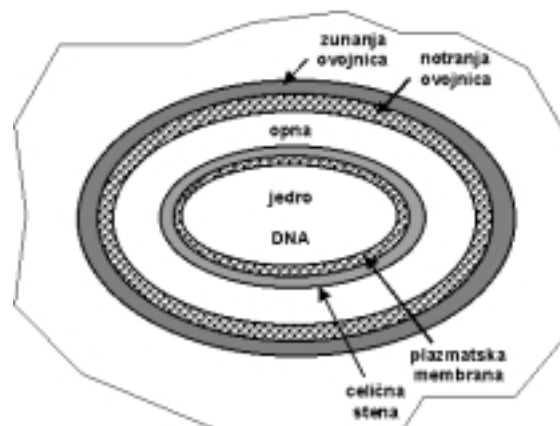
Slika 3: Primer plazemskega reaktorja

razelektritev, nastajajoči delci potujejo iz svetlečega dela plazme v drugi del posode (kjer ni električnega polja) in tam dobimo nesvetlečo plazmo (*ang. after-glow ali postglow*). Plazemska sterilizacija lahko poteka tako v svetleči kot v nesvetleči plazmi, ki vsebuje manj nabitih delcev in večinoma sestoji iz nevtrálnih atomov, molekul in radikalov. Vendar ima nesvetleča plazma pri sterilizaciji določene prednosti, kot so: (1) nižja temperatura, (2) ne vsebuje ionov, zato ne pride do njihove implantacije v površinsko plast predmetov, (3) pri sterilizaciji so pomembni le nevtralni delci in (4) nesvetleča razelektritev zavzame večjo prostornino v posodi. Nizkotemperaturno plazmo lahko dobimo tako v enosmerni razelektritvi, radiofrekvenčni ali mikrovalovni plazmi.

Za sterilizacijo se lahko uporabljajo razni plini (O_2 ,⁽¹⁰⁾ N_2 ,⁽¹⁰⁾ zrak,^(11,12) H_2 ,⁽¹⁰⁾ N_2-O_2 ,⁽¹³⁾ H_2O , CO_2 ,⁽¹⁰⁾ halogeni, Ar,^(13,10) razne mešanice plinov...), čeprav niso vsi enako učinkoviti. Izkazalo se je, da so žlahtni plini najslabši. Največkrat se uporablja O_2 ali N_2-O_2 -plazma, saj kisikovi atomi radi reagirajo z ogljikovimi molekulami, iz katerih so sestavljene bakterije, poleg tega pa v N_2-O_2 -plazmi nastaja tudi metastabilna molekula NO^* , ki pri razpadu seva prav v UV-področju⁽¹⁵⁾.

2.2 Bakterije

Bakterije so majhni enocelični mikroorganizmi, sestavljeni iz jedra z DNA-molekulami, ki je obdano z



Slika 4: Shematičen prikaz zgradbe spore bakterije.⁽¹³⁾ Jedro bakterije z genetskim materialom (DNA) je zaščiteno z večplastno ovojnico, ki varuje bakterijo pred neugodnimi razmerami.

membrano, ta pa še s celično steno. V neugodnih razmerah se nekatere lahko zaprejo v spore. Takrat se bakterije zaščitijo z večplastno ovojnico, zato lahko preživijo tudi v neugodnih razmerah. Na sliki 4 je prikazana shematska zgradba spore bakterije.

Sterilizacija v plazmi poteka pod vplivom UV-žarkov in aktivnih delcev (atomi, radikali), ki nastajajo v plazmi. Do neaktivnosti bakterije oz. spore pride šele takrat, ko je material DNA tako poškodovan, da se ne more več obnoviti.⁽¹³⁾ UV-žarki in aktivni delci morajo najprej poškodovati plašč, da lahko prodrejo v notranjost bakterije in uničijo njen DNA. Da lahko zares trdimo, da plazma dovolj učinkovito uniči mikroorganizme, so potrebni preskusi z najbolj odpornimi mikroorganizmi. Po navadi se ti preskusi izvajajo z bakterijami *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus* (temperaturno najbolj odporne bakterije⁽⁴⁾) in *Escherichia coli* (črevesna bakterija).^(1,16)

2.3 Vpliv UV-žarkov

Točni fizikalno-kemijski mehanizmi, ki so odgovorni za sterilizacijo, še vedno niso natančno poznani. Nekateri avtorji zagovarjajo UV-sevanje,^(10,17) drugi pa aktivne nevtralne delce (radikale, atome, vzbujene delce).^(18,4) Po vsej verjetnosti pa gre za kombinirano delovanje obeh, saj sterilizacija samo pod vplivom UV-žarkov ali samo pod vplivom aktivnih delcev poteka znatno počasneje, kot če sta prisotna oba dejavnika.⁽¹³⁾ Še posebej pri predmetih, ki imajo kompleksno obliko, naj bi bili nevtralni delci pomembnejši, ker lahko pri UV-žarkih pride do senčenja.^(19,4)

UV-žarki povzročajo fotokemijske reakcije v genetskem materialu (DNA) bakterij in jih tako uničijo. Bakterije, ki lahko živijo v sporah, so nekoliko zaščitene pred UV-žarki. Spore lahko dosežejo velikost tudi do 1 mm v premeru,⁽²⁰⁾ zato se večina energije UV-fotonov razprši po zgornjih plasteh ovojnice in ne prodre do notranjih plasti. Vdorna globina UV-fotonov je tako omejena le na 1 μm , kar pomeni, da UV-žarki povzročajo fotokemične reakcije le v zgornjih plasteh, zato so bolj učinkoviti pri bakterijah kot pri sporah.⁽²¹⁾ Najučinkovitejši so UV-žarki z valovno dolžino v območju med 220 nm in 280 nm.^(12,15)

2.4 Vpliv kisikovih atomov

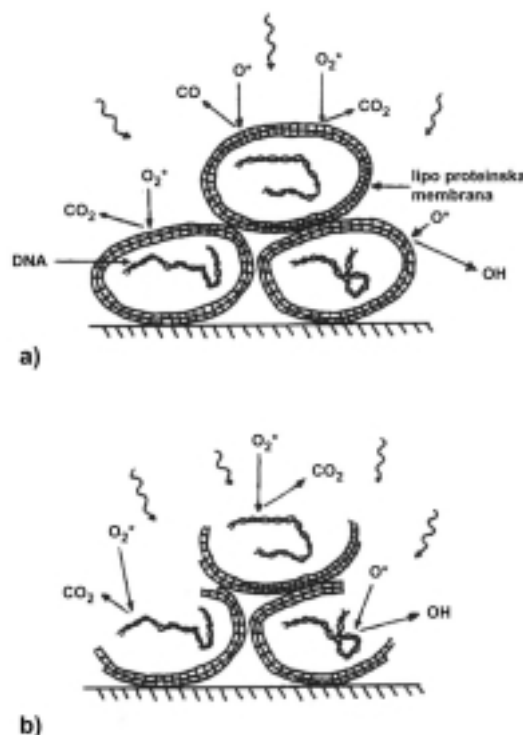
Pri sporah je zelo pomemben proces jedkanja, ki mora iti skozi več plasti plašča, opno in notranjo celično steno. Pri tem glavno vlogo igrajo kisikovi atomi, ki povzročajo erozijo mikrobnega materiala. Kisikovi atomi se adsorbirajo na površini mikro-

organizmov in reagirajo z atomi na njej, pri čemer nastajajo lahko hlapne molekule, ki se desorbirajo in odčrpajo iz sistema. Ta proces erozije površine materiala v plazmi je bolj znan kot jedkanje. V preprostem modelu si lahko mikroorganizme predstavljamo kot makromolekule, narejene iz ogljika, vodika, kisika in dušika. Pri reakciji teh elementov s kisikovimi atomi iz plazme tako nastajajo hlapne molekule, kot na primer CO, CO₂, OH, H₂O, ki zlahka zapustijo površino. UV-fotoni pa pri tem še dodatno pomagajo s cepitvijo vezi v molekulah. Proces plazemske sterilizacije je shematično prikazan na sliki 5.

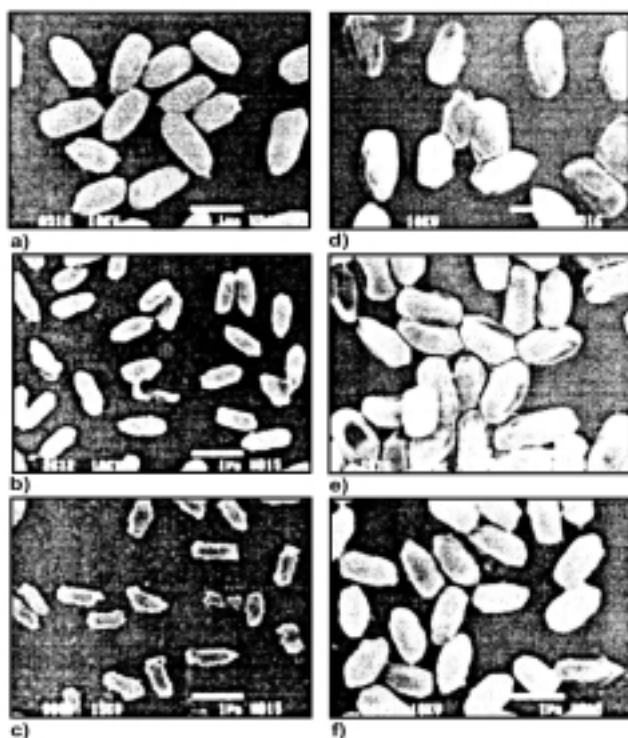
Dokaz, da v plazmi dejansko pride do jedkanja mikroorganizmov, so dali SEM-posnetki spor po različnih sterilizacijskih postopkih. Kot je razvidno s slike 6, pride pri sporah, ki so bile sterilizirane v kisikovi plazmi, do občutnega zmanjšanja njihove velikosti (slike b in c), medtem ko to pri sporah, ki so bile sterilizirane z navadnimi postopki, zmanjšanje ni opazno (slike d, e, f).

2.5 Kratek pregled stanja

Prvo poročilo o plazmi kot sterilizacijskem mediju je objavil Menashi⁽²³⁾ v svojem patentu že leta 1968. Uporabil je argonovo RF-plazmo pri normalnem zračnem tlaku, kjer je sterilizacijski učinek dosegel že v manj kot 1 s. Vendar pa je mislil, da je do sterilizacije prišlo zaradi intenzivnega gretja spor.



Slika 5: Prikaz poteka plazemske sterilizacije v kisikovi plazmi. Kisikovi atomi in UV-žarki morajo najprej razbiti ovojnico bakterije (a), da lahko prodrejo v njeno jedro in uničijo DNA (b).



Slika 6: SEM-posnetek spor *B. subtilis*: (a) neobdelane spore, (b) spore po 15-minutni sterilizaciji v čisti kisikovi plazmi, (c) spore po 15-minutni sterilizaciji v plazmi O_2/CF_4 , (d) spore po sterilizaciji v Sterradu 100S®, (e) spore, sterilizirane v avtoklavu (20 min, 121 °C) in (f) spore, sterilizirane v čistem EtO (Lerouge in drugi, 2000)

Večina prvih eksperimentov je bila narejena z žlahtnimi plini, vendar pa so kmalu ugotovili, da je hitrost sterilizacije v drugih plinih večja. Boucher-Gur je že leta 1980 v svojem patentu predložil, da glavno vlogo igrajo UV-fotoni, vendar je kasneje to zavrnil zaradi njihove premajhne vdorne globine.⁽²¹⁾ Sedanje raziskave kažejo, da lahko tako UV-žarki kot samo radikali sterilizirajo. Khomich je pokazal, da nabiti delci (ioni in elektroni) ne igrajo vloge pri sterilizaciji.^(10,1) Soloshenko je opazil, da sterilizacijski čas ni odvisen od tlaka, temveč samo od moči plazme in pada z naraščajočo močjo.⁽²⁴⁾

Plazemska sterilizacija sedaj še poteka le v laboratorijih, kjer so že razvili prve primere sterilizatorjev. Kot zelo uspešen se je izkazal plazemski sterilizacijski reaktor OAUGDP (ang. *One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma*), na Univerzi v Tennesseeju (ZDA), ki ima veliko možnosti, da se bo kmalu pojavil tudi na trgu. Gre za reaktor, kjer ustvarijo RF-plazmo med dvema ploščatima elektrodama v zraku pri atmosferskem tlaku, zato ima ta sistem prednost, ker ne potrebuje posebnega vakuumskega sistema. V reaktorju ustvarijo prisilno konvekcijo (kroženje zraka), zato da aktivni delci iz plazme dosežejo vse dele posode, kjer se nahajajo predmeti, ki niso direktno izpostavljeni plazmi. Sistem je izredno

preprost in poceni. Ta reaktor je bil že uspešno preskušen z različnimi vrstami bakterij na različnih predmetih (tabela 1).^(11,26)

Druga skupina, ki se ukvarja s plazemsko sterilizacijo, pa prihaja z Univerze v Montrealu, Kanada.^(15,27) Ti uporabljajo N_2-O_2 -plazmo, za katero so ugotovili, da mora biti delež kisika manjši od 2 %. Takrat nastane najmočnejše UV-sevanje v območju 250 nm – 320 nm (zaradi vzbujenih molekul NO^* , ki nastajajo v plazmi) in vodi do neposrednega razkroja DNA, zato je hitrost sterilizacije takrat največja. Naj še omenimo, da nastane maksimalna koncentracija kisikovih atomov šele pri 12-odstotnem deležu O_2 v mešanici, vendar so ugotovili, da je čas, potreben za sterilizacijo pri teh pogojih, daljši. Iz tega so ugotovili, da igrajo odločilno vlogo UV-fotoni.

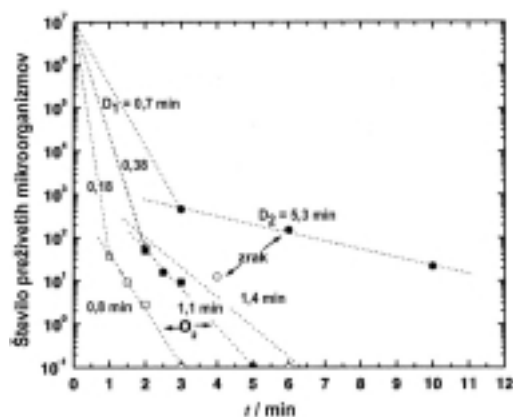
2.6 Krivulja preživetja

Učinkovitost sterilizacije nam opisuje krivulja preživetja (ang. *survival curve*), ki prikazuje logaritem števila preživelih bakterij kot funkcijo časa izpostave. Naklon krivulje je določen s časom D , ki je potreben, da se populacija mikroorganizmov zmanjša za faktor 10 (90 %).⁽¹⁾ Od začetne koncentracije N_0 je število preživelih bakterij po času t določeno z⁽⁷⁾:

$$\log\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\frac{t}{D}$$

Vedno obstaja verjetnost, da mikroorganizem preživi, ne glede na to, kako "močna" je sterilizacija. Po evropskem standardu EN 556 mora biti S. A. L. (ang. *Sterilization Assurance Level*) pod -6 , kar pomeni, da od 10^6 steriliziranih bakterij preživi največ ena.

Na sliki 7 je prikazano, kako je število preživetih spor odvisno od pogojev sterilizacije. Ta se nekoliko razlikuje od krivulje, ki jo dobimo pri navadnih



Slika 7: Število preživetih spor *B. Subtilis* (po sterilizaciji v kisikovi plazmi), ki so bile izpostavljene prvič samo UV-sevanju (prazni simboli) in drugič samo nevtralnim aktivnim delcem (polni simboli).⁽²⁴⁾

Tabela 1: Rezultati plazemske sterilizacije različnih bakterij na različnih predmetih v plazemskem reaktorju OAUGDP.⁽²⁶⁾

Vrsta mikroorganizmov (koncentracija)	Površina	Čas izpostave	Faktor zmanjšanja št. mikroorganizmov	vrednost D
Bakterija				
<i>E. Coli</i> (7×10^6)	polipropilen	30 s	$\geq 10^5$	$D_1 = 6 \text{ s}, D_2 = 2 \text{ s}$
<i>E. Coli</i> (1×10^6)	steklo	70 s	$\geq 10^5$	$D_1 = 33 \text{ s}, D_2 = 10 \text{ s}$
<i>E. Coli</i> (8×10^7)	agar	5 min	$\geq 10^6$	$D_1 = 70 \text{ s}, D_2 = 17 \text{ s}$
<i>S. Aureus</i> (1×10^7)	polipropilen	60 s	$\geq 10^6$	$D_1 = 7 \text{ s}, D_2 = 2 \text{ s}$
<i>S. Aureus</i> (1×10^6)	papirnat filter	30 s	$\geq 10^5$	/
<i>P. Aeruginosa</i> (2×10^7)	polipropilen	30 s	$\geq 10^6$	/
Endospora				
<i>B. Pumilus Spores</i> (1×10^6)	papirnat trak	3 min	$\geq 10^5$	$D_1 = 1,8 \text{ min}, D_2 = 12 \text{ s}$
<i>B. Niger Spores</i> (1×10^6)	papirnat trak	5,5 min	$\geq 10^5$	$D_1 = 5,5 \text{ min}, D_2 = 12 \text{ s}$
Gljiva				
<i>S. Cerevisiae</i> ($1,5 \times 10^6$)	steklo	5 min	$\geq 10^5$	$D_1 = 3 \text{ min}, D_2 = 30 \text{ s}$
<i>C. Albicans</i> ($1,5 \times 10^6$)	steklo	3,5 min	$\geq 10^5$	$D_1 = 2,1 \text{ min}, D_2 = 30 \text{ s}$
Virus				
<i>Bacteriophage Phi X 174</i> ($2,5 \times 10^7$)	steklo	15 min	$\geq 10^6$	$D_1 = 6,8 \text{ min}, D_2 = 1,2 \text{ min}$

sterilizacijskih postopkih.⁽²⁶⁾ Pri zadnjih postopkih dobimo ravno črto, ki kaže na enakomerno ubijanje bakterij s časom, medtem ko pri plazemski sterilizaciji dobimo črto, ki je sestavljena iz dveh (slika 7) ali celo treh segmentov, kar kaže na to, da poteka v plazmi več različnih procesov, ki potekajo različno hitro. Začetek je hiter (majhen D) – predvidevajo, da takrat verjetno pride do uničenja vrhnjega sloja bakterij zaradi UV-sevanja, temu pa sledi počasen proces (velik D), ko pride do erozije zgornjih mrtvih bakterij, ki prekrivajo žive.^(1,17)

Plazemska sterilizacija poteka v primerjavi s klasičnimi metodami dokaj hitro. Čas, potreben za sterilizacijo, je odvisen od tega, kakšno plazmo uporabimo, od oblike predmetov in od tega, ali so predmeti zapakirani. Značilni časi trajajo od nekaj sekund do nekaj minut. V tabeli 1 so zbrani podatki o časih, potrebnih za sterilizacijo različnih predmetov, ki so bili kontaminirani z različnimi bakterijami.

Pri plazemskih sterilizatorjih moramo paziti, da so aktivni delci enakomerno razporejeni po sterilizatorju, zato da lahko neovirano dosežejo predmet, ki ga steriliziramo.

3 SKLEPI

Plazemska sterilizacija je nova metoda, ki je namenjena za sterilizacijo raznih predmetov, ki ne prenesejo visoke temperature. Sedaj poteka še na eksperimentalnem nivoju, se pa v prihodnosti obetajo ogromne možnosti njene uporabe v medicini in prehrabni industriji. Verjetno lahko že kmalu pričakujemo pojav prvih sterilizatorjev na trgu.

Prednost plazme pred navadnimi postopki je poleg že omenjene nizke temperature še ekološka neoporečnost. Postopek je človeku neškodljiv in cenejši.

Prednost pa je tudi v tem, da plazma ne samo ubije bakterije, ampak tudi odstrani mrtve bakterije iz predmetov, ki jih steriliziramo. Čas, potreben za sterilizacijo, je odvisen od tega, kakšno plazmo uporabimo in od oblike predmetov. Tipični časi trajajo od nekaj sekund do nekaj minut, kar je bistveno manj kot pri Sterradu® in Plazlytu®, kjer traja postopek najmanj eno uro.

Sterilizacija v plazmi poteka pod vplivom treh mehanizmov:

- 1) Uničenje genetskega materiala mikroorganizmov zaradi UV-žarkov
- 2) Erozijska mikroorganizmov zaradi fotodesorpcije. UV-fotoni razbijajo kemične vezi v materialu mikroorganizma, kar privede do tvorjenja in desorpcije hlapnih komponent (CO , CH_x).
- 3) Erozijska mikroorganizmov zaradi jedkanja, ki je posledica adsorpcije aktivnih delcev iz plazme (atomi, radikali, vzbujeni delci) na mikroorganizmu, kar privede do kemične reakcije in prav tako do tvorbe lahko hlapnih molekul. Tako pride do razgradnje mikroorganizma.

4 LITERATURA

- ¹M. Moisan, J. Barbeau, S. Moreau, J. Pelletier, M. Tabrizian, L'H. Yahia, *Int. J. Pharm.* **226** (2001), 1-21
- ²M. Mozetič, P. Panjan, *Vakuumist.* **20** (2000), 1, 9-11
- ³M. Mozetič, T. Mozetič, P. Panjan, *Vakuumist.* **21** (2001), 3, 11-13
- ⁴T. T. Chau, K. C. Kao, G. Blank, F. Madrid, *Biomaterials.* **17** (1996), 1273-1277
- ⁵S. Cariou-Travers, J. C. Darbord, *Vide-Sci. Tech. Applic.* **56** (2001), 34-46
- ⁶M. C. Krebs, P. Becasse, D. Verjat, J. C. Darbord, *Int. J. Pharm.* **160** (1998), 75-81
- ⁷S. Cariou, J. C. Darbord, *Proc. 12th Int. Colloquium on Plasma Processes (CIP)*. Antibes, Francija, (1999), 185-188
- ⁸P. Jacobs, R. Kowatsch, *Endosc. Surg.*, **1** (1993), 57-58

- ⁹S. Crow, J. H. Smith, *Infect. Cont. Hosp. Epidemiol.*, **16** (1995), 483-487
- ¹⁰V. A. Khomich, I. A. Soloshenko, V. V. Tsiolko, I. L. Mikhno, *Proc. Conf. on Contr. Fusion and Plasma Physics.*, Praha, **22** (1998), 2745-2748
- ¹¹R. B. Gadri, J. Reece Roth, T. C. Montie, K. Kelly-Wintenberg, P. Tsai, D. J. Helfritsch, P. Feldman, D. M. Sherman, F. Karakaya, Z. Chen, *Surf. Coat. Technol.* **131** (2000), 528-542
- ¹²M. Laroussi, F. Leipold, *14th Int. Colloquium on Plasma Processes (CIP)*. Antibes, Francija, (2003), 107-113
- ¹³S. Moreau, M. Moisan, M. Tabrizian, J. Barbeau, J. Pelletier, A. Ricard, L'H. Yahia, *J. Appl. Phys.* **88** (2000), 2, 1166-1174
- ¹⁴R. M. Boucher Gut, *Med. Device Diagnost. Indust.* **7** (1985), 51-56
- ¹⁵M. Moisan, J. Barbeau, J. Pelletier, N. Philip, B. Saoudi, *13th Int. Colloquium on Plasma Processes (CIP)*. Antibes, France, (2001), 12-18
- ¹⁶www.epa.gov., 15.9.2003
- ¹⁷M. Moisan, B. Saoudi, E. Fafard, M.-C. Crevier, N. Philip, J. Pelletier, J. Barbeau, *14th Int. Colloquium on Plasma Processes (CIP)*. Antibes, Francija, (2003), 27-31
- ¹⁸I. A. Soloshenko, V. V. Tsiolko, V. A. Khomich, A. I. Shchedrin, A. V. Ryabtsev, V. Y. Bazhenov, I. L. Mikhno, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **30** (2002), 4, 1440-1444
- ¹⁹I. A. Soloshenko, V. V. Tsiolko, V. A. Khomich, A. I. Shchedrin, A. V. Ryabtsev, V. Y. Bazhenov, I. L. Mikhno, *Plasma Phys. Rep.*, **26** (2000), 9, 792-800
- ²⁰www.microbeworld.org, 15.9.2003
- ²¹R. M. Boucher Gut, *US Patent*. No. 4.207.286, 1980
- ²²S. Lerouge, M. R. Wertheimer, R. Marchand, M. Tabrizian, L. H. Yahia, *J. Biomed. Mater. Res.*, **51** (2000), 1, 128-135
- ²³W. P. Menashi, *US Patent*, No. 3.383.163, 1968
- ²⁴I. A. Soloshenko, V. A. Khomich, V. V. Tsiolko, I. L. Mikhno, A. I. Shchedrin, A. V. Ryabtsev, *Proc. 14th Int. Symp. on Plasma Chem.*, Praga, (1999)
- ²⁵J. R. Roth, *US Patent*, No. 5.414.324, 1995
- ²⁶K. Kelly-Wintenberg, A. Hodge, T. C. Montie, L. Deleanu, D. Sherman, J. Reece Roth, P. Tsai, L. Wadsworth, *J. Vac. Sci. Technol. A* **17** (1999), 4, 1539-1544
- ²⁷N. Philip, B. Saoudi, J. Barbeau, M. Moisan, J. Pelletier, *13th Int. Colloquium on Plasma Processes (CIP)*. Antibes, France, (2001), 245-247



MEDICINSKA OPREMA

Smo relativno mlado podjetje, vendar imajo naši strokovnjaki dolgoletne izkušnje v razvoju in izdelavi vakuumskih sistemov in komponent za uporabo v medicini. Naše znanje nam omogoča stalno izboljševanje zasnove in tehnologije izdelave naših proizvodov. Vacutech, d.o.o. je član Tehnološkega parka Ljubljana, kar nam omogoča večjo prilagodljivost zahtevam tržišča in še povečuje razvojno-raziskovalne možnosti podjetja. Naš proizvodni program obsega izdelavo:

- vakuumskih aspiratorjev,
- inhalatorjev,
- odvzemnikov materinega mleka.



Naše naprave so namenjene uporabi v bolnišnicah in zdravstvenih domovih, kot tudi pri domači negi. Njihova zasnova zagotavlja preprosto uporabo in upošteva mednarodne standarde ter zahteve medicinske in vakuumске tehnike.

VAKUUMSKA TEHNIKA

Vacutech je eno izmed redkih, če ne celo edino slovensko podjetje, ki se ukvarja z razvojem in serijsko proizvodnjo visokovakuumskih sistemov in komponent. Zaradi malega števila podjetij v Sloveniji, ki uporabljajo vakuumsko tehniko, je naša orientacija predvsem tuje tržišče. Ker smo relativno mlado podjetje, naš program trenutno obsega razvoj in proizvodnjo:

- oljnodifuzijskih črpalk,
- vakuumskih veznih elementov,
- vakuumskih komor,
- kotnih ventilov in stikal.



Pripravljamo pa že proizvodnjo vakuumskih ploščnih ventilov. Naši proizvodi so narejeni v skladu z ultra- in visokovakuumskimi zahtevami ter mednarodnimi vakuumskimi standardi in predpisi. Konstantno izboljševanje zasnove in tehnologije izdelave naše izdelke uvršča ob bok izdelkom ostalih svetovnih proizvajalcev vakuumskih komponent.

KJE SMO

Vacutech d.o.o.,
Teslova 30,
1000 Ljubljana

tel.: 01/477 66 55
fax: 01/477 66 70
url: www.vacutech.si
e-pošta: info@vacutech.si

SMO ČLANI

Vacutech je član
Tehnološkega parka
Ljubljana

