

Studii privind analiza, caracterizarea și modelarea sistemelor de curățare a aerului cu film de apă, pentru dispozitivul multifuncțional μC^3

Ing. ALECU George-Cristian¹

Conducător științific: Conf. univ. dr. ing. Elena LACĂTUȘ

REZUMAT Sistemele existente de curățare a aerului în camerele curate sunt, în cele mai multe cazuri, staționare. Pentru dezvoltarea unei metode adiționale de curățare a aerului cu ajutorul unui dispozitiv multifuncțional, trebuie analizată fezabilitatea și caracteristicile sistemului de curățare cu film de apă propus. Modelarea acestui sistem oferă date despre parametrii importanți în designul lui dar și o vizualizare tridimensională a posibilei forme tehnologice de aplicare în practică.

CUVINTE CHEIE: film apă, TiO₂, cameră curată

1 INTRODUCERE

Lucrarea de față își propune să analizeze și să caracterizeze sistemul de curățare adițional, pentru camerele curate, cu film de apă, din punctul de vedere al eficienței utilizării lui în astfel de medii cât și stabilirea parametrilor funcționali care îi influențează designul elementelor active. Pentru a dezvolta un produs competitiv care să suplinească nevoia de curățare a camerelor curate de izolare și de producție, după o perioadă de folosință, s-a creat un concept bazat pe platforma „Roomba vacuum cleaning robot” [6]. Sistemele de curățare existente pe aceasta platformă sunt adecvate unei activități de curățare casnice. Mediul special din camerele curate influențează și cere modificarea sistemelor de curățare ce vor fi încorporate în dispozitivul multifuncțional μC^3 .

Metodele de studiu folosite în această lucrare sunt: observarea sistemelor existente, analizarea lor funcțională, stabilirea interfețelor implicate în proces, modelarea și adaptarea procesului existent la cerințele și condițiile puse de noul mediu și analiza sistemului nou creat.

2 STADIUL ACTUAL

În prezent, cea mai bună metodă de captare a particulelor aflate în mișcare în curenții de aer dintr-o cameră curată este trecerea forțată a curenților de aer prin filtre HEPA (high efficiency particulate air filter) (fig. 3). Această metodă activă de filtrare necesită mișcarea aerului într-un mod controlat dar nu poate asigura îndepărtarea particulelor din zonele de umbră. – (fig. 1 , 2)

¹ Specializarea Ingineria Nanostructurilor și Proceselor Neconvenționale, Facultatea IMST;
Email: george.a.cristi@gmail.com

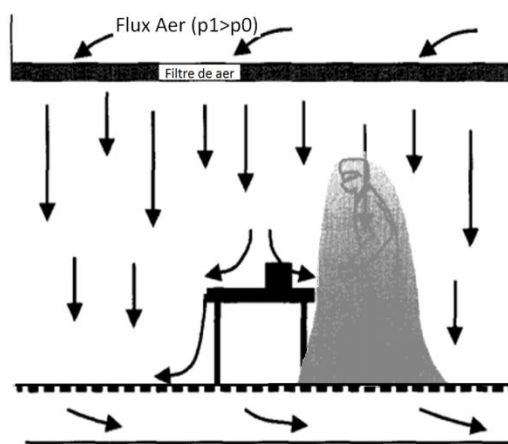


Fig. 1. Zona de dispersie a particulelor în camera cu curgere unidirecțională verticală [1]

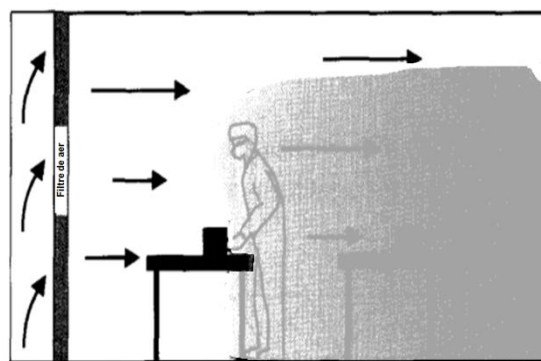


Fig. 2. Zona de dispersie a particulelor în camera cu curgere unidirecțională orizontală [1]



Fig. 3. Filtru HEPA folosit în camere curate [2]

3 ANALIZA FUNCȚIONALĂ A PROCESULUI ȘI A SISTEMELOR EXISTENTE

3.1 Camera curată

Camera curată din cadrul CETAL - INFLPR este o cameră de izolare, clasa ISO 8 conform standardului ISO 14644-1. Numărul și mărimea particulelor admise în această cameră este prezentat în tabelul 1.

Tabelul 1 [1]

Concentrația limită de particule

ISO Classification number	Concentrația maximă de particule/m ³ mai mari sau egale cu limita arătată mai jos					
	≥0.1μm	≥0.2μm	≥0.3μm	≥0.5μm	≥1μm	≥5.0μm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1 000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO Class 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO Class 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO Class 7				352 000	83 200	2 930
ISO Class 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO Class 9				35 200 000	8 320 000	293 000

Parametrii funcționali ai camerei curate sunt prezentați în tabelul 2

Tabelul 2

Parametrii funcționali ai camerei curate

Parametru	Valoare
Tipul curgerii	Turbulent vertical
Construcție	Beton armat cu podea sigilată
Program de lucru	Minim (1-2 ore pe zi)
Temperatura	Constantă 21 °C ± 1°C
Tipul filtrare	HEPA 12/13
Presiune	Presiune atmosferică+50 Pa
Viteza medie a aerului	0.5m/s

În această cameră curată este instalat un sistem LASER de mare putere (fig.4), 1PW, scopul camerei curate fiind de a izola acest echipament de contaminanți externi. În timpul operațiunilor de întreținere, reglare și aliniere a acestui sistem există riscul de contaminare a elementelor optice cu particule, care la pornirea sistemului pot cauza defecte.



Fig. 4. 1-PW CETAL Laser Layout [3]

3.2 Surse de contaminare

Într-o camera curată există mai multe surse de contaminare, ce trebuie urmărite și controlate, cum ar fi [1]:

1. zone murdare adiacente camerei curate
2. surse de aer nefiltrate
3. aerul din camera
4. suprafețe
5. oameni / operatori
6. mașini care funcționează
7. material
8. containere
9. ambalaje.

În comparație cu celelalte surse de particule și contaminanți, operatorul dintr-o camera curată este singurul care poate introduce particule suplimentare chiar și după o curățarea prealabilă. Îmbrăcămintea operatorului, mănușile și masca sunt suprafețe contaminate fie de oamenii care le poartă, fie de alte suprafețe contaminate din camera curată. Personalul din camera curată poate dispersa contaminanți de pe piele, îmbrăcăminte și din gură. Această contaminare poate fi transferată produsului prin aer ori prin contact cu mâinile sau îmbrăcămintea.

În camerele curate activitățile operatorului trebuie să urmeze un set de reguli stricte, în legătură cu comportamentul și viteza de mișcare. În timp ce stă, un operator uman poate genera până la 100 000 particule pe minut, iar în timpul mișcării normale se pot genera 1000000 particule pe minut. Un operator care merge poate dispersa și 5000000 particule pe minut.

3.3 Curgerea aerului în camera curată

Principiile de ventilație ale camerelor curate ventilate turbulent sunt similare celor găsite în cele mai multe camere cu aer condiționat. Aerul este furnizat, de către o instalație de condiționare și curățare a aerului, prin difuzoare aflate în tavan. (Fig. 5,6).

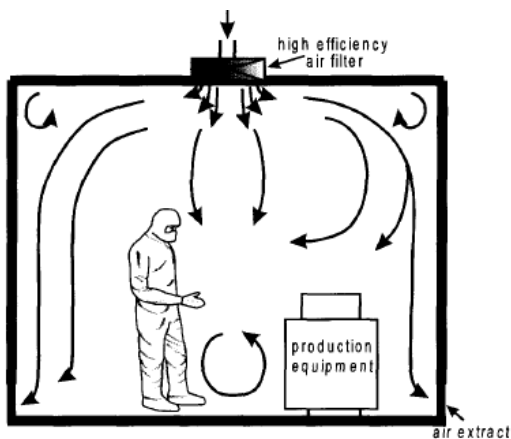


Fig.5. Camera curată cu curgere a aerului turbulentă [1]

O cameră normală cu aer condiționat, va fi alimentată cu aer suficient pentru a realiza condiții de confort; acest lucru poate fi în regiunea 2 - 10 schimburi de aer pe ora. Cu toate acestea, o cameră curate cu curenți de aer turbulenți este probabil să aibă între 10 și 100 de schimburi de aer pe oră. Acest aer suplimentar este necesar pentru a dilua contaminarea dispersată în cameră și să o reducă la o concentrație specificată în standardul camerei. Camerele curate necesită cantități mari de aer, aer ce este condiționat și filtrate la un standard foarte ridicat. Pentru a asigura un design economic, este esențial ca aerul camerei curate să fie recirculat prin instalația de condiționat a aerului. Cu toate acestea, este de asemenea necesar să se prevadă aer exterior, proaspăt, pentru sănătatea personalului care lucrează în camera curată și pentru presurizarea camerei împotriva contaminării exterioare. În mod normal, între 2% și 10% din alimentarea cu aer totală este de aer proaspăt;

Curgerea aerului în interiorul camerei curate este afectată de către prezența operatorului. Trebuie să existe o corelație între viteza de curgere a aerului (atât la camere cu curgere turbulentă cât și la cele cu curgere laminară) și viteza mișcării operatorului prin cameră.

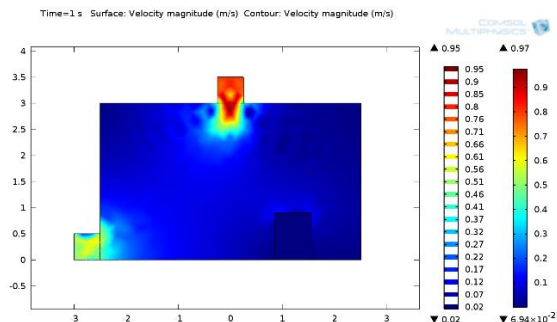


Fig.6. Vitezele de curgere turbulență a aerului într-o camera curată fără operator.

Sunt posibile mai multe metode de izolare al operatorului, în interiorul camerei curate, față de zona în care se află produsul. O metoda mai agresiva este utilizarea de zone închise, cu locuri prevăzute special prin care operatorul poate să interacționeze cu produsul fără riscul de contaminare cum ar fi mănuși și costume speciale (în genul costumelor de astronaut). Accesul materialelor în camera de lucru se face prin ecluze și sasuri speciale pentru a păstra nivelul de curățenie a camerei.

3.4 Sistemele existente de colectare cu apă a particulelor

Unul din sistemele cunoscute de colectare a particulelor cu apă este aspiratorul cu apă (fig. 7). Acesta funcționează prin antrenarea aerului ce conține particule într-o incintă cu apă unde se realizează atât captarea particulelor cât și separarea elementelor.

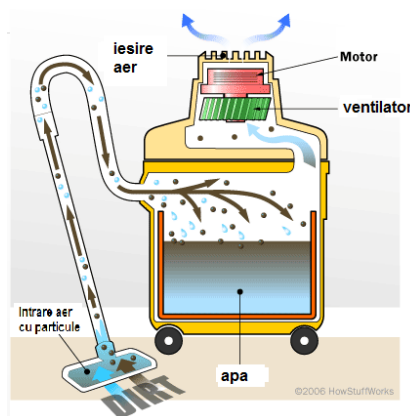


Fig.7. Schema de funcționare a unui aspirator casnic cu apă [4]

În camerele curate, datorită restricțiilor de curgere a aerului (viteză și presiune) nu se poate folosi un sistem care antrenează aerul foarte mult, de aceea se propune colectarea particulelor într-un film de apă ce circula pe o suprafață. Interfața aer cu particule/apa se realizează la suprafața de captare. (fig. 8)

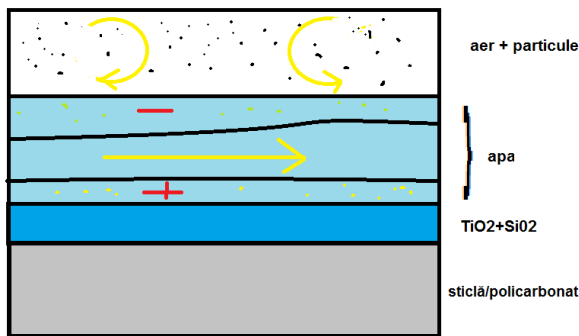


Fig. 8. Interfața apa aer la sistemul analizat

Separarea apă/ particule, în sistemele convenționale se realizează în mod mecanic, prin acțiunea curenților turbionari în interiorul dispozitivului. (fig.9) In sistemul analizat, datorita restricțiilor de spațiu, separarea apă/ particule se va realiza prin ajutorul unor sisteme de filtrare pentru particulele care nu au masa suficientă să fie reținute în rezervor atunci când apa este antrenată de pompe. Sistemul de filtrare cu osmoză inversă este îndeajuns de eficient pentru a asigura reținerea celor mai mici particule ce pot fi captate.

Datorită faptului că sistemul nu funcționează prin antrenarea aerului poziționarea suprafeței de captare este deosebit de importantă. Poziționarea cea mai bună pentru sistemul de curățare cu film de apă este general orizontală, sau înclinată pentru o mai buna curgere a apei pe suprafață. Mobilitatea sistemului este necesară deoarece, în prezența operatorului sau a echipamentelor, se creează zone cu curgere a aerului foarte minimă în care se pot aduna particule (fig. 1,2)

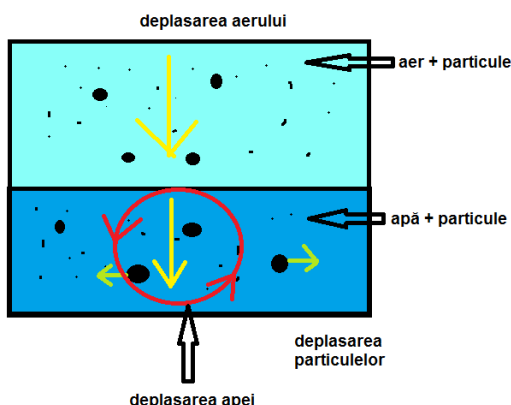


Fig.9. Interfața apa aer într-un sistem normal

4 MODELAREA PROCESULUI ȘI A SISTEMULUI TEHNOLOGIC DE CURĂȚARE A AERULUI CU FILM DE APĂ

4.1 Modelarea procesului de curățare

Curățarea particulelor de pe suprafață se bazează pe efectul superhidrofilic cauzat de acoperirea cu un strat de TiO₂ al unui substrat, sticlă sau poli-carbonat. Acest efect cauzează o autocurățire a suprafeței atunci când apa este introdusă pe suprafață.

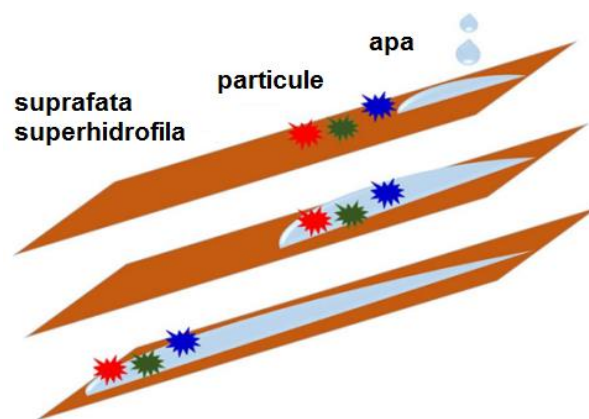


Fig.10. Procesul de curățare cu apă a unei suprafețe hidrofobe [5]

Folosind metode de modelare a proceselor s-a realizat schema funcțională a procesului de curățare. La intrarea în proces, particula ajunge pe suprafață unde este spălată spre rezervorul de stocare. Apa este recirculată de o pompă prin filtrele cu osmoză inversă. Filtrele rețin 99% din particulele aflate în domeniul dimensional de filtrare. (fig. 11)

4.2 Modelarea sistemului tehnologic

Modelarea tridimensională a sistemului de curățare cu film de apă al dispozitivului multifuncțional μC^3 este pasul verificator pentru a vedea dacă se poate integra în dispozitiv, ținând cont de restricțiile de design și formă.

SCHEMA PROCESULUI:

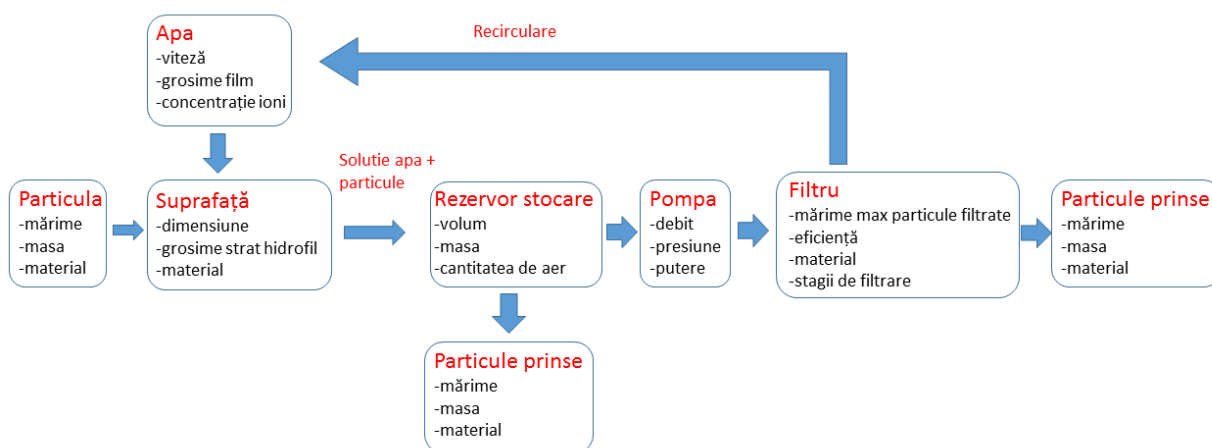


Fig.11. Modelarea etapelor procesului de curățare cu apă

Toate aceste componente, împreună cu cele auxiliare și cele pentru evacuarea aerului trebuie să încapă într-un spațiu cât mai compact pentru ca dispozitivul să își îndeplinească rolul funcțional. În camerele curate există, de obicei, o sumedenie de obiecte care pot crea “umbre” de curenți de aer, locuri în care dispozitivul trebuie să ajungă și să acționeze.



Fig 13. Dispozitivul multifuncțional μC^3 modelat 3D în Solidworks din exterior

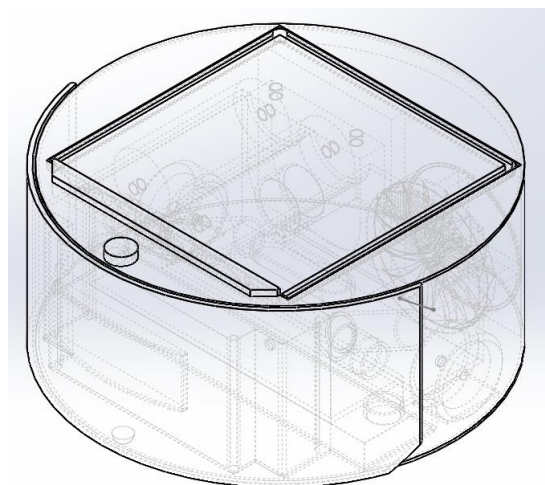


Fig 14. Dispozitivul multifuncțional μC^3 modelat 3D în Solidworks, transparent

4.3 Identificarea parametrilor funcționali

Parametrii procesului au fost identificați și sunt prezentați în tabelul 3.

Parametrii particulelor: într-o camera curată pot exista o multitudine de particule cu dimensiuni și materiale diferite. Sistemul propus poate capta particule foarte mici – de ordinul a 0,1 nanometri dar și particule mai mari. Metodele de captare variază în funcție de această mărime. Particulele mici sunt captate de către filtre cu osmoză inversă și filtrele fizice iar particulele mari și grele sunt reținute în rezervorul de apă. Materialul din care sunt alcătuite particulele nu afectează foarte mult capacitatea de captare a sistemului. Totuși, particulele metalice pot reprezenta o problema pentru sistemul de pompare dacă ajung în interior. Particulele organice în natură sunt oxidate și distruse, de stratul acoperitor al suprafeței de captare, în prezența luminii.

SCHEMA CIRCUITULUI DE APA IN SISTEM:

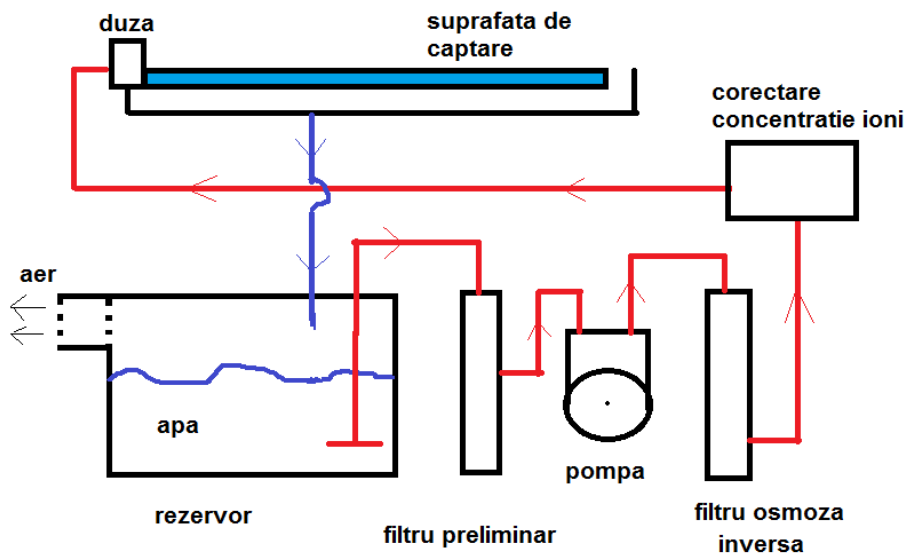
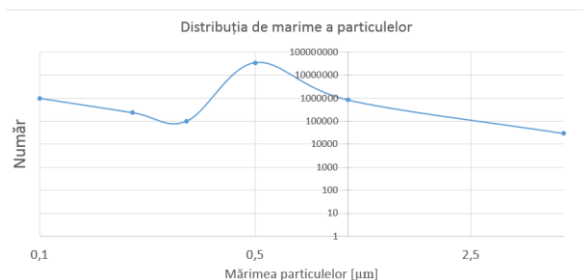


Fig. 12. Schema explicativă a conectivității sistemului

Grafic 1: distribuția de mărime a particulelor



Parametrii apei: viteza și debitul apei pe suprafața de colectare sunt doi parametri critici pentru buna funcționare a sistemului. De asemenea, sistemul poate fi configurat să funcționeze în cicluri de acumulare și spălare a particulelor, caz în care, viteza apei trebuie să fie corelată cu cantitatea de particule depusă pe suprafața de colectare. Volumul total de apă din sistem trebuie să asigure o perioadă satisfăcătoare de funcționare, luându-se în considerare factori ca vărsarea, evaporarea și degradarea proprietăților apei. Grosimea filmului de apă trebuie aleasă în conjuncție cu unghiul de udare oferit de substanța de acoperire a suprafeței de captare (în general 23 - 28 °) cât și cu mărimea medie a particulelor ce se previzionează a fi captate.

Gradul de ionizare al apei, este important la atragerea particulelor cu ajutorul forței electrostatice către suprafața de captare. Prezența de ioni în apă duce la crearea unei zone încărcate electric în filmul de apă (fig. 8), de aceea este necesar asigurarea

permanentă a concentrației corecte a ionilor din apă, după ieșirea acestora din filtrele cu osmoza inversă.

Parametrii filtrelor: Filtrele cu osmoză inversă inserate în sistem sunt calea principală de captare a particulelor mici și foarte mici ce pot exista în aerul din camera curată. De eficiența lor depinde eficiența întregului sistem. De asemenea, filtrele afectează dimensionarea pompei, deoarece este nevoie de o anumită presiune a apei ce trece prin ele pentru a asigura atât o filtrare bună cât și un debit bun la ieșire.

Parametrii suprafeței: dimensiunea suprafeței de captare afectează direct dimensiunile generale ale dispozitivului, fiind, pe lângă rezervor și baterii, cea mai voluminoasă piesă. Calitatea acestei suprafețe afectează capacitatea de a îndepărta particulele de pe ea. Rugozitatea (fig. 15), proprietățile chimice și fizice oferite de stratul de TiO₂ de pe această suprafață determină durabilitatea sistemului în timp cât și buna funcționare. În funcție de cum a fost prelucrat stratul de TiO₂, efectul pe care acesta îl are asupra filmului de apă variază. O prelucrare prin expunere la ultraviolete mai îndelungată rezultă într-o scădere a unghiului de umezire a suprafeței, fapt ce are un efect direct asupra grosimii filmului de apă ce curge peste stratul de TiO₂. (Fig. 16)

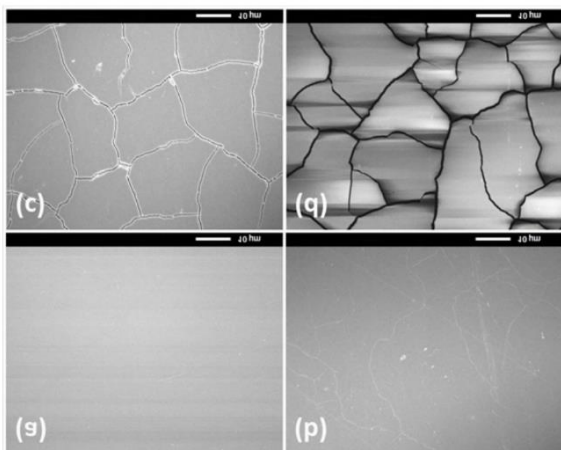


Fig. 15. Imagine SEM al stratului TiO₂ + SiO₂ în diferite concentrații [5]

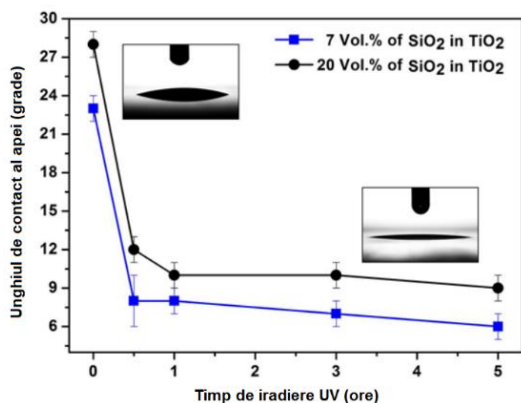


Fig. 16. Grafic unghi de umezire în funcție de timp de expunere la UV [5]

Poziționarea suprafeței de captare este deosebit de importantă. Probabilitatea ca un anumit număr de particule să ajungă în contact cu aceasta variază în funcție de localizarea ei.

Parametrii pompei: pompa de apă este locul prin care energia intră în sistem, puterea ei controlând viteza și eficiența sistemului în general. Pompa de apă trebuie să asigure o presiune suficientă astfel încât apa să poată să fie filtrată dar și un debit destul de mare astfel încât viteza apei pe suprafața de captare să fie satisfăcătoare.

Tabelul 3

Parametrii instalației de curățare cu film de apă

Parametru	Valoare
Diametru particulă	0.1 μm – 1mm
Masă particulă	0.1 μg-5g
Material particulă	Organic, plastic, metal,
Dimensiune suprafață	30cmX30cm
Grosime strat hidrofил	10nm-100nm
Rugozitate strat hidrofил	98-287 nm [5]
Material suprafață	Sticla, poli-carbonat
Volum rezervor stocare	0.5l-2l
Cantitatea de lichid	0.5l – 0,7l
Cantitatea de aer	Depinde de volum lichid
Tipul pompei de apa	Peristaltică
Debitul pompei de apa	2.8 -1200l/h
Limita dimensionala filtrare	0,1nm-5000nm – 1mm
Eficiența filtrare	99%
Număr filtre	2
Material filtrare	Fibra de sticlă, polimeri
Grosime film apă	1-2mm
Concentrație ioni	min 50%
Viteza apei	02-0.5m/s

5 REZULTATE

Un factor determinant în construirea unui astfel de sistem reprezintă cantitatea de apă folosită. Volumul apei determină volumul total al dispozitivului și timpul de funcționare în parametri optimi.

Dispozitivul multifuncțional μC³ trebuie să dețină un sistem electronic capabil să discrimineze eventualele obstacole aflate în calea lui astfel încât să le poată ocoli cu succes fără a afecta curgerea apei pe suprafața de captare. De asemenea dispozitivul trebuie să determine zonele cu cea mai mare probabilitate de existență a particulelor în aer și să se deplaseze spre ele. Eficiența generală a acestui sistem este dependentă de poziționarea dispozitivului și de schema de aranjare a obiectelor în camera curată.

Acest sistem este foarte sensibil la parametrii de curgere ai aerului din camera curată, iar pentru folosirea lui în diferite medii este necesară efectuarea unui studiu amănunțit, în prealabil, asupra caracteristicilor funcționale ale camerei, pentru determinarea zonelor de acțiune optime, cât și a timpilor de funcționare.

6 CONCLUZII

Sistemul de curățare a aerului cu film de apă poate fi folosit pentru captarea particulelor dintr-o camera curată.

Probleme puse de un astfel de sistem sunt diverse, de la acoperirea suprafeței cu materiale superhidrofile, la stabilirea și reglarea fină a debitului de apă, la dimensionarea optimă a suprafeței și a

filmului de apă, la stabilirea orientării și poziționarea suprafeței în spațiu pentru rezultatele dorite.

Parametrii funcționali ce influențează designul elementelor active sunt: parametrii curgerii aerului din camera în care va funcționa dispozitivul, calitatea filtrelor, dimensiunea și tipul particulelor ce se găsesc în camera curată, numărul total de particule, materialul acoperitor al suprafeței de colectare și proprietățile acestuia.

7 BIBLIOGRAFIE

[1] Clean room technology fundamentals of design, testing and operation **W. Whyte** 2001

[2]

<http://www.hepaairdirect.com/replacementhepafilterforiqairhyperhepatype1213.aspx> accesat la 10.05.2015

[3] CETAL PW Laser Facility, disponibil la: https://media.wix.com/ugd/293fcb_c3e2da33fcb24c4d89caf37972ce9105.pdf Accesat la data: 02.05.2015.

[4] <http://s.hswstatic.com/gif/vacuum-cleaner-wet.gif> accesat la 10.05.2015

[5] Transparent, Adherent, and Photocatalytic SiO₂-TiO₂ Coatings on Polycarbonate for Self-Cleaning Applications, **Sanjay S. Lathe și alții**, 2014

[6] IRobot company