

## THẢO LUẬN PHÒNG SẠCH

### Giới thiệu

Để đánh giá tổng quan về Cấp độ sạch của phòng, chúng ta phải đánh giá được: Nồng độ bụi sinh ra, lượng bụi được lọc bởi các filter và hiệu suất của dòng không khí mang bụi đi ra khỏi phòng sạch hoặc vùng sạch.

Nguồn bụi sinh ra bao gồm nguồn phát sinh bụi bên trong và sự xâm nhập bụi từ bên ngoài.

Lượng bụi lọc được bởi filter phụ thuộc vào cấp độ lọc\_thông thường được tính cho H13 đến U17 (EN 1822)\_ và số lần không khí tuần hoàn qua lọc.

Hiệu suất của dòng khí mang bụi ra ngoài là khả năng dòng không khí lấy bụi đi khi nó được sinh ra. Chính vì thế khi thiết kế phòng sạch điều chú ý quan trọng là dòng khí. Dòng khí đơn hướng "unidirectional flow", dòng không đơn hướng "nonunidirectional flow", dòng kết hợp "mixed flow", dòng cho khu vực cách ly. Dòng khí có thể được thiết kế đi thẳng từ trên xuống "vertical flow", dòng khí đi ngang "horizontal flow"...

Sau khi xem xét kỹ lưỡng các yếu tố, ta có thể thiết lập phương trình cân bằng bụi cho Phòng sạch. Cũng giống như các phương trình cân bằng khác (cân bằng nhiệt, cân bằng ẩm, cân bằng nồng độ CO<sub>2</sub> và các chất có hại cho sức khỏe con người trong điều hòa không khí) nhằm đưa ra trạng thái ổn định tối ưu để đạt được yêu cầu điều hòa như mong muốn.

Phương trình rất chi là đơn giản: " Lượng bụi sinh ra - Lượng bụi lọc được = Lượng bụi còn lại trong Phòng sạch". Nếu trong phương trình được tính là lượng bụi trên một đơn vị thời gian thì ta sẽ tính được khoảng thời gian từ khi bắt đầu đến khi đạt được nồng độ cân bằng. Một trong những bước đầu tiên của công việc thiết kế Phòng sạch là đánh giá được cấp độ sạch theo yêu cầu. Để đánh giá cấp độ sạch gồm yếu tố cơ bản sau: "

## TÍNH TOÁN ĐƠN GIẢN ĐỂ CHỌN LỌC CHO PHÒNG SẠCH

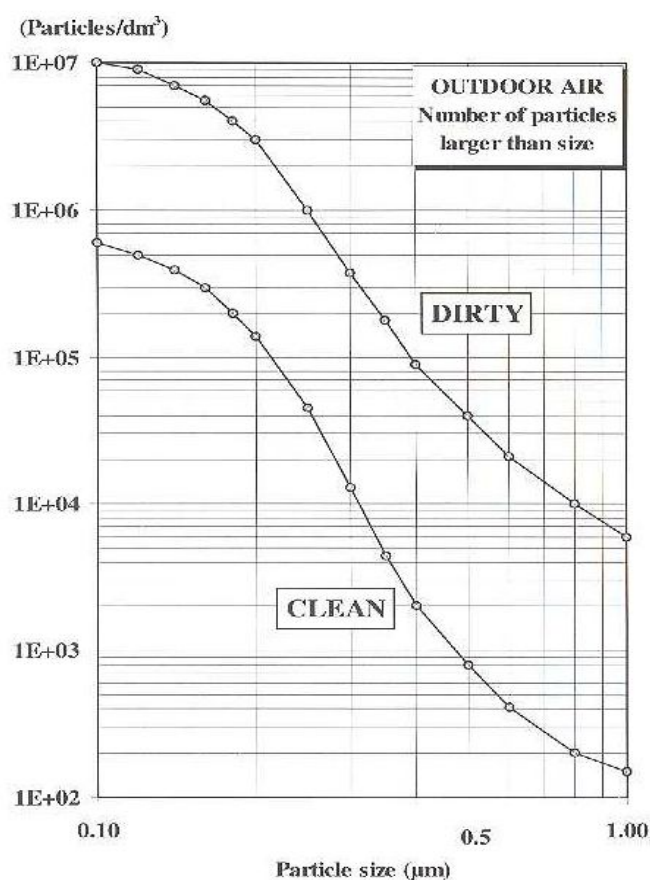
### NGUỒN BỤI

- Không khí bên ngoài:**

Hệ thống HVAC cho phòng sạch dựa vào điều kiện không khí bên ngoài. Cấp độ bụi của nó phụ thuộc vào từng địa điểm và thời gian.

Quy trình sản xuất việc nhập liệu cần chú ý nếu có mang theo bụi vào phòng.

Ví dụ không khí sạch có phân tử lớn hơn 0.1 micron là  $5 \times 10^8 / \text{m}^3$ , không khí bẩn có  $10^{10} / \text{m}^3$ .

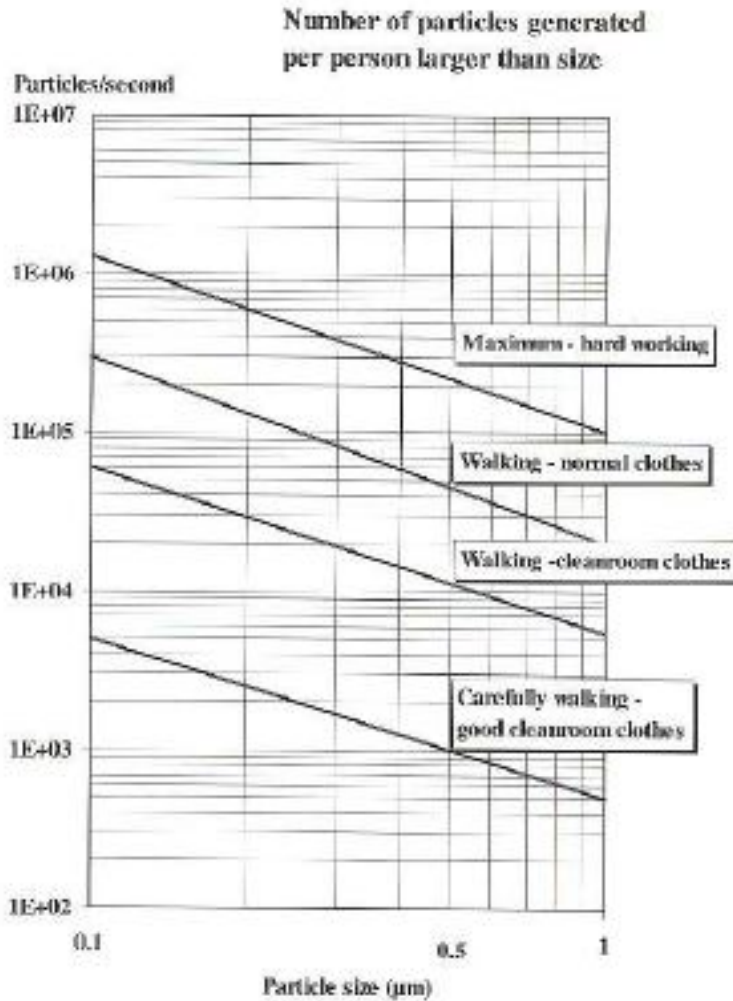


Size µm	Particles/m <sup>3</sup>	
	dirty area	clean area
0.1	$1 \times 10^{10}$	$5 \times 10^8$
0.3	$3 \times 10^8$	$2 \times 10^7$
0.5	$3 \times 10^7$	$1 \times 10^6$

### Nguồn Bụi Tạo Ra Bên Trong:

Khó khăn trong thiết kế là việc tính toán nguồn bụi tạo ra bên trong phòng. Bụi tạo ra bên trong phòng do người làm việc bên trong và quy trình sản xuất nên được xem xét kỹ lưỡng.

Qua việc dùng máy đếm bụi bằng tia laser, đối với người làm việc thì sinh ra khoảng  $10^6$  phân tử lớn hơn  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  trong một giây,  $4 \times 10^5$  pt  $0,3\text{ }\mu\text{m/s}$  và  $2 \times 10^5$  pt  $0,5\text{ }\mu\text{m/s}$ .



Size $\mu\text{m}$	Maximum generation	Walking with clean room clothes	Carefully walking with clean room clothes
0.1	$1 \times 10^6$	$5 \times 10^4$	$5 \times 10^3$
0.3	$4 \times 10^5$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^3$
0.5	$2 \times 10^5$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^3$

## CHỌN LỌC

### Tiêu chuẩn & Sơ đồ phòng sạch:

Cấp độ phòng sạch theo tiêu chuẩn hay áp dụng:

Ngoài các phân tử có kích thước 0.1 đến 5 µm, còn chú ý đến ultrafine particle (< 0.1 µm) và macroparticle (> 5µm).

ISO classification CD 14644-1 (1996)	Maximum permissible concentrations (particles/m <sup>3</sup> of air) of particles of a size greater than or equal to the size shown below					
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1 µm	5 µm
ISO 1	10	2	-	-	-	-
ISO 2	100	24	10	4	x	-
ISO 3	1,000	237	102	35	8	-
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83	-
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO 7	-	-	-	352,000	83,200	2,930
ISO 8	-	-	-	3,520,000	832,000	29,300
ISO 9	-	-	-	35,200,000	8,320,000	293,000

$C = 10N(0.1/D)^{2.08} \text{ part / m}^3$

$$C_n = 10^N (0.1/D)^{2.08} \\ (pt/m^3)$$

### US Fed. STD 209E

Class Name		Class Limits				
		0.1 µm Volume Units	0.2 µm Volume Units	0.3 µm Volume Units	0.5 µm Volume Units	5 µm Volume Units
S1	English	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
M 1	-	350	75.7	30.9	10.0	-
M 1.5	1	1,240	265	106	35.3	-
M 2	-	3,500	757	309	100	-
M 2.5	10	12,400	2,650	1,060	353	-
M 3	-	35,000	7,570	3,090	1,000	-
M 3.5	100	-	26,500	10,600	3,530	-
M 4	-	-	75,700	30,900	10,000	-
M 4.5	1000	-	-	-	35,300	247
M 5	-	-	-	-	100,000	618
M 5.5	10,000	-	-	-	353,000	2,470
M 6	-	-	-	-	1,000,000	6,180
M 6.5	100,000	-	-	-	3,530,000	24,700
M 7	-	-	-	-	10,000,000	61,800

$\text{particles / m}^3 = 10M(0.5/d)^2 \cdot 2$

$\text{particles / ft}^3 = Nc(0.5/d)^2 \cdot 2$

$$(pt/m^3) \\ = 10^M (0.5/d)^{2.2}$$

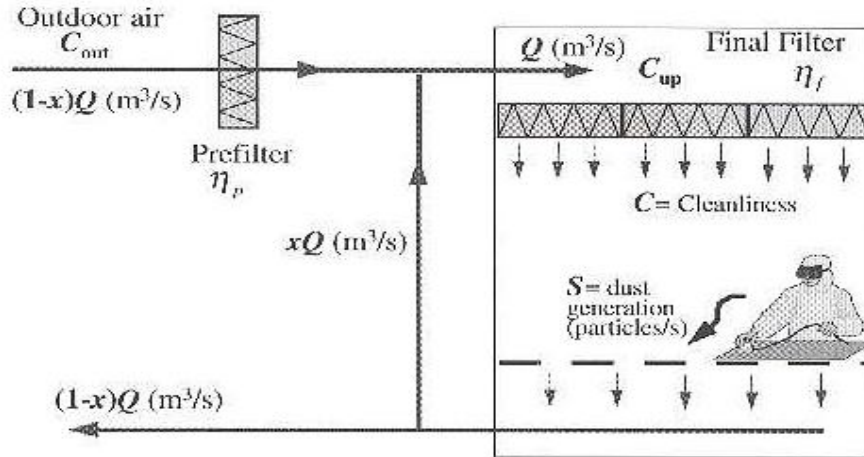
Đánh giá một phòng sạch:

Cấp độ sạch – trạng thái ứng dụng – kích thước phân tử

## Một số sơ đồ phòng sạch:

### • Dòng laminar:

Dòng laminar gọi đúng hơn là dòng



Nồng độ phân tử trước khi qua lọc HEPA: 
$$C_{up} = x \frac{S}{Q} + (1-x)(1-\eta_p)C_{out}$$

Nồng độ phân tử khi qua lọc HEPA: 
$$C = \left[ x \frac{S}{Q} + (1-x)(1-\eta_p)C_{out} \right] (1-\eta_f)$$

### **Trường hợp không tuần hoàn: ( $x = 0$ )**

Nồng độ phân tử trước khi qua lọc HEPA: 
$$C_{up} = (1-\eta_p)C_{out}$$

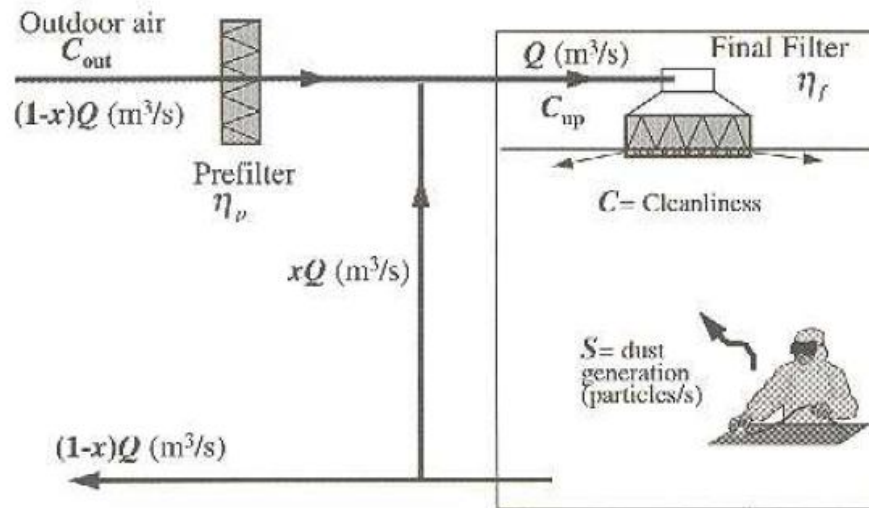
Nồng độ phân tử khi qua lọc HEPA: 
$$C = (1-\eta_p)C_{out}(1-\eta_f)$$

### **Trường hợp tuần hoàn 100% ( $x=1$ )**

Nồng độ phân tử trước khi qua lọc HEPA: 
$$C_{up} = S/Q$$

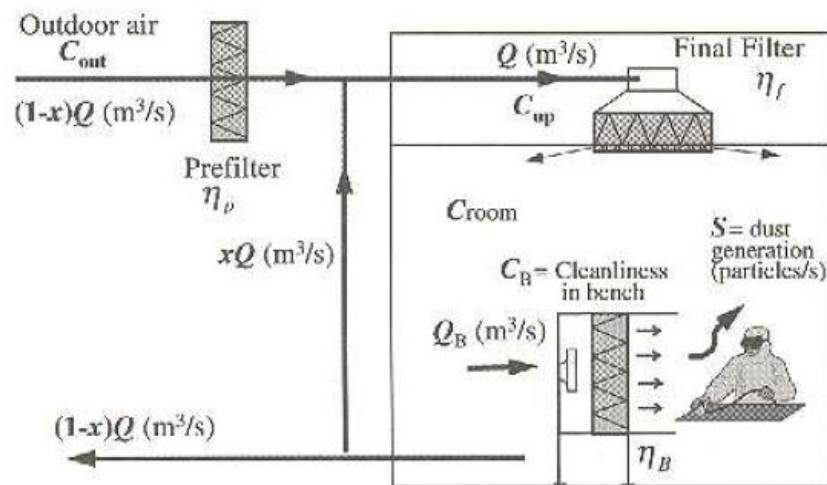
Nồng độ phân tử khi qua lọc HEPA: 
$$C = S/Q(1-\eta_f)$$

- Dòng khí rối turbulence



Nồng độ pt trong phòng: 
$$C = \frac{S}{Q} + (1-x)(1-\eta_p)(1-\eta_f)C_{out}$$

- Dòng kết hợp \_ dòng rối và dòng thẳng



$$C_{room} = S/(Q + Q_B) + (1-x)(1-\eta_p)(1-\eta_f)C_{out}$$

$$C_B = [S/(Q + Q_B) + (1-x)(1-\eta_p)(1-\eta_f)C_{out}] (1-\eta_B)$$

		FILTER GRADE*				AIR FILTER SOLUTION	
Primary Filtration		MEDIUM EFFICIENCY	COARSE FILTERS	EUROVENT 4/5	EU2	EN 779: 2002	Coarse filters
		HIGH EFFICIENCY	FINE FILTERS	EUROVENT 4/5	EU3	EN 779: 2002	Fine Filters
Air-conditioned premises with non-specific tertiary or industrial pollution	Preparatory filtering upstream of HEPA/ULPA filters	VERY HIGH EFFICIENCY	HEPA	EUROVENT 4/4	DOP 0,3µm	EN 1822	MPPS (Most Penetrating Particle Size)
Final filters/ Clean room filters	Class according to Fed. Std 209E	10 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
		1 to 10	100 to 1000	1000 to 10000	10000 to 100000	100000 to 1000000	1000000 to 10000000
Filter Holdings Frames/ Casings							

## VÍ DỤ TÍNH TOÁN:

- **Dòng đơn hướng với 100% không khí bên ngoài**

Xem xét phân tử 0.1 µm với hai lớp lọc **Hi-FLO** và lọc **HEPA GOLDSEAL** của Camfil Farr.

Giả sử lấy khí ngoài trời với điều kiện xấu nhất sẽ có nồng độ  $10^{10}$  pt/m<sup>3</sup> lớn hơn 0.1 µm. Lọc Hi-FLO lọc được 50% và HEPA GOLDSEAL lọc được 99,9998% với pt 0.1 µm này.

Qua lọc Hi-FLO nồng độ phân tử còn lại 50% là  $5 \times 10^9$ ,

Qua lọc HEPA nồng độ phân tử sẽ còn lại là:  $0,0002\% \times 5 \times 10^9 = 10^4 = 1\,000$  pt/m<sup>3</sup>.

Phân loại phòng sạch theo tiêu chuẩn Fed Std 209E:

$$(pt/m^3) = 10^M (0.5/d)^{2.2} = 1000$$

Suy ra: **M = 2.462** với phân tử d = 0.1 µm

Như vậy với 2 cấp lọc như trên chúng ta có thể đạt tới cấp độ sạch M2.5 với giới hạn 12 400 pt/m<sup>3</sup>.

10 000 pt/m<sup>3</sup> 0.1 µm đạt được ISO Class 4

- **Dòng đơn hướng tái tuần hoàn 100%**

Giả sử phân bố 1 người trên 10 mét vuông và chỉ có người sinh ra bụi. Dòng tuần hoàn 100 %. Dòng laminar với vận tốc trung bình đã được biết là 0.45 m/s. Lưu lượng gió cấp là  $10 \times 0.45 = 4.5$  m<sup>3</sup>/s. Cũng xem xét với bụi 0.1 µm.

Nếu cũng giả sử người sinh ra bụi  $10^6$  pt/s và nồng độ trước khi qua lọc HEPA sẽ là:

$$C_{up} = S / Q = 10^6 / 4.5 = 2.2 \times 10^5 \text{ pt} / m^3$$

Giả sử đặt lọc MICRETAIN hiệu suất 98% thì nồng độ phân tử lọc qua là:

$2\% \times (2.2 \times 10^5) = 4400$  pt/m<sup>3</sup> với những pt bằng & lớn hơn 0.1 µm. Với nồng độ này chưa đạt được cấp độ sạch M2 (0.1 µm) giới hạn 3500 pt/m<sup>3</sup>.



• **Dòng đơn hướng với tỷ lệ gió hồi**

Giả sử thiết kế với gió hồi 80 % ( $x = 0.8$ ) không khí ngoài lấy vào dạng bản  $C_{out} = 10^{10}$  pt/m<sup>3</sup>, pt lớn hơn 0.1 μm.

Phân bố 1 người trên 10 m<sup>2</sup>, dòng laminar với gió cấp là 4.5 m<sup>3</sup>/s.

Sử dụng Hi FLO hiệu suất 50%. Nồng độ phân tử trước lọc HEPA là:

$$C_{up} = x \frac{S}{Q} + (1-x)(1-\eta_p)C_{out} = 1.78 \times 10^5 + 10^9 \text{ pt/m}^3$$

Ta thấy 2 thông số của phép cộng trên \_Bụi bên trong sinh ra nhỏ hơn nhiều so với bụi từ ngoài mang vào\_ nồng độ bụi sinh ra bên trong không ảnh hưởng nhiều đến phép toán (giả sử bỏ qua để dễ tính toán vì khi nhân với  $2 \times 10^{-6}$  thì còn lại con số rất bé).

Sử dụng lọc HEPA GOLDSEAL để lọc trên trần với hiệu suất 99,9998% đối với pt 0.1 μm. Nồng độ còn lại là:  $0.0002\% \times 10^9 = 2000 \text{ pt/m}^3$ .

Đánh giá cấp độ sạch theo Fed 209:

$$M = \lg 2000 - 2.2 \lg (0.5/0.1) = 1.76$$

Phòng sẽ được phân loại cấp độ sạch cao hơn M2 (với pt 0.1 μm)

Nếu tính toán theo tiêu chuẩn ISO:

$$2000 = 10^N (0.1/0.1)^{2.08} \text{ suy ra: } N = \lg 2000 = 3.3$$

• **Dòng khí rối**

Giả sử 1 người phân bố trên 10 m<sup>2</sup> ra 10<sup>6</sup> pt/s với pt > 0.1 μm và phòng cao 3m

Không khí bên ngoài với nồng độ  $C_{out} = 10^{10}$  pt/m<sup>3</sup> với pt > 0.1 μm

Sử dụng lọc HI FLO hiệu suất 50% và HEPA hiệu suất 99,998%

Chọn tỷ lệ trao đổi không khí 30 lần /giờ

Lưu lượng không khí tính toán được 0.25 m<sup>3</sup>/s.

Không khí tuần hoàn 80%

Nồng độ pt được tính:

$$C = \frac{S}{Q} + (1-x)(1-\eta_p)(1-\eta_f)C_{out}$$

$C = 4\,020\,000 \text{ pt/m}^3$  với  $\text{pt} > 0.1 \mu\text{m}$

Cấp độ sạch  $M = \lg(4\,020\,000) - 2.2 \lg(0.5/0.1) = 5.06$

Nồng độ này quá cao không được phân loại trong tiêu chuẩn Fed Std 209E với  $M = 5.06$

Sử dụng lọc tốt hơn không được đưa ra ở ví dụ này. Muốn giảm nồng độ pt trong phòng cần giảm nguồn pt sinh ra bên trong, bằng cách tối ưu hơn về quần áo, gang tay, chùm đầu cho công nhân trong phòng sạch hoặc tăng tỷ lệ trao đổi không khí cao hơn.

*Cùng ví dụ này tính với  $\text{pt } 0,5 \mu\text{m}$ .*

Hi FLO 85 hiệu suất 70%, lọc hiệu suất cao 99,9999%

Quá trình bên trong giả sử tạo ra  $S = 2 \times 10^5 \text{ pt/s} > 0.5 \mu\text{m}$

Nồng độ pt không khí bên ngoài  $C_{\text{out}} = 3 \times 10^7 \text{ pt/m}^3 > 0.5 \mu\text{m}$

Nồng độ pt được tính:

$$C = \frac{S}{Q} + (1-x)(1-\eta_p)(1-\eta_f)C_{\text{out}}$$

$C = 800\,002 \text{ pt/m}^3$  với  $\text{pt} > 0.5 \mu\text{m}$

Cấp độ sạch  $M = \lg(800\,002) - 2.2 \lg(0.5/0.5) = 5.9$  ( với  $\text{pt} > 0.5 \mu\text{m}$ ).

Phù hợp với class M 6 và cột giới hạn pt  $0.5 \mu\text{m}$  trong bảng Fed Std 209E

Nếu tính toán theo tiêu chuẩn ISO:

$800\,002 = 10^N (0.1/0.5)^{2.08}$  suy ra:  $N = \lg(800\,002) - 2.08 \lg(0.1/0.5) = 7.35$

*Cũng ví dụ này*

Ta thay lọc với hiệu suất cao hơn ví dụ chọn lọc Micretain hiệu suất 99 % với pt  $0.5 \mu\text{m}$ . Nồng độ pt là  $C = 818\,000 \text{ pt/m}^3$ .

Cấp độ sạch đạt M 5.91, ta thấy thay đổi rất nhỏ. Nên việc tăng tỷ lệ trao đổi không khí lên để tăng cấp độ sạch là một điều dễ dàng hơn.

Để tính dễ dàng hơn, phần mềm hỗ trợ việc tính toán được đơn giản hơn rất nhiều.

Lấy ví dụ từ dòng khí rối ở trên

**CAMFIL FARR/Clean Room program - SI units** last revision 06-12-30

**Turbulent system version 2008.1**

---

**Dòng Laminar**

Particles larger than: **0.1  $\mu\text{m}$**   
**1 E+10 (part/m<sup>3</sup>)** Dirty air  
**1 E+6 (part/s)** Hard working  
 Particles/m<sup>3</sup> in room at start: **1E+5**  
 Particles/s from process: **0**

Fed Std 209E (metric): **M 5.1 (0.1  $\mu\text{m}$ )**  
 ISO-14644: **ISO 6.6**

Particles/m<sup>3</sup> after 1 min. **1.65 E+6**  
 Particles/m<sup>3</sup> after 10 min. **4.00 E+6**  
 Particles/m<sup>3</sup> after 1 hour **4.03 E+6**  
 Particles/m<sup>3</sup> steady state **4.03 E+6**

Room **30m<sup>3</sup>; 10m<sup>2</sup>; 10m<sup>2</sup> per person**

**Calculation Updated - NO**  
 Make sure that this box is checked to ensure correct data

H (m) **3** W (m) **2** L (m) **5** Air changes/h **30**  
 Vent. Eff. **1** Recirc. (%) **80** People **1** Airflow (m<sup>3</sup>/h) **900**

Filter 1: **none** 0 %  
 Filter 2: **none** 0 %  
 Filter 3: **F7** 50 %  
 Terminal Filter: **H14** 99.997 %

Một số hiệu suất lọc của Camfil Farr

Filter	Efficiency %				Penetration %			
	MPPS	0.1 $\mu\text{m}$	0.3 $\mu\text{m}$	0.5 $\mu\text{m}$	MPPS	0.1 $\mu\text{m}$	0.3 $\mu\text{m}$	0.5 $\mu\text{m}$
SUPER GOLDSEAL	99.99998	99.999995	99.99999	(100)	$2 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$	(0)
GOLD SEAL	99.9997	99.9998	99.9999	(100)	$3 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	(0)
ABSOLUTE	99.995	99.997	99.998	99.9999	$5 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4}$
MICRETAIN	98	99	98.5	99	2	1	1.5	1
HI-FLO 95	-	70	80	90	-	30	20	10
HI-FLO 85	-	50	60	70	-	50	50	30
HI-FLO 65	-	15	20	25	-	85	80	75