

# איכות האוויר במבנה – עבר, הווה ועתיד:



ינאי קציר

מהנדס מערכות

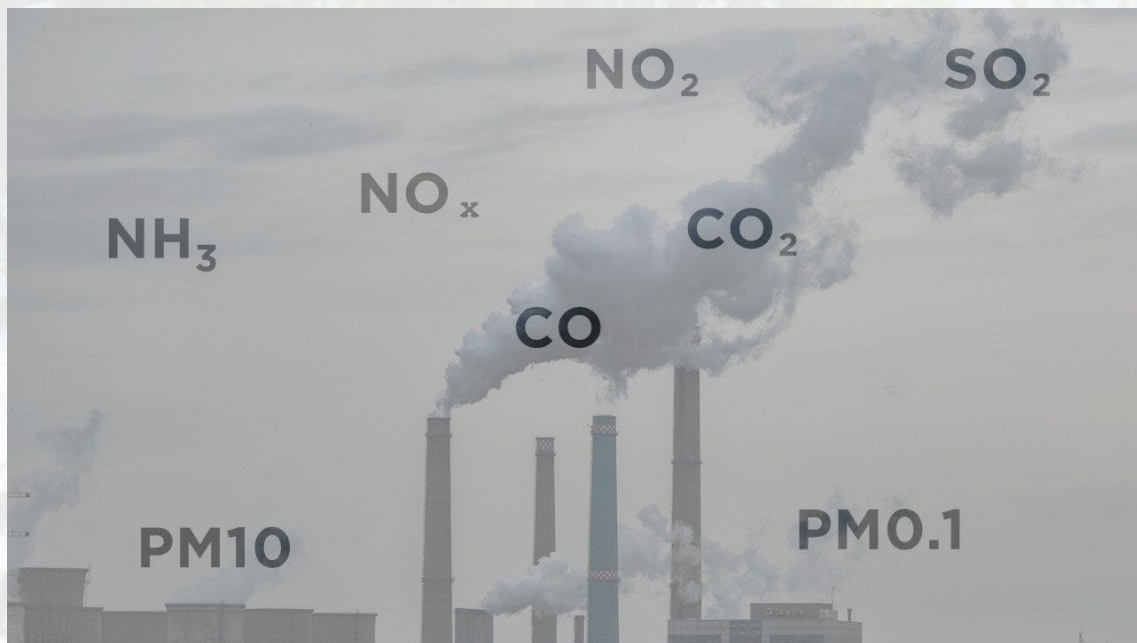
CI.TECH

Carrier Israel Technology

[Yanayk@citech.co.il](mailto:Yanayk@citech.co.il)

053-8207350

## נושאים:



□ איך נולדה הדרישה לאוויר חיצוני למבנה.

□ גיבוש ההגדרה המודרנית לאוויר נקי.

□ תקן ASHRAE- ותקן LEED כסטנדרט.

□ IAQP כפתרון לניקוי וניטור מזהמים.

□ ניקוי אוויר פנימי ע"י מערכות מכאניות.

## תחילתו של צורך:

□ בשנת 1734 בשיאה של "המהפכה המדעית" הוגדרו לראשונה

כמויות אוויר פנימי. ( 4-8 CFM לאדם ).

□ הקמת ASHRAE בשנת 1959 (איחוד של ASHAE ו-ASRE )

והצורך בהגדרה רשמית של כמויות אוויר פנימי.

□ בסוף המאה ה-20 נכנס תקן ASHRAE 62 להגדרת איכות אוויר פנימי.

- VRP – Ventilation Rate Procedure

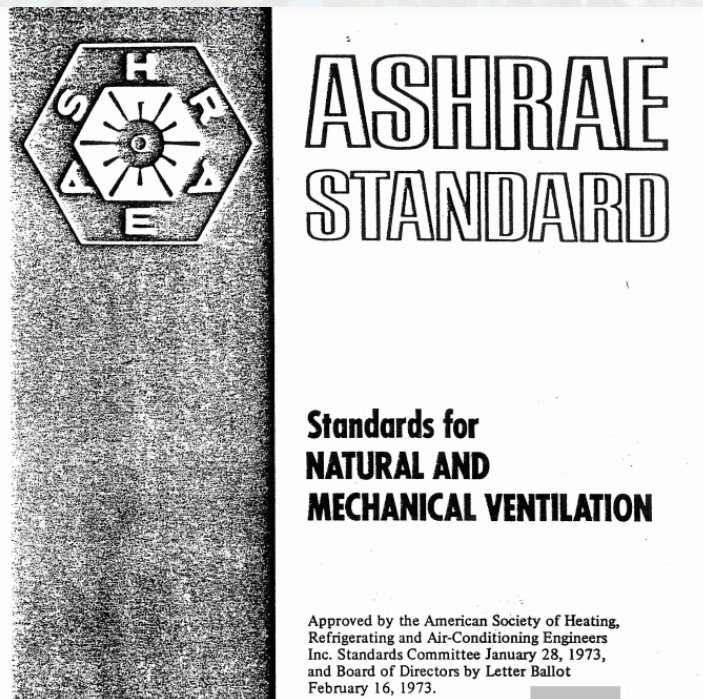
• חישוב כמות אוויר חיצוני מינימאלי למבנה.

- IAQP – Indoor Air Quality Procedure

• חישוב כמות אוויר חיצוני מינימאלי למבנה על סמך ניקוי מזהמים.

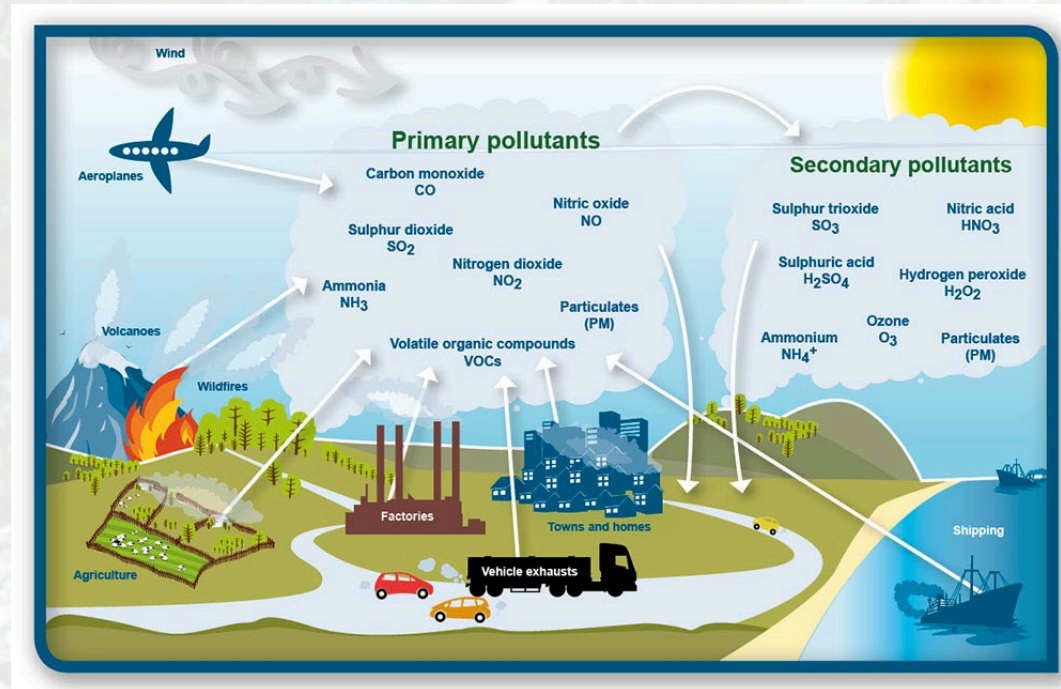


שריפת מבנה הפרלמנט הבריטי – תוספת חלונות בכיפת המבנה



# מהו זיהום אוויר ?

זיהום האוויר מתחלק לשתי קטגוריות:



☐ זיהום אוויר ראשוני ( ישיר ): נפלט ישירות ממקורות פיזיים.

☐ זיהום אוויר משני ( עקיף ): נוצר ע"י תגובה כימית של המזהמים הראשוניים.

- לדוגמא: ערפיח הוא תוצר אינטראקציה של זיהום ראשוני עם מולקולות של חמצן ומים באוויר.

# זמנים מודרניים: – תחילתו של צורך

מאיפה הגיע הצורך הראשוני לאוויר צח למבנה?



❑ אדם ממוצע נושם כ- 20,000 פעמים ביממה.

❑ פלח אוכלוסייה גדול נמצא רב שעות היום בתוך מבנים.

❑ אוויר פנימי עשוי להיות מזוהם עד פי 5 מאוויר חיצוני.

❑ רב האוויר הפנימי מסופק ע"י מערכות ולא בצורה ישירה.

❑ איכות אוויר פנימי משפיעה באופן ישיר על בריאות וביצועיו של עובד.

❖ לפי הגדרות:

EPA - Environment Protection Agency בארה"ב.

# גיבוש ההגדרה המודרנית ל – IAQP

□ כניסתו של תקן ASHRAE 62.1 ב-1973.

□ אספקת אוויר חיצוני למבנה – VRP Ventilation rate Procedure

□ קביעת ריכוז מזהמים לאיכות אוויר פנימי - IAQP

**Table 6-1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (Continued)**

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate $R_p$		Area Outdoor Air Rate $R_a$		Default Values
	cfm/person	L/s-person	cfm/ft <sup>2</sup>	L/s-m <sup>2</sup>	Occupant Density #/1000 ft <sup>2</sup> or #/100 m <sup>2</sup>
<b>Miscellaneous Spaces (continued)</b>					
Sorting, packing, light assembly	7.5	3.8	0.12	0.6	7
Telephone closets	—	—	0.00	0.0	—
Transportation waiting	7.5	3.8	0.06	0.3	100
Warehouses	10	5	0.06	0.3	—
<b>Office Buildings</b>					
Breakrooms	5	2.5	0.12	0.6	50
Main entry lobbies	5	2.5	0.06	0.3	10
Occupiable storage rooms for dry materials	5	2.5	0.06	0.3	2
Office space	5	2.5	0.06	0.3	5
Reception areas	5	2.5	0.06	0.3	30
Telephone/data entry	5	2.5	0.06	0.3	60
<b>Outpatient Health Care Facilities <sup>a,b</sup></b>					
Birth room	10	5	0.18	0.9	15
Class 1 imaging rooms	5	2.5	0.12	0.6	5
Dental operator	10	5	0.18	0.9	20
General examination room	7.5	3.8	0.12	0.6	20

ASHRAE 62.1 – section 6, Table 6-1

Compound or PM2.5	Cognizant Authority	Design Limit
Acetaldehyde	Cal EPA CREL (June 2016)	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Acetone	AgBB LCI	1,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzene	Cal EPA CREL (June 2016)	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dichloromethane	Cal EPA CREL (June 2016)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Formaldehyde	Cal EPA 8-hour CREL (2004)	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Naphthalene	Cal EPA CREL (June 2016)	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Phenol	AgBB LCI	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tetrachloroethylene	Cal EPA CREL (June 2016)	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Toluene	Cal EPA CREL (June 2016)	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1,1,1-trichloroethane	Cal EPA CREL (June 2016)	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Xylene, total	AgBB LCI	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Carbon monoxide	U.S. EPA NAAQS	9 ppm
PM2.5	U.S. EPA NAAQS (annual mean)	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozone	U.S. EPA NAAQS	70 ppb
Ammonia	Cal EPA CREL (June 2016)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

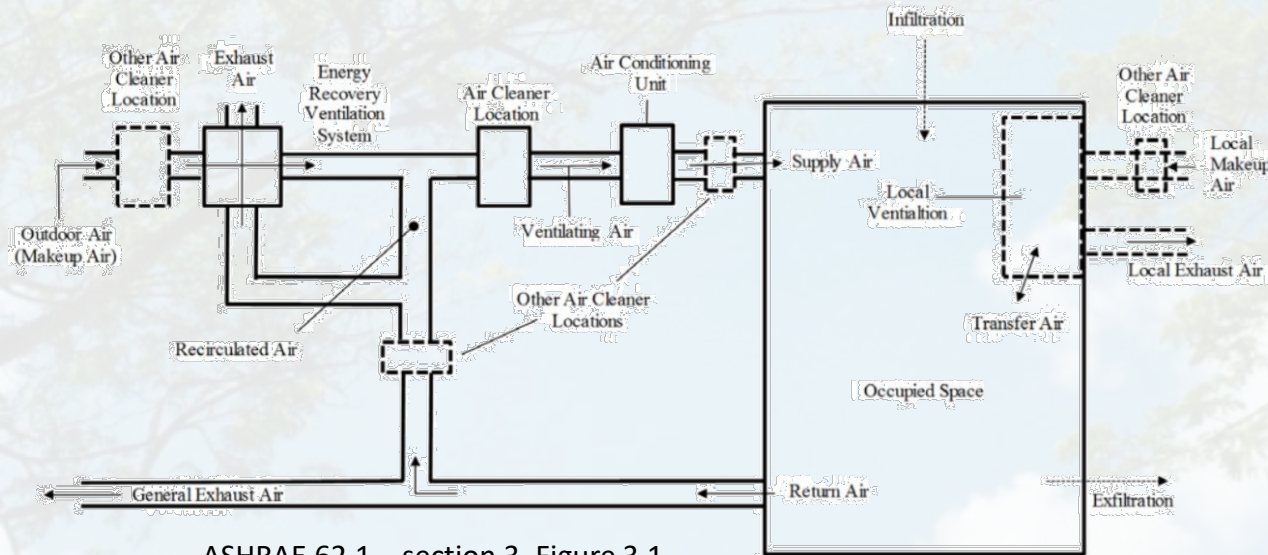
ASHRAE 62.1 – section 6, Table 6-5

# גיבוש ההגדרה המודרנית ל – IAQP:

• איכות אוויר פנימי על פי - ASHRAE :

- אוויר שלא ידוע בו על הימצאות מזהמים בריכוז מזיק, כפי שנקבע ע"י הרשות הרלוונטית. וכזה שרב האנשים שחשופים אליו לא מביעים חוסר שביעות רצון

(ASHRAE 62.1 – section 3.1 , Terminology).



ASHRAE 62.1 – section 3, Figure 3.1

# הגדרות כלליות ליישום IAQP ע"פ LEED :

Table 1: Design targets for acceptable indoor air quality (from ASHRAE Standard 62.1-2022, Table 6-5)

DESIGN COMPOUND OR PM2.5	CAS NUMBER	COGNIZANT AUTHORITY	DESIGN LIMIT
ACETALDEHYDE	75-70-0	Cal EPA CREL (June 2016)	140 µg/m <sup>3</sup>
ACETONE	67-64-1	AgBB LCI	1200 µg/m <sup>3</sup>
BENZENE	71-43-2	Cal EPA CREL (June 2016)	3 µg/m <sup>3</sup>
DICHLOROMETHANE	75-09-2	Cal EPA CREL (June 2016)	400 µg/m <sup>3</sup>
FORMALDEHYDE	50-00-0	Cal EPA 8-hour REL (2004)	33 µg/m <sup>3</sup>
NAPHTHALENE	91-20-3	Cal EPA CREL (June 2016)	9 µg/m <sup>3</sup>
PHENOL	108-95-2	AgBB LCI	10 µg/m <sup>3</sup>
TETRACHLOROETHYLENE	127-18-4	Cal EPA CREL (June 2016)	35 µg/m <sup>3</sup>
TOLUENE	108-88-3	Cal EPA CREL (June 2016)	300 µg/m <sup>3</sup>
1,1,1-TRICHLOROETHANE	71-55-6	Cal EPA CREL (June 2016)	1000 µg/m <sup>3</sup>
XYLENE, TOTAL	108-83-3, 95-47-6, and 106-42-3	AgBB LCI	500 µg/m <sup>3</sup>
CARBON MONOXIDE	630-08-0	USEPA NAAQS	9 ppm
PM2.5	-	USEPA NAAQS (annual mean)	12 µg/m <sup>3</sup>
OZONE	10028-15-6	USEPA NAAQS	70 ppb or 137 µg/m <sup>3</sup>
AMMONIA (FOR SPACES WITH ANIMALS)	7664-41-7	Cal EPA CREL (June 2016)	200 ug/m <sup>3</sup>

Table 2: Design targets for enhanced indoor air quality

DESIGN COMPOUND OR PM2.5	CAS NUMBER	COGNIZANT AUTHORITY	DESIGN LIMIT
FORMALDEHYDE	50-00-0	NIOSH (2016)	20 µg/m <sup>3</sup>
PM2.5	-	USEPA NAAQS (annual mean)	10 µg/m <sup>3</sup>
OZONE	10028-15-6	USEPA NAAQS	10 ppb

BD+C Credit	Requirements	Points	Awarded Credit
Energy and Atmosphere	Demonstrate increased energy efficiency	up to 6	Optimize Energy Performance

• קבלת ניקוד עבור שימוש ב- IAQP ( עד 3 נקודות ):

□ אפשרות ראשונה ( 1-2 נק' ) :

- תנאי הכרחי: תכנון וחישוב לפי תקן ASHRAE 62.1 (טבלת המזהמים בשקף הבא)

- ניקוי האוויר חייב לעמוד בתקנים ASHRAE 62.1 - 5.9.1 & 6.3.4

□ אפשרות שנייה ( נקודה 1 נוספת ) :

- קיום האפשרות הראשונה.

- החמרה בדרישת הערך המקסימלי המותר עבור: P.M 2.5, Formaldehyde, Ozon

□ שלב שני ( עד 6 נקודות ):

- חיסכון באנרגיה.



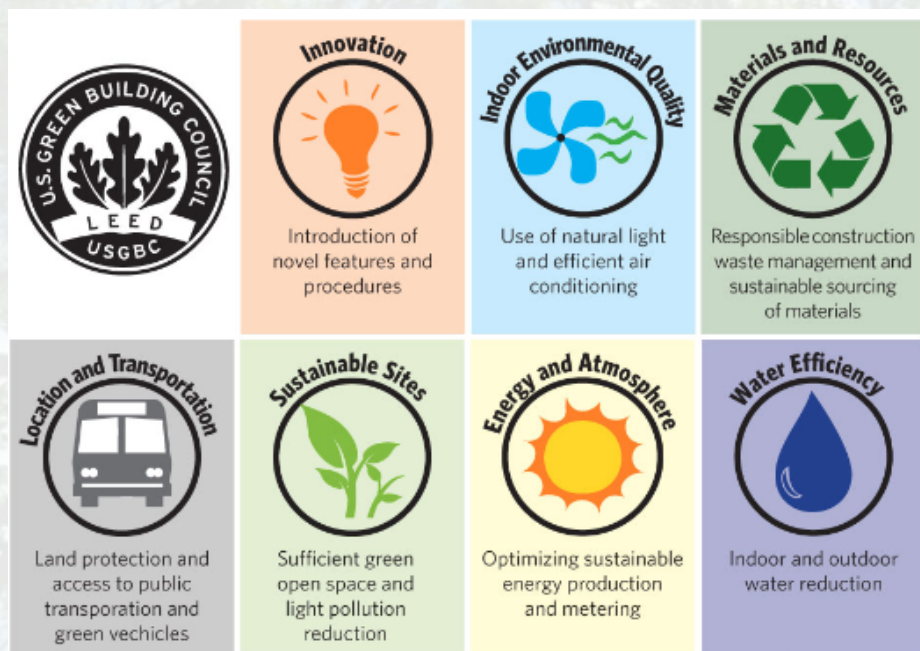
# המשך: LEED ע"פ IAQ והגדרות כלליות ליישום

- דרישות איכות אוויר פנימי על פי - LEED מחולקות ל-3 סעיפים (Tier).

❑ Tier 1 בזמן אכלוס המבנה, כמות האוויר הפנימי יהיה כזה שלא יגרום לריכוז מזהמים גבוה מזה שמופיע בטבלאות ASHRAE.

❑ Tier 2 : לאחר אכלוס המבנה יתבצע סקר שביעות רצון אודות איכות האוויר הפנימי עבור לפחות 30% מדיירי המבנה.

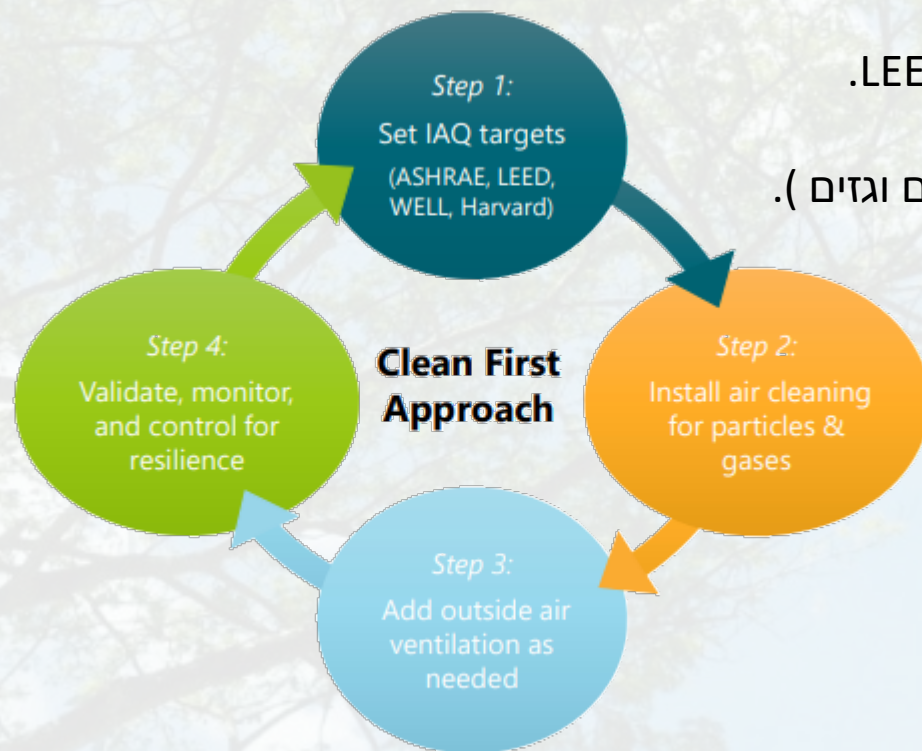
❑ Tier 3 : ההערכה לאיכות האוויר ב - Tier 1 אכן מתקיימת. 80% ומעלה מדיירי המבנה מרוצים מאיכות האוויר.



# לטיהור אוויר "Clean First" תיאוריית

## פנימי וחיסכון אנרגטי :

התיאוריה גורסת כי קודם יש להבין את איכות האוויר הפנימי וכפועל יוצא מכך את כמות האוויר החיצוני.



☐ שלב ראשון : הגדרת Indoor Air Quality ( IAQ ) לפי ASHRAE או LEED.

☐ שלב שני : בחירת מערכת לניקוי אוויר פנימי ( עבור חלקיקים נשימתיים וגזים ).

☐ שלב שלישי : חישוב כמות אוויר חיצוני לפי הדרישה.

☐ שלב רביעי : אימות, ניטור ובקרה לאיכות האוויר הפנימי.

# שיטות לניקוי ושמירה על אוויר נקי

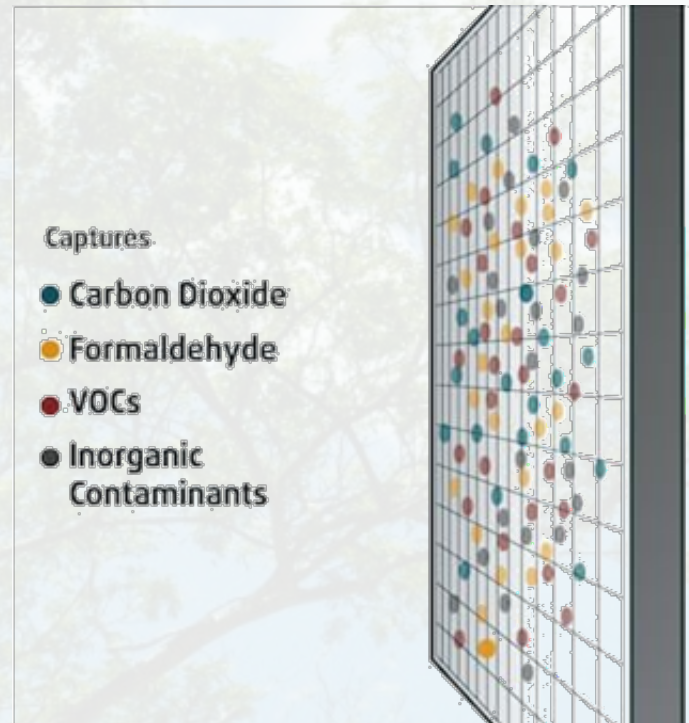
## במבנה:

### Sorbent Filter - פילטר ספיגה □

פילטר המיועד לספוג כמות גדולה של חלקיקים גזיים. בגלל מבנהו המחורר רק גזים מסוימים עוברים דרכו והשאר נספגים.

**יתרונות:** פעולת חימום לנידוף המזהמים, סופג מגוון רחב של סוגי מזהמים, טכנולוגיה מאושרת & ASHRAE USGBC, בחישוב אוויר לפי 62.1 IAQP-ASHRAE ניתן לחסוך כמות משמעותית של אוויר חיצוני.

**חסרונות:** נדרש להחלפה, עשוי להיסתם בסביבה חולית/מאובקת במיוחד.



# שיטות לניקוי ושמירה על אוויר נקי

## במבנה:

### ☐ יעילות ניקוי הפילטר לפי דרישות ASHRAE 62.1:

בטבלה המצורפת ניתן לראות את יעילות הניקוי של הפילטר.

\* מזהמים שעדיין בבדיקה לפי ASHRAE 145.2.

MERV 11 : יעילות ניקוי המזהמים לפי הגדרות של רמות סינון (MERV 1-17)

(2) לא מוגדר לפי ASHRAE 62.1 .

ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022 Table 6.5 Design Compounds <sup>1</sup> , PM <sub>2.5</sub> , Design Limits and Efficiencies (Efficiencies based on ASHRAE 145.2 and 52.2 test methods)		
DESIGN COMPOUND	DESIGN TARGET	EFFICIENCY
Acetaldehyde	140 µg/m <sup>3</sup>	86%
Acetone	1200 µg/m <sup>3</sup>	84%
Benzene	3 µg/m <sup>3</sup>	87%
Dichloromethane	400 µg/m <sup>3</sup>	58%
Formaldehyde	33 µg/m <sup>3</sup>	99%
Naphthalene	9 µg/m <sup>3</sup>	50%
Phenol	10 µg/m <sup>3</sup>	70%
Tetrachloroethylene	35 µg/m <sup>3</sup>	54%
Toluene	300 µg/m <sup>3</sup>	52%
1,1,1-trichloroethane	1000 µg/m <sup>3</sup>	80%
Xylene, total	500 µg/m <sup>3</sup>	60%
PM <sub>2.5</sub> / Particulate Matter	12 µg/m <sup>3</sup>	MERV 11
Ozone	70 ppb	70%
Carbon Dioxide <sup>2</sup>	-	57%
Nitrogen Dioxide <sup>2</sup>	-	94%

<sup>1</sup> Carbon Monoxide and Ammonia are not listed: SVT is not a CO source control measure. Ammonia is only for spaces with nonhuman animals.  
<sup>2</sup> Not required by ASHRAE Standard 62.1-2022



# ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide

Approved by ASHRAE Board of Directors  
February 2, 2022

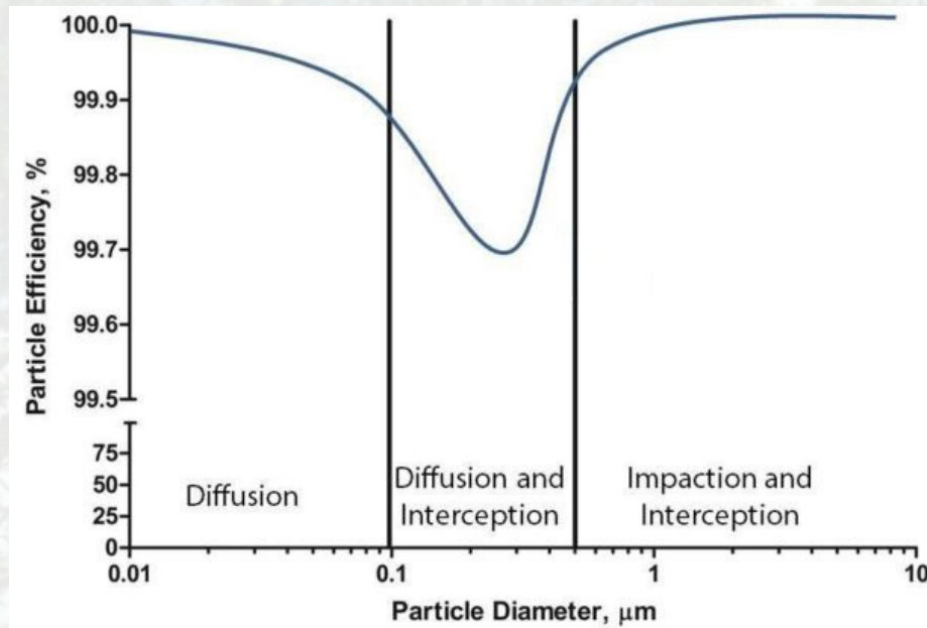
Expires  
February 2, 2025

## A.2 Health and Cognitive Effects of CO<sub>2</sub> Exposure

Carbon dioxide is considered nontoxic at concentrations up to 5000 ppm<sub>v</sub>, which is the U.S. federal standard (Permissible Exposure Level) for workplaces set by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) as noted in the later section on existing standards and regulations. Guidelines for the International Space Station and U.S. submarines currently suggest that CO<sub>2</sub> concentrations be maintained at 4000 to 5000 ppm<sub>v</sub> to reduce the incidence of headaches (James and Zalesak 2013; Scully et al. 2019). Indoor concentrations greater than 1000 ppm<sub>v</sub> have been associated with increases in self-reported, nonspecific symptoms commonly referred to as *sick building syndrome (SBS) symptoms*, as well as decreased performance of office work and schoolwork, as discussed in the following paragraph. These observations were not controlled for other contaminants or environmental parameters; therefore, elevated CO<sub>2</sub> concentrations likely served as indicators of inadequate ventilation that increases the concentration of all contaminants with indoor sources (Persily 2015; Lowther et al. 2021).

# שיטות לניקוי ושמירה על אוויר נקי במבנה:

## Ultra Low / High Efficiency Particulate Air (HEPA) □ :Particulate Air (ULPA)



שני הפילטרים עשויים שכבות צפופות של סיבים במבנה סריגי כזה שמונע מחלקיקים לעבור אותם. בשני המקרים, ישנם שלושה סוגים של סינון וקליטה של מזהמים : דיפוזיה, פגיעה ישירה, והיתקעות. פילטר ה-ULPA מתוכנן עם מבנה סריגים צפוף יותר מאשר HEPA .

יתרונות:

**HEPA**: מגוון רחב של סוגי פילטר, ניתן לשלב עם פילטר ראשוני, אורך חיים של עד 10 שנים, זול יותר מ-ULPA .

**ULPA**: סינון וקליטה גבוהה יותר של מזהמים, אופטימלי לאפליקציות שדורשות סינון מיוחד (חדרים נקיים) .

חסרונות:

יקר, צפיפות סריגים גבוהה מגדילה את מפל הלחץ, צריכה אנרגטית גבוהה, ניקוי מזהמים בקטריאלי בלבד.

# שיטות לניקוי ושמירה על אוויר נקי במבנה:

## 1. היתקעות :

- חלקיקים גדולים, בין 1-10 מיקרון, נתקעים בין 2 סיבים.

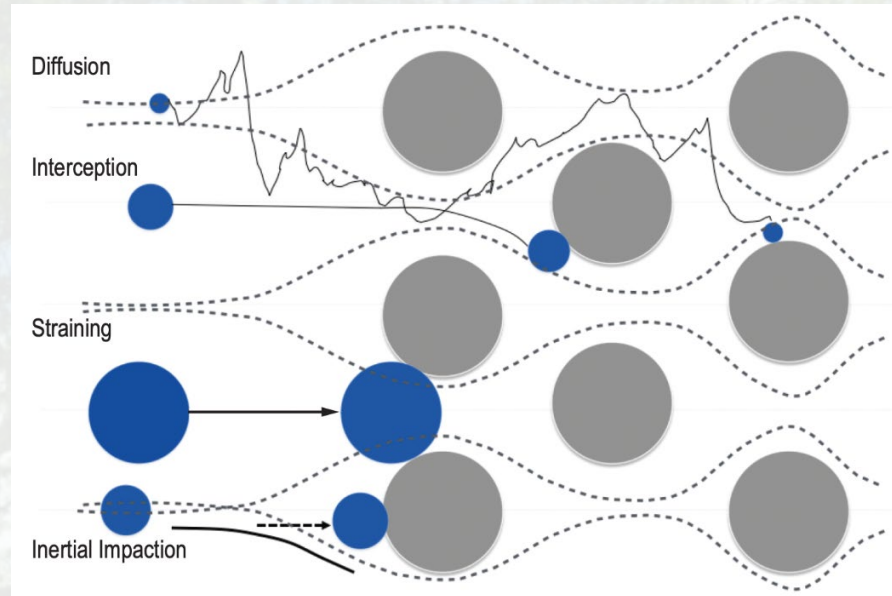
## 2. פגיעה ישירה / פגיעה אינרציאלית :

- חלקיקים בין 0.3-1 מיקרון "עוקבים" אחרי כיוון האוויר ו"נתקעים" ישירות בסיב.

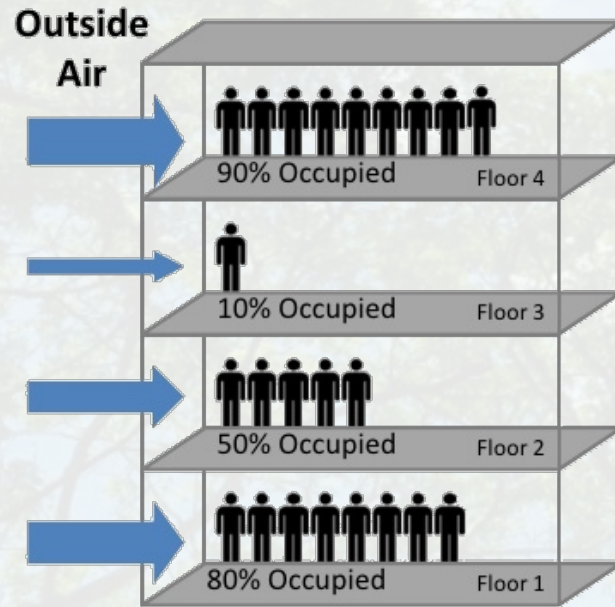
- החלקיקים הגדולים יותר כבדים מדיי בכדי להמשיך בכיוון ישר.

## 3. דיפוזיה:

- חלקיקים קטנים במיוחד, קטנים מ-0.3 מיקרון, נעים בצורה רנדומלית (בדומה ל- Brownian Movement), עד שלבסוף פוגעים בסיב.



# שיטות לניקוי ושמירה על אוויר נקי במבנה:

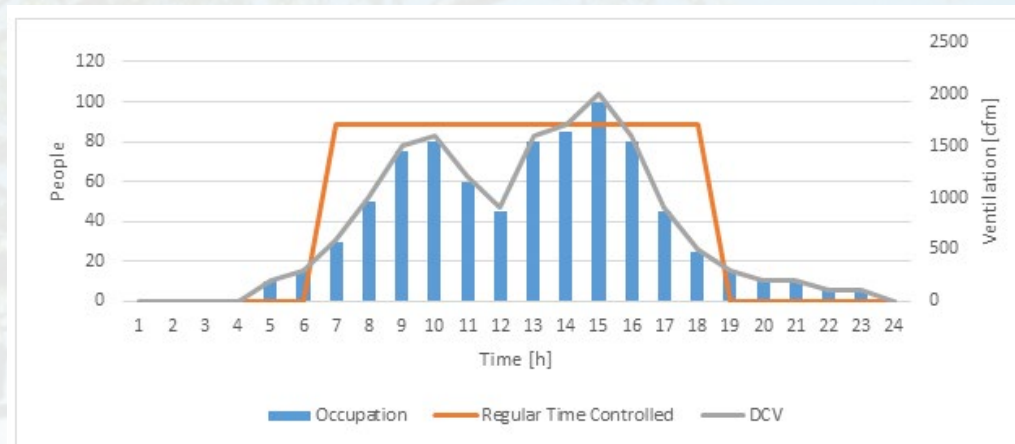


## :Demand Control Ventilation (DCV) □

מערכת חיישנים שמנטרת מזהמים ( בדרך כלל CO2 ) ושולטת על כמויות האוויר החיצוני שמסופק למבנה.

**יתרונות:** מתאים לכל סוגי המבנים, מערכת פשוטה באופן יחסי, קל לנטר כמות מזהמים.

**חסרונות:** פתרון יקר, נסמך על מערכת רחבה של רכיבים, תלוי במיקום הגאוגרפי לאיכות ניקוי, בזבז אנרגטי במקרה של אוויר חיצוני לא מטופל.





## סיכום:

הרב המוחלט של האוויר שאנחנו נושמים, הוא אוויר "מכאני" שנדרש וניתן לנקות.

- איך האוויר שאתם נושמים עכשיו?



# שאלות?

