

التهوية (Ventilation)

الجزء الأول



لا تنسونا من صالح دعائكم لي ولوالدائي

Eng. Mostafa Khedr

التهوية (Ventilation):

التهوية: هي عبارة عن عملية تجديد أو تغيير الهواء واستبداله بهواء جديد نقي داخل الفراغ المراد تهويته. وهنا لا يتم تغيير خصائص الهواء ولكن يتم استبداله بهواء طبيعي بنفس درجات حرارة الهواء الخارجي. (أي أننا نقوم بإزالة الهواء الموجود بالمكان ويتم إدخال هواء طبيعي نقي بدلا منه).

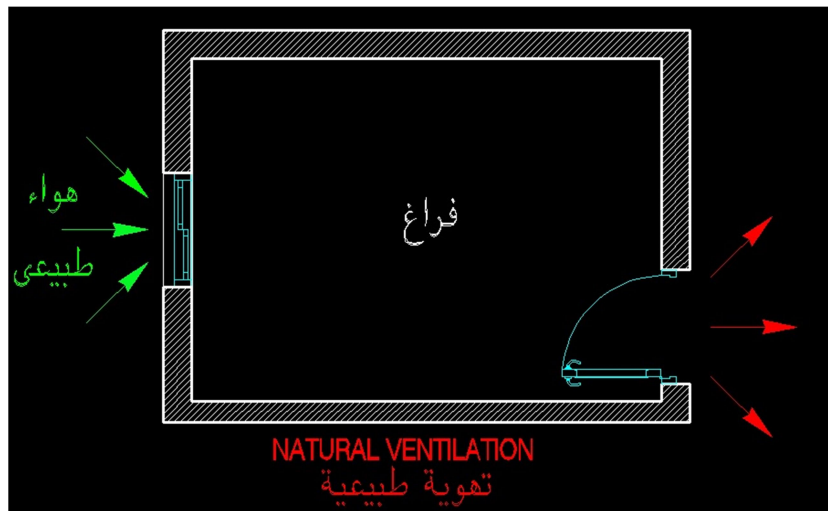
الغرض من التهوية:

- 1- إزالة الروائح الكريهة الغير مرغوب منها بالمكان (مثل إزالة الروائح بالحمام أو المطبخ عن طريق تركيب شفط بهما).
- 2- وجود نقص في الأكسجين نتيجة الزحام في المكان.
- 3- إزالة الحمل الحراري الموجود بالمكان (مثل غرف المحركات وغرف المضخات).

أنواع التهوية

1- تهوية طبيعية (Natural Ventilation):

- نعتمد هنا على الهواء المسرب من خلال الأبواب والشبابيك, مثل فتح الشباك بالمنزل فيقوم بتهوية الغرفة (أي لا يوجد هنا أي تدخل من جانبنا) كما موضح بالشكل رقم (1)

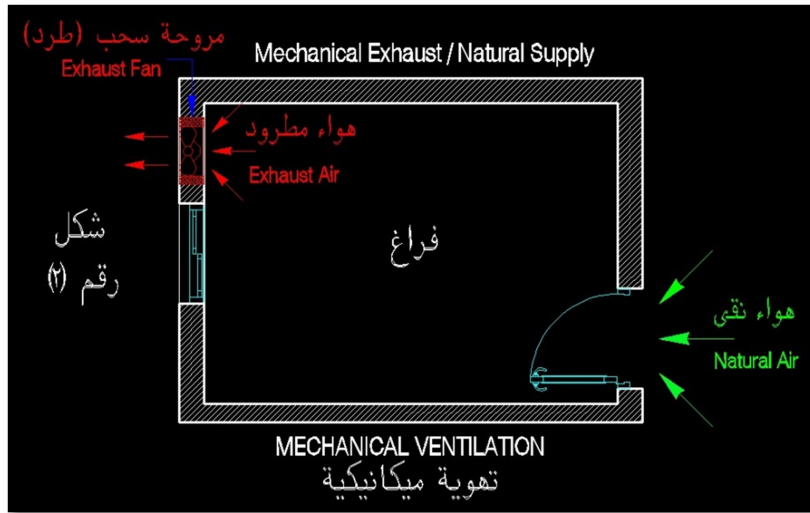


الشكل

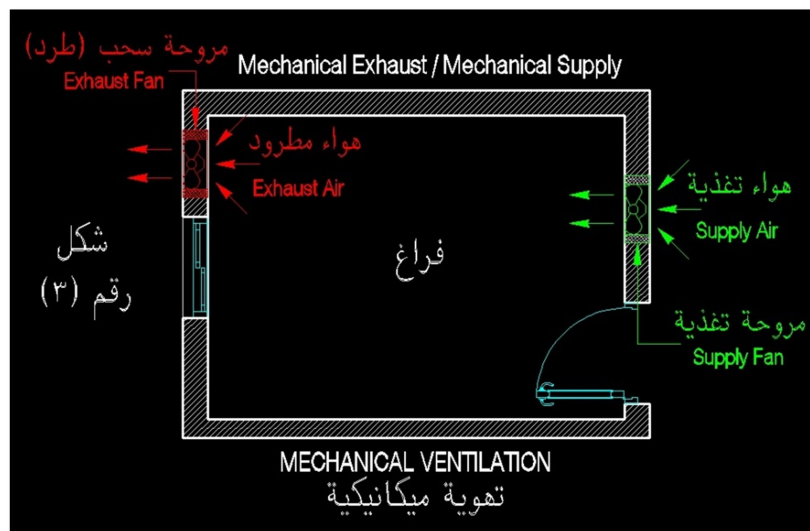
رقم (1)

2- تهوية ميكانيكية (Mechanical Ventilation):

- نقوم **بسحب الهواء** الموجود بالمكان وطرده للخارج عن طريق مراوح سحب (Exhaust Fans).
 - يتم **تعويض هذا الهواء** المطرود عن طريق ادخال هواء نقي من الخارج, وذلك التعويض أيضا يتم من خلال احدي الطريقتين:
- 1- تعويض طبيعي (Natural Supply) دخول الهواء عن طريق الفتحات الموجودة بالمكان (مثل الباب او الشباك او اي فتحات أخرى), كما هو موضح بالشكل رقم (2)



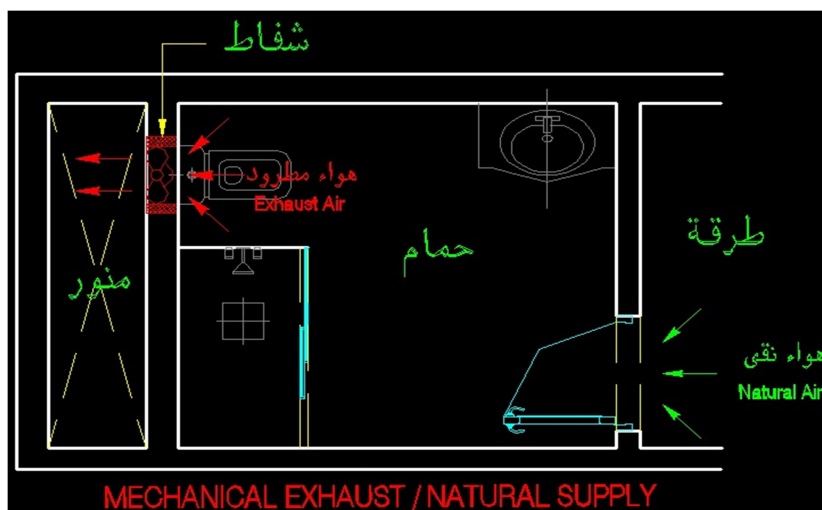
- 2- تعويض ميكانيكي (Mechanical Supply) عن طريق تركيب مراوح دفع (Supply Fans) تقوم بسحب الهواء النقي من الخارج وادخاله للمكان المراد تهويته, كما موضح بالشكل رقم (3).



مثال عالتهووية

حمام المنزل يوجد به روائح غير مرغوب بها ونريد التخلص منها، فيتم ذلك عن طريق التالي:

- يتم عمل تهوية ميكانيكية للحمام، حيث نقوم بتركيب مروحة (شفاط Exhaust Fan) تسحب الهواء من داخل الحمام وتقوم بطرده للخارج (عالم نور أو الشارع).
- وفي هذه الحالة يتم تعويض الهواء المطرود بطريقة طبيعية (Natural Supply)، عن طريق الهواء الداخل من أسفل باب الحمام (تحت عقب الباب علي سبيل المثال).
- شكل رقم (4) يوضح كيفية تهوية الحمام عن طريق تركيب شفاط لسحب الهواء وطرده للخارج ويتم تعويضه طبيعيا عن طريق الهواء الداخل من أسفل باب الحمام.



شكل رقم (4)

أهم المناطق التي تحتاج تهوية

المطابخ - الحمامات - الجراجات - المخازن - غرف الكهرباء - غرف المحولات - غرف المولدات - غرف الطلمبات.

أشكال التهوية الميكانيكية

كما علمنا في السابق ان التهوية عبارة عن عملية تغيير واستبدال الهواء بهواء جديد نقي (أي طرد الهواء بالمكان، وإدخال هواء نقي مكانه)، ويتم ذلك باحدي الصور:

- 1- تهوية ميكانيكية باستخدام مراوح سحب (طرد) فقط، ودخول الهواء طبيعيا (مثل الحمامات والمطابخ).
- 2- تهوية ميكانيكية باستخدام مراوح دفع فقط (لإدخال الهواء)، وخروج الهواء طبيعيا (مثل المصاعد).
- 3- تهوية ميكانيكية باستخدام مراوح سحب ومراوح دفع (مثل بعض الحالات بالجراجات).

الضغط السالب والضغط الموجب (Negative Pressure & Positive Pressure)

التهوية الميكانيكية هي عبارة عن عملية خلخلة في الضغط الجوي، ومن المعروف علمياً أن الهواء ينتقل من الضغط العالي إلى الضغط المنخفض. ولكي نستعب ما هو الفرق بين الضغط الموجب (Positive Pressure) والضغط السالب (Negative Pressure)، دعونا نفرض وجود فراغ ما نريد تهويته ميكانيكياً بمروحة سحب (Exhaust Fan) تقوم بطرد الهواء من الفراغ للخارج، ومروحة دفع (Supply Fan) تقوم بإدخال الهواء الخارجي إليه.

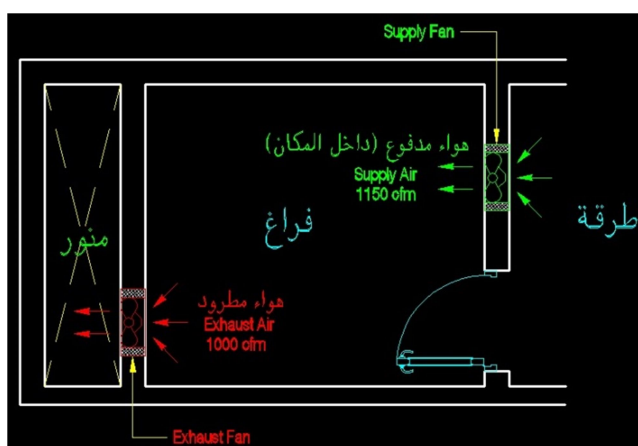
الضغط السالب (Negative Pressure):

- بالشكل رقم (5)، قيمة الهواء المطرود تساوي (1000 cfm)، وقيمة الهواء الداخل تساوي (850 cfm)، أي أن الهواء المطرود (الخارج) قيمته أكبر من الهواء الداخل، وهنا يجب أن يحدث اتزان (Balance) بين كمية الهواء الداخل والخارج لتعويض هذا الفارق.
- ولتعويض هذا الفارق، يتم دخول الهواء طبيعياً من المناطق المحيطة للفراغ (الطريقة علي سبيل المثال) من خلال باب الفراغ أو حتي من (تحت عقب الباب)، وهنا يسمى **الضغط سالب** داخل هذا المكان.

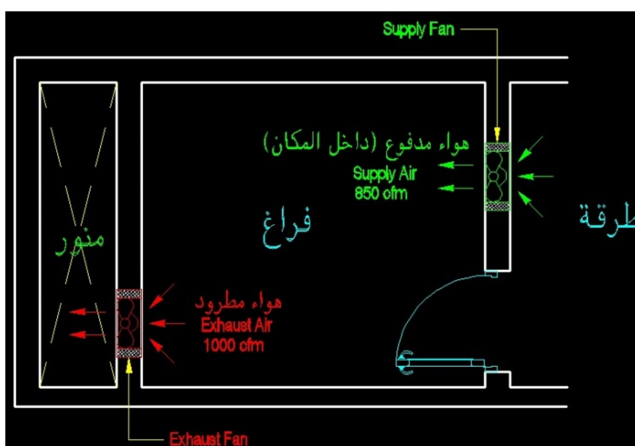
الضغط الموجب (Positive Pressure):

- بالشكل بالشكل رقم (6)، قيمة الهواء المطرود تساوي (1000 cfm)، وقيمة الهواء الداخل تساوي (1150 cfm)، أي أن الهواء الداخل قيمته أكبر من الهواء المطرود، أي أنه يوجد هواء زيادة بالفراغ بمقدار (150 cfm) وهنا يجب أن يحدث اتزان (Balance) بين كمية الهواء الداخل والخارج.
- فيقوم هذا الهواء الزائد بالهروب من الباب إلى الخارج (الطريقة علي سبيل المثال)، وهنا يسمى **الضغط موجب** داخل هذا المكان (الهواء الداخل قيمته أكبر من الهواء المطرود).

شكل رقم (6) الضغط الموجب



شكل رقم (5) الضغط السالب



حساب التهوية (Ventilation Calculation)

أولا حساب الهواء المسحوب (المطروود) (Exhaust Air):

نقوم بحساب كمية الهواء المسحوب (المطروود) (Exhaust Air) من المكان المراد تهويته, من خلال معدل تغيير الهواء في الساعة الواحدة للمكان المراد تهويته (هناك الهواء كام مرة في الساعة) وذلك من خلال المعادلة التالية:

$$\text{CFM Exhaust} = \frac{\text{Area} \times \text{Height} \times \text{ACH}}{1.7}$$

حيث أن:

- (CFM Exhaust): كمية الهواء المسحوب (المطروود) من المكان المراد تهويته بوحدة (قدم مكعب لكل دقيقة - cfm)
- (Area): مساحة المكان المراد تهويته بالمتر المربع (m^2)
- (Height): ارتفاع المكان المراد تهويته بالمتر (m)
- (ACH): معدل تغيير الهواء في الساعة الواحدة للمكان المراد تهويته (Air change per Hour), وهو يختلف من تطبيق لآخر ونحصل عليه من الجداول (الكود)
- (1.7): رقم تحويلي حتي يتم الحساب بوحدة قدم مكعب لكل دقيقة (CFM)

معدل تغيير الهواء في الساعة (ACH):

التطبيق (Application)	عدد مرات تغيير الهواء في الساعة (ACH)
حمام (Toilet)	10 to 12
مطبخ خاص (Domestic Kitchen)	15 to 20
مطبخ تجاري (Commercial Kitchen)	20 to 30
مخازن (Stores)	4 to 6
جراجات (Car Park) الحالة العادية	4 to 6
جراجات (Car Park) في حالة حدوث حريق	10

ثانيا حساب هواء التعويض (الهواء النقي المدفوع للداخل) (Supply Air or Fresh Air):

قمنا في الصفحة السابقة بحساب كمية الهواء المسحوب (المطروود) من المكان المراد تهويته, وهنا يجب ادخال هواء نقي (Supply Air or Fresh Air) من الخارج لتعويض الهواء المطروود, ولادخال هذا الهواء النقي يتم ذلك كما ذكرنا في الماضي عن طريق التالي:

تعويض طبيعي (Natural Supply):

أي يتم دخول الهواء بطريقة طبيعية من خلال الباب أو الفتحات الموجودة بالمكان, فلا نحتاج لأي حسابات أخرى ويتم التعويض طبيعيا (مثل حالات المطابخ المنزلية والحمامات حيث يكون السحب ميكانيكيا والتعويض طبيعيا).

تعويض ميكانيكي (Mechanical Supply):

وهنا يتم تعويض الهواء عن طريق دخوله بطريقة ميكانيكية عن طريق تركيب مراوح دفع (Supply Fan), وهنا نقوم بحساب قيمة هذا الهواء من خلال المعادلات التالية:

1- ضغط المكان المراد تهويته (سالِب): فتكون قيمة الهواء الداخل (0.85 to 0.90) من قيمة الهواء المطروود, أي أن:

$$\text{CFM Supply or Fresh} = (0.85 : 0.90) \times \text{CFM Exhaust}$$

2- ضغط الهواء المراد تهويته (موجب): فتكون قيمة الهواء الداخل (1.10 to 1.15) من قيمة الهواء المطروود, أي أن:

$$\text{CFM Supply or Fresh} = (1.10 : 1.15) \times \text{CFM Exhaust}$$

مثال لحساب تهوية مطبخ:

إذا كان لدينا مطبخ منزلي طوله (3.5) متر، وعرضه (2.5) متر، وارتفاعه (3.2) متر، فاحسب كمية الهواء اللازمة لتهوية هذا المطبخ.

الحل:

طبقا للمعادلة وعند حساب معدل تغير الهواء لمطبخ منزلي (ACH = 15)

$$(CFM_{\text{exhaust}} = \text{Area} \times \text{Height} \times \text{ACH} / 1.7)$$

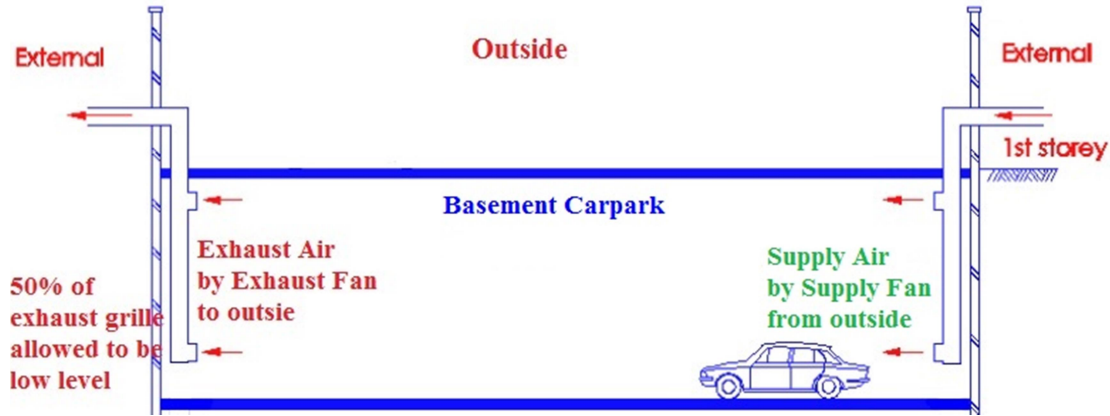
$$(CFM_{\text{exhaust}} = 3.5 \times 2.5 \times 3.2 \times 15 / 1.7)$$

$$(CFM_{\text{exhaust}} = 250)$$

- الناتج يساوي تقريبا 250 قدم مكعب لكل دقيقة (250 cfm)
- نقوم بتركيب مروحة سحب (Exhaust Fan) تقوم بطرد هذه الكمية لخارج المطبخ (للمنور او الشارع).
- ويتم تعويض هذه الكمية بهواء نقي (Natural Air) من خلال فتح باب المطبخ او أسفل الباب (Door Undercut).
- معني ذلك انه عند تركيب مروحة سحب بقيمة (250 cfm) فانه يتم تغيير كمية الهواء بالمطبخ 15 مرة لكل ساعة.

تهوية الجراجات (Car Park Ventilation):

- نظرا لكبر حجم الجراجات مقارنة بالحمامات والمطابخ، فيتم تهوية الجراج عن طريق تركيب مراوح بصاج (Ducts) ومخارج هواء عليها (في معظم الأحيان)
- يتم سحب الهواء ميكانيكا (Mechanical Exhaust)، ويتم تعويض الهواء المسحوب اما تعويضا طبيعيا (Natural Supply)، او تعويضا ميكانيكا (Mechanical Supply)، وذلك بناءا علي حجم الجراج وفتحات التهوية المتاحة التي يمكن دخول الهواء منها واشتراطات الدفاع المدني.
- ضغط الجراجات يكون سالب (Negative Pressure).
- يتم توزيع مخارج الهواء علي مستويين حتي يتم التأكد من سحب الهواء بالكامل من الجراج، فنقوم بعمل نصف المخارج علي مستوي مرتفع بالقرب من السقف (High Level)، والنصف الآخر نقوم بسحبه من مستوي منخفض (Low Level) ويفضل أن يكون علي ارتفاع (60cm : 80cm) من الأرض.



حالات الحريق (Fire Mode):

في كثير من الأحيان يكون من ضمن متطلبات تهوية الجراجات حساب التهوية في حالة حدوث حريق، وهنا يتم حساب التهوية عند الحالة العادية وحالة الحريق ويتم تركيب مراوح متغيرة السرعات (Variable Speed Fan) تعمل في كلا الحالتين ويتم ذلك كالآتي:

- 1- حساب قيمة الهواء المسحوب المطرود (Exhaust Air)، عند قيمة (6 ACH) وذلك في حالة التهوية العادية، وحسابه مرة أخرى عند قيمة (10 ACH) وذلك في حالة حدوث حريق.
- 2- يتم اختيار مروحة سحب متغيرة السرعات (Variable Speed Fan) تعمل عند سرعتين المطلوبتين، فتعمل المروحة دائما عند السرعة البطيئة (Low Speed) وتقوم بسحب كمية الهواء المحسوبة عند (6 ACH) ونسمي هذه الحالة (Normal Mode).

- 3- يتم تركيب مجسات دخان (Smoke Detector), وعند حدوث حريق تقوم هذه المجسات باعطاء اشارة إلي المروحة فتقوم بتغيير سرعتها وتعمل عند السرعة العالية لها (High Speed) وتقوم بسحب كمية الهواء المحسوبة عند (10 ACH) ونسمي هذه الحالة (Fire Mode)
- 4- يتم عمل نفس الخطوات السابقة أيضا بالنسبة للهواء المدفوع (Supply Air), ويتم حساب قيمته عند الضغط السالب بقيمة (85% of CFM Exhaust) لكلا من الحالة العادية وحالة الحريق.

مثال لحساب تهوية جراج:

جراج مساحته 650 متر مربع, وارتفاعه 4.5 متر, المطلوب حساب تهوية الجراج في الحالة العادية وفي حالة حدوث حريق.

الحل:

حالة الحريق	الحالة العادية	
650 m ²		مساحة الجراج
4.5 m		الارتفاع
2925 m ³		الحجم
10	6	معدل تغيير الهواء (ACH)
CFM Ex = 650*4.5*10/1.7 = 17,205 CFM	CFM Ex = 650*4.5*6/1.7 = 10,325 CFM	كمية الهواء المسحوبة (Exhaust Air)
CFM Sup = 0.85 * 17,205 =14,625 CFM	CFM Sup = 0.85 * 10,325 =8,775 CFM	كمية الهواء المدفوعة (Supply Air)

- يتم تركيب مروحة سحب (Exhaust Fan) متغيرة السرعة (Variable Speed Fan) لتقوم بسحب كمية هواء (10,325 CFM) في الحالة العادية, وعند حدوث حريق تقوم مجسات الدخان باعطاء اشارة للمروحة فتزداد سرعتها وتقوم بسحب (17,205 CFM).
- يتم تركيب مروحة دفع (Supply Fan) متغيرة السرعة (Variable Speed Fan) لتقوم بضخ كمية هواء (8,775 CFM) في الحالة العادية, وعند حدوث حريق تقوم مجسات الدخان باعطاء اشارة للمروحة فتزداد سرعتها وتقوم بضخ (14,625 CFM).

تهوية غرف المحركات (Engine Room Ventilation)

- هنا لا نستخدم طريقة (ACH) لحساب تهوية غرف المعدات (مثل غرف المحركات او المولدات او المضخات) لان هذه الطريقة تعتمد في الأساس علي حجم الغرفة.
- ولكن الأساس لحساب تهوية هذه الغرف هو حجم المعدة وليس حجم المكان (علي سبيل المثال هناك غرفة مساحتها 70 m² ممكن أن يتواجد بها محرك ذو قدرة 100kva, او محرك ذو قدرة 500kva, فالأساس هنا هو حجم المعدة وليس حجم المكان).

حساب تهوية غرف المحركات يعتمد علي (Engine Room Ventilation):

- 1- كمية الهواء المطلوبة للتخلص من حرارة المحرك (Radiator Cooling Air).
- 2- كمية الهواء المطلوبة لعملية حرق الوقود (Combustion Air).

$$CFM = \frac{H}{\rho \times CP \times \Delta T} + \text{Combustion Air}$$

حيث أن:

- (CFM): كمية الهواء اللازمة لتهوية الغرفة (Cooling Air + Combustion Air) بوحدة (cfm)
- (H): كمية الحرارة المشعة من المعدة (Heat Dissipation) ونحصل عليها من الكتالوجات الخاصة بالمعدة بوحدة (Btu/min)
- (ρ): كثافة الهواء عند درجة (100° F) وتساوي (0.071 lb/ft³)
- (C_p): الحرارة النوعية للهواء وتساوي (0.24 Btu/LBS/°F)
- (ΔT): فرق درجات الحرارة المسموح به بين درجة حرارة الهواء وأقصى درجة حرارة للغرفة, ودائما تتراوح بين (18 to 20 °F)
- (Combustion Air): كمية الهواء المطلوبة لعملية حرق الوقود, ونحصل عليها من الكتالوجات الخاصة بالمعدة بوحدة (cfm).

ملحوظة (1): اذا كان الهواء المطلوب لعملية حرق الوقود (Combustion Air) له صاج خاص به, فهنا نعتبر قيمته في المعادلة (تساوي صفر) وتكون المعادلة كالتالي:

$$CFM = \frac{H}{\rho \times CP \times \Delta T}$$

ملحوظة (2) :

يمكننا عدم اللجوء للحسابات السابقة وذلك بالدخول مباشرة لكتالوج المعدة (Engine or Generator) حيث أن الكتالوج يوضح كمية الهواء المطلوبة لعملية التبريد أو عملية حرق الوقود.

ملحوظة (3) :

يفضل حساب كمية الهواء المطلوبة لعملية التبريد بالطريقتين (عن طريق المعادلة, وعن طريق المعلومات المتوافرة في الكتالوج), ونقوم بأخذ القيمة الأكبر فيهما وذلك كنوع من الأمان.

ملحوظة (4) :

إذا كان مكان غرفة المحرك لا يطل مباشرة على الهواء الخارجي (مثل وجود الغرفة في البدر و لا يوجد سطح فوقها), فهنا نستخدم عادة مراوح لتهوية الغرفة.
أما إذا كانت الغرفة تطل مباشرة على الهواء الخارجي فهنا عادة لا نستخدم مراوح لتهوية الغرفة ولكن يتم عمل فتحات بالحوائط أو السقف لدخول الهواء وخروجه, ويتم حساب مساحة الفتحة كالتالي:

$$A = \frac{Q (CFM)}{V}$$

حيث أن:

- (A): مساحة الفتحة اللازمة لدخول كمية الهواء المحسوبة بوحدة (ft²)
- (Q): كمية الهواء اللازمة لتهوية الغرفة المحسوبة سابقاً أو من الكتالوج بوحدة (CFM)
- (V): سرعة دخول الهواء خلال تلك الفتحة وتتراوح من (400:1000 ft/min)

ملحوظة (5) :

يفضل أن يكون الضغط موجبا داخل غرف المحركات (Positive Pressure), وذلك حتي يمنع تكون أي غبار (dust and dirt) داخل الغرفة ومن الممكن دخوله مع هواء الاحتراق (Combustion Air) مما يؤثر علي جودة عملية الاحتراق.

مثال لحساب تهوية غرفة محرك:

غرفة محرك مساحتها 71 متر مربع، وارتفاعها 4.5 متر، يوجد بها محرك ماركة (FG Wilson) بقدر 1600 Kva، المطلوب حساب التهوية لهذه الغرفة.

خطوات الحل:

أولا طبقا لبيانات هذا المحرك من الكتالوج الخاص به كالتالي:

Technical Data	
Total Radiated Heat: kW (Btu/min)	151 (8587)
Exhaust Temperature: °C (°F)	465 (869)
Radiator Cooling	
Air Flow: m³/min (cfm)	1110 (39199)
Combustion Air Flow: m³/min (cfm)	80.5 (2843)

$$CFM = \frac{H}{\rho \times CP \times \Delta T} + \text{Combustion Air}$$

$$CFM = \frac{8587}{0.071 \times 0.24 \times 18} + 2843 = 30840 \text{ cfm} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ثانيا طبقا للكتالوج:

$$CFM = CFM \text{ Radiator Cooling} + CFM \text{ Combustion Air Flow}$$

$$CFM = 39199 + 2843 = 42042 \text{ cfm} \quad \dots\dots\dots (2)$$

بناءا عليه تكون كمية الهواء اللازمة لتهوية هذه الغرفة **تساوي (42042 cfm)**.

واذا كانت الغرفة لا تطل مباشرة علي السطح او الشارع فيتم هنا تركيب مراوح لتهوية الغرفة.

أما اذا كانت الغرفة تطل مباشرة علي السطح او الشارع فيتم عمل فتحات تهوية مباشرة مساحتها كالتالي:

$$Area = Q / v = 42042 / 1000 = 42.042 \text{ ft}^2 = 3.9 \text{ m}^2$$

- يتم عمل فتحة لسحب الهواء (Exhaust Air Opening) ذو مساحة (3.9 m²)
- يتم عمل فتحة لدخول الهواء (Intake Air Opening) ذو مساحة (3.9 m²)
- اذا تم تركيب (Louver) فيتم حساب مساحة اللوفر علي اساس (50% Free Area), وتكون مساحة اللوفر تساوي (3.9 x 2 = 7.8 m²) سواء للمسحوب او للداخل

مثال لحساب تهوية غرفة محرك من كتاب (Caterpillar 2015):

Calculating Required Ventilation Airflow

Engine room ventilation air required for Cat engines and packages can be estimated by the following formula.

$$V = \left[\frac{H}{D \times C_p \times T} + \text{Combustion Air} \right] \times F$$

Where:

V = Ventilating Air (m³/min), (cfm)

H = Heat Radiation i.e. engine, generator, aux (kW), (Btu/min)

D = Density of Air at air temperature 38°C (100°F). The density is equal to 1.099 kg/m³ (0.071 lb/ft³)

C_p = Specific Heat of Air (0.017 kW x min/kg x °C), (0.24 Btu/LBS/°F)

T = Permissible temperature rise in engine room (°C), (°F)

(Note: Max engine room temperature is 120°F)

©2015 Caterpillar
All rights reserved.

Note: If combustion air is supplied to the engine through dedicated duct work, "Combustion Air" should be omitted from the formula.

Example:

The engine room for a 3412 DITA genset has a Type 1 ventilation routing configuration and a dedicated duct for combustion air. It has a heat rejection value of 659 kW (37,478 Btu/min) and a permissible rise in engine room temperature of 11°C (20°F).

Solution:

The estimated engine room ventilation required for this arrangement:

$$V = \left[\frac{659}{1.099 \times 0.017 \times 11} + 0 \right] \times 1$$

$$V = 3206.61 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$V = \left[\frac{37478}{0.071 \times 0.24 \times 20} + 0 \right] \times 1$$

$$V = 109970.7 \text{ cfm}$$

Page 3

- الشكل السابق يوضح مثال محلول تهوية غرفة محرك من نوع (3412 Dita) ومطلوب حساب كمية الهواء اللازمة لتهويته (CFM or V), حيث أن كمية الحرارة المشعة منه (H=37,478 Btu/min), وكثافة الهواء (R or D=0.071 lb/ ft³), والحرارة النوعية للهواء (C_p=0.24 Btu/LBS/°F), وفرق درجات الحرارة المسموح به (ΔT=20 °F), وكمية الهواء المطلوبة لعملية الاحتراق (Combustion Air) لها توصيلة خاصة بها منفصلة عن توصيلة التهوية لذلك يتم اعتبار قيمته تساوي (صفر), وأخيرا (F) معامل خاص بكاتربيلر ونعتبره (1).
- بعد تطبيق المعادلة وجدنا أن كمية الهواء اللازمة لتهوية هذه الغرفة (CFM = 109970.7).

ملحوظة: في الجزء القادم من التهوية سوف نتحدث عن المراوح (Fans) وأنواعها واستخداماتها وكيف يتم اختيارها, وأيضا سوف نتحدث عن تهوية المطابخ التجارية (Commercial Kitchen Ventilation) بشكل مفصل وبطريقة أدق من طريقة (ACH).