المنارة جامعة كلية الهندسة قسم هندسة العمارة	السنة الثالثة الفصل الاول

مقرر تجهيزات المباني 3

Building Installation 3(CEAC701)

قسم التدفئة والتهوية والتكييف

مدرس المقرر الدكتور محمد علي

مقدمة

لمحة مختصرة عن هندسة التدفئة والتهوية والتكييف

إن المراحل الأساسية في تطور هندسة التدفئة والتهوية كما هو الحال في أي مجال آخر للصناعة والبناء تحددت بشكل تدريجي نتيجة تطورات القوى الإنتاجية وبشكل خاص العلاقات الإنتاجية وذلك لتأمين راحة الإنسان ولرفع مستواه الحياتي والثقافي وخلق ظروف مناسبة لجو العمل للحصول على أفضل نوعية للمنتجات الصناعية المختلفة وبكميات وفيرة.

ورافق ذلك تطور كبير في علم تدفئة وتكييف الهواء الذي يتناول إصلاح الهواء للحصول على درجة الحرارة والرطوبة المطلوبة بالإضافة إلى نظافة الهواء وسرعته.

تقسم هندسة التدفئة والتهوية إلى قسمين :

- لأجل راحة الإنسان.
- لأجل الصناعة.

إن جسم الإنسان يتأقلم مع شروط مناخية محددة وعند انخفاض درجة الحرارة أو ارتفاعها عن حد معين يشعر الشخص بالضيق وعدم الارتياح لذلك لابد من التحكم بدرجة حرارة ورطوبة الهواء بالطرق الصناعية فمثلاً عن طريق التدفئة المركزية بالمشعات أو استخدام الألواح المشعة لتدفئة وتكييف الحيز أو استخدام التكييف المركزي باستخدام وحدات معالجة الهواء المركزية التي تحتوي على (مبرد - مسخن - فلتر - مروحة - وغيرها) للمحافظة على شروط راحة محددة ضمن الاماكن المكيفة وغيرها الكثير من الأنظمة المستخدمة.

القسم الأول

التدفئة المركزية

CENTRAL HEATING

الفصل الأول

طرق التدفئة Heating Methods

-مقدمة الارتياح

إن حالة التوازن لجسم الإنسان من حيث درجة الحرارة والرطوبة ترتبط بشكل وثيق بالوسط المحيط وهذا ما يحدد مستوى النشاط الذي يقوم به الإنسان. فبالمحافظة على هذه الحالة للتوازن يشعر الإنسان بالارتياح في المكان الموجود فيه.

جميع العمليات الفيزيولوجية الضرورية في حياة الإنسان (دورة دموية، هضم، حركة،.....) حتماً تكون مصحوبة بإفرازات حرارية. إن كمية الحرارة الصادرة عن جسم الإنسان مختلفة من شخص لآخر وتتعلق بعدة عوامل (العمر، الوزن، نوع العمل الذي ينجزه الشخص، درجة الراحة والهدوء عند الشخص، وغير ذلك) وتتراوح بين (70 - 200 Kcal/h) وكلما ازداد الضغط الفيزيائي على الجسم كلما ازدادت كمية الحرارة الصادرة عنه.

درجة الحرارة الطبيعية في جسم الإنسان ثابتة وهي ($37c^{o}$) وللمحافظة على هذه الحرارة يجب التخلص من كمية الحرارة المنتجة داخل الجسم وطردها إلى الوسط الخارجي. أما خروج الحرارة من جسم الإنسان إلى الوسط المحيط فيحدث بثلاث طرق:

1 ـ طريقة الحمل : تنتقل الحرارة من الجلد إلى الوسط بوساطة الهواء الملامس لجسم الإنسان والذي يملك وزن حجمي أقل.

2 ـ طريقة الإشعاع : وذلك نتيجة اختلاف درجة حرارة الإنسان والسطوح المحيطة به.

3 ـ طريقة التبخر : وذلك بسبب نعومة سطوح الجلد.

كمية الحرارة الصادرة عن جسم الإنسان تتعلق بعوامل عديدة أهمها درجة حرارة الهواء الجافة وسرعة حركة الهواء وكذلك درجة حرارة السطوح المحيطة بالإنسان. غير أن جملة العوامل مجتمعة تشكل الشروط الطبيعية لارتياح الإنسان.

- طرق التدفئة : (Methods Heating)

يتم تزويد الأبنية بالطاقة الحرارية اللازمة للتدفئة بطرق عديدة من المناسب الآن إلقاء نظرة سريعة عليها. إن عدد طرق التدفئة والأنظمة غير محدود في الغالب إذا كانت الدراسة ستشمل كل جانب لتزويد الطاقة، طرق تحويل الطاقة إلى حرارة، وسيط النقل ونوع العنصر الباعث. بشكل عام يمكن تصنيف طرق التدفئة ضمن مجموعتين أساسيتين تقع جميعها فيها وهي:

أولاً: التدفئة المباشرة :

أ - النار المكشوفة : (Open fire) :

استعمل الإنسان الأول منذ أقدم العصور النار المكشوفة (open fire) كأبسط أسلوب للتدفئة، حيث يتم حرق الوقود (الحطب أو الفحم) داخل المسكن بشكل مكشوف، وكان أول تطور لهذا الأسلوب البدائي هو إضافة مدخنة لحمل الغازات الناتجة عن الاحتراق والخان إلى خارج المكان المدفأ، وتعرف هذه الطريقة باسم الموقد (fire place) أو المدفأة المفتوحة.

ب - الموقد : (Fire place) :

يسخن الموقد الغرفة بواسطة الإشعاع الحراري ولذلك فهو لا يسخن هواء الغرفة بصورة مباشرة، وإنما يتم تسخين الهواء بشكل متأخر عن طريق ملامسته للجدران ولمحتويات الغرفة الساخنة التي تكون قد امتصت الحرارة عن طريق الإشعاع مباشرة من الموقد ومن ملاسته لجدران المدخنة الساخنة. يكون التأثر الحراري فبهذا النوع من التدفئة على الجسم الإنساني غير متجانس، إذ بينما يكون سطح الجسم المواجه للنار دافئا يكون الطرف الغير مواجه للنار باردا ولذا لا يشعر الإنسان بالارتياح. كما أن المردود الموقد الحراري منخفض جداً إذ لا يتجاوز بأحسن حالاته (25%).

جـ - المدفأة : (Stove)

يتم حرق الوقود ضمن المدفأة المعدنية المغلقة بمردود أعلى من حالة الموقد، كما يمكن في المدفأة استعمال الوقود الصلب (الحطب أو الفحم الحجري) أو الوقود السائل (المازوت وغيره)، حيث يمكن في هذه الحالة التحكم بكمية الحرارة المتولدة بسهولة عن طريق التحكم بكمية الوقود السائل. ولذا فهي أسهل استعمالا وأنظف، إلا أن مردودها الحراري وأداءها أدنى من أنواع التدفئة الحديثة المركزية (غير المباشرة).

د - المدفأة الكهربائية :

تمتاز المدفأة الكهربائية بسهولة استعمالها ونظافتها إذ أنها لا تحتاج إلى وقود أو إلى تنظيف، كما أن مردودها الحراري عالي جدا يبلغ (% 100)، إلا أنها محدودة الاستعمال في البلاد التي تكون فيها قيمة الكهرباء مرتفعة. ويكون شكل المدفأة عادة قطع مكافئ، وتتوضع الوشيعة في محرق القطع وذلك لتوجيه الحرارة نحو جهة معينة، وقد تزود المدفأة بمروحة لتحريك الهواء وتسريع عملية الانتقال الحراري.

هـ - المدفأة الغازية :

للمدفأة الغازية ميزتا السهولة والنظافة كالمدفأة الكهربائية وكذلك لها مردود حراري كامل، إلا أنها غير صحية وخطرة في بعض الأحيان ،إذ تبقى نواتج الاحتراق ضمن الغرفة، ما قد تسبب الاختناق فيما إذا تسرب الغاز منها دون احتراق.

ثانياً: التدفئة غير المباشرة أو المركزية: (Central Heating)

إن وظيفة أي جهاز تدفئة مهما كان نوعه هو المحافظة على درجات حرارة ثابتة مريحة للإنسان في الغرف التي يشغلها. في انظمة التدفئة غير المباشرة يتم توليد الحرارة في مكان خارج المكان المراد تدفئته مثلا في غرفة المراجل حيث يتم احتراق الوقود–المازوت لتسخين الماء الذي بدوره يقوم بتسخين هواء المكان المدفئ.

ويعتبر كل من الهواء أو البخار أو الماء حامل حراري يتم بواسطته نقل الحرارة من مكان توليدها إلى نقاط استعمالها.

وتتألف التدفئة المركزية بأنواعها الثلاثة من العناصر الأربعة التالية :

1 - مائع مناسب لنقل الحرارة–ناقل حراري (الماء أو البخار أو الهواء).

2 - حجرة احتراق يتم فيها حرق الوقود وتوليد الحرارة التي تنتقل إلى المائع-مراجل الماء او البخار.

3 - شبكة أنابيب (للماء أو البخار) أو مجاري (للهواء) لحمل المائع إلى الغرف المطلوب تدفئتها.

4 - أجهزة مناسبة لتوزيع الحرارة في الغرف ، كالمشعات والـ (fan coil) وغيرها في حالة التدفئة بالبخار أو الماء. أما في حالة التدفئة بالهواء فلا لزوم لتلك الأجهزة حيث يختلط الهواء الساخن الحامل للحرارة مع هواء الغرفة ويصبح جزء منه.

أ - التدفئـة بالبخـار : (Steam Heating)

يعتبر البخار من الأجسام الملائمة لحمل الحرارة إذ أنه يعطي عندما يتكاثف حرارة التبخر الكامنة التي يحملها عند درجة حرارة أعلى بشكل ملحوظ من درجات حرارة الغرف المطلوب تدفئتها. لذا يمكن حمل كميات كبيرة من الحرارة بواسطة كمية صغيرة من المائع الوسيط. تتألف أجهزة التدفئة بالبخار من مرجل بخاري لتوليد البخار ومن وحدات تسخين في كل غرفة كالمشعات والـ (fan coil) أو غيرها، ومن شبكة أنابيب لحمل البخار من المرجل إلى وحدات التسخين ولإعادة الماء المتكاثف إلى المرجل. وتتميز هذه الطريقة بكلفة تأسيسية رخيصة نسبيا، وبإمكانية حمل كميات كبيرة من الحرارة، إلا أن من أ كبر عيوب التدفئة بالبخار هو عجزه عن التلاؤم مع المتطلبات الحرارية المتغيرة للغرفة، إذ أن المشع العادي المستعمل في التدفئة بالبخار إما أن يغطي كامل استطاعته الحرارية أو أن يغلق ولا يعطي أية حرارة على الإطلاق.

ب - التدفئـة بالماء السـاخن : (Hot – Water Heating)

عندما يستعمل الماء كمائع حامل للحرارة فأنـه يعطي قسماً من حرارته المحسوسـة في الـ (fan coil) أو المشع ومن ثم يعود إلى المرجل لإعادة تسخينه.

تعتبر عادة درجة الحرارة (90 °C) أعلى درجة ملائمة لعمل نظام الماء الساخن إلا إذا صمم النظام على أن يعمل تحت ضغط مرتفع فيمكن في هذه الحالة الوصول إلى درجات حرارة أعلى من درجة حرارة غليان الماء تحت الضغط الجوي. وعلى كل حال فتعتبر بصورة عامة

درجات الحرارة المعتدلة أكثر ملائمة ولهذا السبب فأن درجة الحرارة (80 °C) هي الدرجة المفضلة لتصميم النظام عليها.

يمكن أن يتم تدوير الماء ضمن الأنابيب في نظام الماء الساخن بواسطة فرق الكثافة بين الماء الساخن الذاهب إلى المشعات والماء البارد العائد منها إلى المرجل.إلا أن هذه القوة المحركة صغيرة ويجب لذلك اختيار أنابيب ذات أقطار كبيرة حتى لا تعيق جريان الماء لهذا السبب يفضل استعمال مضخة تسريع تعطي قوة دفع للماء تتغلب على احتكاكات الأنابيب وتجعل من الممكن استعمال أنابيب ذات أقطار معتدلة. إن من مميزات نظام التدفئة بالماء الساخن هو مقدرته على توصيل الحرارة بأي معدل مطلوب من الصفر إلى استطاعته العظمى.

جـ - التدفئة بالهواء الساخن : (Warm – Air Heating)

يطلق اسم التدفئة بالهواء الساخن على عدة أنواع من أنواع التدفئة التي يتم بها تسخين الأمكنة المراد تدفئتها بواسطة الهواء الساخن مثلا في حالة استخدام الـ (fan coil).

ويمكن تسخين الهواء المرسل إلى الغرف أما بتمريره ضمن فرن خاص حيث يتم فيه حرق الوقود وتوليد الحرارة وبالتالي انتقالها إلى الهواء المار على سطوح الفرن الساخنة أو بواسطة مسخنات خاصة تتلقى حرارتها إما من مرور بخار الماء ضمنها أو الماء الساخن ، أو بواسطة مقاومات كهربائية تعطي الحرارة اللازمة.

تتم التدفئة بالهواء الساخن بإحدى الطرق الثلاث التالية:

1 - يتم سحب جميع الهواء المطلوب تسخينه من المحيط الخارجي فيسخن ثم يرسل إلى الغرف ، ويطرد بالتالي الهواء الدافئ المستعمل إلى المحيط الخارجي. وتعتبر هذه الطريقة ذات كلفة تشغيل عالية ، إذ على جهاز التسخين الهواء أن يقوم برفع درجة حرارة الهواء البارد المسحوب من الخارج وتسخينه إلى درجة حرارة عالية تكفي تدفئة الغرف.

2- يتم سحب جميع الهواء المطلوب تسخينه من الغرف نفسها فيسخن ثم يعاد إليها ، وهكذا يمر الهواء ضمن دارة مغلقة. تعتبر هذه الطريقة اقتصادية إذ على الجهاز في هذه الحالة أن يقوم برفع درجة حرارة الهواء الدافئ الآتي من الغرف ويستهلك من الوقود مقداراً أقل من الطريقة السابقة. إلا أن هذه الطريقة لا تسمح بتهوية الغرف وتجديد هوائها ولذا فأنها تعتبر غير صحية خاصة إذا استعملت في الأماكن المكتظة بالسكان.

3- يمكن دمج الطريقتين مع بعضهما البعض وذلك بسحب جزء من الهواء من الغرف والجزء الآخر من المحيط الخارجي بشكل تأمين معها تهوية الغرف دون تكبد مصاريف تشغيل كبيرة. ويمكن التحكم بنسبة الهواء الجديد مع الهواء المستعمل حسب الحاجة ، فعندما تهبط مثلاً درجة الحرارة الخارجية هبوطاً كبيراً تنخفض نسبة الهواء الجديد (لتوفير الوقود) ، كما يمكن أيضاً عند الابتداء بتدفئة المكان الاستغناء كلياً عن الهواء الخارجي وتشغيل الجهاز بدارة مغلقة فتر ة من الزمن حتى يتم تدفئة المكان بسرعة وبأقل كلفة ممكنة (فان كويل).

تستعمل طريقة التدفئة بالهواء الساخن لتدفئة صالات المعامل والمسارح والصالات الرياضة الشتوية وقاعات المعارض والجوامع والكنائس وما شابه ذلك، كما تستعمل أيضا في بعض

الأبنية السكنية ، ويتم تسخين الهواء في جهاز التسخين الخاص الموضوع في مكان معين من البناء ثم يوزع الهواء الساخن على كافة أرجاء المكان بواسطة مجاري خاصة تنتهي بفتحات إرسال مناسبة.
كما يسحب الهواء العائد من عدة نقاط بواسطة فتحات سحب متصلة بمجاري عودة حيث يمتزج الهواء الخارجي قبل إدخاله بجهاز التسخين لإعادة تسخينه وتوزيعه.
إن تدفئة المطبخ والحمام التواليت يمكن أن يتم بالهواء الخارج من المسخن ولكن يجب عدم إعادة استخدام هذا الهواء بل يجب طرده بالكامل لما فيه من روائح وأبخرة... الخ.

الفصل الثاني

الضياعات الحرارية Heat Losses وانتقال الحرارة Heat transfer

.انتقال الحرارة عبر سطوح الأبنية:

يصدر عن جسم الإنسان، بشكل دائم، حرارة ويعطيها للوسط الخارجي المحيط به دون أن يشعر بالتقلبات الحرارية. الجزء الأكبر من الحرارة تصدر عن السطوح الخارجية لجسم الإنسان بالحمل وبالإشعاع. شدة الإصدار الحراري بالحمل تتعلق بشكل أساسي بدرجة حرارة الوسط الخارجي، أما بالإشعاع فهي تتعلق بدرجات حرارة سطوح الأبنية المحيطة.

درجة حرارة الهواء الخارجي والسطوح الداخلية في المبنى تتعلق باستطاعة وتنظيم شبكة التدفئة وبخصائص المقاومة الحرارية للسطوح الخارجية وبمقدار الضياع الحراري من خلالهم وأيضا تتعلق بشدة ونوعية المصادر الأخرى للضياع وللكسب الحراري.

في الأيام الباردة عندما تكون درجة الحرارة الداخلية للمبنى أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي يحدث فقدان للحرارة عبر السطوح الخارجية من داخل المبنى إلى خارجه وهناك ضياع آخر للحرارة كالتي تستهلك لتسخين الهواء المتسرب من خارج المبنى إلى داخله وقسم آخر من الحرارة يضيع على تسخين المواد والمعدات والأساسات والألبسة .... الخ الموجودة داخل المبنى.

من ناحية أخرى فإن عملية تهوية الأبنية يمكن تأمينها بسهولة وذلك بإدخال هواء خارجي درجة حرارته أقل من درجة حرارة الهواء داخل المبنى عن طريق الأبواب والنوافذ.

إلا أن هذا يسبب فقدان كبير للحرارة لذلك يجب استعمال الوسائل الفنية الخاصة بالتهوية بحيث لا يرافقها ضياع للحرارة من داخل المبنى.

أما فيما يتعلق بالكسب الحراري فإن الأبنية تكتسب حرارة ليس فقط من أجهزة التدفئة وإنما من الآلات والمحركات والمصابيح الكهربائية وأجهزة التسخين المستعملة في المطابخ ومن المنتوجات الساخنة وهناك كسب حراري من أشعة الشمس ومن هواء التهوية المعالج وأيضا من الأشخاص.

في الفصل الحالي سوف نبحث بالطرق النظرية الأساس التي تسمح بتحديد خصائص السطوح الخارجية في مقاومتها للحرارة وتحديد الضياعات الحرارية من خلالها.

1 - 4 - 1 - عمليات انتقال الحرارة أو التبادل الحراري :

تتم عملية انتقال الحرارة من داخل المبنى إلى الوسط الخارجي بوساطة ثلاث طرق للتبادل الحراري.

-انتقال الحرارة بالتوصيل

-انتقال الحرارة بالحمل

-انتقال الحرارة بالإشعاع

- طريقة التوصيل : هذه الحالة لانتقال الحرارة تحدث في الأجسام الصلبة حيث أن الحرارة ضمن الجسم الصلب تنتقل من ذرة إلى ذرة إلى أن تصل لكافة ذرات الجسم. ظاهرة التوصيل يمكن ملاحظتها أيضا في الغازات والموائع ولكن في حالات خاصة وهي عندما تكون ذرات الغاز أو المائع غير قابلة للحركة حيث تعامل في هذه الحالة كالأجسام الصلبة من حيث انتقال الحرارة.العالم الفرنسي فوريه أول من أوجد العلاقة الأساس لانتقال الحرارة وقد عبر عنها بالصيغة التالية :

$$Q = \frac{\lambda}{\ell}(t_1 - t_2)F$$

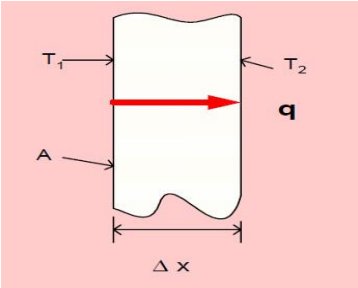
أي أن كمية الحرارة التي تنتقل من واحدة السطح من الأجسام الصلبة تتم بحادثة التوصيل وهي تتناسب مع التدرج الحراري ضمن المادة أما عامل التناسب λ في تلك العلاقة فيسمى بـعامل التوصيل الحراري ($w/m.c^o$).

حيث : Q كمية الحرارة (w)

L أو (xΔ)- سماكة الجدار (m)

F - مساحة سطح الجدار (m^2).

($t_1 - t_2$) - فرق درجات الحرارة على وجهي الجدار (c^o).



- **طريقة الحمل الحراري** :هي حالة انتقال الحرارة في الغازات والموائع ذات الذرات المتنقلة- الهواء. عن طريق الحمل يحدث تبادل حراري بين جسم صلب ومائع أو غاز نتيجة لتلامس الهواء مع السطوح المختلفة). العلاقة الرياضية التي تعبر عن التبادل الحراري بالحمل تسمى بعلاقة نيوتن وبوساطتها يمكن ايجاد كمية الحرارة المنتقلة بالحمل والتي تساوي:

$$Q = f(t_1 - t_2)F \quad (w)$$

حيث : ($t_1 - t_2$) - فرق درجات الحرارة للسطح والمائع المتبادلين حراريا (c^o).

f_c - عامل انتقال الحرارة بالحمل ($W/m^2.c^o$).

- **طريقة الاشعاع الحراري :** تتحول الطاقة الحرارية على سطح الجسم إلى طاقة إشعاعية والتي بدورها تنتقل من خلال الوسط الفاصل إلى سطح جسم آخر بحيث تتحول مرة ثانية إلى حرارة. إن التبادل الحراري بالإشعاع يمكن أن يتم بين الأجسام الصلبة والسائلة والغازات عند درجات حرارة عالية باعتبار أن الإشعاع هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تنتقل بين الأجسام بشكل مشابه لحالة انتقال الضوء فالحرارة مثلاً تشع وفق خطوط مستقيمة و يمكن كذلك إحداث ظلال حرارية على نمط الظلال الضوئية. . فإن كمية الحرارة التي تعطى بالإشعاع من سطح مساحته F_1 (m^2) يملك درجة حرارة مطلقة T_1 (k) إلى سطح آخر مساحته F_2 ودرجة حرارته T_2 تساوي:

$$Q = c[(\frac{T_1}{100})^4 - (\frac{T_2}{100})^4].F_1.\varphi_{1-2}$$

حيث : c - عامل الاصدارية الوسطية لمجموعة الأجسام التي تتبادل الحرارة بالاشعاع .

φ_{1-2} ـ يسمى بعامل التعريض للاشعاع (ثابت بلانك) ومقداره يتوقف على توضع وأبعاد السطوح وعلى جزء السيالة الحرارية التي يشعها F_1 وتسقط على F_2 φ_{1-2} = 0,5 للجسم الأسود. f_r ـ عامل انتقال الحرارة بالاشعاع $(W/m^2.c^o)$.

نادرا ما يصادف في الطبيعة حدوث ظاهرة واحدة للتبادل الحراري من الظواهر الثلاث المذكورة سابقا. وفي أكثر الحالات تترافق الظواهر الثلاث مع بعضها بحيث تشكل عملية كاملة للتبادل الحراري.

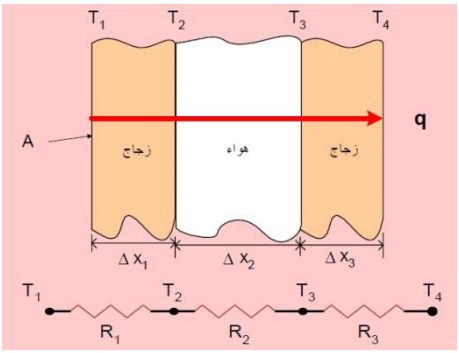
عندما يشارك الإشعاع والحمل والتوصيل الحراري في العملية الكاملة لانتقال الحرارة من وسط لآخر تسمى هذه العملية بانتقالات الحرارة.

أما إذا كانت المقاومة الحرارية Ri مرتبة بصورة موازية لاتجاه التدفق الحراري المار عبرهم فإن الايصالية الحرارية الكلية لهذه العملية تساوي مجموع الايصاليات الحرارية المرتبة بصورة متوازية:

$$\frac{1}{R} = \Sigma \frac{1}{R_i}$$

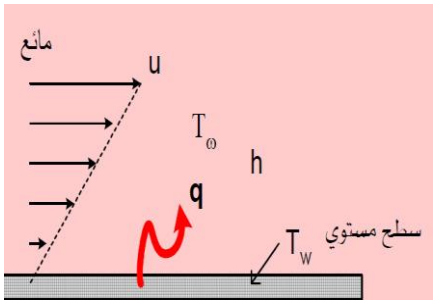
ـ انتقال الحرارة عبر السطح :

تعتبر عملية مرور الحرارة من داخل المبنى إلى الوسط الخارجي من أصعب المشكلات التي يواجهها علم انتقال الحرارة. لكي تتم عملية انتقال الحرارة من وسط لآخر يجب أن يكون هناك فرق في درجات حرارتهما بالدرجة الأولى وعلى هذا الأساس يمكن حساب كمية الحرارة المنتقلة.



أ ـ انتقال الحرارة بالحمل:

في البداية يحدث انتقال للحرارة من الهواء الداخلي في الغرفة إلى الطبقة الداخلية للجدار الخارجي. باعتبار أن درجة حرارة هواء الغرفة (t_i) أعلى من درجة حرارة طبقة الجدار الداخلية (τ_i) فإن الحرارة تنتقل من هواء الغرفة إلى تلك الطبقة بالحمل كما هو مبين على الشكل.



في هذه الحالة كمية الحرارة المنتقلة تساوي:

$$Q_1 - \frac{1}{R_i}(t_i - \tau_i)A = f_i(t_i - \tau_i)A$$

حيث : f_i ـ عامل انتقال الحرارة بالحمل لسطح الجدار الداخلي ($w/m^2.c^o$).

R_i ـ عامل مقاومة الانتقال الحراري لنفس السطح

A ـ مساحة الجدار (m^2).

يمكن الحصول على الشكل العام للعلاقة التي تمكننا من حساب كمية الحرارة Q الضائعة من المبنى عبر جدارا خارجيا من العلاقة

حيث : U ـ عامل الانتقال الحراري الإجمالي للجدار ($w/m^2.c^o$).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{f_0}} \quad w/m^2.c^o$$

عمليا إن أغلب الجدران المستخدمة في البناء متعددة الطبقات ومصنوعة من مواد بناء مختلفة. فلحساب عامل انتقال الحرارة الإجمالي لجدار يتألف من n طبقة يمكن اتباع الطريقة السابقة وذلك بعد معرفة كامل التوصيل الحراري لكل طبقة ($\lambda_1, \lambda_2, \ldots\ldots, \lambda_n$) وسماكة كل طبقة ($l_1, l_2, \ldots\ldots, l_n$) أي أن العامل U يساوي:

$$U=\frac{1}{\frac{1}{f_i}+\frac{l_1}{\lambda_1}+\frac{l_2}{\lambda_2}+\ldots\ldots+\frac{l_n}{\lambda_n}+\frac{1}{f_0}}$$

أو

$$U=\frac{1}{\frac{1}{f_i}+\sum_{i=1}^{n}\frac{l_i}{\lambda_i}+\frac{1}{f_0}}$$

ـ جدار يحوي فراغا هوائيا :

توجد الفراغات الهوائية بين طبقات الجدران إما لغرض تخفيض الضياعات الحرارية أو لأغراض إنشائية كما هو مبين على الشكل في هذه الحالة يتوجب الأخذ بعين الاعتبار عامل التوصيل الحراري لهذا الفراغ الهوائي (C_a) أي :

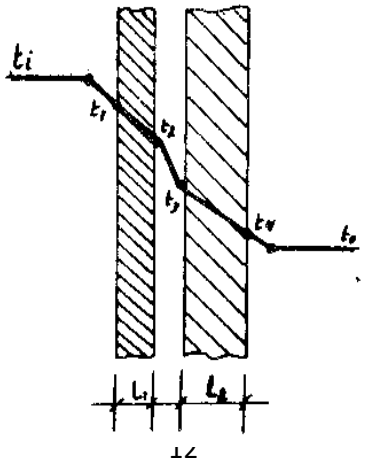
$$U=\frac{1}{\frac{1}{f_i}+\frac{\ell_1}{\lambda_1}+\frac{1}{C_a}+\frac{\ell_2}{\lambda_2}+\ldots.+\frac{\ell_n}{\lambda_n}+\frac{1}{f_0}} = \frac{1}{\frac{1}{f_i}+\frac{1}{C_a}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\ell_i}{\lambda_i}+\frac{1}{f_0}}$$

حيث : C_a ـ عامل التوصيل الحراري للفراغ الهوائي ($w/m^2.c^o$).

هذه العلاقة تمثل الشكل النهائي لايجاد عامل انتقال الحرارة الإجمالي لجدار يتألف من عدة طبقات ويحوي فراغا هوائيا.

كما ذكرنا سابقا فإن مقلوب عامل انتقال الحرارة يعبر عن المقاومة الحرارية وبالتالي فإن المقاومة الحرارية الإجمالية لجدار يتألف من عدة طبقات ويحوي فراغا هوائيا تأخذ الشكل التالي:

$$R=\frac{1}{U}=\frac{1}{f_i}+\frac{1}{C_a}+\sum_{i=1}^{n}\frac{l_i}{\lambda_i}+\frac{1}{f_0}$$



وكمية الحرارة الكلية المنتقلة من جهة درجة الحرارة المرتفعة الى جهة درجة الحرارة المنخفضة عبر الحواجز (الجدران والنوافذ والسقف) تحسب من العلاقة التالية:

$$Q=A.U.(T_{IN}-T_{OUT}) \quad (W)$$

ـ العوامل المميزة لانتقال الحرارة عبر جدار:

أهم مميزات انتقال الحرارة عبر جدار تقسم إلى العوامل التالية :

1 ـ عامل التوصيل الحراري لمواد البناء المصنوع منها الجدار (λ)

تتغير قيمة عامل التوصيل الحراري لمادة ما مع تغير وزنها الحجمي والرطوبة ودرجة الحرارة. يمكن توضيح ذلك بأنه في المواد في الترابطات المختلفة تتواجد المكونات الأساسية للمادة وهي الهيكل والماء والهواء والصلابة. إذا كان عامل التوصيل الحراري للهيكل من أجل المواد ذات المنشأ غير العضوي يساوي 6 - 4 فإن عامل التوصيل الحراري للهواء يساوي تقريبا 0,02. مع زيادة الوزن الحجمي يزداد عامل التوصيل الحراري لمواد البناء. ويفسر ذلك بأن القسم الذي يحتله الهواء من الحجم يتناقص أما القسم الذي يحتله الهيكل، وهو يملك أكبر عامل توصيل حراري، يزداد وهذا يحدث أيضا مع زيادة رطوبة المادة عندما يمتلىء حجمها بالماء زائحاً الهواء. عامل التوصيل الحراري للماء ($\lambda = 0,58$) أكبر بـ 25 مرة منه للهواء.

مع إرتفاع درجة الحرارة يزداد عامل التوصيل الحراري لمختلف مواد البناء. بانخفاض درجة الحرارة تحت الصفر فإن الجزء الأكبر من الماء الموجود في المادة يتحول إلى جليد والذي له عامل توصيل حراري يساوي 2,3 أي بأربع مرات أكبر من أجل الماء. لذلك عامل التوصيل الحراري للمواد المائعة دائما يزداد في وقت الصقيع. قيم عامل التوصيل الحراري لمواد البناء المستخدمة تعطى في الجدول.

جدول عامل التوصيل الحراري λ للمواد

المادة	الكتلة النوعية kg/m^3	عامل التوصيل الحراري $\lambda = \frac{w}{m.c^o}$
أولاً : مواد البناء		
آجر مصمت	1800	0.87
بيتون مسلح	2400	1.57
بيتون عادي	2200	1.57
بلوك من البيتون مفرغ	1400	0.60
بلوك من البيتون	1800	0.93
بيتون رغوي مع رمل	600	0.35
طينة اسمنتية مع رمل	2000	1.10
حجر كلسي أو رملي	2400	1.6
حجر (رخام، بازلت، غرانيت)	3000	3.0
توريقة كلسية	1860	0.75
توريقة جبصينية	1680	0.70
توريقة اسمنتية	2000	1.00
خشب قاسي (بلوط، سنديان)	720	0.14
خشب طري (شوح، صنوبر)	510	0.10
ألواح اسبستوس مع اسمنت	1900	0.57
الواح خشب معاكس	550	0.11
كرتون	-	0.22
فلين	120	0.03
المينيوم	2700	180

المادة	الكتلة النوعية kg/m^3	عامل التوصيل الحراري $\lambda = \frac{w}{m.c^o}$
حديد مطاوع	7700	52
حديد صب	7700	41
بلاط	2000	1.2
صوف معدني، زجاجي	50	0.035
نشارة خشب غير مرصوصة	200	0.056
زجاج للنوافذ	2500	1.05
زجاج	3500	0.7
اسبستوس	2500	0.135
صوف	1320	0.033
اسفلت	2100	0.60
رمل ناشف	1600	0.30
رمل وبحص برطوبة طبيعية	-	1.20
رمل وبحص ناشف	-	0.70
ثانياً : مواد العزل		
ألواح بوليسترين	30	0.033
	20	0.036
	15	0.039
ألواح البوليوريتان	30	0.026
ألواح بولي إيتيلين رغوي	70	0.038
ألواح فلين ممدد	110	0.039

	145	0.042
	160	0.045
ألوح صوف خشبي	400	0.062
ألواح نشارة خشب	160	0.05
ألواح ورق مقوى	600	0.08
ألوخ من السيليكا الممدة مع مادة رابطة	210	0.057
ألياف صوف صخري	288-96	0.042-0.038
ألياف صوف زجاجي	160-64	0.042-0.038
ألياف كتان	240	0.044

2 ـ عامل التوصيل الحراري للسطوح الداخلية والخارجية (f_i, f_0).

تتعلق قيمة عامل التوصيل الحراري السطحي (عامل انتقال الحرارة للسطح) لجسم ما بشروط التبادل الحراري هل هي بالحمل أو بالإشعاع وكذلك بوضعية السطح (شاقولي أم أفقي) وباتجاه انتقال الحرارة عبر السطح (إلى الأعلى أم إلى الأسفل). بالإضافة إلى ذلك فإن سرعة الرياح تؤثر بشكل واضح على قيمة عامل التوصيل الحراري لسطح ما حيث يزداد بازدياد سرعة الرياح إذا كانت عمودية عليه، كما أن قيمة العامل تكون أكبر كلما كان السطح أخشن.

يتم إيجاد قيمة العامل (f_i) باستخدام علاقات رياضية خاصة ورأينا أنه ليس من الضروري سردها في هذا الكتاب فقد تم الاعتماد على قيم محددة لهذا العامل والتي حصلنا عليها من التجارب الطويلة معتبرين سرعة الرياح داخل المبنى معدومة إلا أنه مأخوذ بعين الاعتبار اتجاه انتقال الحرارة عبر السطوح إذ أن قيمة f_i لسطح أفقي تنتقل الحرارة عبره من الأعلى إلى الأسفل أقل من قيمتها عندما تنتقل الحرارة من الأسفل إلى الأعلى وذلك بسبب وجود دوامات هوائية في الحالة الثانية ناتجة عن تلامس هواء الغرفة الساخنة بالسطح الأفقي ذي درجة الحرارة الأعلى. إن هذه الظاهرة غير موجودة في الحالة الأولى باعتبار أن هواء الغرفة أبرد من السطح الأفقي الملامس له. بالاضافة إلى ذلك تم الأخذ بعين الاعتبار وضعية السطح (أفقي أم شاقولي). جميع هذه المعلومات تم حصرها في جدول (1 - 2).

أما قيم (f_0) للسطوح الخارجية الملامسة للهواء الخارجي فهي تتعلق بشكل أساسي بمقدار سرعة حركة الرياح ولا تتعلق باتجاه انتقال الحرارة ولا بوضعية السطح. كذلك تم الاعتماد على قيم (f_0) الناتجة عن التجارب العملية وذلك من أجل سرعة رياح تقارب 25 km/h (شتاء) و15 km/h (صيفا) انظر الجدول.

جدول عامل ا لتوصيل الحراري للسطح الداخلي (f_i) :

نوع عنصر البناء	وضعية السطح	اتجاه انتقال الحرارة	f_i $w/m^2.c^o$	$R_i = \frac{1}{f_i}$
جدار	شاقولي	أفقي	8.13	0.123
سقف أو أرض	أفقي	نحو الأعلى	9.43	0.106
سقف أو أرض	أفقي	نحو الأسفل	6.66	0.150

جدول عامل التوصيل الحراري للسطح الخارجي (f_0) :

سرعة الرياح	وضعية السطح	اتجاه انتقال الحرارة	f_0 $w/m^2.c^o$	$R_0 = \frac{1}{f_0}$
للشتاء $25\frac{km}{h}$	أي وضعية	أي اتجاه	33.72	0.03
للصيف $15\frac{km}{h}$	أي وضعية	أي اتجاه	16.7	0.06

3 ـ توصيل الفراغ الهوائي :

يتم الانتقال الحراري عبر الفراغ الهوائي بالطرق الثلاثة على التسلسل.

الحمل ـ التوصيل ـ الإشعاع. نتيجة حركة الهواء الموجودة ضمن الفراغ الهوائي فإن تيارات الحمل تأخذ الحرارة من السطح الساخن الملامس للفراغ وتنقلها إلى السطح البارد الموجود في الطرف الآخر. يتناقص تأثير تيارات الحمل مع صغر حجم الفراغ الهوائي. ويهمل عادة انتقال الحرارة بالتوصيل في الفراغات الواسعة اتجاه انتقال الحرارة بالإشعاع وهذا الأخير يتوقف على طبيعة السطحين ودرجتي حرارتهما.

تعتمد قيمة توصيل الفراغ الهوائي على مقدار سماكة الفراغ وعلى مقدار عاكسية السطحين المتقابلين وعلى وضعية الفراغ (أفقي أم شاقولي) وعلى اتجاه انتقال الحرارة (نحو الأعلى أم نحو الأسفل).

أجريت تجارب مخبرية لدراسة ناقلية الفراغات الهوائية مع تغير عرض الفراغ ودرجة الحرارة ضمنه وقد وجد أن الناقلية تزداد مع زيادة درجة الحرارة، وتنقص مع زيادة عرض الفراغ وتأخذ قيمة ثابتة تقريبا اعتبارا من عرض معين.

باعتبار أن عملية انتقال الحرارة عبر الفراغ الهوائي عملية معقدة ونظرا لصعوبة تحديد مقدار التوصيل الحراري للفراغ الهوائي رياضيا فقد تم تجريبيا قياس هذا المقدار من أجل شروط معينة كما هو مبين في الجدول.

الجدول التوصيل الحراري للفراغ الهوائي

وضعية الفراغ	اتجاه انتقال الحرارة	سماكة الفراغ Cm	Ca	1/Ca
أفقي	نحو الأعلى	2 - 10	6.74	0.15
	نحو الأسفل	2	5.60	0.18
	نحو الأسفل	10	4.65	0.21
شاقولي	أفقي	2 - 10	5.81	0.17

4 - 4 - 1 - عامل انتقال الحرارة الإجمالي U:

يتم حساب كمية الحرارة المنتقلة عبر سطح ما باستخدام العلاقة السابقة. أما قيمة U فيتم حسابها بعد معرفة قيم (λ) للمواد المؤلفة لهذا السطح وكذلك قيم (f_i, f_0, Ca). أما إذا كان السطح يحوي على نافذة أو باب فلابد من معرفة قيمة U للنافذة وللباب. من أجل ذلك يمكن معرفة قيم U لمختلف أنواع النوافذ المستخدمة في البناء بالاستعانة بالجدول. أما قيم U لمختلف أنواع الأبواب المعروفة فقد أعطيت في الجدول.

الجدول عامل التوصيل الحراري الإجمالي للنوافذ

$$U\ (w/m^2.c^o)$$

		النوافذ الخارجية			النوافذ الداخلية		
		نافذة خشبية	نافذة فولاذية	نافذة ألمنيوم	نافذة خشبية	نافذة فولاذية	نافذة ألمنيوم
زجاج عادي	-	5.8	6.4	7.1	3.5	4.3	4.6
زجاج مزدوج	1.5	3.2	4.2	4.5	2.7	3.4	3.7
مع فراغ هوائي	1.0	3.0	3.7	4.1	2.4	3.1	3.4
سماكته (Cm)	2.0	2.9	3.6	3.9	2.4	3.0	3.2
نوافذ مزدوجة	-	2.6	3.4	3.7			

الجدول عامل التوصيل الحراري الإجمالي للأبواب

$$U\ (w/m^2.c^o)$$

نوع الباب		U
باب خارجي	معدني	6.4
	خشبي (سماكة 5 mm)	2.4
	مع زجاج بسيط	4.6
	مع زجاج مزدوج	2.8
باب داخلي	مع خشب عادي (سماكة 4 mm)	2.2
	مع خشب معاكس مزدوج	1.7

مراحل دراسة مشروع التدفئة :

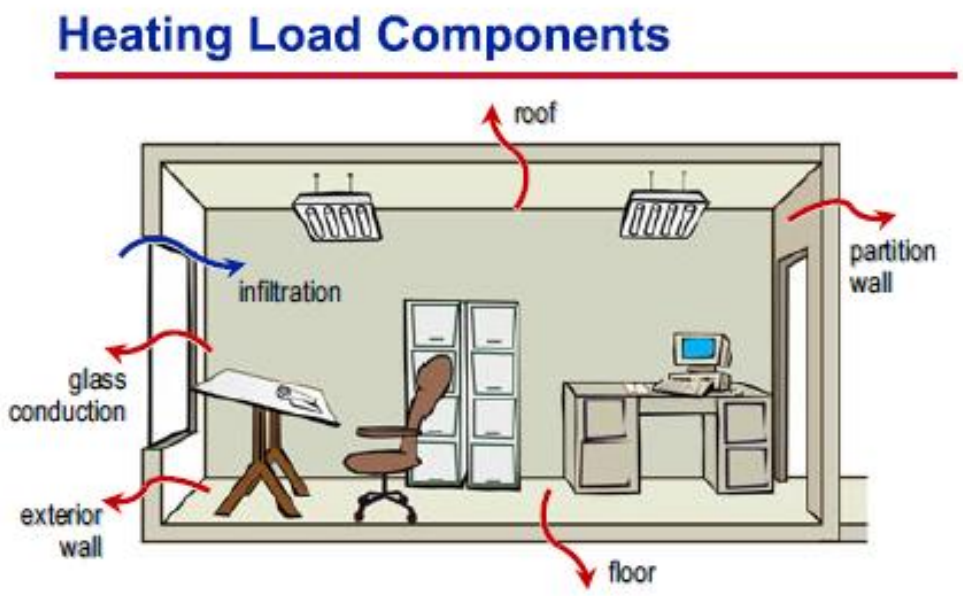
يمكن تقسيم المسألة العامة للتدفئة إلى المسائل الخاصة التالية :

1 – تعيين الحاجات الحرارية للأمكنة (الضياعات الحرارية من الأبنية و الأحمال الحرارية الأخرى).

2 – إنتاج الحرارة اللازمة لتدفئة الأمكنة. ويشمل تحديد استطاعات التجهيزات (المرجل وملحقات الحراق و المدخنة و خزانات الوقود . . إلخ) .

3 – نقل الحرارة بواسطة ناقل حراري (الماء أو البخار أو الهواء).

4 – توزيع الحرارة . ويشمل تحديد عدد و أنواع الأجهزة (مشعات، وحدات تسخين ، مبادلات . . إلخ) بالإضافة إلى تحديد أماكنها.



من أجل تخفيض انتقال الحرارة (الضياعات الحرارية) من المباني شتاء وتخفيض الكسب الحراري صيفا يجب تركيب عازل حراري بين طبقات الجدران الخارجية والسقف وتركيب نوافذ ذات زجاج مزدوج، ان وجود عازل حراري يوفر بالطاقة الكهربائية ويخفض انبعاث الملوثات في الهواء ويحافظ على البيئة ويعطي الانسان الشعور بالارتياح لذلك يجب على المهندس المعماري اعتماد المواد العازلة في تصاميمه.

تأثير موضع العازل الحراري على الاختزان الحراري :

1- عزل خارجي:

في الحالات التي يتم فيها وضع طبقة ثقيلة جيدة الاختزان الحراري في الجانب الداخلي من العنصر الإنشائي مع وضع الطبقة الخفيفة العازلة للحرارة إلى الخارج، فإن الطبقة الداخلية تقوم بامتصاص الحرارة الداخلية أثناء تدفئة البناء واختزانها والاحتفاظ بها، بينما تقوم الطبقة الخارجية) العازلة للحرارة (بإعاقة انتقال الحرارة المختزنة إلى الخارج والحيلولة دون فقدانها السريع. وتكون كمية الحرارة المختزنة في هذه الحالة كبيرة، إلا أن هذه الحرارة المختزنة تنبعث ثانية إلى داخل البناء في فترات توقف أجهزة التدفئة عن العمل مما يساعد على بقاء الجو الداخلي دافئًا لفترة من الزمن.

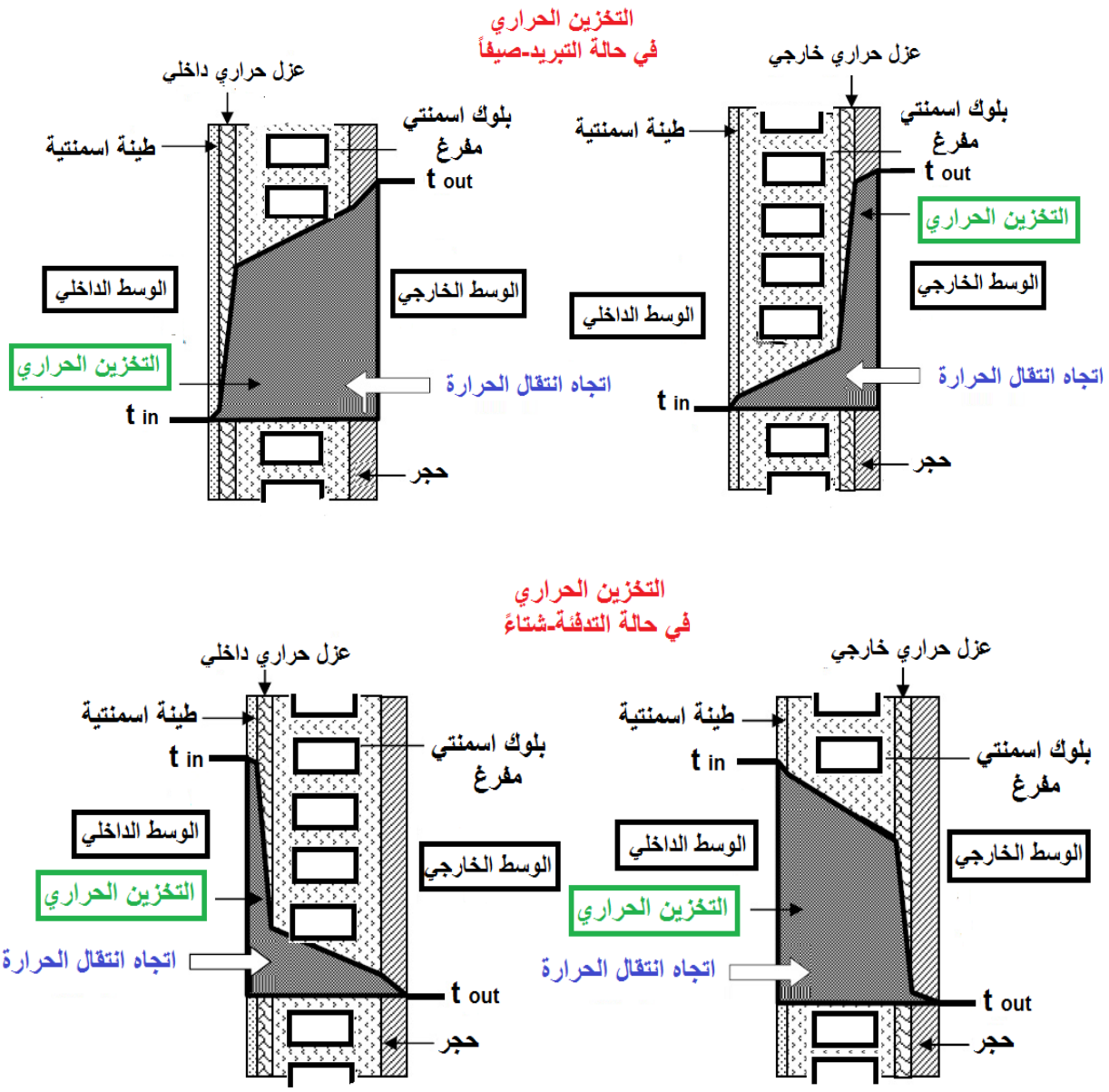
أما في فصل الصيف، فإن الطبقة الخارجية (العازلة للحرارة) تعمل على إعاقة انتقال الحرارة الخارجية المرتفعة إلى الداخل، وتحمي الطبقة الداخلية من تأثيرات الحرارة الخارجية، حيث تعمل هذه الطبقة الداخلية كخزان تبريدي منظم للحرارة الداخلية في البناء فتقوم بامتصاص الحرارة المتسربة إلى الداخل من خلال الأبواب والنوافذ،

وإخمادها.

2- عزل داخلي:

في الحالات التي يتم فيها وضع الطبقة الخفيفة العازلة للحرارة إلى الداخل، فإنها ونتيجة لصغر موصليتها الحرارية وتدني اختزانها للحرارة، تعمل على إسراع عملية تدفئة الأبنية أو تكييفها . إلا أن توقف أجهزة التدفئة أو التكييف يؤدي أيضا إلى سرعة فقدان الحرارة الداخلية شتاءً وارتفاعها صيفًا.

يتضح مما سبق أن على المصمم وضع الطبقة العازلة للحرارة بما يتلاءم وطبيعة إشغال البناء ومتطلباته الحرارية (بيت سكني، مكتب، مدرسة ... الخ) ، حيث أن الإشعاع الشمسي الخارجي أثناء النهار وتغير درجات الحرارة بين الليل والنهار لهما تأثير كبير على مقدار الاختزان الحراري والإجهادات الحرارية التي تتعرض لها عناصر البناء في فصلي الصيف والشتاء، ويبين الشكل مبدأ اختزان الحرارة في العناصر الإنشائية لمواضع مختلفة للعازل الحراري صيفًا وشتاءً .



– حساب معامل الانتقال الحراري الكلي للعناصر اللامتجانسة التركيب:

يتم حساب معامل الانتقال الحراري الكلي للعناصر اللامتجانسة التركيب وذلك بتقسيمها إلى عدة مساحات متجانسة حيث أن المقاومة الحرارية لمكونات هذه العناصر تختلف من مساحة إلى أخرى، كما هو الحال في السقف الهوردي، ومن ثم يتم حساب معامل الانتقال الحراري الكلي لكل مساحة على حدة وفق علاقة حساب معامل انتقال الحرارة ثم تحسب معامل الانتقال الحراري الكلي للعنصر وفق العلاقة التالية :

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} \qquad (W/m^2.{}^oc)$$

حيث أن : A - المساحة الكلية للعنصر

Ai - مساحة الجزء (i) من المقطع المدروس

U- معامل انتقال الحرارة الكلي للعنصر

وكمثال على ذلك، يحسب معامل الانتقال الحراري الكلي للسقف الهوردين والمبين في الشكل وفق العلاقة :

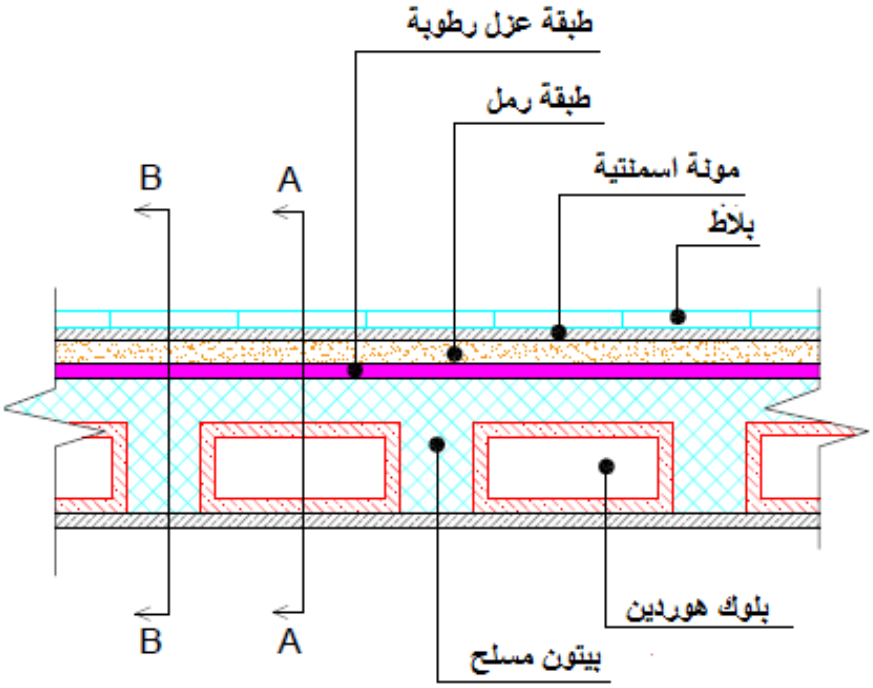
$$U = \frac{U_A A_A + U_B A_B}{A}$$

حيث أن : U_A - معامل انتقال الحرارة الكلي لجزء العنصر الذي مقطعه (A-A)

A_A - مساحة الجزء الذي مقطعه (A-A)

U_B - معامل انتقال الحرارة الكلي لجزء العنصر الذي مقطعه (B-B)

A_B - مساحة الجزء الذي مقطعه (B-B)



ـ درجة حرارة الأماكن غير المدفأة المجاورة لغرف مدفأة :

معرفة درجة حرارة المكان غير المدفأ ضرورية عند حساب الضياع الحراري من الغرف المدفأة المجاورة. بشكل عام درجة حرارة المكان غير المدفأ تقع بين درجة حرارة الغرف المدفأة المجاورة وبين درجة حرارة الوسط الخارجي. وهذا يتوقف على مساحة سطوح المكان غير المدفأ والملاصقة للغرف المدفأة وعلى مساحة السطوح المعرضة للوسط الخارجي.

إذا كانت مساحة السطوح المجاورة للغرف المدفأة مساوية تقريبا لمساحة السطوح المعرضة للوسط الخارجي وكذلك إذا كان عامل التوصيل الحراري الإجمالي لهذه السطوح أيضا متساويا فإنه يمكن اعتبار أن درجة حرارة المكان غير المدفأ تساوي متوسط درجتي حرارة الغرف المدفأة المجاورة ودرجة حرارة الوسط الخارجي.

إذا كان المكان غير المدفأ يحتوي على نوافذ زجاجية ذات مساحات كبيرة أو يحتوي على جدارين أو أكثر معرضين للهواء الخارجي فيمكن اعتبار أن درجة حرارة هذا المكان تساوي درجة حرارة الوسط الخارجي.

إذا كان القبو يقع بكامله تحت مستوى الأرض الطبيعة فإن درجة حرارته تقع بين درجة حرارة الغرف المدفأة التي فوقه ودرجة حرارة الأرض. بسبب وجود مرجل التدفئة ومرور الأنابيب ضمن طابق القبو إلى توليد كمية حرارة إضافية لتدفئة القبو.

ولذلك ليس هناك ضرورة لحساب كمية الحرارة الضائعة من غرف الطابق فوق القبو عبر أرضيتها.

إن الجدول فان درجة حرارة الأمكنة غير المدفأة والمجاورة لغرف المدفأة. إن جميع القيم الواردة في الجدول تقريبية.

جدول درجة حرارة الأمكنة غير المدفأة

صفات الأماكن غير المدفأة	درجة الحرارة الخارجية c^o	
	- 5	- 10
مداخل، ممرات ـ مطبخ، دورة مياه،...الخ		
بدون جدران خارجية	15	10
بجدار خارجي واحد بدون نوافذ	12	7
بجدار خارجي واحد مع نوافذ	10	5
بجدارين أو ثلاث خارجية بدون نوافذ	10	5
بجدارين خارجيين مع نوافذ	5	0
بثلاث جدران خارجية مع نوافذ	0	- 5
قبو (بدون مرجل تدفئة)	5	0
مطلع الدرج	5	0
شقة مجاورة بمدافىء عادية	10	10
طابق من فوق أو من تحت مدفأ بمدافىء عادية	10	10
طابق من فوق أو من تحت بدون تدفئة مطلقا	0	- 5

.الضياعات الحرارية : Heat Losses

إن الأساس التقليدي لتصميم أي نظام تدفئة هو معرفة مقدار الضياع الحراري في الأبنية. في فصل الشتاء يجب المحافظة على درجة حرارة مناسبة للهواء الداخلي المحيط بالإنسان وذلك لتأمين التوازن بين كمية الحرارة التي يولدها جسم الإنسان وكمية الحرارة الضائعة منه.
عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي في المبنى أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي يحدث ضياع مستمر للحرارة من داخل المبنى إلى خارجه.
وبالتالي وظيفة أجهزة التسخين الموجودة في الغرف أن تعمل باستمرار على تقديم كمية من الحرارة للمحافظة على درجة حرارة معينة للتعويض عن كمية الحرارة الضائعة. أما كمية الحرارة اللازمة لتدفئة غرفة ما تتعلق بأبعاد الغرفة ونوع المواد المستعملة في بنائها وبأبعاد السطوح الخارجية وكذلك بدرجة حرارة الوسط الخارجي وذلك حسب العلاقة السابقة. حساب كمية الحرارة الضائعة من المبنى يعتبر من أهم الحسابات اللازمة لتصميم أجهزة التدفئة لأن هذه الحسابات تستخدم لتصميم حجم المشعات اللازمة في غرف المبنى وبالتالي تحديد أقطار الأنابيب واستطاعة المرجل اللازم.
ويجب أن تكون كمية الحرارة المتولدة عن أجهزة التدفئة مساوية لمجموع كميات الحرارة الضائعة من المبنى إلى الوسط الخارجي.
يتم ضياع الحرارة من المبنى بالطرق التالية:
1 ـ عن طريق التوصيل عبر السطوح الخارجية (جدران، أسقف، أرض، نوافذ، أبواب). يتم حساب كمية الحرارة الضائعة عبر السطوح المذكورة باستخدام العلاقة العامة.
2 ـ ضياع حراري نتيجة تسرب الهواء الخارجي البارد عبر شقوق النوافذ والأبواب إلى داخل المبنى. يؤثر تسرب الهواء الخارجي إلى داخل المبنى بشكل كبير على انتقال الحرارة في الجدار. وهذا يعود إلى كون الأبنية غير محكمة الإغلاق وغير كتيمة بالشكل المطلوب. يدخل الهواء مباشرة عبر شقوق النوافذ والأبواب ومن خلال وصلات البناء غير المحكمة السد تماما. ويتم التسرب تحت تأثير قوى الرياح ونتيجة لاختلاف درجات الحرارة بين الهواء الخارجي البارد والهواء الساخن داخل المبنى وبالتالي نتيجة اختلاف كثافتيهما. إن أكبر كمية هواء تدخل عبر النوافذ وهي في حالة الإغلاق (حوالي $1\frac{m^3}{h}$ عبر 1 m نتيجة اختلاف الضغط بمقدار $(1 Kg/m^2)$.

لذلك عند حساب مقدار الضياع الحراري من غرفة ما أو من مبنى ككل يجب حساب كمية الحرارة الإضافية اللازمة لرفع درجة حرارة الهواء المتسرب بحيث تصبح مساوية لدرجة حرارة هواء الغرفة المطلوبة. يتم حساب هذه الكمية من الحرارة بطرق مختلفة نذكر منها الطريقة المسماة طريقة تغير الهواء وهي تفترض أن حجم الهواء الداخلي يتغير عددا معينا من

المرات (n مرة) في الساعة الواحدة وذلك بالاعتماد على مواصفات الغرفة. الجدول يعطي عدد مرات تغير الهواء في مختلف أنواع الغرف المستخدمة (شتاء).

نحسب كمية الحرارة الناتجة عن تسرب الهواء من العلاقة التالية:

$$Q = c.\rho.M(t_i - t_0)$$

حيث :

Q ـ كمية الحرارة اللازمة لتسخين الهواء المتسرب (w)

c ـ الحرارة النوعية للهواء . $(1000 J / kg\, c^o)$

ρ ـ كثافة الهواء $(1,2 Kg/m^3)$

M ـ حجم الهواء المتسرب (m^3/s)

أما حجم الهواء المتسرب بواحدة الزمن فيساوي :

$$M = \frac{v.n}{3600}$$

حيث :

v ـ حجم الغرفة (m^3)

n ـ عدد مرات تغير الهواء في الساعة مرة/ساعة (1/h)

$$Q = 0,34.V.n(t_i - t_0) \qquad (w)$$

الجدول عدد مرات تغيير الهواء في الغرف شتاء

وصف الغرفة	عدد مرت التغيير في الساعة n
غرفة بدون نوافذ أو أبواب خارجية	0.5
غرفة ذات نوافذ أو أبواب خارجية على جهة واحدة	1.0
غرفة ذات نوافذ أو أبواب خارجية على جهتين	1.5
غرفة ذات نوافذ أو أبواب خارجية على 3 أو 4 جهات	2.0
مستودع بضائع	1
متاحف	1
قاعة مصرف كبير	1.5
قاعة مصرف صغير	2
المطاعم والندوات	2
الممرات، الموزع	2
المدارس، غرف الدرس وغرف لأستاذة	2
الحمامات	2
المطابخ	2.5
الأبنية العامة	1 - 3
كاراج عام	3 - 6
مداخل الأبنية ـ بيت الدرج	3

المصانع	
حجم المصنع حتى $300m^3$	1.5 - 3
حجم المصنع من 300 حتى $3000\ m^3$	1.25 - 2.5
حجم المصنع من 3000 حتى 8500	1 - 2
حجم المصنع من 8500 حتى $17000\ m^3$	0.75 - 2
حجم المصنع أكثر من $17000\ m^3$	0.5 - 1

3 - الضياع الحراري من أرض القبو وجدرانه : يحدث هذا الضياع عبر السطوح الملامسة للتراب ويتغير مقداره بحسب منسوب أرض القبو عن منسوب الأرض الخارجية.

إذا كان القبو يقع بكامله تحت مستوى الأرض الطبيعية تعتبر أن درجة حرارة الأرض الواقعة مباشرة تحت أرضية القبو مساوية لـ ($10c^o$) ودرجة حرارة الأرض الملاصقة لجدران القبو مساوية لمتوسط درجتي حرارة الأرض الواقعة تحت أرضية القبو ($10c^o$) والوسط الخارجي.

تبين التجارب العملية أن عامل انتقال الحرارة الإجمالي لجدران وأرضية القبو الواقع تحت مستوى الأرض يساوي $U = 0{,}93\frac{w}{m^2.c^o}$ عندها يمكن حساب كمية الحرارة الضائعة عبر جدران وأرضية القبو وفق العلاقة بالشكل التالي:

$$Q = 0{,}93.\Delta t.A$$

أما إذا كان قسم من جدران القبو فوق مستوى الأرض الطبيعية يتم عندها حساب كمية الحرارة الضائعة على مرحلتين. في المرحلة الأولى يتم الحساب عبر أرضية القبو وقسم الجدران الواقعة تحت مستوى الأرض معتبرين أن U = 0,93. أما المرحلة الثانية تتم بحساب كمية الحرارة الضائعة عبر الجدران الواقعة فوق الأرض بالطريقة العادية المعروفة على اعتبار أنها سطوح خارجية.

ـ درجة الحرارة الخارجية

كمية الحرارة الضائعة من داخل المبنى إلى خارجه تتعلق بدرجة حرارة الهواء الخارجي وبسرعة حركة الرياح وباتجاهها بالنسبة للغرف. يتم تصميم أجهزة التدفئة استنادا إلى الحمولة الحرارية الأعظمية من أجل أسوأ الشروط المناخية من حيث درجة الحرارة وسرعة الرياح. يعطي الجدول درجات الحرارة الخارجية التصميمية في الشتاء الخاصة بالمدن السورية بالإضافة للشروط التصميمية للمدن السورية .

الجدول درجات الحرارة صيفا وشتاءً في المدن السورية الرئيسة
المعتمد من قبل نقابة المهندسين السوريين

المدينة	درجة الحرارة التصميمية c^o		الرطوبة النسبية التصميمية %		المدى(المجال) اليومي c^o	سرعة الرياح m/s	الارتفاع	خط العرض
	صيفاً	شتاءً	صيفاً	شتاءً				
دمشق	40	-2	20	75	19.69	5.5	729	33.29
حلب	41	-3	20	75	14.82	5.5	385	36.11
حمص	38	-3	35	85	12.18	6	483	34.46
حماه	40	-2	25	80	14.74	5	305	35.07
الرستن	40	-3	30	75	15.3	4	390	34.56
السلمية	40	-2	30	80	16.74	4	448	35.1
إدلب	38	-2	32	75	12.1	7	451	35.56
طرطوس	34	4	60	65	6.43	4.5	5	34.52
اللاذقية	34	4	60	65	5.18	5.5	7	35.32
صافيتا	35	1	40	75	7.97	6.5	370	34.49
مصياف	37	0	30	65	15.28	5.5	530	35.04
صلنفة	33	-3	50	65	11	6	1100	35.36
كسب	33	0	30	65	11.1	6	730	35.56
القرداحة	35	1	50	65	9.78	3.5	370	35.25
حميميم	35	3	50	70	8.76	5	48	35.24
المسلمية	40	-4	22	75	15.33	5	415	36.2
درعا	39	-1	20	75	14.04	4.5	543	32.36
السويداء	37	-3	25	75	14.57	5	1015	32.41
إزرع	38	-2	20	70	17.75	4.5	570	32.51
القنيطرة	37	-2	32	85	13.65	8	941	33.07
	درجة الحرارة التصميمية c^o		الرطوبة النسبية التصميمية %		المدى(المجال) اليومي c^o	سرعة الرياح m/s	الارتفاع	خط العرض
	صيفاً	شتاءً	صيفاً	شتاءً				

تدمر	43	-3	20	75	16.17	7	400	34.33
التنف	42	-3	20	75	17.54	5.5	712	33.29
البوكمال	44	-3	20	65	15.16	4	175	34.26
دير الزور	43	-3	16	75	14.62	5.5	215	35.17
الرقة	42	-3	20	75	14.95	5	246	35.54
القامشلي	43	-2	30	70	16.31	3.5	449	37.02
الحسكة	44	-4	18	75	18.44	4	307	36.31
جرابلس	41	-3	20	70	17.5	4	351	36.49
تل أبيض	42	-3	25	75	19.8	3	348	36.42
اثريا	40	-1	30	80	15.18	7	460	34.01
النبك	35	-5	25	75	14.69	5	1329	33.48
سرغايا	35	-5	25	75	18.5	5.5	1400	33.43

.درجة الحرارة الداخلية في الأبنية :

إحساس الإنسان بدرجة الحرارة المريحة في المبنى يتعلق بدرجة حرارة الهواء الداخلي ودرجة حرارة السطوح الداخلية في المبنى. يشعر الإنسان بالارتياح عندما يعطي القسم القليل من الحرارة بالإشعاع ولذلك من أجل تأمين الراحة يفضل رفع درجة حرارة السطوح الداخلية وخاصة سطوح الجدران الخارجية الأكثر برودة بحيث تنخفض الحرارة المباشرة من الإنسان على هذه السطوح.

تختلف درة الحرارة الداخلية من مكان لآخر حسب نوع الاستخدام. على سبيل المثال الغرف الخاصة بالمرضى في المشافي تساوي $20\ c^o$، غرف النوم في المباني السكنية $22\ c^o$، في الأبنية الصناعية تختلف باختلاف نوع العمل في الأماكن التي فيها العمل خفيف تتراوح درجة الحرارة بين $18 - 15\ c^o$ والأماكن التي فيها العمل شاق $13 - 10\ c^o$ وهكذا. إن درجة الحرارة الداخلية الملائمة لمختلف أنواع الغرف المعروفة عمليا تعطى في الجدول.

إن درجة الحرارة المعطاة في الجدول هي درجة حرارة جافة مقاسة في منتصف الغرفة وعلى ارتفاع مستوى قسط التنفس لشخص واقف أي بحدود (150 cm) عن مستوى أرض الغرفة. أما درجة الحرارة الداخلية الملائمة في الأبنية الصناعية فتعطى في الجدول.

الجدول درجة الحرارة الداخلية في الشتاء

c^o	**استعمال الغرف**
22	دور السكن : غرف الجلوس، النوم، الطعام
16	المداخل والممرات ودورات المياه
26	الحمامات
18	المطابخ
12	بيت الدرج
c^o	**استعمال الغرف**
20	المكاتب : غرف المكاتب، غرف اجتماع
16	المداخل، الممرات، ودور المياه
15	بيت الدرج
20	الفنادق : غرف الجلوس، النوم، الطعام
16	دورات المياه، المطابخ، المداخل
15	بيت الدرج
22	الحمامات
20	المدارس : الصفوف، غرف الادارة
22	والمكاتب
16	الحمامات
20	الممرات، بيت الدرج، دورات المياه
15	غرف الاجتماع وغرف الطعام
24	الملاعب المغلقة وغرف الألعاب
	المسابح الشتوية
20	المستشفيات : الغرف الخاصة والعنابر
22	غرف المعاينة
25 - 35	غرف العمليات
26	الحمامات
18	دورات المياه، الممرات، بيت الدرج
20	المسارح ودور السينما: صلات العرض،
16	غرف الاستراحة
	دورات المياه
18	الجوامع والكنائس
18	المخازن ومحلات البيع
16	المصانع والورش الميكانيكية
12	الكراجات
20	المطاعم

ـ ضياعات الحرارة الإضافية :

عادة الضياعات الحرارية الأساسية لغرفة ما عبر سطوحها ونتيجة تسرب الهواء تكون أقل من الضياعات الحرارية الفعلية. إن العلاقتين حساب كمية الحرارة المتسربة من البناء لا تأخذان بعين الاعتبار تأثير بعض العوامل الأخرى التي من شأنها إعطاء القيمة الفعلية للضياعات الحرارية.

ضياعات الحرارة الإضافية تؤخذ عادة بعين الاعتبار نتيجة إدخال إضافة إلى الضياعات الأساسية. هذه الإضافة تعطى للضياعات الأساسية على شكل نسب مئوية وذلك حسب المعطيات العملية. مقدار الإضافة يقسم حسب العوامل التالية:

1 ـ إضافة جهة : وهي إضافة على اتجاه الغرفة حسب اتجاهات الشمس. الغرفة التي لها واجهة جنوبية تكون عادة أدفأ من الغرفة المماثلة التي لها واجهة شمالية وذلك بسبب تعرض الأولى للشمس طيلة فترة النهار وعدم تعرض الثانية لها. لذا يجب أخذ ذلك بعين الاعتبار عند حساب كمية الحرارة الضائعة من الغرفة.

مقدار الاضافة تتم على جميع المساقط الرأسية للمباني. أما النسبة المئوية الواجب إضافتها في هذه الحالة فتؤخذ حسب الجدول التالي :

جدول إضافة الجهة

الجهات	%	الاتجاه
جنوب- جنوب غربي- جنوب شرق	0	S ,SW,SE
شرق – غرب	%5	E ,W
شمال – شمال غرب – شمال شرق	%10	N ,NW ,NE

2 ـ إضافة ارتفاع سقف : تعتبر الغرف ذات سقف مرتفع عندما يزيد ارتفاع سقفها على أربعة أمتار. مثل هذه الغرفة تحتاج لكمية حرارة إضافية يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار.

مقدار الإضافة يساوي 2,5 % لكل 1 m من ارتفاع الغرفة الذي يزيد عن 4 m ولكن بحيث لا تكون الإضافة أكثر من 20%. يعطي الجدول رقم (1-12) المقادير الواجب إضافتها حسب ارتفاع السقف.

جدول إضافة ارتفاع سقف

ارتفاع السقف (m)	5	6	7	8	9	10	11	أكثر
الإضافة (%)	2.5	5	7.5	10	12.0	15	17.5	20

3 ـ إضافة ارتفاع مبنى : كما هو معلوم تزداد الضياعات الحرارية من المبنى تحت تأثير الرياح التي يتعرض لها. وبالتالي مقدار الحرارة يتوقف على سرعة الرياح وبموقع المبنى. نتيجة تعرض المباني للرياح تزداد الضياعات الحرارية. الرياح التي تتعرض لها الطوابق

العلوية (أعلى من ستة طوابق) تكون أكبر من الرياح التي تتعرض لها الطوابق السفلية في المبنى نفسه وبالتالي فإن كمية الحرارة الضائعة من الطوابق العلوية تكون أكبر من كمية الحرارة الضائعة من الطوابق السفلية. لذلك عند حساب كمية الحرارة الكلية الضائعة من المبنى يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار وإضافة مقدار (20% - 10) إلى كمية الحرارة اللازمة للطوابق العلوية للتغلب على تأثير الرياح.

4 ـ إضافة بسبب دخول الهواء البارد عبر الأبواب الخارجية. نتيجة الفتح المتكرر للأبواب الخارجية يدخل هواء بارد إلى المبنى وهذا يزيد من الضياعات الحرارية. إذا كان المبنى يتألف من n طابقا فيجب أن تكون الإضافة بمقدار n 70 إلى الحرارة اللازمة للمبنى.

5 ـ تأثير التقطع في العمل : الأبنية التي تعمل بصورة مستمرة كالمنازل والفنادق والمشافي هي الأبنية التي تعمل فيها أجهزة التدفئة طيلة فصل التدفئة ولساعات طويلة في اليوم الواحد أي العمل فيها غير متقطع. هناك أبنية أو بعض أجزاء المبنى تعمل بصورة متقطعة (غير مستمرة) كالمعامل والمدارس والمتاحف.... الخ فعند إيقاف التدفئة في هذه الأبنية تنخفض درجة حرارة المبنى والأثاث ويتطلب إعادة تدفئتها كميات إضافية من الحرارة، وتتعلق هذه الكميات بمدة إيقاف التدفئة وبنوعية البناء وأثاثه، للوصول إلى درجة الحرارة الملائمة داخل المبنى. لذلك النسبة المئوية الواجب إضافتها إلى كمية الحرارة المحسوبة للمبنى تؤخذ من الجدول.

جدول رقم إضافات التقطع في العمل.

	بناء خفيف	بناء ثقيل
بناء يدفأ خلال النهار فقط	10%	15%
بناء لا يستخدم يوميا	25%	30%
بناء بدون تدفئة لمدة طويلة	40%	50%

ـ لوحة حساب الضياعات الحرارية ـ الحمل الحراري Heat Loss Calculation Sheet

الخطوات المتبعة لحساب كمية الحرارة اللازمة لتدفئة مبنى :

1 ـ معرفة درجة الحرارة الخارجية التصميمية وذلك حسب الموقع الجغرافي للمبنى.

2 ـ معرفة درجة الحرارة الداخلية لكل غرفة من المبنى.

3 ـ تحديد درجات الحرارة في الغرف المجاورة الغير مدفأة.

4 ـ حساب أو اختيار عامل انتقال الحرارة الإجمالي U لكافة السطوح التي يتم عبرها انتقال الحرارة.

5 ـ حساب مساحة السطوح التي يتم من خلالها انتقال الحرارة (جدران، سقوف، أرضية، نوافذ، أبواب، وغيرها. وتؤخذ الأبعاد عادة من المخططات المعمارية.

6 ـ حساب مقدار الضياع الحراري من جميع السطوح المذكورة أعلاه وذلك باستخدام العلاقة:

$$Q = U.\Delta t.A$$

7 ـ حساب الضياع الحراري من جدران وأرضية القبو ان وجد.

8 ـ حساب الضياع الحراري الناتج عن تسرب الهواء وذلك حسب العلاقة:

$$Q = 0,34.\ v.\ n.\ \Delta t$$

9 ـ عند استعمال تهوية آلية من الخارج إلى داخل الغرف، يمرر هذا الهواء على جهاز تدفئة لرفع درجة حرارته فعندها يضاف الحمل الحراري اللازم لتسخين هذا الهواء الخارجي إلى الحمل الحراري الكلي للمبنى.

10 ـ جمع جميع عناصر الضياع الحراري المذكورة سابقا ليتشكل الحمل الحراري للمبنى.

11 ـ في حال وجود منابع حرارية فعالة (مصادر حرارية مساعدة للتدفئة) في المبنى يجب طرح الكسب الحراري الناتج عن هذه المنابع من الحمل الحراري الناتج في الفقرة .10

12 ـ يجب أن لا ننسى الإضافات اللازمة (ارتفاع أسقف، جهة، ارتفاع مبنى، تقطع في العمل، ....، الخ) المذكورة سابقا.

13 ـ يجب الأخذ بعين الاعتبار عامل أمان %(20 - 10) للحمل الحراري.

جميع هذه المعلومات تدون في لوحة خاصة تسمى بلوحة حساب الضياعات الحرارية (انظر القسم العملي). في اللوحة يتم تسجيل مساحة الجدار باستثناء مساحة النوافذ والأبواب إن وجدت. أما مساحة النوافذ والأبواب فتدخل في حساب الضياع الحراري عبرهم بشكل مستقل. الجدير ذكره أن فرق درجات الحرارة Δt هو مقدار جبري يمكن أن يكون موجبا عندما يكون انتقال الحرارة من داخل المكان المدروس إلى خارجه (ضياع حراري) أو أن يأخذ إشارة سالبة عندما يكون الاتجاه بشكل معاكس (كسب حراري). عند حساب كمية الحرارة اللازمة نتيجة التسرب فيجب تسجيل عدد مرات تغيير الهواء (n) في العمود الأول من اللوحة أما الحرارة النوعية (0,34) للهواء فتسجل في العمود الخاص بعامل انتقال الحرارة الإجمالي وبتطبيق العلاقة (22 ـ 1) يتم حساب كمية الحرارة اللازمة. نحصل على الحمل الحراري لمكان ما (غرفة، ممر، ...، الخ) بالجمع الجبري لكميات الحرارة المنتقلة عبر السطوح كافة والمتسربة مع الهواء مضافا إليها الكميات الخاصة بإضافات المكان (ارتفاع سقف، جهة، ...، الخ). الحمل الحراري للطابق الواحد نحصل عليه بالجمع الجبري لكميات الحرارة المنتقلة من الغرف الموجودة كافة على هذا الطابق. أما الحمل الحراري الكلي للمبنى فيحسب بجمع كميات الحرارة المنتقلة من طوابق المبنى كافة مضافا اليها الكميات العائدة لإضافات مبنى (ارتفاع مبنى، تقطع في العمل، ...، الخ).

الفصل الثالث

تجهيزات التدفئة المركزية

أجهزة التدفئة بالماء الساخن

تحتاج دارات التدفئة بالماء الساخن إلى عدة أجهزة تعمل بشكل مترابط ومنسق لتأمين كمية الحرارة اللازمة ونقلها من المنبع الحراري وتوزيعها إلى جميع الأماكن المطلوب تدفئتها.

4 ـ 1 ـ أنواع المراجل : Types of Boilers

المرجل هو الجهاز الأساسي في دارة التدفئة، إذ بواسطته يتم توليد الحرارة بشكل اقتصادي ومنتظم، وتعمل المراجل إما على الوقود السائل (مازوت) أو الوقود الغازي - الغاز الطبيعي .

يعتبر المرجل الجهاز الرئيسي في نظام التدفئة المركزية بالماء الساخن .

المراجل المستخدمة في التدفئة بالماء الساخن تقسم إلى قسمين رئيسيين: المراجل المصنوعة من حديد الصب، والمراجل المصنوعة من الفولاذ.

مراجل الحديد الصب Cast - Iron Boilers

تعتبر المراجل المصنوعة من حديد الصب الأكثر استخداما حتى الآن ومضى على استخدامها أكثر من قرن في أنظمة التدفئة بالماء الساخن أو بالبخار. تستعمل هذه المراجل جميع أنواع الوقود الصلبة والسائلة والغازية.

يتكون المرجل من مقاطع منفصلة تجمع مع بعضها وبشكل كتيم للماء بقضبان فولاذية من الخارج. وبالتالي مراجل الحديد الصب سهلة النقل والتركيب وسهلة الصيانة. المراجل الكبيرة تركب في مكان الاستعمال وتشحن بشكل مقاطع منفصلة والمراجل الصغيرة تكون مركبة في المصنع وتشحن على شكل مرجل كامل إلى مكان التركيب.

تصمم المراجل بحيث تكون قادرة على تحمل ضغوط الماء حتى 400 kpa أي تعمل على ضغط عمود من الماء ارتفاعه أربعون مترا.

يثبت المرجل على قاعدة اسمنتية وتبطن غرفة الاحتراق بآجر حراري مقاوم للحرارة. ويغلف المرجل بغلاف من الصفيح مزود ببطانة عازلة، غالبا ما تكون من الصوف الزجاجي وذلك لمنع تسرب الحرارة من جدران المرجل.

يزود المرجل بفتحة علوية لأنبوب الماء الصاعد وبفتحة سفلية لأنبوب الماء الراجع. يحوي المرجل على فتحة أمامية من أجل وضع جهاز لحرق الوقود وعلى فتحة خلفية توصل بالمدخنة.

تمتاز مراجل الحديد الصب بما يلي :

ـ سهولة النقل والتركيب

ـ امكانية زيادة الاستطاعة بزيادة عدد المقاطع

ـ مقاومة للصدأ أو التآكل.

أما المساوئ فهي:

ـ قابلة للكسر في حالات تغيير درجة الحرارة المفاجيء والتجميد.

ـ قابلة للتشقق إذا تعرضت لضغوط عالية

ـ وزنها ثقيل

تقدم الشركات الصانعة نشرات فنية خاصة تحدد فيها استطاعة المراجل وأبعادها. في الشكل (4 ـ 2) و(4 ـ 3) بعض أنواع المراجل ومواصفاتها الفنية.

المراجل الفولاذية : Steel Boilers

تصنع هذه المراجل من صفائح وأنابيب الفولاذ وهي مصممة كي تتحمل درجات الحرارة المرتفعة أكثر من ($110c^0$) وكذلك الضغوط العالية لذا فهي تستعمل في تدفئة الأبنية المرتفعة ـ يعطي الشكل (4 ـ 4) نموذج لمرجل فولاذي.

تمتاز المراجل الفولاذية عن مراجل حديد الصب بما يلي :

ـ أقل عرضة للتلف بسبب الإهمال في التشغيل كنقصان الماء فيها أو ارتفاع درجة الحرارة.

ـ وزن أخف

ـ سهولة في اختيار التصاميم.

أما المساوئ فهي:

ـ أقل مقاومة للصدأ أو التآكل الناتج عن غازات الاحتراق أو المياه التي بداخلها

ـ السعر مرتفع في الاستطاعات الصغيرة.

ـ ملحقات المرجل : Boiler Accessories

يزود المرجل عادة بأجهزة ملحقة وهي:

ـ صمام تصريف في أسفل المرجل

ـ مقياس ضغط

ـ مقياس حرارة

ـ صمام أمان يفتح عند ازدياد الضغط بالمراجل عن الحد المسموح

ـ منظم لدرجة الحرارة يتحكم بعمل الحراق

ـ أنبوب تهوية مثبت في أعلى المرجل ويصل إلى خزان التمدد.

ـ مردود (فاعلية) المرجل : Boiler efficiency

يعبر عن مردود المرجل بالنسبة المئوية بين كمية الحرارة التي يكسبها الماء (كمية الحرارة المتولدة من المرجل) إلى كمية الحرارة التي يعطيها الوقود المستهلك (كمية الحرارة المعطاة للمرجل). تقل كمية الحرارة المتولدة عن كمية الحرارة المعطاة بسبب الضياعات الحرارية التالية:

ـ ضياع حراري بسبب الاحتراق الناقص (2% تقريبا).

ـ ضياعات مع الغازات في المدخنة (12% تقريبا)

ـ ضياعات إشعاعية من جدران المرجل (2% تقريبا)

هذه المقادير تحدد مردود المرجل (η) حيث تعتمد على حجم المرجل واستطاعته ونوع الوقود المستعمل.

أما مردود المراجل التي تعمل على الفحم الحجري والحرق فيها يدوي فيتراوح بين 75% - 50.

ويتراوح مردود المراجل التي تعمل على الفحم والحرق فيها آلي بين 75% - 60.

ومردود المراجل التي تعمل على الغاز أو المازوت أو الزيوت البترولية بين 80% - 70.

- استطاعة المراجل : Boiler Power

استطاعة المرجل هي كمية الحرارة الصافية التي يعطيها خلال وحدة الزمن وتقدر بـ kw أو بـ Kcal/h.

تكون التدفئة فعالة إذا كانت استطاعة المرجل كافية لتقديم كمية الحرارة اللازمة لتدفئة المبنى مضافا إليها مقدار الحرارة الضائعة من شبكة الأنابيب ومن جدران المرجل، ومضافا إليها مقدارا من الحرارة لرفع درجة حرارة المبنى إلى الدرجة المطلوبة في بداية تشغيل التدفئة أو عند استئنافها بعد توقيفها لفترة زمنية أي:

$$Q_{boi} = (1 + a + b)\, Q_{loss}$$

حيث : Q_{loss} ـ كمية الحرارة الإجمالية الضائعة ال متسربة من المبنى اللازمة لتدفئة المبنى (w)

A ـ ثابت يضاف للتعويض عن الضياعات الحرارية من الانابيب وجدران المرجل (A = 0,1)

B ـ ثابت يضاف لزيادة كمية الحرارة بسبب توقف التدفئة (B = 0,2).

$$Q_{boi} = 1.3 \times Q_{loss}$$

بالتعويض نستطيع حساب الاستطاعة من العلاقة السابقة التي تأخذ الشكل التالي:

عادة في المنشآت الصغيرة يستخدم مرجل واحد، أما في المنشآت المتوسطة فيفضل استخدام مرجلين بحيث تكون استطاعة كل منهما تعادل ثلثي الاستطاعة الكلية المطلوبة. في الوقت الحاضر يقترح الاخصائيون بأن يمتلك كل مرجل أكثر من نصف القيمة المطلوبة. أما في المنشآت الأكبر حجما فيمكن استخدام ثلاثة أو أربعة مراجل أو أكثر بحيث تزيد مجموع استطاعة المراجل المتعددة عن الإستطاعة الكلية المطلوبة بـ (20%).

أما فوائد استخدام أكثر من مرجل فهي:

ـ في الأيام المعتدلة يكفي تشغيل مرجل واحد من أصل مرجلين.

ـ من أصل ثلاثة يكفي تشغيل مرجلين في الأيام المعتدلة.

ـ المراجل الثلاثة تشتغل في الأيام الباردة، أو في الصباح إذا كان المبنى باردا.
ـ يمكن اجراء التصليحات أو الصيانة اللازمة لأحد المراجل بينما بقية المراجل تبقى في حالة التشغيل.
تصنف المراجل حسب استطاعتها من حيث الحجم إلى ما يلي:
ـ مراجل صغيرة الحجم (10 - 50 kw) وهي منزلية بشكل أساسي.
ـ مراحل متوسطة الحجم (50 - 500 kw).
ـ مراجل كبيرة الحجم (أكبر من 500 kw).

ـ الحراقات : Burners

يتم احتراق الوقود السائل في مراجل التدفئة المركزية بشكل آلي تماما حيث يتم اشتعال المزيج (الوقود والهواء) عند خروجه من الحراق بواسطة شرارة كهربائية تعمل تحت توتر كهربائي عالي ويركب عادة جهاز في أسفل مدخنة المرجل يتحسس بارتفاع درجة حرارة الغازات المحترقة في المدخنة، ويبقى الحراق شغالا طالما أن الوقود يحترق ويعبر عن استطاعة الحراق بكمية المازوت أو الوقود الذي يحرق خلال واحدة الزمن، وتؤخذ عادة kg/h تحدد الاستطاعة للحراق بحسب استطاعة المرجل اللازم ومن خصائص المازوت المستعمل. يمكن التعبير عن استطاعة الحراق بأنها هي مقدار المازوت الذي يستطيع حرقه في الساعة. نحسب الاستطاعة وفق العلاقة :

$$P = \frac{Q_{boi}.3600}{\eta_{boi}.C_v} \qquad (kg/h)$$

إن الوصول إلى اشتعال نظيف وفعال للوقود السائل (المازوت) يعتمد بشكل كامل على تذريره أو تبخيره ومزج جزيئات الكربون في الوقود مع الأكسجين الموجود في الهواء بشكل جيد للحصول على احتراق كامل اللازم للمرجل. لهذا الغرض تستعمل حراقات خاصة تقوم بهذه العملية بشكل آلي.

حيث Q_b ـ استطاعة المرجل (kw)

η_b ـ مردود المرجل (حسب النوع المستخدم)

C_v ـ القيمة الحرارية للمازوت (41800 kJ/kg)

وعليه استطاعة الحراق الذي يعمل على المازوت تأخذ الشكل التالي:

$$P = 0{,}086\frac{Q_{boi}}{\eta_{boi}} \qquad (kg/h)$$

ـ خزانات الوقود : Fuel tanks

إن تحديد حجم وأشكال خزانات الوقود اللازمة يتعلق بمعرفة كمية الوقود المستهلك.

4 ـ 3 ـ 1 ـ حساب كمية الوقود المستهلك

تعتمد كمية الوقود المستهلكة سنويا لتدفئة مبنى على العوامل التالية:

1 ـ الضياعات الحرارية للمبنى
2 ـ القيمة الحرارية للوقود المستعمل
3 ـ مردود المرجل
4 ـ عدد الأيام في السنة التي تحتاج إلى تدفئة
5 ـ عامل استعمال التدفئة
6 ـ عامل الطقس واختلاف درجات الحرارة الخارجية

1 ـ الضياعات الحرارية للمبنى Q :

مقدار الضياعات الحرارية المحسوبة من المبنى يزيد عن ذلك الذي يدخل في حساب كمية الوقود المستهلك وسبب ذلك يعود، أولا كون تسرب الهواء لا يحدث في جميع الاتجاهات للبناء وانما يحدث في الجهة المواجهة لاتجاه الرياح ويخرج مارا بالغرف إلى الخارج من الجهة المقابلة. هذا السبب يؤدي إلى تخفيض في مقدار الحرارة اللازمة للمبنى بمقدار (20%) عن كمية الحرارة المحسوبة. ثانيا عند حساب الضياعات الحرارية لم يؤخذ بعين الاعتبار الحرارة المتولدة داخل المبنى من المنابع الحرارية كالأشخاص والانارة وغيرها، وهذا يسبب تخفيض مقداره (5%) عن كمية الحرارة المحسوبة.

نستنتج من ذلك بأن كمية الحرارة الاجمالية اللازمة للمبنى هي أقل بمقدار (25%) عن كمية الحرارة المحسوبة وتصبح بذلك كمية الحرارة المعتبرة والتي تدخل في حساب كمية الوقود المستهلك تساوي (0,75 Q).

2 ـ القيمة الحرارية للوقود (C_v)***:***

القيمة الحرارية للمازوت المستعمل في شبكة التدفئة تساوي تقريبا :

($41800kJ/kg = 10000kcal/kg$).

3 ـ مردود المرجل (η_b) ***:***

عمليا مردود المرجل الفعلي أقل من مردوده النظري بسبب الظروف الغير مثالية التي يعمل فيها، ولهذا السبب يؤخذ مردود المرجل بعين الاعتبار عند حساب كمية الوقود المستهلك.

يمكن اعتماد قيمة وسطية وتقريبية للمردود وهي (75%).

4 ـ عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة (N) :

يختلف عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة باختلاف الموقع الجغرافي للمبنى، في المناطق الشمالية الباردة تتراوح بين (300 ـ 200) يوما في السنة. أما في المناطق المعتدلة فتساوي (150) يوما للمدن الداخلية و(120) يوما للمدن الساحلية.

5 ـ عامل استعمال التدفئة (F) :

تختلف قيمة عامل استعمال التدفئة باختلاف طبيعة عمل المبنى، فالمستشفيات تستعمل التدفئة 24 ساعة في اليوم و7 أيام في الأسبوع أي أن التدفئة في المستشفيات تعمل طيلة أيام فصل التدفئة دون توقف. أما المباني المستخدمة للدوائر الحكومية فتستعمل التدفئة لمدة 8 ساعات

يوميا و6 أيام في الأسبوع. كما أن هناك أيام أخرى إضافية لا تستعمل فيها التدفئة في الدوائر الحكومية خاصة في الأعياد الرسمية.

يمكن تعريف عامل استعمال التدفئة بأنه نسبة عدد ساعات التشغيل الفعلية لشبكة التدفئة إلى عدد ساعات الأيام التي تحتاج إلى التدفئة في السنة أي:

$$F = \frac{t.\,n}{24.\,N}$$

حيث :

t - عدد ساعات التشغيل الفعلية في اليوم الواحد.

n - عدد الأيام التي يستعمل فيها المبنى خلال فصل التدفئة.

N - عدد الأيام التي تحتاج إلى تدفئة.

مما سبق نستنتج أن عامل استعمال التدفئة للمستشفيات يساوي:

$$F = \frac{24.120}{24.120} = 1$$

حيث اعتبرنا أن N = 120 للمدن الساحلية

للمباني السكنية والفنادق t = 15 ساعة يوميا والتدفئة تعمل طيلة أيام فصل التدفئة أي أن n = 24 وعليه فإن:

$$F = \frac{15.120}{24.120} = 0{,}62$$

بنفس الطريقة يمكن حساب قيمة F للمباني الأخرى وذلك بعد تحديد قيمة t وحساب عدد أيام العطل التي لا تعمل فيها التدفئة والتي يمكن أن تتغير من فترة زمنية لأخرى خاصة بالنسبة لبعض الأعياد الرسمية. الجدول التالي يبين قيمة F بالنسبة لمعظم أنواع المباني المعروفة.

وظيفة المبنى	F
المستشفيات (تدفئة مستمرة)	1
مصانع بثلاث ورديات وعطلة أسبوعية	0.86
الأبنية السكنية والفنادق (t = 15) وبدون عطلة	0.62
مصانع بورديتين وعطلة أسبوعية	0.58
الجامعات والمدارس والدوائر الحكومية	0.39
مصانع بوردية واحدة وعطلة أسبوعية	0.39
المكاتب (t = 10 وعطلة اسبوعية)	0.38

6 - عامل الطقس (c) :

إن درجة الحرارة الخارجية تتغير من ساعة لأخرى في اليوم وبحسب الشهر وبما أن الضياع الحراري من المبنى المحسوب اعتمد درجة الحرارة الخارجية التصميمية الدنيا والتي لا تستمر الا فترة قصيرة من الزمن بينما باقي أوقات فترة التدفئة تكون درجة الحرارة الخارجية فيها أعلى من درجة الحرارة التصميمية المعتمدة. لذلك من الضروري الأخذ بعين الاعتبار هذا العامل الذي يمثل تغير درجة الحرارة الخارجية والذي يساوي تقريبا (0,6).
مما تقدم يمكن حساب مقدار الاستهلاك السنوي للوقود (للمازوت) باستخدام العلاقة:

$$W = \frac{0,75Q.24N.F.C.3600}{C_v \ \eta_b} \qquad (\text{kg})$$

وبتعويض قيمة كل عامل نحصل على:

$$W = 0,93\frac{Q.N.F}{\eta_b} \qquad (\text{kg})$$

بالنسبة للمدن الساحلية (N = 120) واعتبار أن $\eta_b = 0,75$ يكون:

$$W = 186\,Q.F \qquad (\text{kg})$$

حيث تقدر Q بـ kw

ـ حجم خزانات الوقود وأشكالها :

يمكن حساب حجم خزان الوقود بحساب حجم الوقود اللازم من العلاقة:

$$v = \frac{w}{\rho} = \frac{w}{840}\,(\text{m}^3)$$

حيث : ρ ـ كثافة المازوت وتساوي $840 kg/m^3$

$$v = \frac{w}{0,84} \qquad \text{أو (litre)}$$

بمعرفة حجم الخزان نوجد الخزان المناسب من الجدولين.
إن الخزانات المستخدمة لتخزين الوقود غالبا ما تصنع من الصفائح الفولاية بشكل اسطواني أو متوازي المستطيلات.
يفضل تأمين خزانات تستوعب استهلاك وقود لمدة شهر على الأقل. تركب الخزانات إما في غرفة خاصة بالقرب من غرفة المرجل الشكل (4 ـ 8) في هذه الحالة يجب أن يكون مدخل الغرفة مزود بباب مقاوم للحرارة وبحيث يكون الدخول والخروج بسهولة ويجب أن توجد ترتيبات للتهوية.

الجدول أبعاد الخزانات الاسطوانية

سعة الخزان	القطر	الطول	سمك الصاج	الوزن التقريبي (kg)	
Litre	m	m	mm	مازوت	خزان
2000	1.25	1.7	5	1900	360
3000	1.25	2.5	5	2800	500
4000	1.25	3.25	5	3800	600
5000	1.5	2.8	5	4700	670
6000	1.5	3.4	5	5700	800
7000	1.75	3	6.5	6600	1100
8000	1.75	3.3	6.5	7500	1200
9000	1.75	3.75	6.5	8500	1300
10000	2	3.25	6.5	9400	1400
20000	2.5	4.1	6.5	19000	2100
30000	2.5	6.1	6.5	28000	3000
40000	2.5	6.75	6.5	38000	3600

الجدول أبعاد الخزانات المستطيلة

سعة الخزان	الطول	العرض	الارتفاع	سماكة الصاج	وزن الخزان
Litre	m	m	m	mm	kg
2000	1.5	1.2	1.2	5	500
2500	1.8	1.2	1.2	5	500
3000	2	1.25	1.2	5	500
3500	2	1.5	1.2	5	600
4500	2	1.8	1.25	5	700
5000	2.5	1.5	1.4	5	700
6000	3	1.5	1.4	6.5	1100
9000	3	1.8	1.7	6.5	1400
12000	3	2.75	1.5	6.5	1700
15000	3.5	2.75	1.6	6.5	1800
20000	4	3	1.7	6.5	2500

مفصولة عن جميع الأجهزة الأخرى. أو يمكن تركيب الخزانات خارج المبنى بشكل مطمور تحت الأرض كما في الشكل (4 ـ 9) أو بشكل مكشوف كما في الشكل (4 ـ 8).
ويتم وضع الخزانات على قواعد اسمنتية والمكشوفة منها يمكن وضعها أيضا على حوامل وجدران منزلقة حوافها من الفولاذ. بالإضافة إلى ذلك يجب عزل الخزانات المطمورة بشكل جيد لمنع الصدأ. في حال عدم إمكانية وضع الخزان الرئسي على منسوب أعلى من منسوب الحراق يمكن استخدام خزان صغير يستوعب وقود يكفي لاستهلاك يوم واحد على الأقل وعل منسوب أعلى من منسوب الحراق ويسمى بالخزان اليومي.

ملحقات خزان الوقود:

ـ أنبوب تهوية
ـ مقياس لبيان سوية الوقود
ـ فتحة لإملاء الخزان
ـ فتحة للتنظيف والصيانة
ـ سكر للتفريغ
ـ مصفاة وقود مركبة في الأنبوب الواصل بين الخزان والحراق.

ـ خزان التمدد : Expansion tonk

نتيجة تسخين الماء لدرجات حرارة عالية يتمدد ويزداد حجمه وكذلك ضغطه وهذا يسبب حدوث نتائج ضارة في الشبكة لذلك لابد من وجود خزان خاص يستوعب مقدار الزيادة في حجم الماء وبالتالي تخفيض الضغط ويسمى خزان التمدد. يعتبر هذا الخزان بمثابة جهاز الأمان في شبكة التدفئة ويصمم بحيث يكون حجمه الفعال (الحجم المحصور بين أدنى مستوى للماء عندما يكون باردا وأعلى مستوى يمكن أن يصل اليه الماء الساخن في الخزان) كافيا لتخزين مقدار الزيادة في حجم الماء.
خزان التمدد إما أن يكون من النوع المفتوح وإما من النوع المغلق.

ـ الخزان المفتوح : Open Tank

يتم تركيب الخزان المفتوح في مكان مرتفع من المبنى (غالبا على السطح) بحيث يكون مستوى قاعدته أعلى من أعلى نقطة في الدارة للتمكن من تعبئة الدارة بالماء من خزان التمدد وفرض ضغط معين على الشبكة وخاصة على المرجل بحيث يمنع هذا الضغط من تشكل البخار عند درجة الحرارة العالية المطلوبة لماء التغذية.
يصنع الخزان المفتوح من صفائح الفولاذ المغلفنة بسماكة لا تقل عن 3 mm ويعزل جيدا لوقاية الماء من التجمد في حالة توقف الشبكة عن العمل في أيام الصقيع. يتصل الخزان بالمرجل بواسطة أنبوب أمان صاعد وأنبوب أمان هابط. الأنبوب الصاعد موصول مباشرة من أعلى المرجل إلى أعلى الخزان بحيث لا يحوي الأنبوب على أي سكر أو صمام أو أي مقاومة

أخرى يمكن أن تعيق الجريان الحر للماء، كما هو مبين في الشكل (4 - 10)، أما وظيفته فهي السماح للماء الزائد نتيجة التمدد بالمرور إلى الخزان وكذلك يسمح بتصريف الهواء المتجمع في أعلى المرجل وطرده خارج الشبكة. أنبوب الأمان الهابط موصول مباشرة من أسفل الخزان إلى خط العودة الرئيسي بين المرجل والمضخة. وظيفة هذا الأنبوب ملىء الشبكة بماء التغذية البارد كما يمنع انخفاض الضغط في خط العودة عند بداية عمل المضخة. يتصل الخزان أيضا بأنبوب تهوية وأنبوب فائض، يصل الأول سطح الماء بالوسط الخارجي ويفرغ الثاني الماء الزائد عندما ترتفع سويته في الخزان عن المستوى المعين ويصل عادة بأقرب مصرف للماء قريب من الخزان. كما يتصل خزان التمدد المفتوح بأنبوب تغذية مزود بفواشة للسماح بدخول الماء إلى الخزان عندما ينقص مستواه عن حد معين.

حجم خزان التمدد المفتوح وأقطار الأنابيب :

يمكن تحديد حجم خزان التمدد المفتوح وكذلك أقطار الأنابيب المتصلة به بدلالة استطاعة المرجل بالاستعانة بالجدول (4 - 3).

الجدول حجم خزان التمدد المفتوح وأقطار الأنابيب الموصولة به بدلالة استطاعة المرجل

استطاعة المرجل أو مسخن الماء kw	حجم الخزان الاسمي Liters	قطر أنبوب التغذية مع فواشه mm	قطر أنبوب الأمان الصاعد mm	قطر أنبوب الأمان الهابط mm	قطر أنبوب الفائض mm
UP to 20	40	15	20	25	25
20 - 45	70	15	20	25	32
45 - 60	90	15	20	25	32
60 - 75	110	15	25	32	32
75 - 150	170	15	25	32	32
150 - 225	220	20	32	40	40
225 - 300	260	20	32	40	40
300 - 375	300	20	40	50	40
375 - 450	350	20	40	50	50
450 - 600	430	25	40	50	50
700 - 750	550	25	50	65	50
750 - 900	880	25	50	65	50
900 - 1200	880	25	50	65	80
1200 - 1500	1000	25	50	65	80

4- 4 - 2 - الخزان المغلق : The closed Tank

يوضع الخزان المغلق في غرفة المرجل وبالقرب منه، من الناحية الاقتصادية فإن استخدامه يوفر تمديدات الأنابيب الطويلة اللازمة للخزان المفتوح. والخزان المغلق يؤمن ضغط للماء

أعلى مما يؤمنه الخزان المفتوح بحيث يصبح من الممكن تشغيل النظام على درجات حرارة أعلى دون حدوث غليان للماء. بشكل عام يتألف الخزان المغلق من جزئين منفصلين بواسطة غشاء مرن قابل للانضغاط، يحتوي القسم العلوي على غاز أو هواء يشغل معظم حجم الخزان عندما يكون الماء في المرجل باردا، أما بعد أن يتمدد الماء نتيجة التسخين فإن الماء الزائد يذهب إلى الخزان ضاغطا على الغشاء نحو الأعلى وهذا بسبب نقصان في حجم الغاز، ويرتفع بالتالي ضغط الماء الموجود في النظام أما عندما تنخفض درجة حرارة الماء يزداد حجم الغاز الذي يضغط نحو الأسفل على الماء فيعود قسما منه إلى المرجل.
يصمم عادة الخزان المغلق بحيث يستوعب ضعف الكمية العظمى لازدياد حجم الماء الناتج عن رفع درجة حرارته من أدنى درجة إلى أعلى درجة يمكن أن يتعرض لها.

- مضخات التسريع : Circulating Pumps

تعتبر المضخات من الأجهزة الأساسية في أنظمة التدفئة المركزية ذات الجريان القسري، فهي تساعد الماء على الدوران ضمن الشبكة والمضخات المستخدمة في التدفئة هي من النوع الطارد المركزي ذات ضغط منخفض وتدفق كبير.
ولإعطاء مواصفات كاملة للمضخة يجب تحديد مقدار تدفق الماء اللازم وهبوط الضغط (الإرتفاع) الذي تعطيه المضخة للتغلب على الاحتكاك ضمن الشبكة.
يفضل عند تركيب مضخات التسريع وضع صمام اغلاق على طرفي المضخة لسهولة الفك والتركيب عند الحاجة. كما يركب لكل مضخة صمام عدم رجوع يمنع رجوع الماء باتجاه عكسي عند توقف المضخة عن العمل.

6.4 - غرف المراجل : Boilers Romms

هي المكان المخصص لتوضع مرجل التدفئة وملحقاتهه ومن المستحسن أن تقع غرف المراجل في مركز البناء في القبو لتسهيل عملية توزيع وموازنة دارات الشبكة الماء وتكون مجاورة لمنور ضمن المبنى لتركيب المدخنة ويمكن ان تنفذ غرفة المراجل مجاورة للمبنى وملاصقة له.
ويتم الوصول اليها عن طريق درج ويفضل ان يكون لها باب يصل الى خارج المبنى ،تجهز غرف المراجل بما يلي:
- ان يسمح المدخل من الناحية المعمارية من ادخال المرجل والتجهيزات واخراجها عند اللزوم مع فتحة تهوية احتياطية لجلب الهواء النقي أو نوافذ خارجية.
- ارتفاع غرفة المراجل لا يقل عن 3متر.
-ان يؤخذ بالاعتبار انشاء قاعدة بيتونية تركب عليها المراجل بارتفاع 20سم.
-ان يكون توضع غرفة المراجل يسمح بتزويد المراجل بالمازوت من خزان الوقود السنوي الرئيس.
- ابعاد الغرفة(طول-عرض)تمكن من اجراء الصيانة أو التصليح في غرفة المراجل.

ـ التوصيلات الكهربائية معزولة ضمن أنابيب حماية معدنية وموصولة حسب الأصول. كما أن جميع التجهيزات موصلة بخط أرضي مناسب لحمايتها.
ـ تراعى جميع ملاحظات الأمان اللازمة عند اجراء الصيانة أو التصليح في غرفة المراجل.
يجب أن تشمل كل غرفة مراجل بالإضافة إلى النوافذ والأبواب :
ـ في السقف على قناة أو أكثر مهمتها اخلاء الهواء الفاسد، تصل هذه القناة إلى ما فوق سطح المبنى.
ـ يفضل تأمين قناة أو أكثر تنتهي في القسم الأسفل من الغرفة مهمتها جلب الهواء الجديد اللازم للاحتراق. وتكون أقنية اخلاء الهواء الفاسد أو الدخان مجاورة ما أمكن للمداخن.
مساحة مقطعها مساوية على الأقل لنصف مساحة المدخنة على أن لا تقل عن ($0,01 m^2$).
وينصح أن تكون فتحة قناة جلب الهواء الجديد بالقرب من الأرضية وعلى ارتفاع 0,5 - 0,5 m بعيدا عن أي حاجز يعيق دخول الهواء بحرية.

يمكن تحديد مساحة غرفة المراجل (m^2) بشكل تقريبي من معرفة حجم المبنى مقدرة بالمتر المكعب بالكامل من العلاقة التالية:

$$A = \frac{\sqrt{V}}{3}$$

يمكن تحديد مساحة غرفة المراجل (m^2) بشكل تقريبي من معرفة استطاعة المراجل Q_{boi} اللازمة للمبنى مقدرة بالواط من العلاقة التالية:

$$A = \frac{\sqrt{Q_{boi}}}{21.5}$$

1.المداخن : Chimneys
الغرض من وجود المداخن هو تأمين مخرج لطرح الغازات الناتجة عن احتراق الوقود إلى خارج المبنى. يتم سحب الغازات من المدخنة بشكل طبيعي بسبب اختلاف كثافة الغازات الساخنة عن كثافة الهواء الخارجي البارد.
أما شكل المدخنة فهو دائري أو مربع والتصميمات الجيدة للمداخن تعتمد على المبادىء الأساسية التالية:
ـ سرعة الغازات عبر المدخنة يجب أن تكون عالية بحيث يتكافىء مع السحب الموجود.
ـ يجب المحافظة على درجة حرارة الغازات قريبة من درجة حرارتها عند المدخل عن طريق العزل الفعال.
ـ إن الأسطح الداخلية لتركيبة المداخن يجب أن تكون ناعمة ومتغيرة في مقطعها العرضي.
وفي الحالات النادرة حيث المدخنة المشتركة من أجل منشأة بأكثر من مرجل تكون أمرا لا مفر منه، فإنه يجب ادخال وسائل لعزل مخارج المراجل الواقفة عن العمل والمحافظة على سرعة تدفق ثابتة عند مخرج المدخنة.

4 - 7 - 1 - مقطع المدخنة :

يمكن حساب مقطع المدخنة الشاقولية بالاعتماد على استهلاك الوقود في الحراق الذي ينتج عن احتراقه غازات الاحتراق التي تخرج الى المدخنة يحسب مقطع المدخنة باستعمال العلاقة التالية:

$$A = \frac{P}{100\sqrt{h}} (m^2)$$

حيث :

P - استطاعة الحراق من المازوت (kg/h)

h - الارتفاع بين منسوب محور الحراق وأعلى نقطة في المدخنة وبشكل عام (m) h = H - 0,5

حيث : H - ارتفاع المدخنة من منسوب أرض غرفة المراجل.

وبشكل عام فإن المدخنة يجب أن ترتفع فوق سطح المبنى بمقدار نصف متر على الأقل.

إن أي مرجل يعتمد البترول أو الوقود الصلب يمكن أن يزود بمروحة للسحب القسري من أجل اخراج نواتج الاحتراق وطرحها عبر المدخنة. والكثير من المراجل يمكن الحصول عليها مع المروحة كوحدة قياسية. وإن مميزات السحب الميكانيكي هي:

أولا : يمكن تصميم المراجل من أجل سرعات أعلى، وبذلك اعطاء استطاعة أعلى.

ثانيا : مساعدة السحب الطبيعي المنتج عبر مدخنة قصيرة أو عندما يكون المرجل على سطح المبنى.

4 - 7 - 2 - تركيب المدخنة :

إن جميع المداخن المنزلية يجب أن تغطى بمواد مثل القرميد من أجل بقاء غازات الاحتراق ساخنة في المدخنة أما في المنشآت الأكبر فإنه من الضروري أيضا اضافة شكل ما من العزل وأشكال أخرى من الترتيبات مدخنة مقطع دائري او مربع وهي:

1 - مدخنة خارجية من القرميد أو الاسمنت مع طبقة من القرميد الناري مع فجوة هوائية بينهما.

2 - مدخنة خارجية من القرميد وتتضمن بطانة من قرميد مولر الذي يمكن أن يكون محصورا فيها.

3 - مدخنة خارجية من القرميد مبطن بالآجر الحراري

4 - مدخنة خارجية من الاسمنت المسلح مبطن بالقرميد العازل أو الاسمنت.

5 - مدخنة من الفولاذ الملحوم ضمن غطاء من الألمنيوم. وإن التركيب يكون إما بالتثبيت أو بالدعم الذاتي. وإن الفراغ بين غطاء الألمينيوم والمدخنة يحشى بمادة عازلة.

6 - هناك بعض أنواع المداخن مصنعة بأطوال من حوالي متر واحد مع وصلات خاصة.

4 - 7 - 3- أقنية اخلاء الهواء الفاسد وأقنية جلب الهواء الجديد :

يجب أن تشمل كل غرفة مراجل بالإضافة إلى النوافذ والأبواب :

ـ في السقف على قناة أو أكثر مهمتها اخلاء الهواء الفاسد، تصل هذه القناة إلى ما فوق سطح المبنى.
ـ وقناة أو أكثر تنتهي في القسم الأسفل من الغرفة مهمتها جلب الهواء الجديد اللازم للاحتراق.
وتكون أقنية اخلاء الهواء الفاسد مجاورة ما أمكن للمداخن.
مساحة مقطعها A_v مساوية على الأقل لنصف مساحة المدخنة على أن لا تقل عن ($0,01 m^2$).
أما أقنية جلب الهواء الجديد المعدة لتأمين الهواء اللازم لاحتراق الوقود تؤخذ مساحة مقطعها A_a مساوية لـ:

$$A_a = \frac{A + A_v}{2} \qquad (13 - 4)$$

وينصح أن تكون فتحة قناة جلب الهواء الجديد بالقرب من الأرضية وعلى ارتفاع 0,5 - 0,5 m بعيدا عن أي حاجز يعيق دخول الهواء بحرية.

أجهزة التسخين المستخدمة للبث الحراري في الأماكن المدفئة

توضع أجهزة التسخين في الغرف وتعمل على بث الحرارة التي يحملها الوسيط في جو الغرفة لتأمين التدفئة المطلوبة. يتم انتقال الحرارة من أجهزة التسخين بطريقة الحمل وبالإشعاع.
ويتعلق أسلوب نقل الحرارة بشكل وتصميم تلك الأجهزة. عندما تعطي أجهزة التسخين القسم الأكبر من الحرارة بالإشعاع فإن المنطقة السفلية في الغرفة تتدفأ بشكل أفضل. أما عندما القسم الأكبر من الحرارة ينتقل بالحمل فإن الهواء الساخن يرتفع إلى الأعلى مسخنا المنطقة العلوية. ولذلك يجب تفضيل الأجهزة التي تعطي القسم الأكبر من الحرارة بالإشعاع على الأجهزة التي تعطي الحرارة بشكل أساس بالحمل.
عند وضع واختيار أجهزة التسخين يجب الأخذ بعين الاعتبار بأن تكون:
ـ قليلة الثمن بحيث يتم وضعها بأقل استهلاك ممكن للمعادن
ـ مصنوعة من معادن متوفرة تجاريا
ـ ذات حجم ومساحة متناسبين بحيث لا تشغل الأجهزة سوى حيز قليل من الغرفة.
Δt ـ فرق درجات الحرارة للماء الساخن والهواء المحيط (c^o).

– المشعات Radiators

المشعات عبارة عن أجهزة تسخين تطلق الحرارة بالإشعاع تضع أغلب المشعات المستخدمة من حديد الصب ومن الفولاذ وكذلك من خلائط الألمنيوم يعلق المشع على الجدار بواسطة حمالات خاصة بحيث يكون مرتفع عن أرض الغرفة وذلك لسهولة التنظيف.
مشعات حديد الصب : **Cast Iron Radiators**

تصنع هذه المشعات على شكل كتل أو من مجموعة مقاطع مستقلة تجمع إلى بعضها بوساطة وصلات ملولبة. أما المقاطع بحد ذاتها فتصنع بأبعاد وأشكال مختلفة، كما هو مبين في الشكل بحيث يمكن بنتيجة جمعهم الحصول على مشع ذات شكل ومقاس ملائمين للمكان الذي سيوضع فيه المشع. تقسم المشعات بحسب عدد المجاري الشاقولية في المقطع الواحد إلى مشعات ذات أصابع متعددة وعدد الأصابع فيها يختلف من نموذج إلى آخر حسب الشركة الصانعة. تتمتع مشعات حديد الصب بالمزايا التالية:

- قابليتها جيدة لتحمل الصدم ومقاومة للتآكل
- رخيصة الثمن ومتوفرة.
- يمكن استعمالها من أجل التدفئة بالماء الساخن أو البخار.
- يتم وصل المقاطع ببعضها بكتامة مطلقة بالإضافة إلى سهولة فكها.

أما مساوئ المشعات المصنوعة من حديد الصب فهي :

- غير مقاومة للصدأ
- وزنها من أجل سطوح تسخين معينة أكثر من ضعف وزن المشعات المصنوعة من الفولاذ.

يبين الشكل نموذج من مشعات الحديد الصب

المشعات من الفولاذ المضغوط : **Pressed Steel radiators**

المشعات الفولاذية عبارة عن صفائح فولاذية مضغوطة ملحومة ببعضها البعض. أهم مزايا هذه المشعات هي:

- تتحمل الصدمات ولكنها لا تقاوم التآكل
- خفيفة الوزن نظرا لصغر كتلتها وضيق مجاري الماء فيها
- تستجيب بسرعة للتحكم بدرجات الحرارة

ـ لا تناسب التدفئة بالبخار
ـ ذات أشكال ونماذج غير محدودة ومتوفرة.

مشعات الألمنيوم : **Aluminium Radiators**

هناك نموذجين متمايزين بشكل واضح من مشعات الألومينيوم، النموذج الأول عبارة عن مجموعة مقاطع ويشبه مشعات حديد الصب. أما النموذج الثاني فهو مزود بسطح مزعنف.

المشعات بشكل عام : **Radiators generally**

من الأفضل وضع المشعات تحت النوافذ لتحقيق المتطلبات المعمارية والاجتماعية والتقنية. معماريا لتجنب وجود أجسام غريبة على الجدار غير المشوه الذي لا يحوي نوافذ لإعطاء السكان حرية التنقل ضمن الغرفة، وتقنيا من أجل:

ـ تزود الحرارة عند نقطة الضياع الحراري الأعظمي وبالتالي التغلب على تأثير التيارات الهوائية الباردة المتسربة عبر النافذة.

ـ وإن التدرج الحراري في غرفة مع مشعات متوضعة تحت النوافذ يكون أقل مما إذا وضعت في مكان آخر وهذا يؤمن للسكان الشعور بالارتياح.

ـ يجري تجنب تبقع (تلوين) سطح الجدار بالغبار المرتفع مع تيارات الحرارة الصاعدة من المشع .

- من المفضل تركيب هذه المشعات تحت النوافذ أو في الأمكنة ذات درجة الحرارة الأقل. وبذلك يتم التغلب على تأثير تيارات الهواء البارد المتسرب من خارج الغرفة. تعطي الشركات الصانعة للمشعات نشرات فنية لمواصفات هذه المشعات ، حيث تحوي هذه النشرات على نماذج للمشعات ذات مقاييس مختلفة مع البث الحراري من كل مقطع وذلك عند فرق درجة حرارة محددة ،كما توضح هذه النشرات سعة المقطع الواحد من الماء ووزن المقطع الواحد.

وإذا أجري وضع المشعات في أماكن أخرى غير أسفل النوافذ فإنه يجب وضع رف فوقها وعلى ارتفاع يتراوح بين 8 cm - 10 وذلك لمنع تبقع الجدار فوق المشع. وهذا الرف يخفض حوالي 4% من كمية الحرارة الصادرة عن المشع.

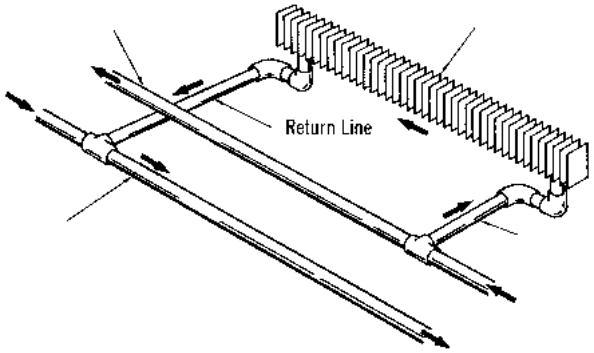
من الناحية الصحية يفضل أن يكون التدرج الحراري ضمن المنطقة المأهولة صغيرا فالإنسان يشعر بعدم الارتياح عندما يكون مضطرا للجلوس بالقرب من مشع ذو درجة حرارة مرتفعة ولفترة طويلة كما هو الحال في المدارس والمكاتب وغيرهم في هذه الحالات يمكن تغطية المشعات بأغطية خاصة. غير أن هذه الأغطية تعمل على تخفيض استطاعة المشع بنسب معينة ويجب أخذ ذلك بعين الاعتبار عند تحديد استطاعة المشع المناسبة.

كما أن للدهان المعدني (الألمنيوم والبرونز) الذي يطلى به المشع تأثير على مقدار الإشعاع الحراري ولكن يمكن إهمال ذلك في الحسابات لأن لون المشع يمكن أن يتغير حسب الرغبة.

عند تحديد المشع المناسب لمكان ما يجب الانتباه إلى النقاط التالية:

ـ عدد المشعات يجب أن يكون بعدد النوافذ أو بعدد الجدران الباردة في حال عدم وجود نوافذ
ـ يجب أن يتناسب ارتفاع وطول المشع مع ارتفاع وطول النافذة.
ـ عندما يكون عدد المقاطع في المشع الواحد 20 أو أكثر يجب أن يتم دخول الماء إلى المشع من جهة وأن يخرج من الجهة الأخرى.
ـ عندما يكون عدد المقاطع أقل من 20 فيجب أن يتم دخول وخروج الماء من جهة واحدة.

يبين الشكل مقطع يوضح تجاويف مشع حراري ثلاثي الاصابع



يبين الشكل طريقة توصيل المشعات المختلفة مع أنابيب الذاهب والراجع

2 . 2 . المسخنات بالحمل الحراري (مبادلات الحمل) : Convectors

مبادلات الحمل متوفرة بأنواع وأشكال مختلفة. عناصر التسخين فيها مجهزة بأنابيب فولاذية مزعنفة مثبتة في مستوى منخفض من صندوق معدني مصنوع أيضا من الفولاذ. الهواء البارد الملامس يدخل إلى عنصر التسخين من فتحة موجودة أسفل الصندوق أما الهواء الساخن اللازم للتدفئة فيخرج من فتحة علوية وهناك نوع آخر ذو ارتفاع قليل وبطول كبير يتوضع على شكل أنبوب فولاذي مزعنف هذا النوع يتواجد بدون صندوق معدني.

تنتقل الحرارة في المبادلات من عنصر التسخين إلى الهواء الداخلي في الغرف عن طريق الحمل ومن هنا أتت تسمية المبادل الحراري.

يتم تدوير الهواء وتسخينه ضمن الغرفة نفسها وهذا يسبب سحبا مستمرا لهواء الغرفة عبر المبادل مما يجعل درجة حرارة الهواء الداخلي ترتفع بسرعة إلى درجة الحرارة المطلوبة علما

بأنه يمكن زيادة سرعة الهواء بوساطة مروحة مركبة في المبادل مما يزيد عامل الحمل الحراري كما يمكن التحكم بكمية الهواء المار عبر المبادل بوساطة مخمد عيار.

ـ الوشائع المطمورة (التدفئة الارضية):

وهي عبارة عن أنابيب مركبة ضمن السقف أو الجدران وستعمل الماء الساخن بدرجة حرارة عادية أو منخفضة كما في الشكل (2 ـ 14) والشكل (2 ـ 15). تتم التدفئة بشكل أساسي عن طريق الإشعاع. من مزايا الوشائع المطمورة أنها ذات تكاليف قليلة بالإضافة إلى أنه يمكن استعمال شبكة الأنابيب المطمورة في السقف للتبريد صيفا وذلك باستعمال مبرد عوضا عن المرجل.

المحذور الوحيد لهذا النوع من التدفئة هو احتمال تأثر الرأس بالحرارة إذا كانت درجة حرارتها مرتفعة لذلك يجب عدم تجاوز القيم التالية:

ـ درجة حرارة السقف $40c^o$ والجدران $35\ c^o$ والأرضية $25\ c^o$.

ـ درجة حرارة ماء التسخين $50\ c^o$.

ـ فرق درجات الحرارة بين ماء التغذية وماء العودة $12\ c^o$.

ويجب ملاحظة استعمال أنابيب جيدة ويفضل أن تتم وصلات الأنابيب باللحام، وأن يستعمل الثني بدل الأكواع.

كما يفضل استعمال أنابيب بلاستيك مرنه تساعد على تشكيل الدارة المطلوبة ضمن الأرض أو السقف أو الجدران دون الخوف من تلف هذه الدارة.

وفي جميع الحالات يجب أن تجرب الشبكة بالضغط قبل تغطيتها أو صب الاسمنت عليها، إلى ضغط لا يقل عن 10 bar.

تساعد المادة العازلة في تقليل الضياع الحراري من الجهة الغير مراد تدفئتها كما تساعد على توجيه الحرارة للاتجاه المطلوب بسرعة أكبر مما يزيد في سرعة التدفئة.

وعند التدفئة من الأرض فإن العازل يساعد على تقليل الضياع الحراري باتجاه الأرض والذي يصل أحيانا إلى (25%) من الإصدارية الحرارية في حال عدم وجود العازل، تنخفض نسبة الضياع هذه بحسب سماكة ونوع العازل المستعمل.

3 . 1 . أنظمة التدفئة بالماء الساخن

Hot - Water Heating Systems

في أنظمة التدفئة بالماء الساخن تنتقل الحرارة من المرجل إلى المشعات بوساطة الماء عبر شبكة أنابيب.

ـ درجة حرارة ماء التغذية : هي درجة حرارة الماء الساخن الخارج من المرجل والذاهب إلى المشعات

ـ درجة حرارة ماء العودة : درجة حرارة الماء العائد من المشعات إلى المرجل

ـ درجة حرارة الماء الوسطية : نصف مجموع درجتي حرارة ماء التغذية وماء العودة
ـ هبوط درجة حرارة الماء : يساوي الفرق بين درجتي حرارة ماء التغذية وماء العودة.
تكون أنظمة ذات درجات حرارة منخفضة: درجة حرارة الماء أقل من ^{o}C 100. وعادة تكون درجة حرارة الماء الذاهب(القادم من المرجل) ^{o}C 90 ودرجة حرارة الماء الراجع الى المرجل ^{o}C 70 فرق درجة الحرارة بين الماء الذاهب والراجع الى المرجل ^{o}C 20.
يتم جريان الماء ضمن الشبكة الأنابيب بوساطة مضخة تسريع مناسبة. في هذه الدارة يفقد الماء جزءا كبيرا من حرارته في كل مشع تكون درجة حرارته الماء في المشع الأخير في الدارة مساويا تقريبا لدرجة حرارة الماء الخارج من المرجل.

ـ مزايا أنظمة التدفئة بالماء الساخن

1 ـ إمكانية التحكم بدرجة حرارة الماء الساخن بحيث تتلاءم مع تغيرات درجة الحرارة الخارجية وبالتالي إمكانية التحكم بكميات الحرارة اللازمة مما يجعل الغرف المدفأة ذات درجة حرارة ثابتة بالرغم من تغير درجة حرارة الوسط الخارجي.
2 ـ الماء المستخدم في شبكة التدفئة لا يتغير وبالتالي الترسبات في المرجل والمشعات والأنابيب قليلة.
3 ـ إمكانية التخلص من الهواء في الشبكة وبالتالي التقليل من التأكسد
4 ـ الماء يجري بشكل جيد دون حدوث اهتزازات أو أصوات مزعجة.

ـ معدل تدفق الماء في الشبكة :

بمعرفة كمية الحرارة الكلية اللازمة للتدفئة وفرق درجات الحرارة بين الخط الذاهب والخط الراجع يمكن حساب كمية الماء المتدفق في الدارة حسب العلاقة:

$$M = \frac{Q}{c.\Delta t} \quad (kg/s)$$

حيث : Q ـ كمية الحرارة الكلية اللازمة للتدفئة مضافا اليها الضياع الحراري في الأنابيب (w)
c ـ الحرارة النوعية للماء ويمكن اعتبارها ثابتة وتساوي $4180 J/kg.c^{o}$
Δt ـ هبوط درجة الحرارة في الدارة.
أو :

$$M = \frac{3600\, Q}{c.\Delta t} \qquad (kg/h)$$

للأخذ بعين الاعتبار كمية الحرارة الضائعة في الأنابيب تؤخذ نسبة معينة وتساوي %(30 - 10) من كمية الحرارة التي تعطيها وحدات التسخين. في الأمثلة القادمة سوف نعتمد النسبة 25% أي نضرب Q بالمقدار 1,25.