التبريد الصناعي نظري /القسم الأول/ **م. ريم شعبان**

التبريد: توفير درجة حرارة في مكان معين أقل من درجة الحرارة المحيطة في ذلك المكان.

آلة التبريد: هي الآلة التي يتحقق بسببها الحصول على درجات حرارة منخفضة (إنتاج البرودة).أي هي الآلة التي تستخدم لنقل الحرارة من المكان البارد (منبع حراري منخفض) إلى المكان الحار (منبع حراري مرتفع).

إن الحصول على درجات حرارة منخفضة في الحيز المراد تبريده يستوجب سحب الحرارة المتسربة إليه من الوسط المحيط بشكل مستمر ولهذا الغرض يجب أن نرسل إلى هذا الحيز جسماً عاملاً له درجة حرارة منخفضة لامتصاص الحرارة المطلوبة وطرحها من جديد إلى الوسط الخارجي.

عند معاكسة السلوك الطبيعي للأشياء مثل نقل الحرارة من المكان البارد إلى المكان الساخن فذلك يتطلب حتماً صرف عمل وذلك يتم باستخدام جهاز التبريد ومبدأ عمل آلة التبريد هو مبدأ عمل المضخة الحرارية ولكن في حالة التبريد. سنوضح ذلك بالإجابة عن السؤال:

كيف تعمل المضخة الحرارية؟

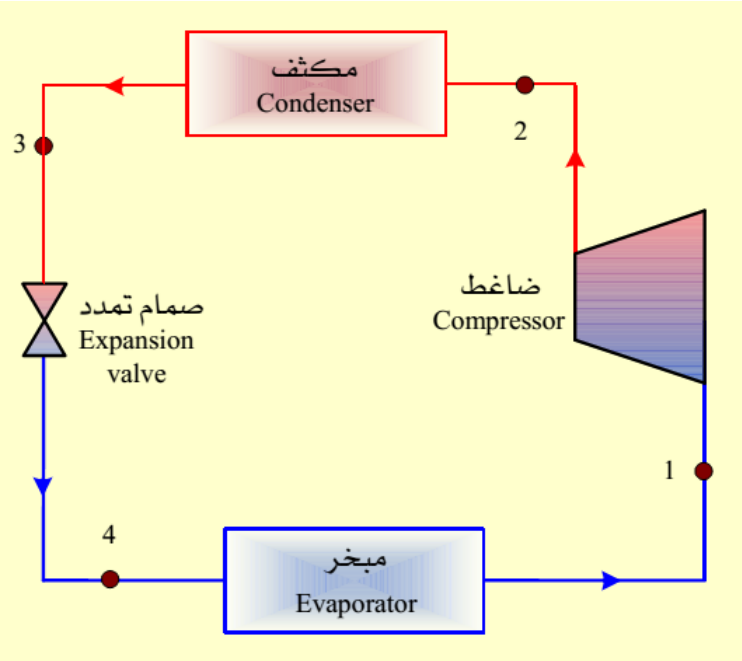
يوجد في الهواء طاقة حرارية دائمة، في شهور الشتاء يكون الجو بارد وتنخفض هذه الطاقة، مع ذلك نحن بحاجة للحصول على هذه الطاقة لتدفئة محيطنا (الحيز الموجودين فيه) فالمضخة الحرارية تجمع الحرارة من الجو ونستطيع استعمال هذه الطاقة التي حصلنا عليها للتدفئة. في الصيف نحن بحاجة لسحب الطاقة الحرارية الموجودة في الحيز المراد تبريده وطردها للوسط المحيط.

وسائط التبريد :

سائل التبريد هو الأساس في الدارة لنقل كمية الحرارة خلال الدارة. قد يكون طبيعياً أو صناعياً.

استخدمت وسائط التبريد الطبيعية (الأمونيا، ثاني أوكسيد الكربون، N-Butan) في التطبيقات المختلفة المنزلية والصناعية والتجارية ولكن نتيجة لوجود بعض السلبيات لهذه الوسائط (مشاكل قابلية الاشتعال، الاختناق عند التسريب ..) تمّ إيجاد مادة مصنعة لتلافي المشاكل وهي الفريون: هو خليط من الكلور والفلور والكربون والهيدروجين، يعتبر مائع تبريد مثالي ولا يسبب الاختناق وغير قابل للاشتعال كما أن له تراكيب كثيرة.

الأجزاء الرئيسية لآلة التبريد بالانضغاط :



١- المبخر: هو سطح تبادل حراري يتم عبره التبادل الحراري وسحب كمية الحرارة من الحيز المطلوب تبريده إلى وسيط التبريد.

٢- خط السحب: يقوم بنقل الأبخرة الباردة (وسيط التبريد) إلى الضاغط.

٣- الضاغط: يقوم الضاغط بسحب بخار وسيط التبريد من المبخر ورفع ضغطه إلى ضغط التكثيف، وكنتيجة لرفع ضغط وسيط التبريد تزداد درجة حرارته.

٤- خط التصريف: خط الغاز الساخن، هو الأنبوب الواصل بين صمام التصريف للضاغط والمكثف.

٥- المكثف: هو سطح التبادل الحراري الذي يتم عبره نبذ الحرارة إلى المحيط الخارجي وتكثيف الوسيط العامل إلى سائل.

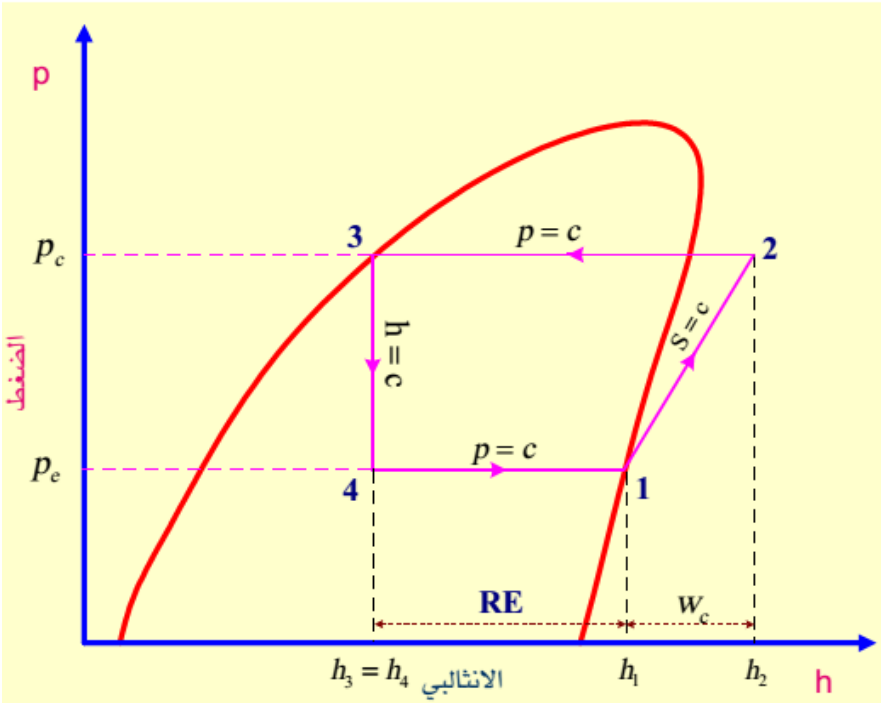
٦- خزان الاستقبال: يكون موجوداً فقط في التجهيزات الكبيرة.

٧- خط السائل: هو الأنبوب الذي ينقل سائل التبريد من خزان الاستقبال إلى صمام التمدد.

٨- صمام التمدد أو توربين. يقوم بوظيفتين:

- تعيير كمية السائل من وسيط التبريد الداخلة إلى المبخر(خاصةً في المنظومات الكبيرة حسب الحاجة يتم ضخ المائع).
- خفض ضغط هذا السائل بحيث يتبخر تحت درجة الحرارة المنخفضة.

دورة التبريد المثالية:



في دورة التبريد المثالية يكون المائع الخارج من المبخر والداخل للضاغط (بخار مشبع) والنقطة (1) تقع على خط إشباع البخار.

عند النقطة (2) نتيجة انضغاط البخار المشبع خلال العملية 2–1 ترتفع حرارة المائع نتيجة إضافة حرارة بسبب تقديم العمل خلال عملية الانضغاط فترتفع درجة الحرارة لأكثر من درجة حرارة الاشباع وتصبح في منطقة التحميص (Super-heated).

في النقطة (3) تتم عملية التبريد في المكثف وطرح الحرارة وتكون النقطة 3 على خط اشباع السائل.

في النقطة (4) يتم تخفيض الضغط بأنتالبي ثابت h3=h4 .

الحرارة الممتصة (المضافة) خلال الدورة تمثل المساحة تحت المنحني 1–4 .

الحرارة المطروحة للوسط الخارجي خلال الدورة تمثل المساحة تحت 2–3 .

المساحة تحت المنحني 2–1 تمثل العمل المقدم خلال الدورة.

لحل المسائل:

النقطة رقم 1 تقع على خط اشباع البخار لذلك بمجرد معرفة ضغط المبخر يمكن تحديدها على المخطط،

أو من الجدول عند الضغط المحدد للمبخر.

النقطة رقم 3 : من معرفة ضغط المكثف وتقاطعه مع خط اشباع السائل، نقرأ الأنتالبي h3 وهي نفسها h4.

النقطة رقم 2 : لا يمكن استخراجها من الجداول لذلك نحتاج للمخطط، أولاً هي في منطقة البخار المحمص وتقع على خط أنتروبي ثابت S1=S2. لذلك من تحديد النقطة 1 نحدد الأنتروبي S1 ومن تقاطع خط الضغط (ضغط المكثف) مع خط ثبات الأنتروبي نوجد قيمة الأنتالبي h2.

التأثير التبريدي RE : كمية الحرارة المسحوبة من المكان المراد تبريده (kJ/kg).

$$q_{4-1} = h_1 - h_4$$

كمية الحرارة المطروحة في المكثف (kJ/kg):

$$q_{2-3} = h_2 - h_3$$

عامل التبريد أو عامل إحداث البرودة:

$$\varepsilon = \frac{q_{4-1}}{W_{in}}$$

حيث:

$$W_{in} = h_2 - h_1$$

لحساب التدفق الكتلي لوسيط التبريد (kg/sec):

$$\dot{m} = \frac{Q_o}{q_{4-1}}$$

Q_o : مقدار التبريد المطلوب من الآلة خلال واحدة الزمن (استطاعة التبريد) وواحدته kW

لحساب التدفق الحجمي لوسيط التبريد(m^3/sec) ، باعتبار المردود الحجمي =1:

$$\dot{v} = \dot{m}.v_1$$

v_1: الحجم النوعي عند الدخول للضاغط .

يتم الاحتفاظ بالمساحات المبردة تحت درجة حرارة محيطها ، وبالتالي هناك دائمًا قوة دافعة لتدفق الحرارة نحو الحيز المبرد من المناطق المحيطة .نتيجة لهذا التدفق الحراري ، سترتفع درجة حرارة الحيز المبرد إلى درجة الحرارة المحيطة ما لم يتم إزالة الحرارة المكتسبة على الفور من حيز التبريد .من الواضح أن نظام التبريد يجب أن يكون كبيرًا بما يكفي لإزالة اكتساب الحرارة بالكامل من أجل الحفاظ على المساحة المبردة عند درجة الحرارة المنخفضة المطلوبة. لذلك يتم تحديد حجم نظام التبريد لمساحة مبردة محددة على أساس معدل اكتساب الحرارة للمساحة المبردة.

هناك الأمراض التي تصيب المواد الغذائية والتي يجب معرفة أسبابها وأخذها بعين الاعتبار عند التبريد أو التجميد ويختلف تأثر المواد الغذائية وتلفها باختلاف السبب واختلاف بنية المادة والمواد الأساسية التي تدخل في تركيبها:

المواد النباتية: تتأثر المواد الغذائية النباتية بالفاعلات الكيميائية الطبيعية (التنفس والتخمير)، كلاهما يفقد القيمة الغذائية للمنتجات الغذائية.

كما تتأثر بفقدان الرطوبة الذي يؤدي لفقدان الوزن وبالتالي فقدان قيمة المنتجات تجارياً. يجب اختيار المنتج عالي الجودة قبل وضعه في مخزن التبريد لأن البكتريا والعفن يتضاعفان على الفاكهة التالفة، تعد البكتريا مشكلة بسيطة بينما العفن المشكلة الرئيسية. ولا ننسى إصابة البرد نتيجة درجات الحرارة المنخفضة حيث يلون لب الثمرة باللون البني عن طريق تفاعلات بعض الأنزيمات المنتجة لمواد ضارة. وهناك مرض آخر يصبغ لب الثمرة باللون البني يحدث بسبب تركيز عالي السمية لثاني أوكسيد الكربون وعدم كفاية الأوكسجين وتحدث هذه الحالة عادة في بداية التخزين.

يجب حصاد معظم الثمار قبل بلوغ سن الذروة مباشرة لتجنب أمراض التخزين. إذا تركنا الفاكهة على النبات بعد هذه النقطة ، بينما يزداد وزنها ، يتم فقدان المزيد من الفاكهة من خلال المرض في التخزين. بالإضافة

إلى ثاني أكسيد الكربون ، تنتج الفاكهة أيضًا الإيثيلين (C_2H_4) الذي تحتوي الفاكهة غير الناضجة منه على ٠.٠١ جزء في المليون. ينتج طن من التفاح غير الناضج ٠.٠١ ملليلتر من الإيثيلين. ينتج طن من التفاح الناضج ٥٠٠٠ ضعف هذه الكمية. يسبب الايتيلين مرض الحرق الذي يصيب قشرة الفاكهة وبما أنه يتحكم في نمو الفاكهة يؤدي لتقليل العمر الافتراضي لها.

اللحوم والأسماك: المكون الأساسي في تركيب اللحوم هو البروتين. أثناء تخزين اللحوم، يحدث تفكك البروتين إلى أحماض أمينية وأحماض نووية و NH_3 وN_2 . هذه العملية التي تسمى التحلل المائي لا يمكن إيقافها عند درجات الحرارة المنخفضة لأن الأنزيمات تستمر في العمل، لذلك يتم إيقاف هذا النشاط فقط بعد التجميد العميق. للبكتريا تأثير أكبر على حياة تخزين اللحوم أكثر من المواد النباتية.

من المكونات الأخرى الأساسية في اللحوم هي الدهون، وتوجد بكميات صغيرة جداً في المواد النباتية باستثناء الفول السوداني والذرة وغيرهم (دهون نباتية).

تعمل الدهون كاحتياطي للطاقة والمواد الغذائية، لذلك يجب حمايتها أثناء التخزين من الأكسدة التي تتسبب في زنخها ويختلف ذلك عند الأسماك حيث تتأكسد دهون السمك بشكل أسرع . كما يجب حماية اللحوم والأسماك من التبخر وفقدان الوزن.

تنمو الكائنات الدقيقة بشكل أفضل في درجات الحرارة "الدافئة" ، عادة ما بين 20 و 60 درجة مئوية. ينخفض معدل النمو عند درجات الحرارة المرتفعة ، تقتل معظم هذه الكائنات في درجات حرارة أعلى من 70 درجة مئوية. التبريد هو وسيلة فعالة وعملية لتقليل معدل نمو الكائنات الحية الدقيقة وبالتالي إطالة العمر الافتراضي للأطعمة القابلة للتلف. تعتبر درجة حرارة 4 درجات مئوية أو أقل درجة حرارة تبريد آمنة. في بعض الأحيان ، قد تؤدي الزيادة الطفيفة في درجة حرارة التبريد إلى زيادة كبيرة في معدل النمو وانخفاض

كبير في العمر الافتراضي للطعام. على سبيل المثال ، يتضاعف معدل نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة مع كل ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار 3 درجات مئوية.

عامل آخر يؤثر على نمو الميكروبات وانتقالها هو الرطوبة النسبية للبيئة ، وهي مقياس لمحتوى الماء في الهواء. يجب تجنب الرطوبة العالية في الغرف الباردة لأن التكثيف الذي يتكون على الجدران والسقف يخلق بيئة مناسبة لنمو العفن وتراكمه. يمكن التحكم في نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة عن طريق التحكم في كمية الأكسجين في البيئة .فيمنع التغليف الفراغي نمو الكائنات الحية الدقيقة التي تتطلب الأكسجين، ويمكن إطالة عمر تخزين بعض الفاكهة عن طريق تقليل مستوى الأكسجين في غرفة التخزين.

أفضل طريقة لتقليل التلوث في مناطق معالجة الطعام هي استخدام مرشحات الهواء الدقيقة في أنظمة التهوية لالتقاط جزيئات الغبار التي تنقل البكتيريا في الهواء .يجب أن تظل المرشحات جافة لأن الكائنات الحية الدقيقة يمكن أن تنمو في المرشحات الرطبة .كما يجب أن يحافظ نظام التهوية على ضغط إيجابي في مناطق تجهيز الأغذية لمنع أي ملوثات محمولة جواً من الدخول إلى الداخل.

التجميد ليس طريقة فعالة لقتل الكائنات الحية الدقيقة، لذلك فإن معدل التجميد أيضًا أحد الاعتبارات المهمة في تبريد الأطعمة نظرًا لأن بعض الكائنات الحية الدقيقة تتكيف مع درجات الحرارة المنخفضة وتنمو في درجات الحرارة تلك عندما يكون معدل التبريد منخفضًا جدًا.

يتضمن التبريد العادي للأطعمة التبريد فقط دون أي تغيير في الطور .من ناحية أخرى ، يتضمن تجميد الأطعمة ثلاث مراحل: التبريد إلى نقطة التجمد (إزالة الحرارة المحسوسة) ، والتجميد (إزالة الحرارة الكامنة) والتبريد الإضافي إلى درجة حرارة التجمد المطلوبة (إزالة الحرارة المحسوسة للأطعمة المجمدة).

طرق التبريد المختلفة:

طرق التبريد المسبق الأولية للفواكه والخضروات هي التبريد المائي ، حيث يتم تبريد المنتجات بغمرها في الماء المبرد.

تبريد الهواء القسري (تبريد بالهواء المدفوع) ، حيث يتم تبريد المنتجات عن طريق دفع الهواء المبرد من خلالها.

والتبريد بالتفريغ حيث يتم تبريد المنتجات عن طريق تبخير بعض المحتوى المائي للمنتجات تحت ظروف الضغط المنخفض.

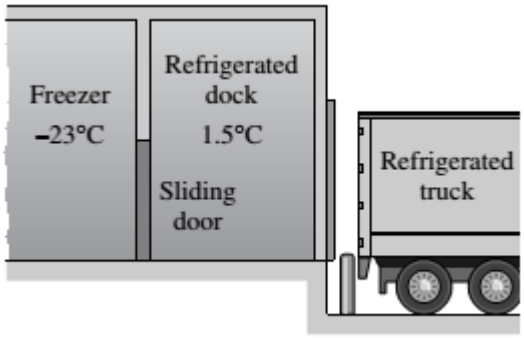
تميز أنظمة التبريد بالهواء القسري بأنها بسيطة وسهلة الصيانة ولا تعاني من مشاكل تسرب. لكنها ليست فعالة مثل أنظمة التبريد المائي. تكون معاملات نقل الحرارة في التبريد بالهواء القسري أقل بكثير من تلك في التبريد المائي ، وبالتالي يستغرق تبريد الفواكه والخضروات عن طريق الهواء القسري وقتًا أطول في العادة. يمكن تقليل وقت التبريد عن طريق التباعد بين حاويات المنتج والسماح بتدفق الهواء في جميع الأنحاء بدلاً من تكديسها.

طرق تبريد الهواء المختلفة ، مثل التبريد الدفعي في غرف التبريد والتبريد بالصدم النفاث impingement air cooling حيث تمر المنتجات باستمرار عبر نفق التبريد على سيور النقل ، عادة ما يتم تبريد الزهور المقطوفة بالهواء القسري.

التبريد بالفراغ ، يعتمد على تقليل ضغط غرفة التبريد المغلقة إلى ضغط التشبع عند درجة الحرارة المنخفضة المطلوبة وتبخير بعض الماء من المنتجات المراد تبريدها .يتم امتصاص حرارة التبخر أثناء التبخر من المنتجات، مما يقلل من درجة حرارة المنتج. يمكن زيادة معدل التبريد عن طريق خفض الضغط إلى أقل من ضغط التشبع لكن هذا غير مرغوب فيه بسبب خطر التجميد والتكلفة المضافة.

تُستخدم عبوات التثليج في التطبيقات صغيرة الحجم لإزالة الحرارة فورياً والحفاظ على برودة المنتج أثناء النقل، ولكن استخدامه يقتصر على المنتجات التي لا تتضرر من ملامستها للثلج ، كما يوفر الثلج الرطوبة وكذلك يتم تبريد بعض حاويات الشحن عن طريق ضخ جليد بشكل طين فيها من خلال خرطوم.

تحوي مرافق تخزين اللحوم عادة على رصيف شحن مبرد حيث يتم تجميع الطلبات وشحنها. يقلل رصيف الشحن المبرد، حمل التبريد للمجمدات أو المبردات ويمنع تقلبات درجات الحرارة في منطقة التخزين. غالبًا ما يكون من المناسب الحفاظ على أرصفة الشحن عند 4 إلى 7 درجة مئوية للمبردات وحوالي 1.5 درجة مئوية للمجمدات. يجب أن تكون نقطة تكثف هواء الرصيف أقل من درجة حرارة المنتج لتجنب التكثيف على سطح المنتجات وفقدان الجودة.



طرق التجميد المختلفة:

تعتبر طريقة التجميد من الاعتبارات الهامة في تجميد الأطعمة .تشمل طرق التجميد الشائعة التجميد بالهواء اللافح ، حيث يتم نفخ هواء عالي السرعة عند حوالي 30– درجة مئوية فوق المنتجات الغذائية.

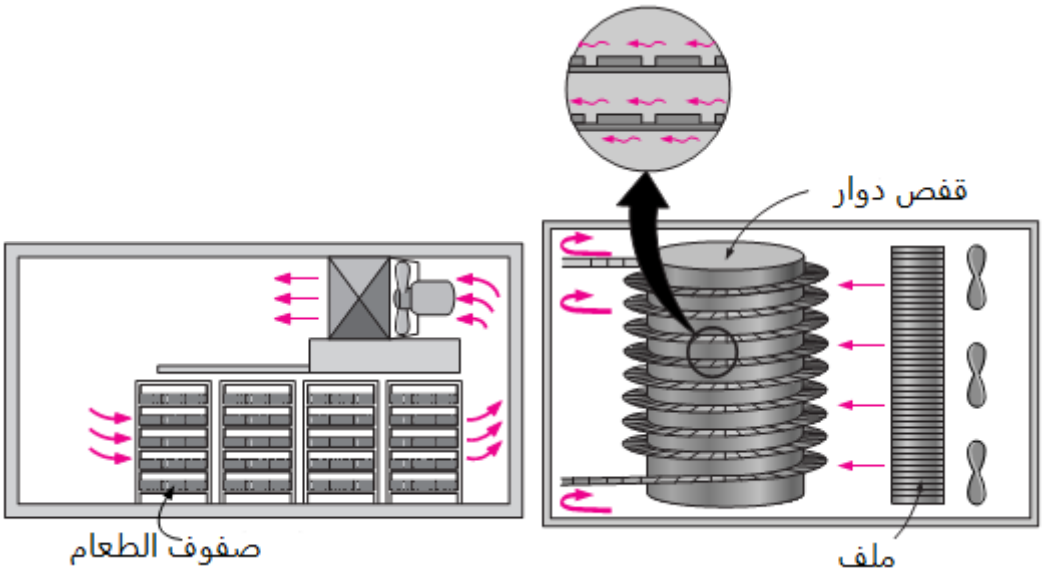
تجميد بالتوصيل ، حيث يوضع الطعام المعبأ أو غير المعبأ فوق أو بين ألواح معدنية باردة ويتم تبريده بالتوصيل.

التجميد بالغمر ، حيث يتم غمر الطعام في محلول ملحي منخفض الحرارة.

التجميد المبرد ، حيث يتم وضع الطعام في وسط مبرد بواسطة سائل مبرد مثل النيتروجين السائل، ويمكن الجمع بين الطرق المذكورة أعلاه.

في مجمدات الهواء ، يعمل الهواء المبرد كوسيط لنقل الحرارة ويتم نقل الحرارة بشكل أساسي عن طريق الحمل الحراري. ربما تكون أسهل طريقة للتجميد تتبادر إلى الذهن هي وضع المواد الغذائية في غرفة تخزين باردة معزولة جيدًا يتم الاحتفاظ بها في درجات حرارة تحت التجمد. يتم نقل الحرارة في هذه الحالة عن طريق الحمل الحراري الطبيعي ، وهي عملية بطيئة نوعًا ما. كما تؤدي معدلات التجميد المنخفضة الناتجة إلى نمو بلورات ثلجية كبيرة في الطعام وتتيح متسعًا من الوقت لخلط نكهات الأطعمة المختلفة. هذا يضر بجودة المنتج ، وبالتالي يتم تجنب طريقة التجميد البسيطة .

تتمثل الخطوة التالية في استخدام بعض المراوح الكبيرة في غرف التخزين البارد لزيادة معامل نقل الحرارة بالحمل الحراري وبالتالي معدل التجميد.



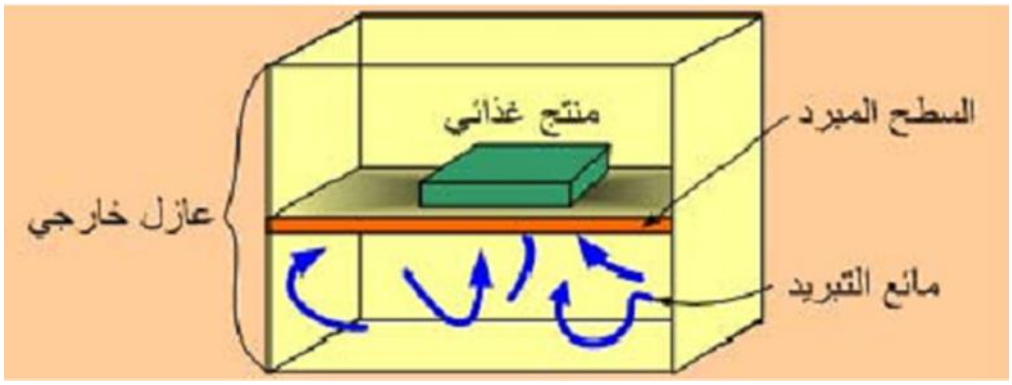
توضح الأشكال التجميد بالهواء اللافح لشكلين من السيور

المجمد ذو الحزام المستقيم: نوع من المجمدات الآلية مناسبة جدًا لتبريد الفواكه والخضروات والمنتجات ذات الحجم الموحد مثل البطاطس المقلية. بالنسبة للمنتجات الأصغر حجمًا مثل البازلاء والجزر المقطّع ، تقوم

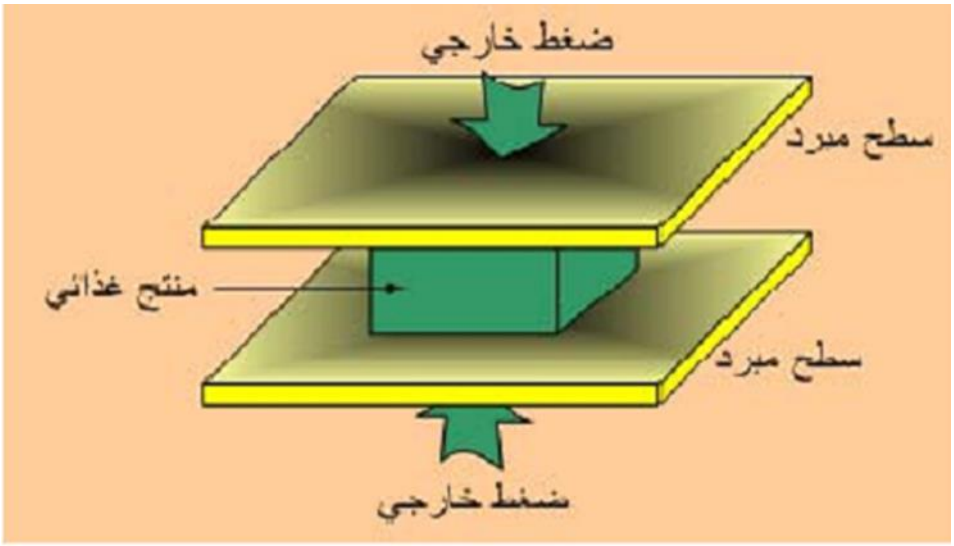
المجمدات ذات القاعدة المميعة بتعليق المواد الغذائية عن طريق تيار من الهواء البارد ، عادةً عند 40- درجة مئوية ، أثناء انتقالها على حزام ناقل. ينتج عن المستوى العالي لحركة الهواء ومساحة السطح الكبيرة معدلات عالية لنقل الحرارة وتجميد سريع للمنتجات الغذائية. يمكن تقليل متطلبات مساحة الأرضية للمجمدات ذات السيور إلى أدنى حد باستخدام المجمدات ذات السيور المستقيمة متعددة التمريرات أو المجمدات ذات السيور الحلزونية، والتي تهيمن الآن على صناعة الأغذية المجمدة.

في نوع آخر من مجمدات الهواء ، تسمى الفريزر ذو نمط الاصطدام، يؤثر الهواء البارد على المنتج الغذائي عموديًا من كلا جانبي الحزام الناقل بسرعة عالية ، مما يتسبب في ارتفاع معدلات نقل الحرارة وتجميد سريع جدًا.

في المجمدات التي تعمل بالتلامس، توضع المنتجات الغذائية بين لوحين من المعدن البارد ويتم تبريدها بالتوصيل. يتم تبريد الألواح عن طريق تدوير المبرد عبر القنوات الموجودة في الألواح. تعتبر المجمدات الملامسة سريعة وفعالة ، ولكن استخدامها يقتصر على الأطعمة المسطحة التي لا يزيد سمكها عن 8 سم تقريبًا مع التوصيل الحراري الجيد ، مثل فطائر اللحم وشرائح السمك والخضروات الورقية المقطعة.

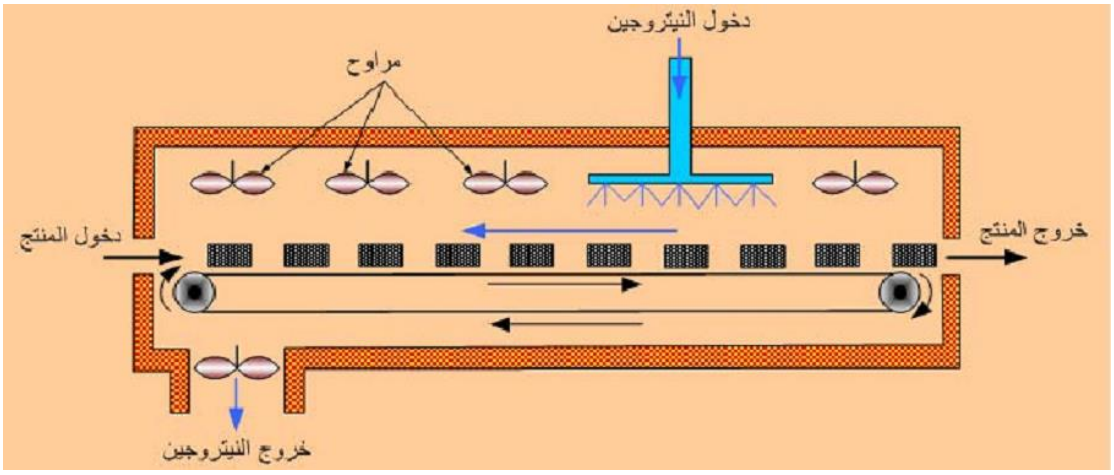


التجميد بالتلامس -١-

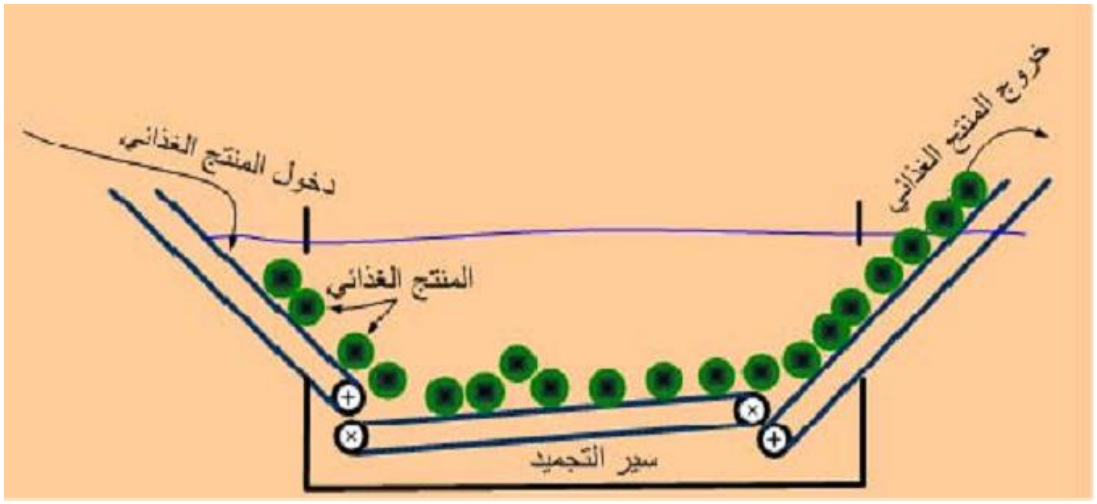


التجميد بالتلامس -٢-

في حالة التجميد بالغمر ، يتم غمر المنتجات الغذائية في محلول ملحي أو سائل آخر بنقطة تجمد منخفضة .عند الضغط الجوي، يغلي النيتروجين السائل عند 195- درجة مئوية ويمتص 198 kJ/kg من الحرارة أثناء التبخر. ثاني أكسيد الكربون مادة صلبة عند الضغط الجوي (تسمى الجليد الجاف) وتتسامى عند 79- درجة مئوية بينما تمتص 572 kJ/kg من الحرارة. يمكن أيضًا استخدام أبخرة النيتروجين وثاني أكسيد الكربون المشبعة في التبريد المسبق للمنتجات الغذائية الواردة قبل تنقية الأبخرة في الغلاف الجوي. إن نقاط الغليان المنخفضة وأمان هذه المواد المبردة تجعلها مناسبة جدًا للتجميد المبرد للمنتجات الغذائية. نوع شائع من فريزر النيتروجين يتضمن نفقًا طويلًا به حزام متحرك. يتم تجميد المنتجات الغذائية بواسطة النيتروجين أثناء مرورها عبر القناة. يوفر النيتروجين تجميدًا سريعًا للغاية بسبب الاختلاف الكبير في درجات الحرارة.



التجميد بالغمر -١-



التجميد بالغمر -٢-

في بعض الأحيان ، يتم استخدام التبريد المبرد مع تقنية التجميد بالهواء اللافح لتحسين الجودة وتقليل التكلفة. يتم أولاً تجميد قشرة المنتج الغذائي في حمام من النيتروجين لإحكام الرطوبة والنكهة فيه ، ثم يتم نقله إلى قسم تجميد الهواء ، حيث تكتمل عملية التجميد بتكلفة أقل. تقلل هذه الممارسة أيضًا إلى مستويات ضئيلة من خسائر الجفاف ، والتي يمكن أن تصل إلى 4% للأنظمة سيئة التصميم والصيانة.

تبنى حديثاً مستودعات التبريد بشكل عام باستخدام ألواح عازلة مسبقة الصنع مكونة من صفيحتين من الصلب المغلفن أو الألمنيوم أو أحياناً البوليستر. يتم ملء الفراغ بين الألواح برغوة البولي يوريثين أو بوضع طبقة من البوليسترين فيها.

أهم قيمة في حسابات العزل هي الموصلية الحرارية λ للمواد المستخدمة، وأفضل المواد العازلة هي الهواء أو الغاز غير المتحرك حيث تبلغ موصلية الهواء (0.024 W/m.k) عند الدرجة 273 K وتبلغ موصلية الفريون R_{11} (0.016 W/m.k) ولكن لا يحبذ استخدام الفريون من أجل الحفاظ على طبقة الأوزون.

عند اختيار مادة العزل هناك بعض العوامل المهمة لتؤخذ بعين الاعتبار:

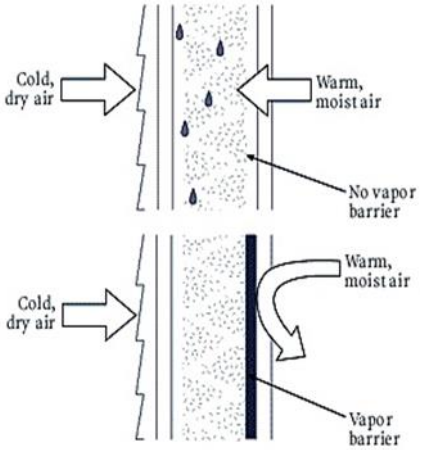
١. الناقلية (الموصلية الحرارية).
٢. عامل التمدد واستقرار المادة، فتختلف قيم التمدد خلال فترة زمنية فيجب استخدام مواد مستقرة قدر الإمكان.
٣. النفاذية: بعض المواد تمتص الماء والبعض الآخر لا يمتصه (بوليسترين مبثوق) معظم مواد العزل غير محكمة ضد البخار وتمتص بخار الماء بدرجات متفاوتة في الهواء أو الغاز. لذلك من المهم مقارنة معاملات مقاومة انتقال بخار الماء.
٤. القوة الميكانيكية: هذه الخاصية ذات أهمية خاصة لعزل الأرضيات. يتمتع البولي يوريثين والفلين والزجاج الرغوي بأعلى قوة ميكانيكية والبوليسترين المبثوق أقوى من البوليسترين الممدد.
٥. الكثافة: لأسباب تتعلق بالقوة الميكانيكية، من غير المستحسن استخدام البوليسترين بكثافة أقل من $20\ kg/m^3$ والبولي يوريثين أقل من $30\ kg/m^3$ ومع ذلك كلما زادت الكثافة زادت نسبة حجم المادة/الغاز وزادت قيمة الناقلية.

٦. بعض مواد العزل لها عيوب واضحة فبعضها قابل للتأكل بسبب القوارض مثل البوليسترين وبما أن الصوف الزجاجي ليس له مقاومة ميكانيكية فقد ينهر عند استخدامه بدون دعم بشكل صحيح في الجدران، وقد ينتج من الزجاج الرغوي رائحة كريهة عند حدوث كسر فيه بسبب غاز H2S المنطلق من خلاياه المتعرضة للكسر. ويحتوي البولي يوريثين مسبق الصنع على R_{11} والذي في حالة نشوب الحريق سيشكل الفوسيجين Phosegene وهو غاز مميت.

٧. مقاومة الحريق: المواد العازلة الوحيدة الشائعة الاستخدام والمقاومة للحريق هي الزجاج الرغوي والصوف الزجاجي. قد تكون للمواد الأخرى خصائص مقاومة الحريق ولكن بمجرد نشوب حريق فيها تحترق بسرعة. وقد تم تصنيف هذه المواد من قبل شركات التأمين وتقوم بعض الدول بوضع معايير معينة لتصنيف هذه المواد.

٨. السعر (التكلفة): تختلف أسعار المواد حسب الوضع الاقتصادي العالمي.

موانع تسريب البخار:



يتم انتقال بخار الماء في العازل بسبب اختلاف ضغط البخار عبر الجدار، يعتمد ضغط بخار الماء الجزئي في خليط (الهواء وبخار الماء) في الغلاف الجوي على درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية.

خارج مستودع التبريد تكون الحرارة أعلى والضغط الجزئي أكبر عندما تكون الرطوبة النسبية والحرارة أكبر.

في أنفاق التجميد وفي غرف التجميد سيكون ضغط بخار الماء منخفض مما يؤدي إلى ميل البخار إلى الانتشار ضمن الجدار من الخارج إلى الداخل.

تتمتع مواد العزل باستثناء الزجاج الرغوي والمنتجات القائمة على الفينول بمقاومة منخفضة لانتشار بخار الماء لهذا السبب يتعين إضافة طبقة إضافية من المواد ذات مقاومة عالية لانتشار الماء إلى الجانب الدافئ من طبقة العزل.

خصائص موانع البخار:

- غير غالية الثمن
- قابلة للترميم
- مستقرة عبر السنوات وعمرها الافتراضي يناسب عمر المستودع
- مقاومتها الميكانيكية جيدة.

مواد موانع البخار:

- البولي إيتيلين.
- رقائق الألمنيوم
- دهانات ذات أساس زيتي.
- مواد عزل رغوية.
- بعض أنواع الأخشاب.

ما الذي يحدث عندما يدخل بخار الماء إلى مادة العزل؟

- يمكن أن يمر خلاله دون أثر ثم يدخل لمستودع التبريد ويتسامى على المبخرات .
- يمكن أن يتكثف داخل العزل ويكون أثره سلبي على الموصلية الحرارية. حيث تبلغ قيمتها للبخار $0.018\ W/m.k$ لكن للماء تبلغ هذه القيمة $0.58\ W/m.k$ والثلج يعتبر مدمر على الطبقة العازلة وقيمة الموصلية له $2.3\ W/m.k$.

ملاحظة: يوضع مانع البخار على الجانب الدافئ من الجدار وإذا لم يتم التأكد من وضعه فلا داعي لوضعه على الجانب البارد لأن البخار سيجد طريقه إلى المبخرات . في الغرف التي تعمل بمستويات درجات حرارة

عالية مثل غرف إنضاج الموز k 285 في البلدان ذا المناخ البارد أو المعتدل من الأفضل وضع موانع البخار على كل جانب من الجدار، وإذا تمّ استخدام عازل مانع للبخار بنسبة 100% فلا داعي لاستخدام حاجز للبخار على الإطلاق ففي الوقت الحاضر يستخدم مانع بخار معدني مختوم بمجموعات السيليكون وهي مانعة للبخار 100% .

طرق وضع العوازل الحرارية:

العزل الداخلي: الأكثر استعمالاً، والأكثر مشاكل من ناحية الرطوبة.

العزل الخارجي: الوضع الأمثل من الناحية الفيزيائية، مشاكله كثيرة من حيث صعوبة الحماية من الجسر الحراري والحشرات.

العزل البيني: من أكثر الطرق المكلفة لتركيب العزل الحراري، مشاكله قليلة من حيث الرطوبة والحشرات لكنه صعب التركيب مقارنةً بالعزل الخارجي والداخلي.

عزل الأرضية والسقف والجدران:

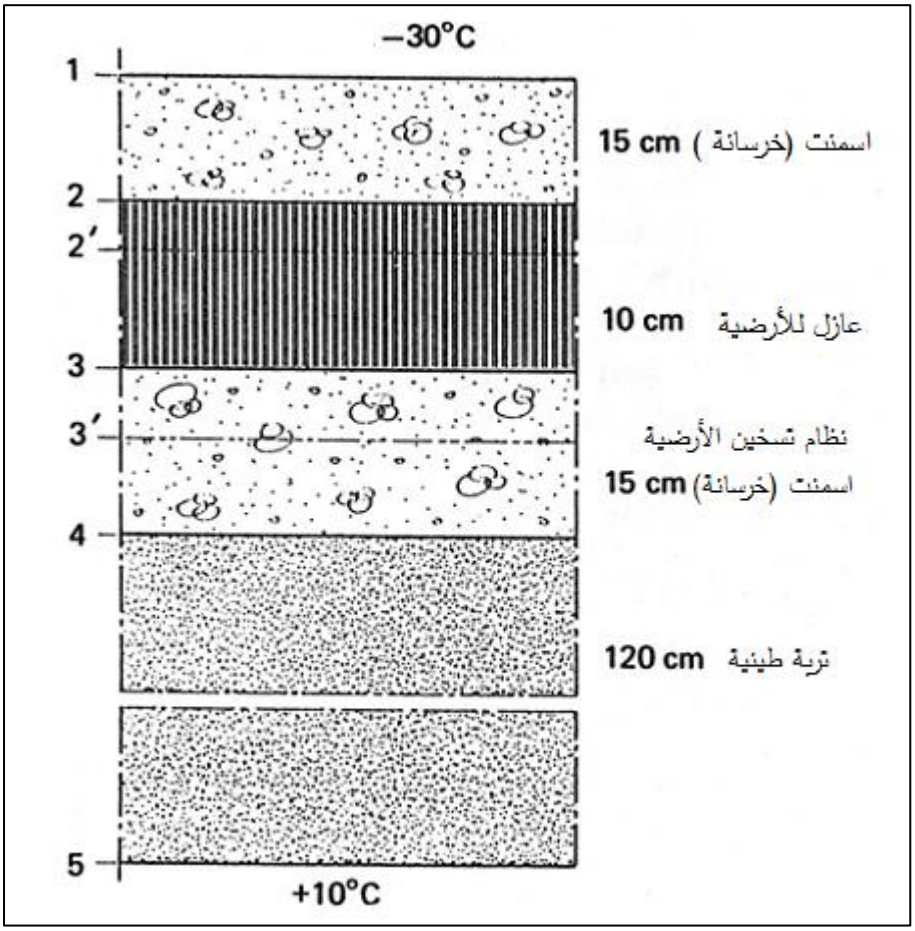
الأرضية: يمكن أن يظهر تشوه في الأرضية بعد عدة سنوات حسب نوع التربة فهناك مواد قابلة للتشوه وتعطي ميلان في طبقة التربة وهناك مواد لا، وبعض الطبقات المنزلقة خطيرة للغاية لأن تمددها يمكن أن يتسبب بأخطار جسيمة للأساسات.

الحل الأول: في الحالات التي يوجد فيها شكوك حول التربة تتم إزالة طبقة من التربة من m (1–0.5) واستبدالها بمواد غير قابلة للثني ولكن يبقى هناك خطر ارتفاع المياه الجوفية كمنسوب. وهناك طريقة أخرى لتجنب المشاكل هي بناء قبو تحت أرضية المخزن ولكنها مكلفة ومقترنة بإنشاء رصيف تحميل.

الحل الأفضل والأكثر استخداماً: هو التسخين تحت الأرضية والذي يمكن تحقيقه بعدة طرق:

- عن طريق أنابيب الاسبستوس توضع في الطبقة الأولى من الخرسانة على مسافات تبلغ حوالي متر واحد ومتصلة من كلا الطرفين بمجرى هواء.
- بواسطة كابلات المقاومة الكهربائية المصنعة من قبل مختصين ومتوفرة في حصائر أو لفات موضوعة على الطبقة الخرسانية (يتطلب $1000\ m^3$ حوالي 40 V أي $25W/m^2$).
- عن طريق نظام تسخين أرضي يتكون من أنابيب بلاستيكية على مسافة 60 cm في الطبقة الخرسانية والتي يتم من خلالها ضخ محلول الماء/ الجليكول.

الشكل التالي يوضح ترتيب طبقات أرضية المستودع:



أفضل طريقة عملياً لتطبيق العزل التقليدي هي كما يلي:

- البوليسترين المبثوق بكثافة مناسبة ومقاومة ميكانيكية مناسبة

- البولي يوريثين بكثافة مناسبة ومقاومة ميكانيكية مناسبة
- يجب أن يتمتع عزل الأرضيات بقوة ميكانيكية كافية وقبل وضع البلاطة الخرسانية النهائية يجب تغطية العزل بطبقة من فيلم البولي ايتيلين لمنع الماء في الخرسانة الرطبة من اختراق العازل.

يجب أن تكون للبلاطة الخرسانية النهائية أو لوح التشطيب الخصائص التالية:

- قوة ميكانيكية قادرة على تحمل الأحمال الساكنة والديناميكية
- وصلات تمدد مناسبة
- لا رائحة ولا غبار وسهولة في التنظيف لأسباب صحية
- عدم قابليتها للاشتعال
- مقاومة الانزلاق لأسباب تتعلق بالسلامة.
- المتانة.

يعتبر الزجاج الرغوي والفلين والبوليسترين المبثوق والبولي يوريثين PUR من أفضل المواد.

عزل الأسقف والجدران:

على عكس الأرضية يخضع السقف لأعلى درجات حرارة محيطة، اعتماداً على بنيته وانعكاس الأشعة الشمسية عليه. ينطبق ذلك بشكل خاص على الإنشاءات الجاهزة حيث تكون ألواح العزل محمية بطبقة رقيقة من السقف أو تتعرض فوراً للإشعاع الشمسي المباشر بواسطة سقف ومجال جوي يمكن تهويته.

- بعد وضع حاجز البخار (مانع التسريب) يتم تثبيت الطبقة الأولى من العزل بالسقف أو الجدار عن طريق الأجهزة الميكانيكية مثل مسامير الفولاذ ذات الأسلاك والألواح المغلفنة

- يتم تثبيت الطبقة الثانية واللاحقة على الطبقة السابقة عن طريق أوتاد خشبية يتم إدخالها بزاوية ويستخدم مستحلب بيتوميني غير طيني كمادة لاصقة بين الطبقات. السقف مصنوع من عوارض خشبية موضوعة على مسافة 50 cm ويمكن تغطية جميع المواد بطبقة عازلة من الآيبوكسي أو جص أو ألمنيوم أو صفائح أخرى، جدار من الطوب بطبقة واحدة يعتبر وسيلة فعالة للغاية ولكنها مكلفة.

يمكن استخدام ورق البيتومين 3mm أو ورق الكرافت المقوى بألياف زجاجية كمادة لباد الأسقف ويمكن استخدام فيلم البولي إيثيلين للأرضية ولكن يجب أن تكون سماكته 0.2mm على الأقل.