

Soutenance de thèse de doctorat de Mr Guermat Zouhir,

Le 06/03/2024 à partir 17h00

THEME: " Étude des nouveaux matériaux à changement de phase biosourcés appliqués à l'isolation thermique du bâtiment."

Spécialité: **Énergétique**

Filière: Génie mécanique

Département : Génie mécanique

RÉSUMÉ

Le secteur du bâtiment consomme une quantité importante d'énergie, ce qui incite à rechercher des solutions pour réduire cette consommation. Une approche prometteuse consiste à incorporer des matériaux à changement de phase (MCP) dans l'enveloppe des bâtiments, ce qui permet d'améliorer considérablement l'efficacité énergétique et le confort thermique. Les MCP traditionnels, dérivés de sources non renouvelables et non respectueuses de l'environnement, comme les matériaux à base de pétrole et les matériaux chimiques, posent des problèmes en termes de coût et de production. En revanche, les MCP biosourcés, dérivés de matériaux renouvelables comme les graisses animales et les huiles végétales...etc, attirent l'attention en raison de leur côté écologique et de leur capacité à résoudre les inconvénients des matériaux MCP conventionnels. La présente étude se concentre sur le développement et la caractérisation des MCP à base bio, dans le but d'identifier un MCP optimal pour l'intégration efficace dans les enveloppes des bâtiments en vue d'améliorer les performances thermiques et de contribuer à la réduction des coûts à long terme.

Un MCP présente une plage de changement de phase optimale (27 °C - 38.3 °C) avec une chaleur latente de 63.85 kJ/kg et des conductivités moyennes de 0.212 W/ (m.K) et 0.165 W/(m.K) respectivement dans les phases solide et liquide. Ce MCP a été sélectionné pour être incorporé dans nos analyses visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. En termes de réduction des échanges de chaleur et de stabilité de la température de la surface intérieure. Utilisation de COMSOL 5.4a basé sur la discrétisation spatiale d'éléments finis pour résoudre les équations aux dérivées partielles qui régissent nos problèmes. Les quatre points principaux de l'analyse numérique visent l'efficacité de l'intégration d'un nouveau MCP dans le bâtiment.

Cette partie examine l'effet des approches de la conductivité thermique sur le transfert de chaleur dans les MCP et évalue les formes de capacité thermique équivalente et leur influence sur le stockage de l'énergie dans le MCP. Afin d'utiliser des modèles de capacité thermique et de conductivité thermique appropriés dans le cadre de cette recherche. Les résultats montrent que la capacité thermique équivalente basée sur la fonction $(D(T) \times L)$ génère des erreurs significatives. Une meilleure approche consiste à diviser le terme $(D(T) \times L)$ par l'intervalle $(T_{endset} - T_{onset})$, ce qui donne des résultats plus proches de ceux obtenus avec la capacité expérimentale. Le modèle de capacité thermique de corrélation basé sur des données expérimentales est le plus efficace, le modèle optimisé et le modèle C_p équivalent connu sont appropriés. Toutefois, l'utilisation du modèle intégré COMSOL entraîne des variations dans les valeurs d'enthalpie les plus élevées. Différentes approches de la conductivité thermique ont montré une convergence avec les résultats obtenus à partir des données expérimentales de conductivité.

Une analyse thermique a été réalisée pour examiner l'impact de l'intégration du nouveau MCP biosourcé dans la brique de 15 cm × 25 cm sur le stockage de l'énergie, avec différents diamètres. En comparant ses performances en matière de stockage d'énergie avec celles d'autres MCP. Enfin, un examen de la forme/configuration optimale pour l'intégration du nouveau MCP biosourcé dans la brique a été mené. Les résultats montrent que l'intégration du nouveau MCP biosourcé améliore l'inertie thermique du bloc de brique.

En outre, l'augmentation de la quantité de MCP réduit l'échange de chaleur à l'intérieur du bloc jusqu'à 37.17 % pour un MCP de 3 cm de diamètre. En outre, le nouveau MCP à base bio est plus performant que les autres MCP d'un diamètre de 3 cm en termes de réduction du transfert de chaleur sur la surface intérieure de la brique. La capacité de stockage d'énergie est maximale lorsque le nouveau MCP biosourcé forme un rectangle unique au milieu de l'axe vertical central de la brique, avec une réduction maximale de la température de 3.76 °C.

L'étude numérique de l'intégration du nouveau MCP biosourcé aux murs afin d'améliorer le stockage de l'énergie dans les bâtiments a porté sur des villes algériennes représentatives au cours d'une période estivale de trois mois. Les résultats indiquent que l'utilisation de MCP biosourcé améliore de manière significative la capacité de stockage de l'énergie dans toutes les villes étudiées. Les performances du stockage de l'énergie à l'aide de MCP biosourcé dépendent fortement des conditions climatiques spécifiques de chaque ville.

L'emplacement optimal de la couche de MCP dans les murs est déterminé pour toutes les villes. Le MCP permet de réduire la température maximale à la surface intérieure, avec des différences de 3.95 °C, 3.25 °C, 3.17 °C et 2.98 °C respectivement pour Béchar, Tamanrasset, Constantine et Annaba.

Ces résultats montrent la possibilité d'utiliser le matériau biosourcé développé pour la construction de murs.

Une conception innovante de mur est proposée, incorporant un panneau bio-sandwich de 5 cm (OSB+PCM), visant à réduire les coûts tout en améliorant le confort intérieur et en créant de l'espace supplémentaire dans le bâtiment. Les résultats indiquent l'utilisation d'un panneau bio-sandwich pour renforcer le mur du bâtiment stabilise la température intérieure, réduisant les fluctuations de température et améliorant le confort intérieur, en plus d'offrir un espace supplémentaire pour l'ambiance intérieure du bâtiment.

Mots-clés : Matériau biosourcé ; Stockage d'énergie ; Analyse numérique ; Logiciel COMSOL ; Matériau à changement de phase ; Performance thermique ; Masse thermique.

دراسة المواد الجديدة المتغيرة الطور ذات المصدر الحيوي المطبقة على العزل الحراري

ملخص:

يستهلك قطاع البناء كمية كبيرة من الطاقة، مما يدفع إلى البحث عن حلول لتقليل هذا الاستهلاك. أحد الأساليب الواعدة هو دمج المواد المتغيرة الطور في أغلفة المباني، والتي تمكن أن تحسن بشكل كبير كفاءة الطاقة والراحة الحرارية. المواد التقليدية المتغيرة الطور، المستمدة من مصادر غير متجددة وغير صديقة للبيئة مثل المواد البترولية والمواد الكيميائية، تثير مشاكل من حيث التكلفة والإنتاج. في المقابل، فإن المواد الحيوية المتغيرة الطور، المستمدة من مواد متجددة مثل الدهون الحيوانية والزيوت النباتية... الخ، تجتذب الانتباه بسبب ملاءمتها للبيئة، اعتبارها أيضاً مصادر متجددة وقدرتها على التغلب على سلبيات المواد التقليدية المتغيرة الطور. تركز الدراسة الحالية على تطوير وتوصيف مواد تغيير الطور ذات الأساس الحيوي، بهدف تحديد مادة تغيير الحالة الأمثل من أجل التكامل الفعال في مغلفات البناء لتحسين الأداء الحراري والمساهمة في تخفيض التكلفة على المدى البعيد.

تظهر المادة المثالية، مجال لتغيير الحالة (27 درجة مئوية -38.3 درجة مئوية) مع حرارة كامنة تبلغ 63 85 (كغ/كج) ومتوسط موصلية تبلغ 0.212 واط / (م.ك) و0.165 واط / (م.ك) في المرحلتين الصلبة والسائلة على التوالي. تم اختيار هاته المادة لإدراجها في تحليلاتنا التي تهدف إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني. من حيث تقليل التبادل الحراري واستقرار درجة حرارة السطح الداخلي. تهدف النقاط الأربع الرئيسية للتحليل الرقمي إلى فعالية دمج المادة متغيرة الطور الجديدة في المبني.

تناول هذا القسم تأثير أساليب التوصيل الحراري على نقل الحرارة في المواد متغيرة الحالة وقيم أشكال السعة الحرارية المكافئة وتأثيرها على تخزين الطاقة في المواد متغيرة الحالة. استخدام نماذج السعة الحرارية والتوصيل الحراري المناسبة في هذا البحث. أظهرت النتائج أن السعة الحرارية المكافئة المعتمدة على الدالة $(D(T) \times L)$ تولد أخطاء كبيرة. الطريقة الأفضل هي تقسيم الحد $(D(T) \times L)$ على الفاصل الحراري $(Tendset-Tonset)$ ، مما يعطي نتائج أقرب إلى تلك التي تم الحصول عليها باستخدام القدرة التجريبية. يعد نموذج السعة الحرارية الارتباطية المبني على البيانات التجريبية هو الأكثر كفاءة، والنموذج الأمثل ونموذج Cp المكافئ المعروف مناسبان. ومع ذلك، فإن استخدام نموذج COMSOL الموجه لدراسة تخزين الطاقة في المواد متغيرة الحالة يؤدي إلى اختلافات في أعلى قيم المحتوى الحراري. أظهرت الأساليب المختلفة للتوصيل الحراري تقارباً مع النتائج التي تم الحصول عليها من بيانات التوصيلية التجريبية.

تم إجراء تحليل حراري لفحص تأثير المادة الجديدة في الطوب بحجم 15 سم x 25 سم على تخزين الطاقة، تم مقارنة أداء تخزين طاقة المادة الجديدة مع غيرها من المواد. وأخيراً، تم إجراء فحص للشكل/التكوين الأمثل للدمج. تظهر النتائج أن دمج المادة الجديدة يحسن العزم الحراري للكتلة الطوبية. بالإضافة إلى ذلك، زيادة كمية هاته المادة تساعد في تخفيض تبادل الحرارة داخل الكتلة بنسبة تصل إلى 37.17% لقطر 3 سم. بالإضافة إلى ذلك، تتفوق المادة الحيوية الجديدة على غيرها من المواد من حيث تقليل نقل الحرارة على السطح الداخلي للطوب. يتم تحقيق أقصى قدر من قدرة تخزين الطاقة عندما تدمج المادة الجديدة على شكل مستطيل واحد في منتصف المحور الرأسي المركزي للطوب، مع حد أقصى لخفض قدره 3.76 درجة مئوية.

شملت الدراسة العددية لدمج المادة الجديدة في الجدران لتحسين تخزين الطاقة في المباني في مدن جزائرية مختلفة خلال فترة صيفية لمدة ثلاثة أشهر. تشير النتائج إلى أن استخدام هاته المادة يحسن بشكل كبير قدرة تخزين الطاقة في جميع المدن المدروسة. حيث أن، أداء تخزين الطاقة باستخدام هاته المادة يعتمد بشكل كبير على الظروف المناخية الخاصة بكل مدينة. يتم تحديد الموقع الأمثل لطبقة المادة الجديدة في الجدران لجميع المدن. تقلل المادة الحيوية الحرارة القصوى على السطح الداخلي، بفارق 3.95، 3.25، 3.17، و2.98 درجات على التوالي لكل من بشار، تمنراست، قسنطينة وعنابة. تم اقتراح تصميم جداري مبتكر، يشتمل على لوحة ساندويتش حيوية مقاس 5 سم OSB+PCM، بهدف تقليل التكاليف مع تحسين الراحة الداخلية وخلق مساحة إضافية داخل المبني. تشير النتائج إلى أن استخدام لوحة ساندويتش الحيوية لتعزيز جدار المبني يعمل على استقرار درجة الحرارة الداخلية وتقليل التقلبات في درجات الحرارة وتحسين الراحة الداخلية، بالإضافة إلى توفير مساحة إضافية للأجواء الداخلية للمبني.

الكلمات المفتاحية: المواد ذات المصادر الحيوية؛ تخزين الطاقة؛ التحليل الرقمي؛ برنامج كومسول؛ مواد تغيير

الطور الأداء الحراري؛ الكتلة الحرارية.

Study of new bio-based phase-change materials applied to thermal insulation in buildings

ABSTRACT

The building sector consumes a significant amount of energy, prompting the search for solutions to reduce this consumption. One promising approach is the incorporation of phase-change materials (PCMs) into building envelopes, which can significantly improve energy efficiency and thermal comfort. Traditional PCMs, derived from non-renewable, environmentally unfriendly sources such as petroleum-based and chemical materials, pose problems in terms of cost and production. In contrast, bio-based PCMs, derived from renewable materials such as animal fats and vegetable oils, are attracting attention because of their eco-friendliness and their ability to overcome the drawbacks of conventional PCM materials. The present study focuses on the development and characterization of bio-based PCMs, with the aim of identifying an optimal PCM for efficient integration into building envelopes to improve thermal performance and contribute to long-term cost reduction.

A PCM exhibits an optimum phase change range (27 °C - 38.3 °C) with a latent heat of 63.85 kJ/kg and average conductivities of 0.212 W/(m.K) and 0.165 W/(m.K) in the solid and liquid phases respectively. This PCM was selected for inclusion in our analyses aimed at improving the energy efficiency of buildings. In terms of heat exchange reduction and interior surface temperature stability.

This section examines the effect of thermal conductivity approaches on heat transfer in PCMs and evaluates equivalent heat capacity shapes and their influence on energy storage in the PCM. To use appropriate heat capacity and thermal conductivity models in this research. The results show that the equivalent heat capacity based on the $(D(T) \times L)$ function generates significant errors. A better approach is to divide the $(D(T) \times L)$ term by the $(T_{endset} - T_{onset})$ interval, which gives results closer to those obtained with the experimental capacity. The correlation heat capacity model based on experimental data is the most efficient, the optimized model and the known equivalent C_p model are appropriate. However, using the COMSOL integrated model leads to variations in the highest enthalpy values. Different approaches to thermal conductivity have shown convergence with results obtained from experimental conductivity data.

A thermal analysis was performed to examine the impact of integrating the new bio-based PCM into the 15 cm × 25 cm brick on energy storage, with different diameters. By comparing its energy storage performance with that of other PCMs. Finally, an examination of the optimal shape/configuration for integrating the new bio-based PCM into the brick was carried out. The results show that integrating the new bio-based PCM improves the thermal inertia of the brick block. In addition, increasing the amount of PCM reduces heat exchange within the block by up to 37.17% for a 3 cm diameter PCM. In addition, the new bio-based PCM outperforms other PCMs with a diameter of 3 cm in terms of reducing heat transfer on the inner surface of the brick. Energy storage capacity is maximized when the new bio-based PCM forms a single rectangle in the middle of the brick's central vertical axis, with a maximum temperature reduction of 3.76 °C.

The numerical study of integrating new bio-based PCM into walls to improve energy storage in buildings involved representative Algerian cities over a three-month summer period. The results indicate that the use of bio-based PCM significantly improves energy storage

capacity in all the cities studied. The performance of energy storage using bio-based PCM is highly dependent on the specific climatic conditions of each city. The optimal location of the PCM layer in the walls is determined for all cities. MCP reduces the maximum temperature at the interior surface, with differences of 3.95 °C, 3.25 °C, 3.17 °C and 2.98 °C respectively for Béchar, Tamanrasset, Constantine and Annaba. These results demonstrate the potential of the biosourced material developed for wall construction.

An innovative wall design is proposed, incorporating a 5 cm bio-sandwich panel (OSB+PCM), aimed at reducing costs while improving indoor comfort and creating additional space in the building. The results indicate that using a bio-sandwich panel to reinforce the building wall stabilises the interior temperature, reducing temperature fluctuations and improving interior comfort, as well as providing additional space for the building's interior ambience.

Keywords: Biosourced material; Energy storage; Digital analysis; COMSOL software; Phase change material; Thermal performance; Thermal mass