

Khảo sát sự truyền nhiệt trong tấm bê tông xi măng mặt đường có chiều dày lớn với điều kiện khí hậu miền Bắc Việt Nam

■ **ThS. NCS. NGUYỄN THỊ NGÂN**

Trường Đại học Đại Nam

■ **TS. NGÔ VIỆT ĐỨC; PGS. TS. HOÀNG TÙNG**

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT: Mặt đường bê tông xi măng (BTXM) đã và đang được sử dụng rộng rãi trong các công trình giao thông, đặc biệt là trong các sân bay. Cùng với các thông số về tải trọng, nhiệt độ trong tấm BTXM là một yếu tố rất quan trọng, luôn được tính đến trong tất cả các quy trình thiết kế mặt đường BTXM hiện hành. Tấm BTXM mặt đường càng dày, ứng suất nhiệt trong tấm sinh ra khi nhiệt độ môi trường thay đổi càng thể hiện rõ. Ứng suất này thay đổi theo sự biến thiên nhiệt độ trong tấm BTXM, theo sự chênh lệch nhiệt độ giữa các bề mặt của tấm. Các thí nghiệm được giới thiệu và các kết quả trong bài báo nhằm làm rõ sự biến đổi nhiệt độ theo chiều dày của tấm BTXM mặt đường trong điều kiện khí hậu thực tế. Các kết quả quan trắc được là các thông tin quan trọng hỗ trợ quá trình thiết kế mặt đường BTXM, là nền tảng quan trọng để đánh giá khả năng làm việc của mặt đường, là cơ sở để tính toán các giá trị ứng suất sinh ra trong mặt đường khi đưa vào khai thác.

TỪ KHÓA: Mặt đường, nhiệt độ, truyền nhiệt.

ABSTRACT: Rigid pavement has popularly used in transportation, especially in the airport. In conjunction with load related parameters, temperature is an important element for designing rigid pavement. Thermal stress in rigid pavement changes considerably according to environment temperature, in particular in large thickness of slabs. The thermal stress changes in respect with differences between the top and bottom of slabs. The paper aims to investigate changes in temperature with accordance with the thickness of the slabs by implementing experiments in the field. Monitoring results can be important information for designing rigid pavement and evaluating performance of the pavement, as well as estimating stress generated in the rigid pavement at the operation stage.

KEYWORDS: Rigid pavement, temperature, heat transfer.

1. QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ TRONG MẶT ĐƯỜNG BTXM

1.1. Các thông số nhiệt lý của vật liệu làm mặt đường

Các thông số nhiệt lý của BTXM bao gồm [1]:

* **Nhiệt dung riêng c:**

Đại lượng này là nhiệt lượng cần thiết để làm một đơn vị khối lượng hoặc 1 đơn vị thể tích của vật liệu tăng lên 1°C. Nhiệt dung riêng của vật liệu có hai loại: c_v là nhiệt dung riêng theo thể tích (calo/cm³.°C hoặc J/cm³.°C) và c_g là nhiệt dung riêng theo khối lượng (calo/g.°C hoặc J/g.°C).

Giá trị của c phụ thuộc vào thành phần khoáng vật, độ rỗng và độ ẩm của vật liệu và chính trạng thái nhiệt của vật liệu đó; vật liệu có độ rỗng càng lớn thì nhiệt dung riêng càng nhỏ, có độ ẩm càng lớn thì nhiệt dung riêng càng lớn [2], nhiệt dung riêng của từ 0,75 - 1,1 (kJ/kg.°C).

* **Hệ số truyền nhiệt l [3]:**

Hệ số truyền nhiệt là nhiệt lượng truyền qua một đơn vị diện tích (cm²) trong một đơn vị thời gian (s) khi có một gradien nhiệt độ là 1°C/cm. Đại lượng này thông số cho khả năng truyền dẫn nhiệt mạnh yếu. Hệ số truyền nhiệt λ có đơn vị là kcal/m.h.°C hay W/m.°C, trong đó 1 kcal/m.h.°C = 1,163 W/m.°C.

Hệ số truyền nhiệt của các loại vật liệu xây dựng khác nhau có giá trị khác nhau phụ thuộc vào thành phần khoáng, độ ẩm, độ chặt và phụ thuộc vào chính trạng thái nhiệt của bản thân kết cấu vật liệu truyền dẫn nhiệt.

Bảng 1.1. Hệ số truyền nhiệt của một số vật liệu thường sử dụng

STT	Loại vật liệu	Trọng lượng đơn vị ở trạng thái khô γ_k (kg/m ³)	Hệ số truyền nhiệt ở trạng thái khô λ_0 (Kcal/m.h.°C)	Hệ số truyền nhiệt tính toán λ (Kcal/m.h.°C)
1	Đá gra nit, đá Ba zan	2.700	3,0	3,0
2	Đá cuội	2.500	1,5	2,0
3	Đá vôi	2.100	0,9	1,2
4	Cát khô	1.700	0,3	0,5
5	Bê tông đá dăm, sỏi	2.400	1,3	1,6
6	Bê tông cốt thép	-	1,45	1,75
7	Bê tông atspan	2.100	0,9	0,9
8	Nước ở nhiệt độ 20°C	-	0,58	-

* **Hệ số truyền nhiệt độ a:**

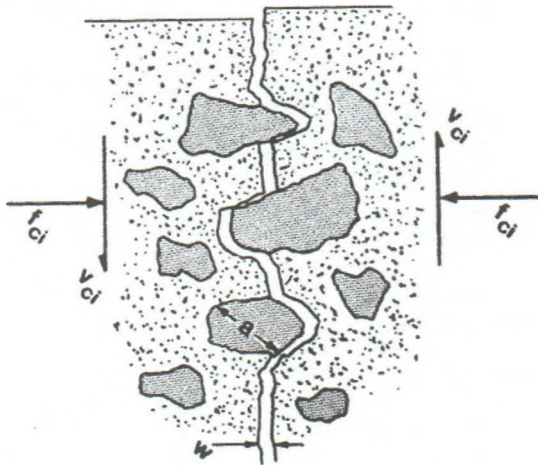
Hệ số truyền nhiệt độ a (cm²/s) = f(λ , c). Đây là thông số chủ yếu sử dụng khi phân tích bài toán tính toán nhiệt độ trong kết cấu nền mặt đường. Hệ số truyền nhiệt độ phụ thuộc vào nhiệt dung riêng, khối lượng riêng và do đó cũng chịu ảnh hưởng của điều kiện thời tiết khí hậu.

1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ tới mặt đường BTXM

Tác động của yếu tố biến đổi nhiệt độ tới mặt đường BTXM, bao gồm biến đổi nhiệt độ trung bình trong tấm và biến đổi nhiệt độ ngày đêm tại các vị trí khác nhau từ mặt trên đến mặt đáy dưới theo chiều dày mặt đường BTXM.

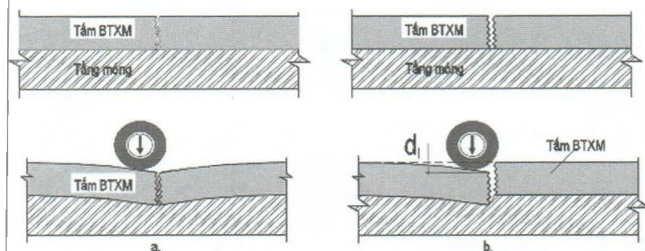
Trường hợp thứ nhất, theo [4], sự biến đổi nhiệt độ trung bình trong tấm làm nhiệt độ tấm BTXM tăng hoặc giảm, kéo theo việc tấm bị giãn dài hoặc bị co ngắn lại. Điều này ảnh hưởng trực tiếp tới sự làm việc của tấm BTXM ở khu vực khe nối (khe co, khe giãn).

Khi nhiệt độ trung bình trong tấm tăng, tấm bị giãn dài. Hai mặt bên của hai tấm BTXM liền kề có xu hướng tiếp xúc chặt chẽ với nhau hơn [5]. Hiệu ứng chèn móc (aggregate interlock) được hình thành do ma sát giữa các mặt này tăng lên, giúp cho các tấm có thể đồng thời làm việc dưới tác dụng của tải trọng bánh xe (Hình 1.1). Độ võng của tấm BTXM ở vị trí khe nối (khi có tải trọng tác dụng) tại khu vực này sẽ giảm đi.



Hình 1.1: Hiệu ứng chèn móc - aggregate interlock

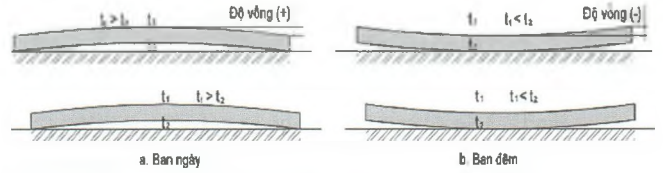
Khi nhiệt độ trong tấm giảm, tấm bị co ngắn [6]. Hai mặt liền kề tách xa nhau hơn; hiệu ứng chèn móc bị giảm, thậm chí mất hoàn toàn. Khi đó, sự làm việc đồng thời của các tấm khi có tải trọng tác dụng sẽ giảm đi (Hình 1.2). Độ võng của tấm BTXM ở vị trí khe nối (dưới tác dụng của tải trọng) tăng lên.



Hình 1.2: Ảnh hưởng của nhiệt độ tới hiệu ứng aggregate interlock và LTE

Trường hợp thứ hai là sự biến đổi nhiệt độ ngày đêm theo bề dày tấm BTXM sẽ dẫn đến sự chênh lệch nhiệt độ Dt giữa thớ trên (t_1) và thớ dưới (t_2) của tấm, gây ra hiện tượng uốn vồng [5]. Hiện tượng này có ảnh hưởng trực tiếp tới sự làm việc ở giữa và cạnh tấm.

Ban ngày, do bức xạ mặt trời, thớ trên sẽ có nhiệt độ cao hơn: $t_1 > t_2$. Do vậy, thớ này bị giãn ra nhiều hơn thớ dưới, gây ra hiện tượng uốn vồng lên. Ban đêm, mặt trên tấm bị nguội nhanh hơn mặt dưới ($t_1 < t_2$) nên co lại, gây hiện tượng uốn vồng xuống (Hình 1.3). Hiện tượng uốn vồng xảy ra càng mạnh nếu Dt càng lớn.



Hình 1.3: Ảnh hưởng chênh lệch nhiệt độ tới sự uốn vồng của BTXM

2. THÍ NGHIỆM KHẢO SÁT NHIỆT ĐỘ TRONG TẤM BTXM

Thí nghiệm được thực hiện với mục tiêu chính: Khảo sát biến thiên nhiệt độ trong tấm BTXM ở các thời điểm khác nhau trong ngày, các tháng khác nhau trong năm.

2.1. Quy hoạch thí nghiệm

Hướng thí nghiệm là bố trí các đầu đo nhiệt độ theo chiều sâu của một tấm BTXM đặt ngoài trời tại Khu công nghiệp Phú Nghĩa - Chương Mỹ - Hà Nội; dùng các thiết bị đo đặc hiện đại để thu thập số liệu về nhiệt độ theo chiều sâu tấm trong thời gian 1 năm.

* Vật liệu, kích thước kết cấu mặt đường:

Sử dụng tấm BTXM M350 có chiều dày 40 cm, kích thước theo mặt bằng là 1,5x1,5 m. Tấm được đặt trên lớp bê tông lót M100 dày 20 cm, dưới là nền đất tự nhiên. Với vị trí các đầu đo đặt ở khu vực giữa tấm.

Các vật liệu được thiết kế theo tiêu chuẩn hiện hành tại phòng thí nghiệm LAS1797.

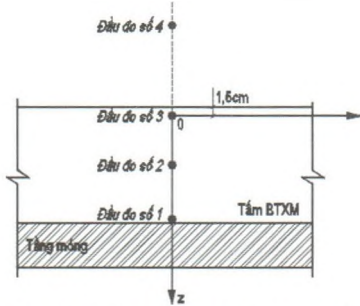
* Bố trí thiết bị thí nghiệm:

Ba thiết bị được sử dụng đồng thời trong quá trình đo nhiệt độ (Hình 2.1): Thiết bị đo nhiệt kiểu tiếp xúc EXTECH SDL200 được sử dụng để thu thập số liệu trong suốt quá trình thí nghiệm; thiết bị đo nhiệt kiểu tiếp xúc JMZX-300L và thiết bị đo nhiệt cảm tay UNI-T để đo đối chứng.

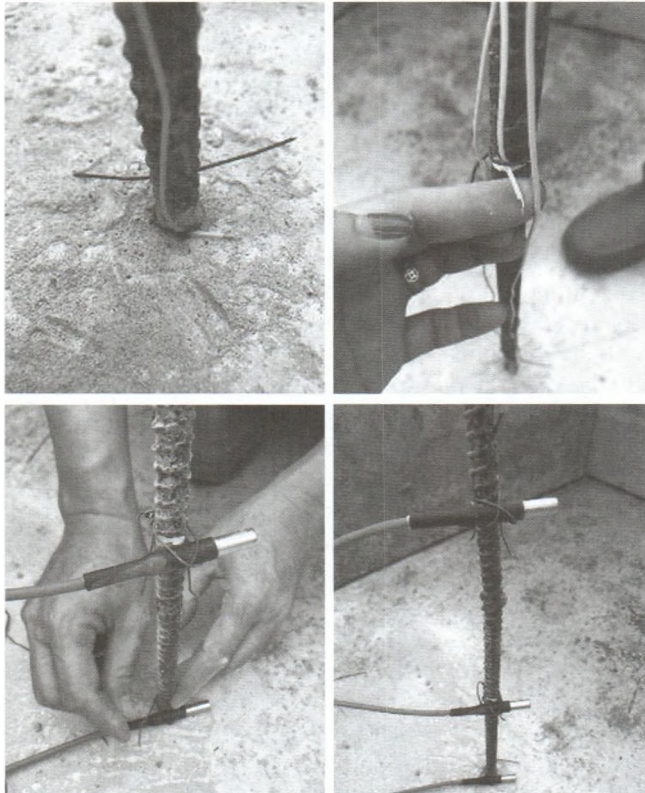


Hình 2.1: Các thiết bị thí nghiệm đo nhiệt sử dụng

Với thiết bị EXTECH SDL200 và JMZX-300L, 4 đầu đo nhiệt được bố trí tại mặt bằng tim của tấm bê tông: đầu đo (1) ở đáy tấm, độ sâu 40 cm tính từ bề mặt tấm, đo nhiệt độ đáy tấm; đầu đo (2) cách đáy 20 cm để đo nhiệt độ giữa tấm; đầu đo (3) vẫn ở trong tấm, nhưng đặt cách mặt trên của tấm bê tông 1,5 cm để đo nhiệt độ bề mặt tấm; một đầu đo treo cao cách mặt đất 2,5 m, để đo nhiệt độ không khí. Sơ đồ bố trí được thể hiện trong các Hình 2.2 và 2.3



Hình 2.2: Sơ đồ bố trí đầu đo nhiệt trong tấm BTXM



Hình 2.3: Các đầu đo của thiết bị EXTECH SDL200 và thiết bị JMZX-300L

*** Thực hiện thí nghiệm:**

Sau khi bê tông được đủ 28 ngày, tiến hành đo toàn thời gian trong ngày; cứ 30 phút thu thập số liệu 1 lần trên 4 đầu đo của thiết bị EXTECH SDL200. Thời gian từ tháng 9/2020 đến tháng 8/2021.

Đo kiểm tra được thực hiện trong 2 ngày 09/9/2020 và 29/6/2021 với khoảng 2h một lần đo với thiết bị JMZX-300L và thiết bị cầm tay UNI-T.

Số liệu sau khi thu thập được xử lý theo các bước sau:

*** Loại bỏ các số liệu bất thường do điều kiện thời tiết, kỹ thuật:**

Trong thời gian đo, có một số ngày xảy ra giông, bão, mưa lớn kéo dài hoặc mất điện. Các số liệu đo đạc trong những điều kiện này sẽ bị loại bỏ.

*** Xử lý tập hợp số liệu theo mô hình hồi quy bằng phần mềm Minitab:**

Các kết quả đo đạc được sử dụng để xây dựng các hàm hồi quy bằng phần mềm Minitab. Tiêu chí phân loại về mức độ phù hợp của số liệu (Bảng 2.1):

Bảng 2.1. Tiêu chí phân loại chủ quan về mức độ phù hợp

Đánh giá	Tiêu chí R^2	S_e/S_y
Rất tốt (Excellent)	$\geq 0,90$	$\leq 0,35$
Tốt (Good)	0,70 - 0,89	0,36 - 0,55
Đẹp (Fair)	0,40 - 0,69	0,56 - 0,75
Xấu (Poor)	0,20 - 0,39	0,76 - 0,90
Rất xấu (Very poor)	$\leq 0,19$	$> 0,90$

Các kết quả trong bài báo chỉ sử dụng các số liệu đáp ứng mức độ phù hợp từ tốt đến rất tốt.

2.2. Kết quả thí nghiệm

Số liệu về nhiệt độ tại bề mặt tấm BTXM (lấy ở độ sâu $z = 1,5$ cm tính từ mặt trên tấm), tại giữa tấm (ở độ sâu $z = 20,0$ cm) và tại đáy tấm (ở vị trí $z = 40,0$ cm) được thu thập liên tục từ tháng 9/2020 đến tháng 8/2021, với tần suất là 30p/lần đo được thống kê thành dạng bảng như minh họa dưới đây (Bảng 2.2):

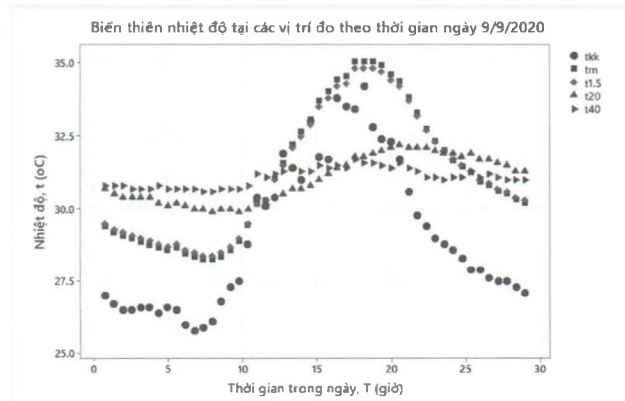
Bảng 2.2. Chuỗi số liệu đo đạc được trong 6 tiếng của ngày 06/02/2021

STT	Ngày	Thời gian thực	Nhiệt độ tại đáy tấm, $z = 40\text{cm}$ ($t_v, ^\circ\text{C}$)	Nhiệt độ giữa bề dày tấm, $z = 20\text{cm}$, ($t_w, ^\circ\text{C}$)	Nhiệt độ tại $z = 1,5\text{cm}$, ($t_s, ^\circ\text{C}$)	Nhiệt độ không khí, ($t_{kk}, ^\circ\text{C}$)
1	06/02/2021	0:15:34	22,5	23,0	21,8	18,6
2	06/02/2021	0:45:34	22,5	22,9	21,6	18,4
3	06/02/2021	1:15:34	22,6	22,9	21,6	18,1
4	06/02/2021	1:45:34	22,6	22,8	21,3	18,1
5	06/02/2021	2:15:34	22,5	22,6	21,2	17,9
6	06/02/2021	2:45:34	22,6	22,6	21,2	18,1
7	06/02/2021	3:15:34	22,6	22,5	21,0	17,6
8	06/02/2021	3:45:34	22,6	22,4	20,9	17,5
9	06/02/2021	4:15:34	22,6	22,3	20,7	17,2
10	06/02/2021	4:45:34	22,4	22,2	20,5	17,1
11	06/02/2021	5:15:34	22,5	22,2	20,5	17,4
12	06/02/2021	5:45:34	22,4	22,1	20,3	17,4

3. ĐÁNH GIÁ DIỄN BIẾN CỦA NHIỆT ĐỘ TRONG TẤM BTXM

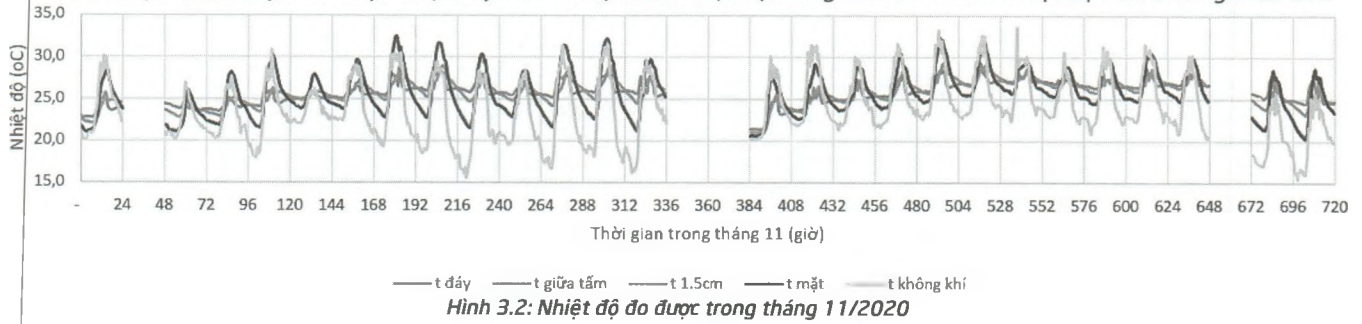
3.1. Biến thiên nhiệt độ

Sự biến thiên trong ngày của nhiệt độ không khí, nhiệt độ bề mặt, nhiệt độ tại các độ sâu khảo sát: 1,5 cm, 20 cm và 40 cm khác nhau về giá trị, về biên độ, về thời điểm đạt cực trị nhưng đều tuân theo quy luật hàm cos (Hình 3.1).

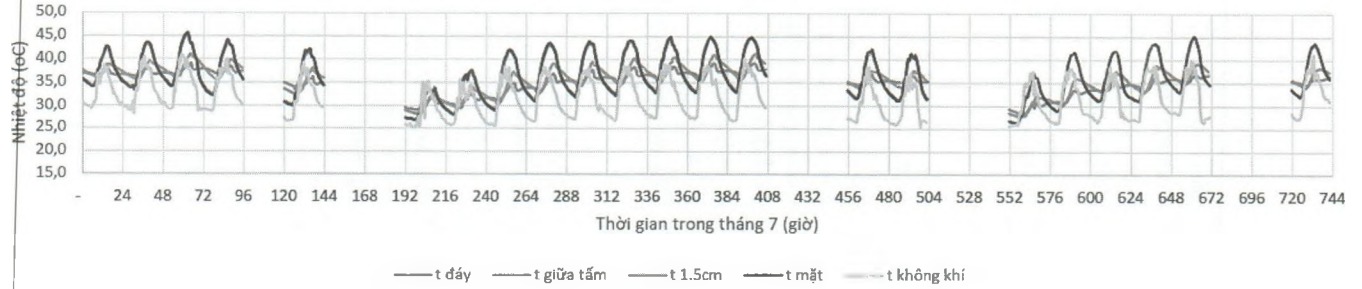


Hình 3.1: Biến thiên nhiệt độ tại các vị trí đo ngày 09/9/2020 theo thời gian

Các kết quả dưới đây cho thấy rõ sự thay đổi liên tục của nhiệt độ trong tấm BTXM khi nhiệt độ môi trường biến đổi.



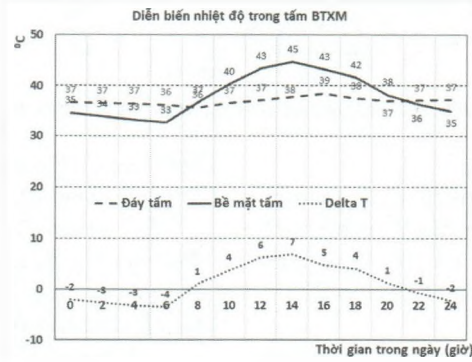
Hình 3.2: Nhiệt độ đo được trong tháng 11/2020



Hình 3.3: Nhiệt độ đo được trong tháng 7/2021

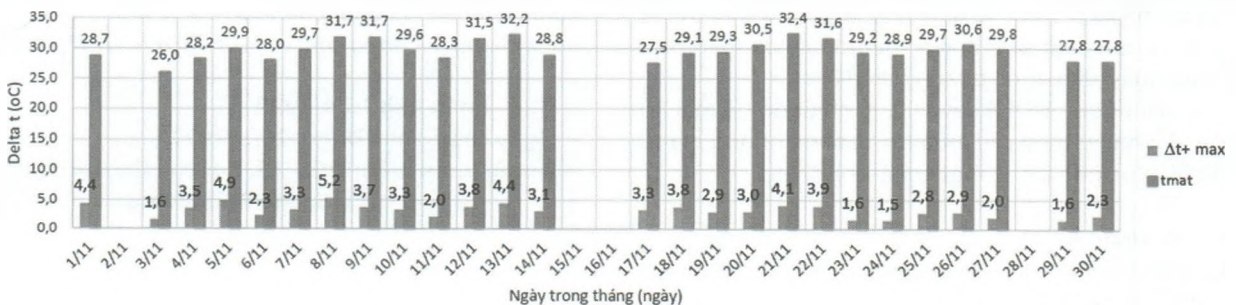
3.2. Biến thiên chênh lệch nhiệt độ

Chênh lệch nhiệt độ là sự khác nhau về nhiệt độ giữa bề mặt và đáy tấm BTXM (Δt). Hình 3.4 thể hiện số liệu đo ngày 15/7/2021. Theo Hình 3.4, nhiệt độ đáy tấm bị trễ pha so với nhiệt độ bề mặt tấm (đạt giá trị lớn nhất chậm hơn khoảng 2h). Tuy nhiên, có thể thấy là nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ đáy tấm đều có xu hướng cùng tăng hoặc cùng giảm. Như đối với nhiệt độ trong tấm, theo thời gian trong ngày Δt cũng có quy luật biến thiên theo hàm cos dao động quanh giá trị 0. Các thời điểm tấm BTXM có $\Delta t > 0$ ($\Delta t+$) là khi tấm có xu thế võng lên trên; khi $\Delta t < 0$ ($\Delta t-$) tấm có xu thế võng xuống phía dưới.

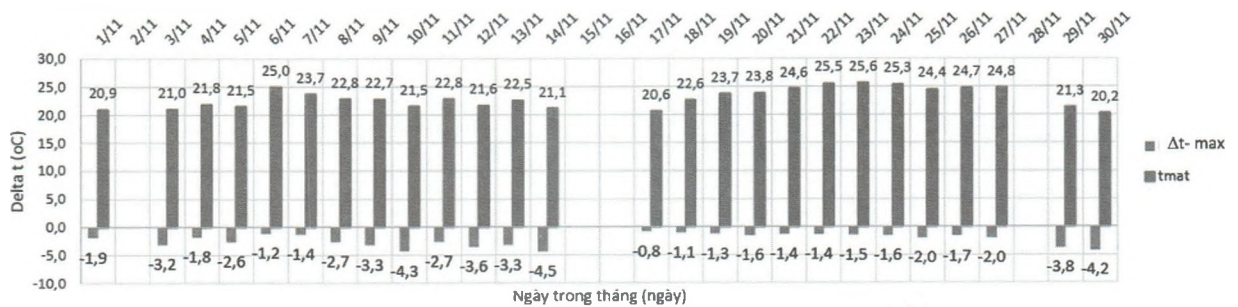


Hình 3.4: Biến thiên chênh lệch nhiệt độ trong ngày 15/7/2021

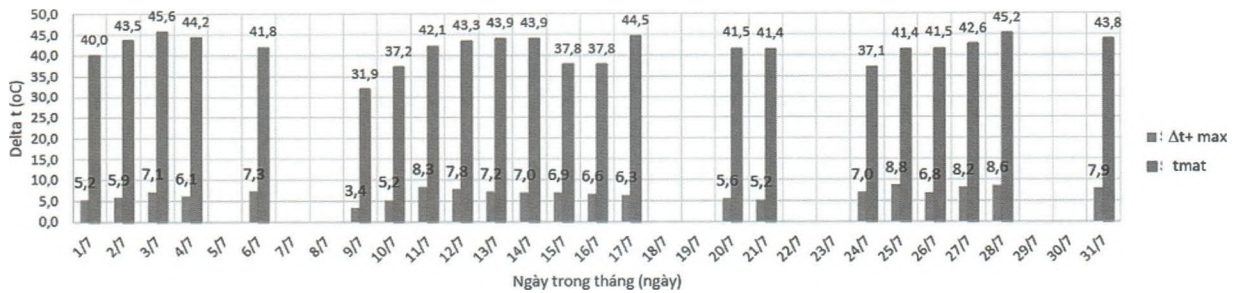
Thống kê giá trị $\Delta t+$ và $\Delta t-$ theo nhiệt độ bề mặt tấm BTXM trong 1 năm khảo sát có thể rút ra một số đặc điểm sau của Δt : Nhiệt độ bề mặt tấm có thể cao (vào mùa nóng) hay thấp (vào mùa lạnh), nhưng giá trị của Δt chỉ nằm trong một khoảng giới hạn từ khoảng $-5,3 - 9^\circ\text{C}$; vào mùa hè (các tháng từ tháng 6 đến tháng 8), chênh lệch nhiệt độ dương ($\Delta t+$) phổ biến từ $4 - 8^\circ\text{C}$ (với tần suất xuất hiện trên 25%); vào mùa đông và mùa xuân (từ tháng 11/2020 đến tháng 4/2021), chênh lệch nhiệt độ âm ($\Delta t-$) phổ biến từ -2°C đến -4°C (tần suất xuất hiện trên 25%). Một số kết quả đại diện được thể hiện trong các hình sau.



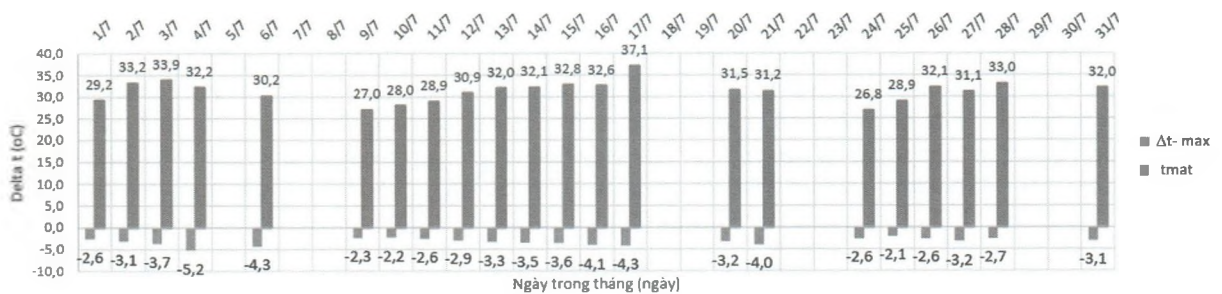
Hình 3.5: Chênh lệch nhiệt độ dương lớn nhất giữa mặt trên và mặt dưới ($\Delta t+$ max) và nhiệt độ bề mặt tấm BTXM đo được trong tháng 11/2020



Hình 3.6: Chênh lệch nhiệt độ âm lớn nhất giữa mặt trên và mặt dưới (Δt - max) và nhiệt độ bề mặt tấm BTXM đo được trong tháng 11/2020



Hình 3.7: Chênh lệch nhiệt độ dương lớn nhất giữa mặt trên và mặt dưới (Δt + max) và nhiệt độ bề mặt tấm BTXM đo được trong tháng 7/2021



Hình 3.8: Chênh lệch nhiệt độ âm lớn nhất giữa mặt trên và mặt dưới (Δt - max) và nhiệt độ bề mặt tấm BTXM đo được trong tháng 7/2021

4. NHẬN XÉT

Với các số liệu đo nhiệt độ không khí, nhiệt độ tại một số vị trí khác nhau theo chiều sâu tấm BTXM trong suốt 1 năm với điều kiện khí hậu miền Bắc, có thể rút ra một số nhận xét về diễn biến nhiệt trong mặt đường BTXM như sau:

- Hàng ngày, nhiệt độ trong không khí, nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ tại các độ sâu khác nhau trong tấm BTXM tuy khác nhau về giá trị, về biên độ, về thời điểm đạt cực trị nhưng đều biến thiên theo quy luật hàm cos.
- Mặc dù có sự trễ pha giữa nhiệt độ đáy và nhiệt độ bề mặt nhưng nhiệt độ tại 2 bề mặt này đều có xu hướng cùng tăng, hoặc cùng giảm.
- Sự chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt và đáy tấm BTXM (Δt) cũng có quy luật biến thiên theo hàm cos theo thời gian trong ngày, dao động quanh giá trị 0.
- Với mặt đường BTXM dày 40 cm, nhiệt độ bề mặt có thể thay đổi nhiều theo các mùa trong năm, nhưng giá trị của DT chỉ dao động trong một khoảng giới hạn.

Tài liệu tham khảo

[1]. Đặng Quốc Phú và cộng sự (2007), *Truyền nhiệt*, NXB. Giáo dục, Hà Nội.
 [2]. Kurt D. Smith et at. (2017), *Using falling weight*

deflectometer data with mechanisitic empirical design and analysis, Volume I, Final Report, Report No. FHWA-HRT-16-009.

[3]. Phạm Đăng Nguyên, Phạm Huy Khang (2016), *Trường nhiệt độ trong tấm mặt đường và vấn đề xác định độ chênh lệch nhiệt độ giữa mặt trên và mặt dưới tấm*, Tạp chí GTVT, số tháng 10.
 [4]. Nguyễn Tiến Đích (1985), *Bảo dưỡng bê tông trong điều kiện khí hậu Việt Nam*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 [5]. C.A. Beckemeyer, L.Khazanovich and H.H.Yu (2002), *Determining amount of built-in curling in jointed plain concrete pavement*, Journal of Transportation Reseach Board 1809, 85-92.
 [6]. Hồ Anh Cương, Phạm Quang Khởi (2017), *Ảnh hưởng của cốt sợi thép phân tán trong việc tăng cường khả năng chống nứt do co ngót của cát*, Tạp chí GTVT, số tháng 3.

Ngày nhận bài: 25/4/2022
Ngày chấp nhận đăng: 26/5/2022
Người phản biện: PGS. TS. Bùi Phú Doanh
TS. Cao Phú Cường