

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA TRẮC ĐỊA BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI
BỘ MÔN TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH



HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC
TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH VÌ SỰ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
(ESSD 2023)

ENGINEERING SURVEYING FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - ESSD 2023

Ứng dụng máy quét laser mặt đất đánh giá độ phẳng bề mặt công trình

Phạm Trung Dũng^{1,*}, Nguyễn Như Tuấn Anh²

¹*Trường Đại học Mở - Địa chất*

²*Công ty Topcon Singapore Positioning Pte Ltd*

TÓM TẮT

Máy quét laser mặt đất (Terrestrial Laser Scanner - TLS) với nhiều ưu điểm vượt trội như khả năng tự động hóa cao, độ chính xác, mật độ điểm đo lớn cùng với tốc độ thu cao trong thu thập dữ liệu đã nhanh chóng trở thành công cụ đầy hứa hẹn cho các công tác kiểm tra chất lượng công trình. Tuy nhiên ở nước ta hiện nay vẫn còn thiếu quy định quy phạm cho TLS trong kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình. Bài báo này đưa ra các bước để kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình sử dụng TLS dựa theo tiêu chuẩn ASTM E1155. Thực nghiệm tiến hành kiểm tra độ phẳng bề mặt sàn của một nhà máy ở Việt Nam bằng thiết bị TLS GLS 2200. Từ quá trình đo đạc thực địa, lấy mẫu, tính toán và phân tích các tham số độ phẳng cho thấy các bước được đưa ra hoàn toàn có thể áp dụng cho công tác trắc địa trong kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình. Ngoài ra, đây cũng là nghiên cứu bước đầu một cách có hệ thống từ phân tích lý thuyết, thành lập quy trình và thực nghiệm với công trình thực tế ở nước ta. Do đó, có thể sử dụng bài báo như một chỉ dẫn kỹ thuật và tài liệu tham khảo cho kỹ sư trắc địa cũng như các cơ quan quản lý nhà nước trong việc xây quy trình quy phạm sử dụng TLS cho đánh giá độ phẳng bề mặt công trình.

Từ khóa: Độ phẳng bề mặt, máy quét laser mặt đất (TLS), phương pháp số F, tiêu chuẩn ASTM E1155.

1. Đặt vấn đề

Trong kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình bằng phương pháp truyền thống cần phải tiếp cận trực tiếp đối tượng, số lượng điểm đo ít và chỉ kiểm tra khi bề mặt (bê tông) đã đông cứng (Bosché and Guenet, 2014) dẫn tới việc khắc phục sai sót trong quá trình thi công gặp nhiều khó khăn. Máy quét laser mặt đất sử dụng tia laser theo nguyên lý đo không gương cho phép đo gián tiếp, tốc độ thu dữ liệu nhanh và chính xác, đặc biệt cho phép kiểm tra bề mặt bê tông khi còn chưa đông cứng. Vì vậy, TLS là một giải pháp thay thế phù hợp cho công tác kiểm tra chất lượng bề mặt công trình. Liên quan đến sử dụng TLS cho kiểm tra chất lượng công trình, Talebi và Koskela et al. (2018) đã sử dụng thiết bị này để thu thập dữ liệu và phân tích độ lệch để phát triển một phương pháp tổng thể có tên là phép đo tuân thủ dung sai (Tolerance Compliance Measurement). Để đánh giá độ phẳng trong quá trình xây dựng, Valero and Bosché (2016) ứng dụng TLS vì nó cho phép tốc độ thu thập dữ liệu nhanh chóng, do đó bảo đảm cho công tác kiểm tra công trình trong quá trình thi công. Thêm vào đó, Zaczek-Peplinska, Kowalska et al. (2023) cũng sử dụng thiết bị này để trích xuất các tham số của mặt phẳng. Puri và Valero et al. (2018) đánh giá độ phẳng theo phương pháp sóng biến đổi liên tục (continuous wavelet transform) từ dữ liệu TLS. Có thể thấy rằng ưu điểm lớn nhất của TLS trong đánh giá độ phẳng của mặt sàn bê tông là cho phép kiểm tra nhanh chóng (báo cáo kết quả chỉ sau vài giờ đồng hồ) khi bề mặt bê tông chưa đông kết (Bosché and Guenet, 2014). Do đó phương pháp này cho phép phát hiện sớm để khắc phục kịp thời mà các phương pháp truyền thống không thể thực hiện được. Tuy nhiên, ở Việt Nam hiện nay, kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình bằng TLS theo tiêu chuẩn quy phạm nào vẫn chưa được đề cập tới. Ngoài ra, còn thiếu các nghiên cứu một cách có hệ thống về ứng dụng TLS trong kiểm soát chất lượng bề mặt công trình. Một câu hỏi đặt ra là tiêu chuẩn nào phù hợp để áp dụng TLS kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình. Để trả lời cho câu hỏi này, bài báo giới thiệu một số phương pháp phổ biến hiện nay trong công tác kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình và bước đầu đề xuất các bước cho phép áp dụng TLS để kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Độ phẳng của bề mặt công trình là một yếu tố rất cần thiết để bảo đảm mặt sàn đáp ứng các yêu cầu sử dụng của nó như thiết kế.

* Tác giả liên hệ

Email: phamtrungdung@humg.edu.vn

Độ phẳng bề mặt ảnh hưởng tới độ an toàn, năng suất và chi phí bảo trì và nó được định nghĩa bởi hai chỉ số là độ phẳng F_F (flatness) và độ phẳng bề mặt F_L (levelness). Chỉ số độ phẳng F_F là để thể hiện tính chất phẳng trong phạm vi hẹp (0,6 m) còn độ phẳng bề mặt F_L là thể hiện tính chất phẳng trong phạm vi rộng (3 m) (TR34 2003).

Thông số kỹ thuật cùng với tiêu chuẩn về độ phẳng được xây dựng và phát triển cùng với sự ra đời của các thiết bị công nghệ mới theo thời gian. Nhiều phương pháp đã tồn tại cho phép kiểm tra độ phẳng bề mặt như phương pháp dùng thước thẳng (straightedge), phương pháp số F, phương pháp TR34, (TR34 2003), phương pháp hệ số Waviness. Tuy nhiên hai phương pháp phổ biến nhất để ứng dụng trong thực tế hiện nay là phương pháp sử dụng thước thẳng và phương pháp số F, nội dung của hai phương pháp này sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo của bài báo này.

2.1. Phương pháp thước thẳng

Thước thẳng (straightedge) là phương pháp đơn giản sử dụng một thước thép có chiều dài 3 m hoặc 2 m theo tiêu chuẩn của Hoa Kỳ hoặc Tây Âu, tương ứng. Độ gồ ghề của bề mặt là sự chênh lệch giữa mặt nền và bề mặt thước thép được đo tại một số vị trí khác nhau dọc theo thước thép được miêu tả trong Hình 1. Từ giá trị chênh lệch đo được sẽ so sánh với dung sai theo tiêu chuẩn hiện hành để đánh giá về tham số độ phẳng. Tham số độ phẳng tổng thể và cục bộ được đo bởi thước thẳng dài 3 m và 0,3 m (theo tiêu chuẩn của Hoa Kỳ) hoặc 2 m và 0,2 m (theo tiêu chuẩn của Tây Âu). Độ phẳng tổng thể phản ánh biến dạng ở phạm vi lớn giống như vặn xoắn trong khi độ phẳng cục bộ chỉ xác định mức độ gồ ghề trong phạm vi hẹp của sàn. Những giá trị độ phẳng này được biết đến là tham số độ phẳng và độ phẳng bề mặt và được ký hiệu là F_L và F_F , tương ứng theo tiêu chuẩn của Hoa Kỳ (ACI-117-06 2006). Phần tiếp theo sẽ giới thiệu một vài nét tiêu biểu của một số tiêu chuẩn quốc tế và Việt Nam được xây dựng dựa theo nguyên lý của thước thẳng.

Ở Hoa Kỳ, ACI 117 kiến nghị rằng phương pháp thước thẳng nên được đo một cách ngẫu nhiên trên bề mặt và ít nhất 100 ft² (10 m²) có một trị đo và các điểm lấy mẫu cần phải lấy song song hoặc vuông góc hoặc tạo ra góc 45° so với trục dài của công trình (American Concrete Institute (ACI) 2006).

Tại Pháp, theo tiêu chuẩn NF P11-213 (tiêu chuẩn cho thiết kế và xây dựng nền bê tông) yêu cầu ít nhất 10 trị đo cần phải được thực hiện tại mỗi một sàn nền nhưng không cung cấp thêm bất kỳ thông tin nào về vị trí của phép đo (Afnor, 2007). Ngoài ra, các trị đo cần thực hiện theo dạng lưới ô vuông với mật lưới là 1 m (CSTB 2011).

Tại Anh, theo tiêu chuẩn ((BSI) 2009) số lượng trị đo để kiểm tra mức độ phẳng của bề mặt cần thỏa thuận giữa các bên dựa theo tiêu chuẩn hiện có trên hai tiêu chí về thời gian và kinh phí, trong đó bề mặt đo cần phải dựa theo một bề mặt chuẩn.

Tiêu chuẩn New Zealand NZS 3114: 1987 “Thông số kỹ thuật cho bề mặt bê tông hoàn thiện” (NZS-3114 1987) and NZS 3109:1997 “Công trình bê tông” (NZS-3101 1997), dung sai cho 11 loại bề mặt hoàn thiện được đặt tên U1-U11 được giới thiệu. Trong những tiêu chuẩn này, hai loại dung sai là sự thay đổi dần dần và thay đổi đột xuất được đo bằng thước thẳng 3 m và thước 0,2 m tương ứng giá trị cho các độ lệch này là 5 và 3 mm.

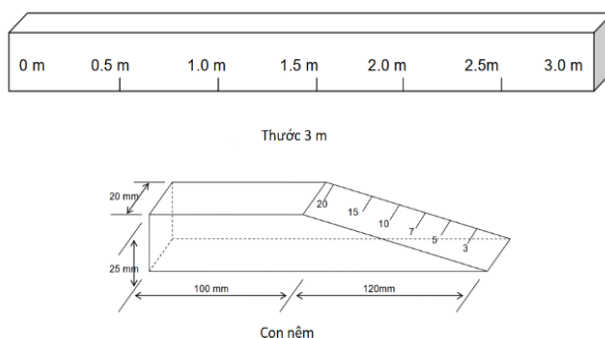
Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN-8864 2011) dựa trên phương pháp thước thẳng để kiểm tra bề mặt phẳng của đường. Theo tiêu chuẩn này, chỉ có độ phẳng tổng thể được đo bởi thước thẳng 3 m. Nguyên lý của phương pháp này là độ lệch giữa thước và bề mặt sàn được đo ngẫu nhiên bởi con nêm như

Hình 1. Giá trị độ lệch được so sánh với các giá trị dung sai ghi trong tiêu chuẩn TCVN 8864: 2011.

Theo tiêu chuẩn TCVN 8864: 2011, đối với sàn bê tông nếu 70 % giá trị độ lệch trong phạm vi ± 3 mm và 30 % giá trị độ lệch trong phạm vi ± 5 mm thì mặt sàn đạt chất lượng rất cao hoặc rất phẳng. Nếu 50 % giá trị độ lệch trong phạm vi ± 3 mm và 50 % giá trị độ lệch trong phạm vi ± 5 mm thì mặt sàn đạt chất lượng cao hoặc nền phẳng. 100 % giá trị độ lệch trong phạm vi ± 5 mm thì nền tương đối phẳng.

Ưu điểm của phương pháp thước thẳng trong kiểm tra độ phẳng đơn giản và không yêu cầu các công cụ đắt tiền. Tuy nhiên, áp dụng phương pháp này mất thời gian, tiềm ẩn sai số đo và giới hạn về phạm vi đo (trong chiều dài 3 m của thước). Ngoài ra, nó còn khó để kiểm tra độ phẳng đối với khu vực lớn,

không thể tái thiết lập kết quả và thước không được cân bằng khi đo. Trong tiêu chuẩn này không yêu cầu thước đo phải cân bằng đo để kết quả đo độ phẳng không phản ánh độ phẳng bề mặt F_L của mặt sàn. Thời gian và vị trí đo trên mặt sàn cũng như số lượng điểm đo không được đề cập trong các tiêu chuẩn trên (ACI-117-06 2006). Do đó, cần có các tiêu chuẩn, quy phạm thay thế các tiêu chuẩn hiện có được thông qua để phù hợp với công nghệ mới như máy quét laser.



Hình 1. Thước thẳng dài 3 m và con nêm sử dụng đo độ phẳng bề mặt công trình

2.2. Phương pháp số F

Hệ thống đo số F là một trong những thang đo phổ biến cho đo độ phẳng được phát triển bởi Viện Nghiên cứu bê tông của Hoa Kỳ (ACI) và sử dụng trong tiêu chuẩn ASTM E1155. Số F là phương pháp thống kê để đánh giá độ phẳng thông qua hai chỉ số là độ phẳng (F_F) và độ phẳng bề mặt (F_L). Số F là giá trị độ phẳng được tính từ các mẫu đo rời rạc trên một mặt phẳng trong phạm vi 12 inch (hoặc 0,3 m) theo bề mặt cong. Trong kiến trúc và công trình, số F thường được sử dụng để đánh giá theo các chỉ số độ phẳng (F_F), độ phẳng bề mặt (F_L) (Henry and Ingham, 2010). Cả F_F và F_L đều thể hiện chất lượng mặt phẳng và không có đơn vị. Giá trị của F_F và F_L càng lớn thể hiện chất lượng bề mặt càng phẳng. F_F ảnh hưởng quá trình hoàn thiện mặt sàn trong khi F_L ảnh hưởng chính bởi quá trình thi công. F_F được xác định bởi tốc độ thay đổi độ cao của mặt sàn bê tông trong khoảng 0,3 m trong đó tốc độ thay đổi độ cao là q . Giá trị của q âm nếu mặt sàn lồi lên và giá trị của nó là dương nếu mặt sàn bị lõm xuống. Giá trị F_F trong tiêu chuẩn ASTM E1155 được tính theo công thức (ASTM 2001):

$$F_F = \frac{0,1161}{(3S_q + |q|)} \quad (1)$$

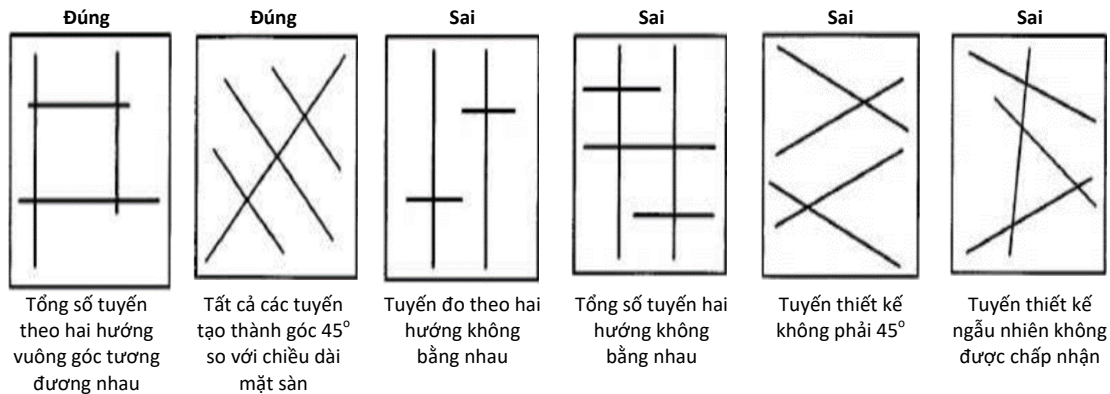
trong đó: S_q là giá trị độ lệch chuẩn của q và $|q|$ là giá trị tuyệt đối của trị trung bình của q . Chú ý rằng trong công thức (1) S_q và q được tính bằng m.

F_L là giá trị đo độ phẳng bề mặt để thể hiện độ dốc của mặt sàn trong phạm vi 10 ft hoặc 3 m. Sự khác biệt về mặt độ cao giữa hai điểm ở khoảng cách 3 m và được tính theo công thức (ASTM 2001):

$$F_L = \frac{0,3175}{(3S_z + |z|)} \quad (2)$$

trong đó: S_z là độ lệch chuẩn của z và $|z|$ là trị tuyệt đối của giá trị trung bình của z .

Số lượng, độ dài và vị trí của tuyến đo kiểm tra độ phẳng của bề mặt trong tiêu chuẩn ACI (ASTM 2001) được miêu tả trong Hình . Những đường thẳng này cần song song và vuông góc với nhau theo chiều dài của giới hạn mặt sàn. Kích thước mắt lưới được quy định không vượt quá 1,2 m và khoảng cách lấy mẫu trên mỗi tuyến đo là 0,3 m. Hầu hết các loại thiết bị như máy thủy chuẩn, toàn đạc điện tử đều thỏa mãn để áp dụng cho quy trình trên, tuy nhiên máy quét laser mặt đất là thiết bị ưu việt hơn cả khi áp dụng cho tiêu chuẩn này (Bosché and Guenet, 2014). Để đánh giá chất lượng của bề mặt dựa trên phương pháp số F, các dung sai của chỉ số F_F và F_L được quy định theo tiêu chuẩn ACI-302.1 and ACI 117 và được liệt kê trong Bảng và Bảng , tương ứng. Chú ý rằng F_L chỉ áp dụng để tính cho độ phẳng trên lớp mặt.



Hình 2. Số lượng và chiều dài tuyến kiểm tra

Bảng 1. Dung sai của F_F và F_L quy định cho 5 loại mặt sàn khác nhau (ACI-302.1R-96 1997)

Mục đích sử dụng mặt sàn	Độ phẳng FF	Độ phẳng bề mặt FL
Không gian không quan trọng, phòng cơ khí, bãi đậu xe, khu vực có gạch ốp lát	FF 20	FL 15
Văn phòng, khu công nghiệp nhẹ, nền trải thảm	FF 25	FL 20
Sàn kho, kho tiếp nhận hàng, phòng thí nghiệm	FF 30-35	FL 20-25
Kho hàng không, sân trượt băng	FF 45	FL 35
Sàn phim truyền hình	FF > 50	FL > 50

Bảng 2. Mối quan hệ giữa dung sai của phương pháp số F và phương pháp thước thẳng

Loại mặt sàn	Phương pháp số F (FF)	Phương pháp thước thẳng (mm)
Truyền thống	20	13
Tương đối phẳng	25	10
Phẳng	35	6
Rất phẳng	45	5
Siêu phẳng	60	3

2.3. Đánh giá độ phẳng bề mặt bằng TLS

Máy quét lazer mặt đất cho kiểm soát chất lượng mặt phẳng đã được khảo sát qua nhiều nghiên cứu. Các nghiên cứu về lĩnh vực này có thể được chia thành hai nhóm: (1) Nhóm sử dụng số F và (2) Nhóm trực quan hóa qua số liệu và hình ảnh mà không theo quy phạm. Talebi, Koskela et al. (2018) dựa theo phương pháp trực quan hóa đã phát triển quy trình bốn bước cho TLS trong đánh giá độ phẳng bề mặt, các bước chính bao gồm (i) thu thập dữ liệu 3D, (ii) định hướng dữ liệu đám mây điểm; (iii) phân tích độ lệch; (iv) thể thiện giá trị độ lệch. Ngoài ra, quy trình đánh giá độ phẳng bề mặt theo phương pháp Continuous Wavelet Transform được đề xuất bởi Valero and Bosché (2016) cũng gồm 4 bước. Quy trình đánh giá độ phẳng bề mặt bằng phương pháp F được phát triển trực tiếp từ phương pháp đo bằng thước (straightedge) vốn đã quen thuộc nên nó có thể dễ dàng áp dụng trong thực tế. Từ quy trình ba bước trong nghiên cứu của Bosché and Guenet (2014) tác giả đã phát triển thêm một bước và được miêu tả chi tiết như sau:

Bước 1: Thu thập dữ liệu mặt sàn bằng TLS

Để thu thập dữ liệu đám mây điểm của mặt sàn cần đánh giá độ phẳng cần thành lập các điểm khống chế mặt đất (GCP). Các điểm khống chế mặt đất nên được thành lập trong hệ tọa độ công trình hoặc hệ tọa độ quốc gia. Việc thành lập khống chế mặt đất có thể được thực hiện bởi các thiết bị khảo sát truyền thống như máy toàn đạc điện tử. Cần tối thiểu 3 đến 4 điểm khống chế cho toàn bộ khu vực khảo sát để làm cơ sở tính chuyển tọa độ. Tiếp theo, các tham số của TLS cần được cài đặt phù hợp cho đối tượng trước khi quét. Trong đó có hai tham số quan trọng nhất là độ phân giải (resolution) thể hiện số lượng điểm đo trên một diện tích và chất lượng quét (quality) thể hiện độ chính xác của trị đo. Theo Talebi, Koskela et al. (2018), độ phân giải được cài đặt lớn (1/4) và trung bình (1/8) khi quét cho khu vực lớn với

đối tượng là nội thất hoặc không phải nội thất, tương ứng. Độ phân giải thấp (1/10) được đề xuất cho khu vực hẹp. Chất lượng quét tùy thuộc vào chất liệu mặt sàn, đối với vật liệu không phản xạ (bê tông) nên đặt mức 2X còn bề mặt có tính phản xạ cao thì nên đặt mức 3X hoặc 4X.

Sau khi thu dữ liệu, đám mây điểm cần được ghép nối (hoặc định hướng tương đối registration) từ các trạm máy riêng lẻ. Quá trình ghép trạm có thể được thực hiện bởi một trong các phương pháp gồm: phương pháp ghép nối dựa theo điểm, phương pháp ghép nối theo đường thẳng và phương pháp ghép nối theo mặt phẳng. Đám mây điểm sau khi được ghép từ nhiều trạm máy sẽ được định vị trong hệ tọa độ công trình hoặc hệ tọa độ nhà nước bằng việc định hướng tuyệt đối (geo-referencing) dựa trên các điểm GCP. Chú ý rằng, trường hợp tọa độ của đám mây điểm đã được xác định trong hệ tọa độ công trình (hoặc hệ tọa độ nhà nước) khi sử dụng các loại máy quét có bộ định tâm và ống ngắm định hướng thì thủ tục định hướng tương đối và định hướng tuyệt đối có thể được bỏ qua. Cuối cùng, đám mây điểm cần được lọc bỏ nhiễu và lựa chọn phần cần đánh giá độ phẳng để thực hiện ở các bước tiếp theo.

Bước 2: Thiết kế tuyến lấy mẫu kiểm tra

Thiết kế tuyến lấy mẫu cần tuân thủ các quy định trong tiêu chuẩn ASTM (ASTM 2001):

- Tuyến lấy mẫu kiểm tra được thiết kế theo hai hướng vuông góc nhau. Nếu chiều rộng của mặt sàn lớn hơn 7,5 m, tuyến lấy mẫu được thiết kế dọc theo chiều dài của mặt sàn. Ngược lại, nếu chiều rộng mặt sàn nhỏ hơn 7,5 m thì tuyến lấy mẫu thiết kế lệch một góc 45°.

- Tuyến lấy mẫu song song cách nhau một khoảng không quá 1,2 m và các điểm lấy mẫu trên tuyến cách nhau một khoảng 0,3 m; Các điểm đo ở ngoài phạm vi của mặt sàn hoặc bên trong mặt sàn nhưng không nhỏ hơn 0,6 m tính từ ranh giới của mặt sàn cần được loại bỏ.

- Đường đo lấy mẫu cần tránh đi qua mối nối thi công hoặc sự gián đoạn tương tự của mặt sàn.

Bước 3: Tính hệ số F

Tính toán các hệ số F_F và F_L được thực hiện theo công thức (1) và (2) trong trường hợp thỏa mãn số lượng điểm lấy mẫu (độ cao z) trên một mặt cắt không nhỏ hơn hoặc bằng giá trị N_{Min} (ASTM 2001):

$$N_{Min} = \begin{cases} 6.56\sqrt{A} & (30 \leq A \leq 150) \\ \frac{A}{30} & (A > 150) \end{cases} \quad (3)$$

trong đó: A là diện tích của mặt kiểm tra được tính bằng m². Chú ý nếu diện tích mặt sàn nhỏ hơn 30 m² thì không thực hiện đánh giá độ phẳng theo phương pháp này.

Bước 4: Đánh giá mức độ phẳng của mặt sàn

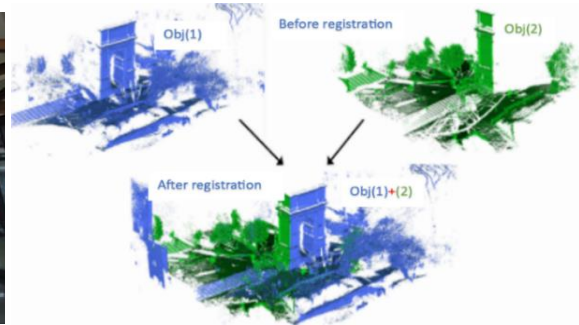
Tiến hành so sánh giá trị F_F và F_L với các tiêu chuẩn trong Bảng 1 và Bảng 2 để đánh giá chất lượng của mặt sàn. Đánh giá độ phẳng của bề mặt sàn theo phương pháp số F có thể dựa vào vật liệu mặt sàn đối với 5 loại bề mặt khác nhau như Bảng 1. Trong đó cả hệ số độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L được so sánh với các giá trị dung sai theo tiêu chuẩn ASTM. Ngoài ra, mức độ phẳng của bề mặt sàn có thể phân loại theo 5 mức độ phẳng như quy định trong Bảng 2. Chú ý rằng đối với mức độ phẳng của bề mặt chỉ có thể đánh giá theo hệ số F_F trong quy định này.

3. Kết quả và thảo luận

Thực nghiệm được thực hiện tại hiện trường một nhà máy ở Việt Nam (xem Hình (a)) bằng máy quét laser mặt đất GLS 2200. Mạng lưới khống chế mặt đất được xây dựng gồm 4 điểm trên mặt sàn của nhà máy. Các thông số chính được thiết lập cho công tác quét của máy GLS 2200 gồm độ phân giải ở mức 9 mm tại khoảng cách 10 m, chất lượng quét ở mức 2X do bề mặt sàn có mức độ phản xạ thấp, trường nhìn cho góc ngang là 360° và góc đứng là 270°. Khoảng cách giữa hai trạm máy không cách xa quá 15 m và tọa độ trạm máy được xác định theo phương pháp giao hội nghịch. Độ chính xác giao hội nghịch RMS theo cả ba thành phần tọa độ X, Y, H đều trong phạm vi 3 mm.



(a)



(b)

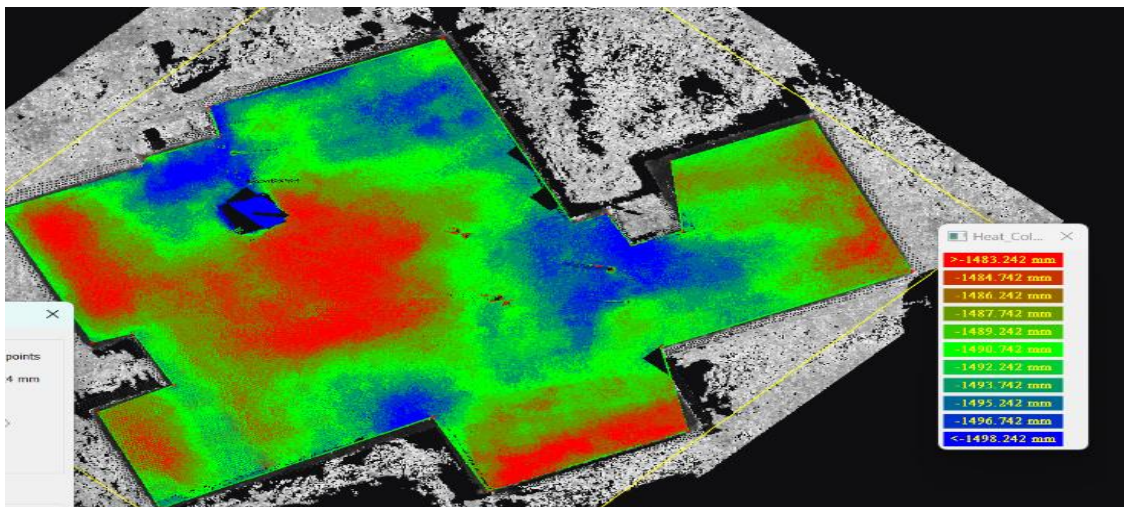
Hình 3. Máy quét và gương phản xạ thực hiện giao hội nghịch (a) ghép nối các đám mây điểm (b)

Bảng 3 thể hiện sai số của phương pháp giao hội nghịch được ví dụ tại một trạm máy Y_1 và định hướng về điểm Y_2 . Các trạm quét được thiết kế tạo thành một đường chuyển khép kín để giảm sai số tích lũy. Các đám mây điểm từ các trạm quét được ghép nối tự động (xem Hình (b)) vì tọa độ trạm máy được xác định trong cùng hệ tọa độ thống nhất theo phương pháp giao hội nghịch thông qua các điểm khống chế mặt đất. Độ chính xác xác định vị trí trạm máy phụ thuộc vào các yếu tố như đồ hình và độ chính xác vị trí điểm khống chế (Breach, 1994).

Trước khi tạo tuyến lấy mẫu và tính các tham số độ phẳng, bề mặt đối tượng quét cần được kiểm tra trước trên bản đồ nhiệt (heat-map) như trong Hình 4. Bản đồ này thể hiện độ cao mặt sàn từ 1483 mm đến 1498 mm với giá trị trung bình là 1490 mm. Nhìn trên bản đồ nhiệt có thể nắm được một số thông tin sơ bộ về khu vực bị lõm xuống (màu đỏ) hoặc lồi lên (màu xanh da trời). Bên cạnh đó, màu xanh lam biểu thị độ cao trung bình của mặt sàn và đây cũng là màu sắc chủ đạo của mặt sàn, điều này thể hiện một cách trực quan rằng mặt sàn tương đối phẳng. Tuy nhiên cần phải đánh giá độ phẳng thông qua các tham số định lượng theo phương pháp số F sẽ được trình bày ở phần sau.

Bảng 3. Sai số giao hội nghịch tại trạm máy Y_1 và định hướng Y_2

Tên điểm	Độ lệch X(m)	Độ lệch Y(m)	Độ lệch Z(m)
Y2	0,000	0,000	-0,002
Thống kê	X (m)	Y (m)	Z (m)
RMS	0,000	0,000	0,002
MAX	0,000	0,000	-0,002

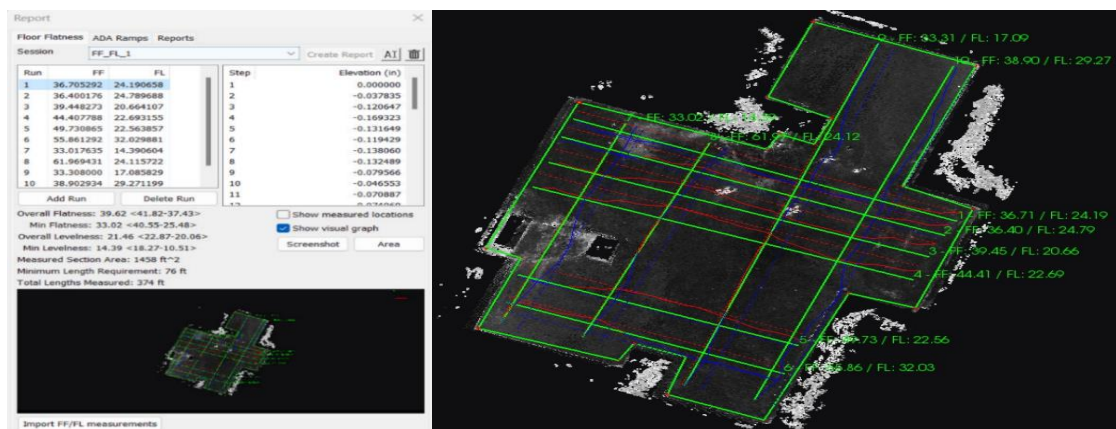


Hình 4. Bản đồ nhiệt (heat-map) thể hiện sự khác nhau độ cao bởi màu sắc tương ứng

Quá trình đánh giá độ phẳng của bề mặt theo tiêu chuẩn ASTM E1155 được thực hiện thông qua phần mềm RITHM. Vì diện tích của mặt sàn đủ lớn 30 m² nên các tuyến được thiết kế theo hai hướng vuông góc nhau và hướng theo trục chính của công trình; các tuyến được thiết kế cách nhau lớn hơn 1,2 m; không có tuyến nào được đi qua mỗi nổi thi công; và các tuyến đều cách ranh giới sàn lớn hơn 0,6 m. Trong thực nghiệm này, 10 tuyến đo được thiết kế theo hai hướng vuông góc với nhau như Hình 5. Các tuyến 1, 2, 3, 4, 5, và 6 là các tuyến vuông góc với trục chính được đánh số từ trên xuống dưới. Các tuyến 7, 8, 9 và 10 là các tuyến song song với trục chính công trình và được đánh số từ trái qua phải.

Bảng 4 thống kê các giá trị tính toán các tham số tổng thể độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L . Từ kết quả tính toán cho thấy cả giá trị tổng thể và giá trị nhỏ nhất cục bộ của độ phẳng và độ phẳng bề mặt tổng thể đều đạt yêu cầu (Pass) khi so với dung sai ($SOF_F = 25$ và $SOF_L = 20$) và ($MLF_F = 15$ và $MLF_L = 12$), tương ứng trong Bảng 2. Chú ý giá trị dung sai nhỏ nhất cục bộ được lấy bằng 60% giá trị dung sai tổng thể tương ứng (Mark 2011). Bề mặt của sàn kiểm tra có thể đạt tiêu chuẩn của “văn phòng, khu công nghiệp nhẹ, nền trải thảm” được quy định trong Bảng 1.

Bảng 5 thể hiện giá trị độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L của 10 tuyến kiểm tra. Kết quả cho thấy giá trị độ phẳng của các tuyến 1, 2, 3, 7, 9, 10 tương đối đồng đều ($F_F > 33$ tương đương với mức độ “rất phẳng”), riêng tuyến 8 có độ phẳng tốt nhất $F_F = 62$. Giá trị độ phẳng bề mặt F_L cũng tương đối đồng đều ($F_L > 21$) tương đương với mức “rất phẳng”, riêng chỉ có tuyến 7 và 9 là có độ phẳng tương đối nhỏ tuy nhiên vẫn đạt mức $F_L > 12$ tương đương với mức độ “tương đối phẳng” như quy định trong Bảng 2. Kết quả này là phù hợp với bản đồ nhiệt ở Hình 4 trong đó tuyến kiểm tra 7 và 9 là có sự thay đổi về độ cao đáng kể. Kết quả này cũng được thể hiện chi tiết theo mặt cắt của các tuyến như ở Hình 6, trong đó tuyến 7 và 9 có biên độ biến đổi lớn nhất về thành phần độ cao (theo trục tung).



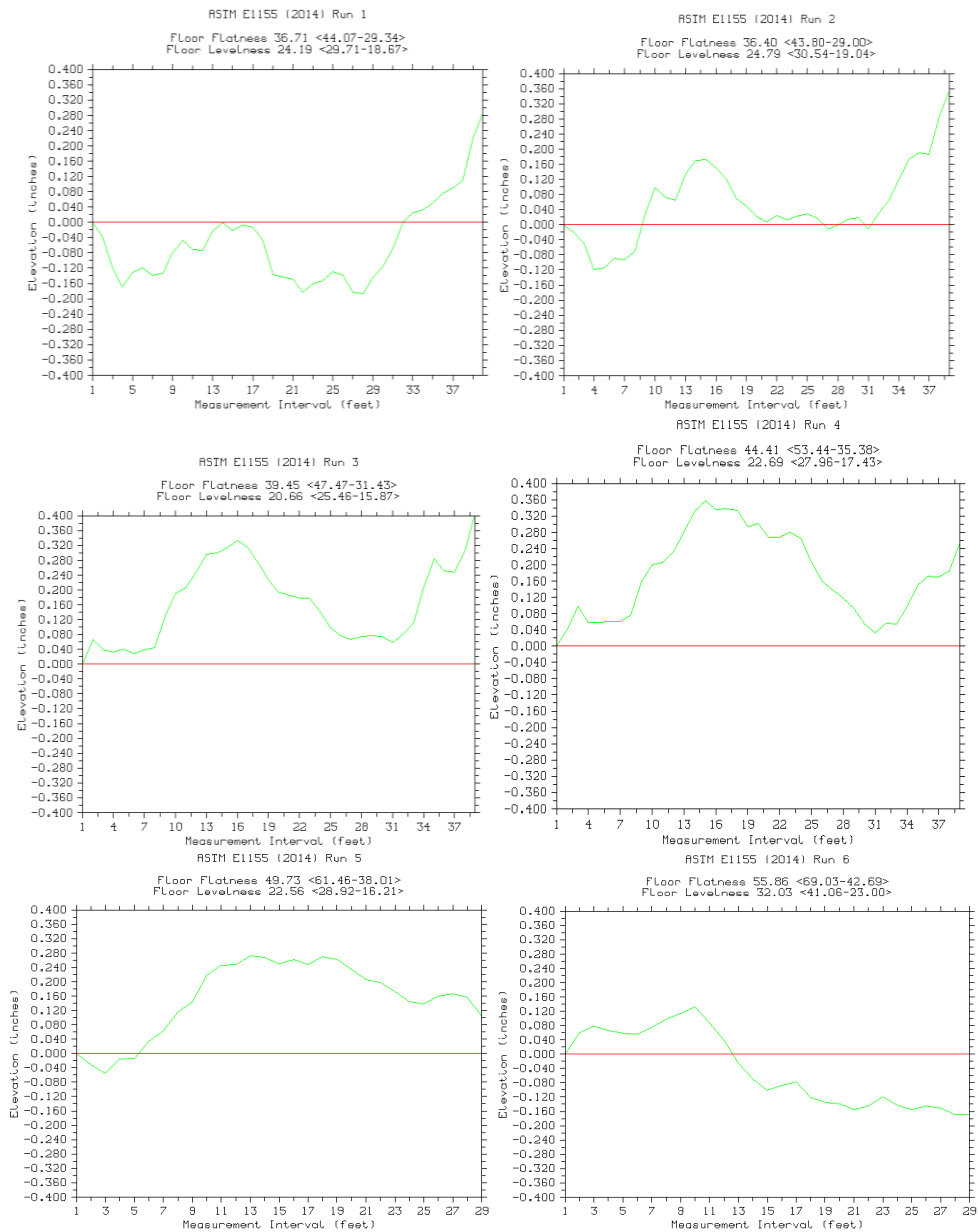
Hình 5. Số lượng và vị trí các tuyến kiểm tra và kết quả tính hệ số F

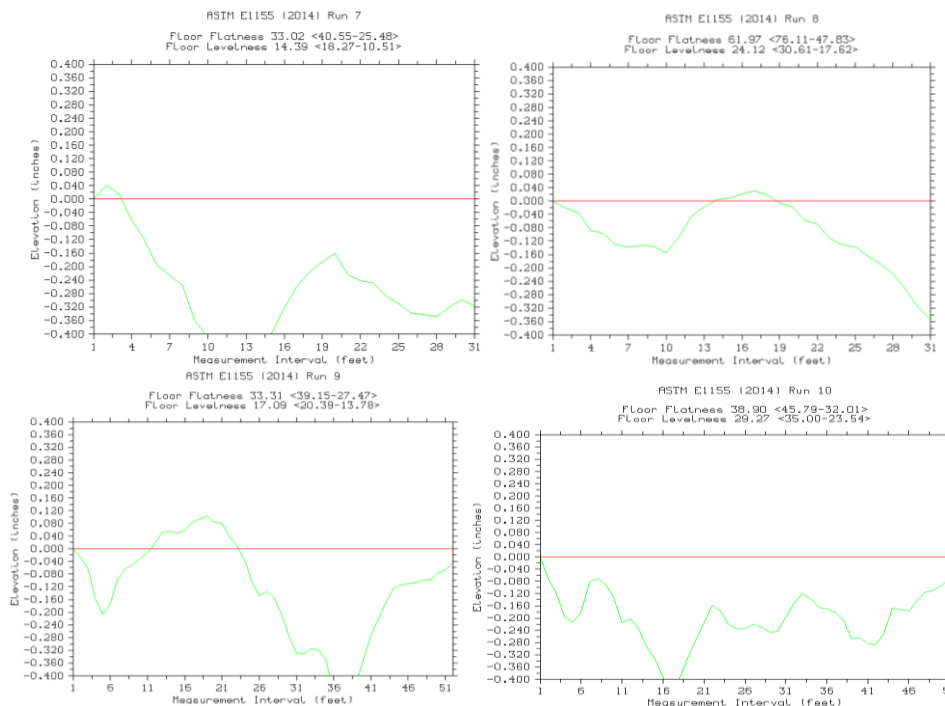
Bảng 4. Giá trị độ phẳng và độ phẳng bề mặt tổng thể tính từ kết quả đo

Tham số độ phẳng	Giá trị	Tham số độ phẳng bề mặt	Giá trị
Độ phẳng đo (FF)	39.622	Độ phẳng bề mặt đo (FL)	21.464
FF Xác suất 90%	37.427- 41.816	FL Xác suất 90 %	20.059 - 22.869
Độ phẳng kiểm tra	PASS	Độ phẳng bề mặt kiểm tra	PASS
Giá trị độ phẳng nhỏ nhất (FFmin)	33.018	Giá trị độ phẳng bề mặt nhỏ nhất (FLmin)	14.391
Xác suất 90 % FF_min	25.484- 40.551	Xác suất 90 % FL_min	10.514 - 18.267
Độ phẳng kiểm tra nhỏ nhất	PASS	Giá trị độ phẳng bề mặt nhỏ nhất	PASS
Diện tích bề mặt	1458 ft ²	Tổng chiều dài tuyến đo	374 ft
Chiều dài tuyến kiểm tra yêu cầu	76 ft	Chiều dài tuyến kiểm tra	PASS

Bảng 5. Giá trị độ phẳng và độ phẳng bề mặt của 10 tuyến đo kiểm tra

Run#	Độ phẳng (FF)	Xác suất 90 %	Độ phẳng bề mặt (FL)	Xác suất 90 %
1	36.705	29.336 - 44.075	24.191	18.671 - 29.710
2	36.400	28.998 - 43.803	24.790	19.041 - 30.538
3	39.448	31.426 - 47.471	20.664	15.872 - 25.456
4	44.408	35.377 - 53.439	22.693	17.431 - 27.955
5	49.731	38.006 - 61.456	22.564	16.206 - 28.922
6	55.861	42.691 - 69.032	32.030	23.004 - 41.056
7	33.018	25.484 - 40.551	14.391	10.514 - 18.267
8	61.969	47.830 - 76.108	24.116	17.619 - 30.612
9	33.308	27.469 - 39.147	17.086	13.780 - 20.392
10	38.903	32.014 - 45.792	29.271	23.539 - 35.003





Hình 6. Biểu đồ thể hiện độ chênh lệch độ cao theo 10 tuyến đo của mặt sàn. Trong đó đường màu xanh là thể hiện giá trị độ cao của mặt sàn, đường màu đỏ là độ cao trung bình "0" của mặt sàn

4. Kết luận

Máy quét lazer mặt đất là một trong những công cụ mới cho phép nâng cao năng suất và rút ngắn thời gian trong đánh giá độ phẳng của bề mặt công trình. Ở nước ta hiện nay thiếu quy định quy phạm và các hướng dẫn công nghệ được coi là một trở ngại lớn để ứng dụng thiết bị này vào công tác kiểm tra chất lượng công trình. Bài báo đã đề giới thiệu cách ứng dụng TLS cho kiểm tra độ phẳng bề mặt thông qua bốn bước theo quy phạm ASTM E1155. Từ quá trình thực nghiệm và phân tích kết quả cho thấy, quy trình bốn bước là phù hợp để áp dụng trong công tác kiểm tra chất lượng công trình. Bài báo bước đầu nghiên cứu một cách có hệ thống từ lý thuyết đến thực nghiệm việc áp dụng TLS cho công tác đánh giá độ phẳng bề mặt công trình. Bài báo này cũng giới thiệu một tiêu chuẩn mới phù hợp để áp dụng cho TLS đó là tiêu chuẩn ASTM E1155, tiêu chuẩn hiện đại và đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới. Kết quả bài báo là tài liệu tham khảo phù hợp cho các đơn vị sản xuất trắc địa ở nước ta cũng như giúp cho các cơ quan quản lý nhà nước có căn cứ để xây dựng tiêu chuẩn, quy phạm về phân tích độ phẳng bề mặt công trình ứng dụng máy quét lazer mặt đất.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu vẫn còn những hạn chế cần được tiếp tục phát triển và hoàn thiện trong thời gian tới. Khoảng cách giữa các trạm máy quét có ảnh hưởng lớn đến chất lượng đám mây điểm tuy nhiên hiện nay chưa có quy định về khoảng cách giữa các trạm máy quét khi kiểm tra độ phẳng mặt sàn. Bởi vì khi sử dụng TLS để thu thập dữ liệu bề mặt, chênh lệch giữa máy quét và bề mặt sàn không lớn (khoảng 1,5 m) dẫn tới cường độ tia lazer phản xạ về máy thấp (do góc tới chùm tia lazer lớn). Ngoài ra, các chất liệu phản xạ của bề mặt sàn đặc biệt là khi sàn bê tông còn ướt có ảnh hưởng lớn đến chất lượng của dữ liệu nên đòi hỏi phải lựa chọn chế độ quét phù hợp.

Tài liệu tham khảo

- (BSI), B. S. I. (2009). "BS 8204 - Screeds, bases and in situ flooring."
- ACI-117-06 (2006). "Specifications for tolerances for concrete construction and materials and commentary." American Concrete Institute: Farmington Hills, MI. p. 70.
- ACI-302.1R-96 (1997). "Guide for Concrete Floor and Slab Construction; ACI:." Farmington Hills, MI, USA.

- Afnor (2007). "NF P 11-213 - Dallages conception, calcul et exécution (dtu 13.3)."
- American Concrete Institute (ACI), A.-S. f. t. f. c. c. a. m. a. c. (2006).
- ASTM, E. M. (2001). "Standard test method for determining FF floor flatness and FL floor levelness numbers [metric]." American Society for Testing and Materials.: p. 8.
- Bosché, F. and E. J. A. i. c. Guenet (2014). "Automating surface flatness control using terrestrial laser scanning and building information models." 44: 212-226.
- Breach, M. (1994). "Three dimensional resection "Surveying Land Information Systems (USA)"." 54(1): 21-25.
- CSTB, A. T.-V. (2011). "Procédure d'isolation thermique in-situ de planchers par projection de mousse depolymérisée sous chape ou dalle."
- Henry, R. and J. Ingham (2010). Field measurements of concrete floor surface regularity.
- Mark, A. C. (2011). "The Floor Flatness Report." Concrete International 33(1).
- NZS-3101 (1997). "Concrete construction, Standards New Zealand." p. 67.
- NZS-3114 (1987). "Specification for concrete surface finishes, Standards New Zealand." p. 46.
- Puri, N., E. Valero, Y. Turkan and F. J. A. i. C. Bosché (2018). "Assessment of compliance of dimensional tolerances in concrete slabs using TLS data and the 2D continuous wavelet transform." 94: 62-72.
- Talebi, S., L. Koskela and P. Tzortzopoulos (2018). Tolerance compliance measurement using terrestrial laser scanner. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction-Towards Mature Production Across Cultures and Frontiers, Chennai, India.
- TCVN-8864 (2011). "Standard Test Method for Measuring Road Pavement Surface Roughness Using a 3.0 m Straight Edge."
- TR34 (2003). "The Concrete Society Technical report 34: Concrete industrial floors - a guide to their design and construction." 105.
- Valero, E. and F. Bosché (2016). Automatic surface flatness control using terrestrial laser scanning data and the 2d continuous wavelet transform. ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, IAARC Publications.
- Zaczek-Peplinska, J., M. Kowalska, K. Ryczko and C. Sekular (2023). "Selected aspects of geometrical analyses of surfaces measured using terrestrial laser scanning (TLS)."

ABSTRACT

On the Research of Terrestrial Laser Scanner for Assessment of Flatness and Levelness of Surface Constructions

Pham Trung Dung^{1,*}, Nguyen Nhu Tuan Anh²

¹Hanoi University of Mining and Geology

²Topcon Singapore Positioning Pte Ltd Company

Terrestrial laser scanner (TLS) with many outstanding advantages such as high automation ability, high accuracy, high point density along with high data rate has quickly become a promising tool for assessment of quality control. However, in Vietnam, there is still a lack of standards for TLS in the assessment of flatness and levelness for surface constructions. This paper presents a four-step inspection of the flatness and levelness of the floor using TLS based on the ASTM E1155 standard. The experiment was carried out at a factory in Vietnam with the TLS GLS 2200. Through the field work with data acquisition, and deviation analysis and calculation of F values, the proposed four-step are completely applicable to geodetic work in quality control. In addition, this paper is an initially completed study from theoretical analysis to application in actual work. Therefore, the paper can be used as a technical guide and reference for geodetic engineers in quality control. It is also can be used for state management agencies in the establishment of standards.

Keywords: Flatness and levelness, Terrestrial laser scanner (TLS), F-method, ASTM E1155 standard.