

KIỂM TRA ĐỘ PHẪNG BỀ MẶT CÔNG TRÌNH BẰNG MÁY QUÉT LAZER MẶT ĐẤT THEO TIÊU CHUẨN ASTM E1155

INSPECTION OF FLATNESS AND LEVELNESS OF CONSTRUCTION SURFACE USING TERRESTRIAL LASER SCANNER ACCORDING TO ASTM E1155 STANDARD

Phạm Trung Dũng¹, Nguyễn Như Tuấn Anh²

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất,

² Công ty topcon singapore positioning Pte Ltd

Email: ¹ phamtrungdung@humg.edu.vn, ² nguyyen@topcon.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-7>

TÓM TẮT: Độ phẳng bề mặt là một trong những chỉ tiêu quan trọng để đánh giá chất lượng của bề mặt bê tông trong và sau quá trình thi công. Máy quét laser mặt đất (TLS) với nhiều ưu điểm vượt trội về độ chính xác, mật độ điểm đo và tốc độ thu dữ liệu đã trở thành công cụ ưu việt cho công tác kiểm soát chất lượng công trình. Nhờ những ưu điểm vượt trội này mà TLS cho phép kiểm tra độ phẳng bề mặt sàn ngay khi bê tông còn ướt, giúp cho nhà thầu thi công kịp thời khắc phục sửa chữa các lỗi thi công giúp giảm chi phí và rút ngắn thời gian thi công. Tuy nhiên, ở Việt Nam hiện nay vẫn còn thiếu các tiêu chuẩn cũng như hướng dẫn kỹ thuật để áp dụng công nghệ TLS trong đánh giá độ phẳng bề mặt công trình. Bài báo đề xuất quy trình bốn bước để xác định độ phẳng bằng máy quét laser dựa trên tiêu chuẩn ASTM E1155. Thực nghiệm được thực hiện bằng máy quét GLS 2200 và áp dụng quy trình đề xuất bốn bước để đánh giá độ phẳng bề mặt công trình. Từ kết quả thực nghiệm, có thể khẳng định quy trình 4 bước đề xuất trên là phù hợp để đánh giá độ phẳng bề mặt công trình bằng máy quét laser trong điều kiện Việt Nam. Bài báo là nghiên cứu bước đầu một cách có hệ thống từ phân tích lý thuyết, xây dựng quy trình và thực nghiệm nên có thể sử dụng làm tài liệu hướng dẫn kỹ thuật cho các kỹ sư trắc địa trong công tác kiểm định chất lượng công trình cũng như là tài liệu tham khảo cho các cơ quan quản lý nhà nước trong việc xây dựng tiêu chuẩn đánh giá độ phẳng bề mặt công trình bằng máy quét laser mặt đất.

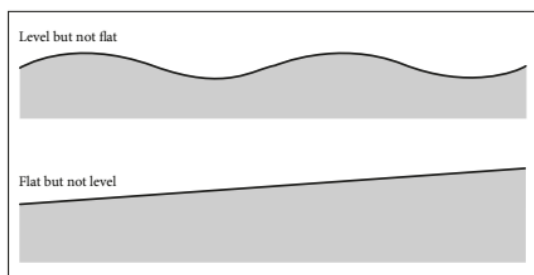
TỪ KHÓA: Độ phẳng; Độ phẳng bề mặt; Máy quét laser mặt đất; Phương pháp chỉ số F, Tiêu chuẩn ASTM E1155.

ABSTRACTS: The flatness of the surface is one of the important indicators to access the quality of the concrete surface during and after the construction process. The terrestrial laser scanner with many outstanding advantages in accuracy, high point density and high data rate acquisition has become an effective tool for construction quality inspection. The most advantage of the ground laser scanner for assessment of floor flatness compared to traditional methods is so quickly data acquisition and able to measure when the concrete floor is still wet. This allows the contractor to identify and fix the errors without waiting for the floor to dry so it can reduce both costs and time for construction. However, in Vietnam today, there is still a lack of standards as well as technical guide to apply this technology in evaluating the flatness of the surface construction effectively. The article proposes a four-step procedure to access the flatness using a laser scanner based on the ASTM E1155 standard. The field work is carried out by using GLS 2200 scanner and uses the four-step procedure to evaluate the surface flatness of the construction. From experimental results, it can be confirmed that the above four-step proposed procedure is suitable to evaluate the flatness of the surface construction by laser scanner in Vietnam conditions. The article is an initial study from theoretical analysis, development of procedure and field work. Therefore, the article can be used as a technical guide for geodetic engineers in the quality control construction as well as a reference for state management agencies in making standard for the assessment of surface flatness using terrestrial laser scanner.

KEYWORDS: Flatness; Levelness; Terrestrial laser scanner (TLS); F-method; ASTM E1155 standard.

1. GIỚI THIỆU

Độ phẳng của bề mặt công trình là yếu tố rất cần thiết để bảo đảm mặt sàn đáp ứng các yêu cầu sử dụng của nó như thiết kế. 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 (flatness) và độ phẳng bề mặt (levelness). Hình 1 chỉ ra sự khác biệt về hai chỉ số độ phẳng và độ phẳng bề mặt. Theo đó chỉ số độ phẳng là để thể hiện tính chất phẳng trong phạm vi hẹp, còn độ phẳng bề mặt là thể hiện tính chất phẳng trong phạm vi rộng. Thông thường phạm vi hẹp và rộng được quy định tương ứng với 0.6 m và 3 m (quy định trong tiêu chuẩn TR34 [1]).



Hình 1. Độ phẳng và độ phẳng bề mặt [1]

Phương pháp và giá trị đo độ phẳng và độ phẳng bề mặt trong kiểm soát chất lượng công trình là một trong những chủ đề thu hút được nhiều sự quan tâm. Phương pháp truyền thống sử dụng thước thép, máy kinh vĩ, máy toàn đạc điện tử, máy thủy chuẩn được sử dụng rộng rãi ở Việt Nam. Tuy nhiên, vẫn tồn tại những bất lợi của các thiết bị này như thời gian, số lượng điểm đo ít và cần tiếp cận trực tiếp đối tượng đo [2]. Ví dụ, khi đo độ phẳng bề mặt công trình bằng máy toàn đạc điện tử, chỉ một số ít các điểm được đo để thể hiện bề mặt, do đó bề mặt được xác định từ số ít các điểm đo này thường không thể hiện chính xác bề mặt thực tế. Thêm vào đó chúng ta thường phải tiếp cận trực tiếp bề mặt đối tượng cần đo nên dẫn đến nguy hiểm và thời gian đo kéo dài. Từ những bất cập trên, cần thiết phải sử dụng một phương pháp mới để thay thế các phương pháp đang tồn tại.

Máy quét laser mặt đất (TLS) đã và đang trở thành một thiết bị được sử dụng trong nhiều ứng dụng với các ưu thế vượt trội như mật độ điểm, tốc độ thu dữ liệu và độ chính xác. Liên quan đến sử dụng máy quét laser cho kiểm tra chất lượng công trình Talebi, Koskela [3] sử dụng máy quét laser 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 [4] ứng dụng máy quét laser vì nó cho phép tốc độ thu thập dữ liệu nhanh chóng, do đó nó bảo đảm kiểm tra công trình trong quá trình thi công. Thêm vào đó, Zaczek-Peplinska, Kowalska [5] cũng sử dụng thiết bị này để trích xuất các tham số của mặt phẳng. Ưu điểm của TLS còn được thể hiện ở chỗ nó là thiết bị cho phép kiểm tra độ phẳng bề mặt sàn bê tông ngay khi sàn còn chưa khô, cho phép phát hiện và sửa chữa kịp thời, tránh tốn kém và nhanh chóng mà các phương pháp kiểm tra truyền thống không đạt được. Tuy nhiên ở Việt Nam hiện nay còn thiếu các nghiên cứu một cách có hệ thống về ứng dụng thiết bị quét laser trong kiểm soát chất lượng bề mặt công trình cũng như thiếu các tiêu chuẩn để ứng dụng hiệu quả thiết bị này. Do đó, bài báo đề xuất quy trình bốn bước ứng dụng máy quét laser mặt đất cho kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình thông qua phương pháp số F trong tiêu chuẩn ASTM E1155 [6].

2. PHƯƠNG PHÁP

Thông số kỹ thuật và tiêu chuẩn độ phẳng được phát triển cùng với các thiết bị và 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 [1] và phương pháp hệ số Waviness. Hiện nay, tiêu chuẩn dựa trên phương pháp số F được sử dụng phổ biến trên thế giới và nó được phát triển trực tiếp từ tiêu chuẩn dựa trên nguyên lý của phương pháp thước thẳng (straightedge). Thước thẳng là một phương pháp đơn giản sử dụng một thước thép có chiều dài 3 m để xác định sự không bằng phẳng (hoặc độ gồ ghề) của bề mặt bởi sự chênh lệch giữa mặt nền và bề mặt thước thép được đo tại một số vị trí khác nhau dọc theo thước thép. Tham số độ phẳng tổng thể và cục bộ được đo bởi thước thẳng dài 3 m và 0.3 m. 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 mặt 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 [7]. Một số tiêu chuẩn quốc tế và Việt Nam theo nguyên lý của thước thẳng có thể tìm thấy trong quy phạm ACI của Hoa Kỳ [8], tiêu chuẩn của Pháp NF P11-213 [9], tiêu chuẩn BSI của Anh [10], tiêu chuẩn NZS 3114:1987 “Thông số kỹ thuật cho bề mặt bê tông hoàn thiện” [11] và NZS 3109:1997 “Công trình bê tông” [12] của

New Zealand, và TCVN 8864:2011 [13] của Việt Nam. Ưu điểm của phương pháp thước thẳng trong kiểm tra độ phẳng mặt sàn là đơn giản và không yêu cầu các công cụ đắt tiền. Tuy nhiên, tiêu chuẩn này không còn phù hợp khi sử dụng máy quét laser, vì thế cần có tiêu chuẩn và quy phạm thay thế. Vì thế tiêu chuẩn dựa trên phương pháp số F được đề xuất áp dụng đối với máy quét laser mặt đất trong kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình.

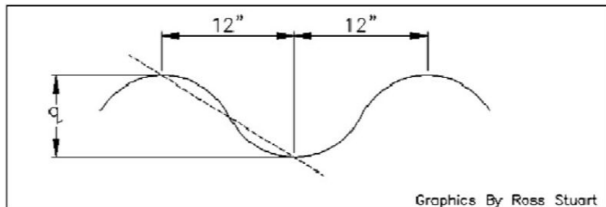
2.1. Phương pháp số F

Hệ thống chỉ số F là một trong những thang đo phổ biến để đo độ phẳng được phát triển bởi Viện nghiên cứu bê tông của Hoa Kỳ (ACI) và hiện nay 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 lĩnh vực xây dựng, giá trị chỉ số F thường được sử dụng để đánh giá theo các chỉ số độ phẳng (F_F), độ phẳng bề mặt (F_L) [14]. Cả F_F và F_L đều thể hiện chất lượng mặt phẳng và không có đơn vị tính. Giá trị của F_F và F_L càng lớn thể hiện chất lượng bề mặt càng phẳng. F_F ảnh hưởng bởi quá trình hoàn thiện mặt sàn trong khi F_L ảnh hưởng chủ yếu bởi quá trình thi công.

Giá trị 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 dương nếu mặt sàn bị lõm xuống. Giá trị F_F trong tiêu chuẩn ASTM E1155 được tính theo công thức [6]:

$$F_F = \frac{0.1161}{(3S_q + |q|)} \quad (1)$$

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 mét.

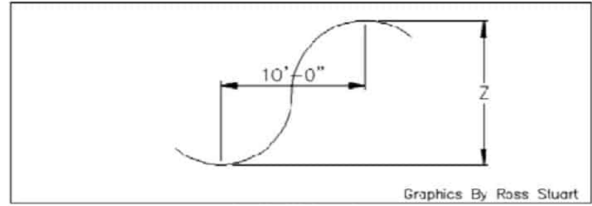


Hình 2. Độ phẳng F_F

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 [6]:

$$F_L = \frac{0.3175}{(3S_z + |z|)} \quad (2)$$

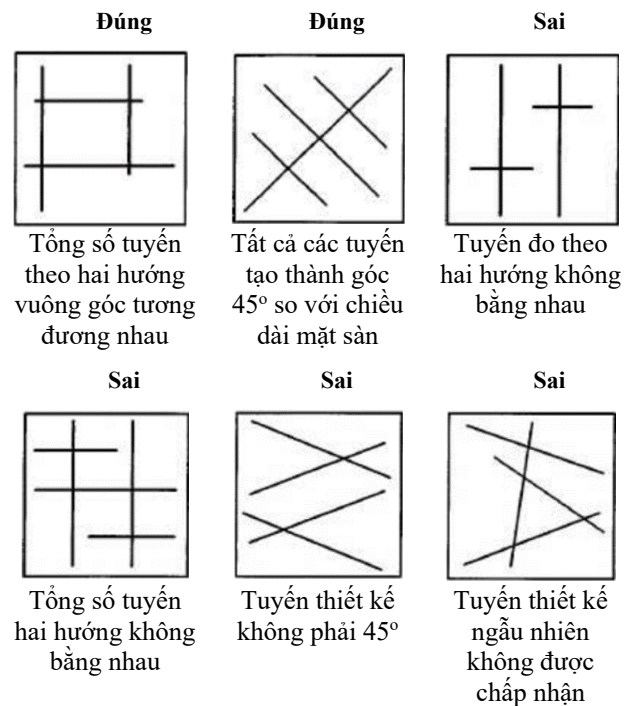
trong đó S_z là độ lệch chuẩn của z và $|z|$ là trị tuyệt đối của giá trị trung bình z .



Hình 3. Độ phẳng bề mặt F_L

Số lượng, độ dài và vị trí của tuyến đo trong kiểm tra độ phẳng của bề mặt được sử dụng trong tiêu chuẩn ACI [6] được miêu tả trong Hình 4. Những đường thẳng này song song hoặc 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 12 inch (hoặc 0.3 m). Hầu hết các loại thiết bị như máy thủy chuẩn, toàn đạc điện tử đều có thể áp dụng cho quy trình trên, tuy nhiên máy quét laser mặt đất (TLS) là thiết bị ưu việt hơn cả khi áp dụng vì mật độ điểm và độ chính xác cao, thời gian thực hiện nhanh chóng [2].

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 và ACI 117 được liệt kê trong Bảng 1 và Bảng 2 tương ứng. Chú ý rằng F_L chỉ áp dụng để tính cho độ phẳng trên lớp mặt.



Hình 4. 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 [15]

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

Bảng 2. Dung sai tổng thể và dung sai tối thiểu cục bộ F_F và F_L đánh giá độ phẳng bề mặt theo 5 mức độ [16]. Trong đó SO- specific overall: giá trị tổng thể và ML - minimum local: giá trị tối thiểu cục bộ

Loại mặt sàn	Độ phẳng F_F		Độ phẳng bề mặt F_L	
	SO F_F	ML F_F	SO F_L	ML F_L
Truyền thống	20	12	15	9
Tương đối phẳng	25	15	20	12
Phẳng	35	21	25	15
Rất phẳng	45	27	35	21
Siêu phẳng	60	36	40	24

2.2. Quy trình đánh giá độ phẳng bằng TLS

Máy quét laser mặt đất cho kiểm soát chất lượng mặt phẳng đã được khảo sát qua nhiều nghiên cứu và có thể chia thành hai nhóm sau: (1) sử dụng số F và (2) trực quan hóa thông qua số liệu và hình ảnh mà không theo quy phạm. Talebi, Koskela [3] dựa theo phương pháp trực quan hóa đã phát triển quy trình bốn bước cho TLS cho 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; và (iv) thể hiện giá trị độ lệch. Ngoài ra, quy trình đánh giá độ phẳng bề mặt theo phương pháp Continuous Wavelet Transform cũng được trình bày gồm 4 bước có thể tham khảo trong tài liệu [4]. Trong nghiên cứu của chúng tôi, quy trình đánh giá độ phẳng sử dụng thiết bị quét laser mặt đất theo phương pháp số F được đề xuất gồm 4 bước như trong sơ đồ Hình 6. Quy trình này được phát triển từ quy trình ba bước được đề xuất trong [2] và thêm bước 4 để so sánh với các dung sai về giá trị tổng thể và giá trị nhỏ nhất cục bộ quy định trong tiêu chuẩn ASTM E1155. Do phương pháp số

F được phát triển từ phương pháp thước thẳng (straightedge) nên nó dễ hiểu và thuận tiện để sử dụng. Sau đây sẽ trình bày chi tiết quy trình đề xuất 4 bước nêu trên:

Bước 1: Thu thập dữ liệu mặt sàn bằng TLS

Thứ nhất, các điểm khống chế mặt đất cần được thành lập trong hệ tọa độ công trình hoặc hệ tọa độ quốc gia. Việc thành lập khống chế mặt đất có thể thực hiện bởi các thiết bị khảo sát truyền thống như máy toàn đạc điện tử. Cần ít nhất 3 đến 4 điểm khống chế cho toàn bộ khu vực khảo sát để làm cơ sở tính chuyển tọa độ về hệ tọa độ công trình hoặc hệ tọa độ quốc gia.

Thứ hai, các tham số của máy quét laser cần được cài đặt phù hợp trước khi quét trong đó có hai tham số quan trọng nhất là độ phân giải (resolution) và chất lượng quét (quality). Trong đó độ phân giải phụ thuộc vào khoảng cách quét còn chất lượng quét lại phụ thuộc vào chất liệu bề mặt. Có thể tham khảo trong nghiên cứu [3].

Thứ ba, quá trình ghép trạm (registration) có thể được thực hiện bởi 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. Trong 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 cho phép định hướng ngoài thì thủ tục ghép nối trạm máy có thể được bỏ qua. Vấn đề này đã được phân tích trong các tài liệu [17], [18].

Cuối cùng, đám mây điểm cần được lọc bỏ nhiễu và lựa chọn đám mây điểm cần đánh giá độ phẳng để thực hiện ở các bước tiếp theo.

Bước 2: Thiết kế tuyến lấy mẫu

Thiết kế tuyến lấy mẫu kiểm tra phục vụ đánh giá độ phẳng của mặt sàn cần tuân thủ các quy định sau [6]:

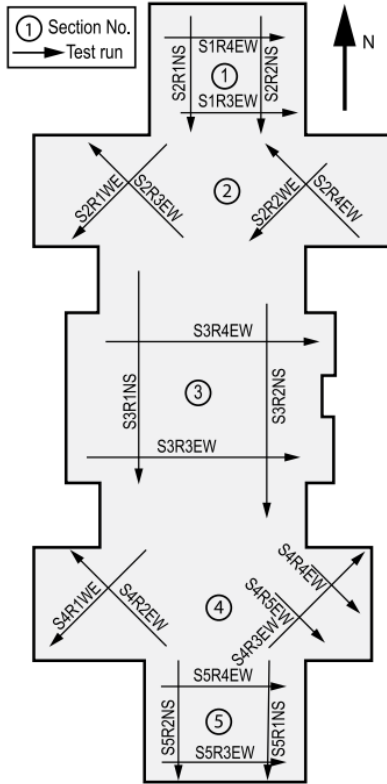
- Tuyến lấy mẫu được thiết kế theo hai hướng vuông góc nhau và dọc theo trục chính của công trình nếu chiều rộng của mặt sàn lớn hơn 25 ft (hoặc 7.6 m). Ngược lại, nếu chiều rộng mặt sàn nhỏ hơn 25 ft thì tuyến lấy mẫu cần thiết kế lệch một góc 45°. Độ dài tuyến lấy mẫu có ảnh hưởng trực tiếp đến các giá trị độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L [19].

- Tuyến lấy mẫu là các tuyến song song cách nhau một khoảng 4 ft (hoặc 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 2 ft (hoặc 0.6 m) tính từ ranh giới của mặt sàn thì cần được loại bỏ.

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

Hình 5 đưa ra một ví dụ về việc thiết kế tuyến đo phù hợp với chiều dài, chiều rộng và diện tích mặt sàn thi công theo đó cần kết hợp các tuyến vuông góc và cả các tuyến có góc 45°.



Hình 5. Ví dụ về thiết kế tuyến đo kiểm tra [20]

Bước 3: Tính hệ số F

Việc tính toán các chỉ số FF và FL được thực hiện theo các công thức (1) và (2) trong trường hợp thỏa mãn số lượng điểm lấy mẫu (có độ cao z) trên một mặt cắt không nhỏ hơn hoặc bằng giá trị N_{Min} [6]:

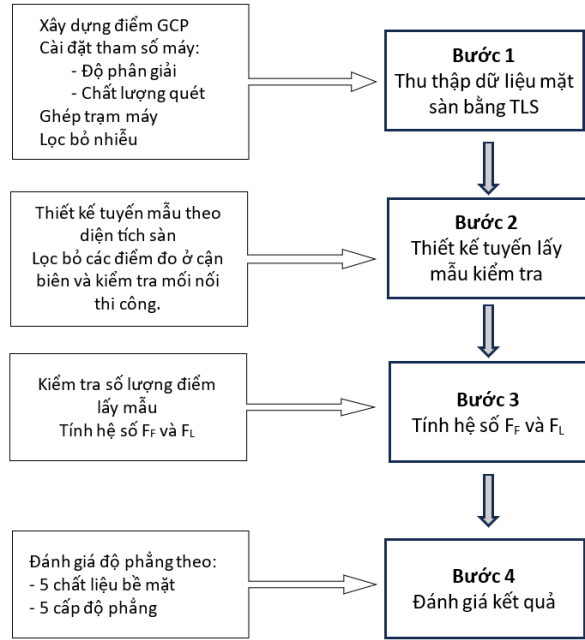
$$N_{Min} = \begin{cases} 6.56\sqrt{A} & (30 \leq A \leq 150) \\ \frac{A}{30} & (A > 150) \end{cases} \quad (3)$$

trong đó A là diện tích của mặt cắt kiểm tra được tính bằng m².

Bước 4: Đánh giá độ phẳng

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 trên vật liệu mặt sàn đối với 5 loại bề mặt khác như quy định trong

Bảng 1. Trong đó cả hệ số độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L có thể so sánh với các giá trị dung sai theo tiêu chuẩn ASTM. Ngoài ra, mức độ phẳng của bề mặt sàn có thể được 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 được đánh giá theo hệ số F_F trong quy định này.



Hình 6. Sơ đồ quy trình bốn bước thực hiện đánh giá độ phẳng mặt sàn theo tiêu chuẩn ASTM E1155 từ dữ liệu quét lazer

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

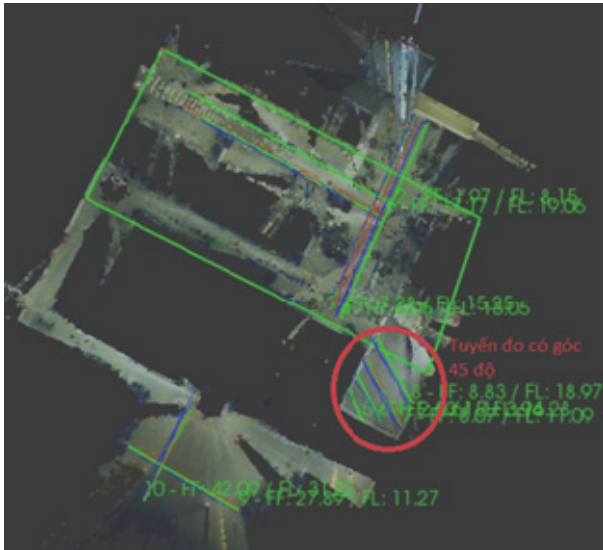
Thực nghiệm được thực hiện tại hiện trường một nhà máy ở Việt Nam bằng máy quét lazer mặt đất GLS 2200. Mạng lưới không chế mặt đất được xây dựng gồm 10 điểm trên mặt sàn tầng 1 và tầng 2 của nhà máy. Các thông số chính được thiết lập cho máy quét GLS 2200 gồm độ phân giải ở mức 9 mm tại khoảng cách 10 m, chất lượng quét ở mức 2X, 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 theo ba thành phần tọa độ (X, Y, H) được kiểm tra đều trong phạm vi nhỏ hơn 3 mm. Các trạm quét trên một mặt sàn được thiết kế theo đường chuyền khép kín để giảm sai số tích lũy. Các trạm quét sẽ được ghép nối tự động do tọa độ của đám mây điểm đã được xác định trong cùng một hệ tọa độ thống nhất theo phương pháp giao hội nghịch. Quá trình đánh giá độ phẳng của bề mặt theo tiêu chuẩn ASTM E1155 được thực hiện thông qua phần mềm RITHM.

Đối với sàn tầng 1, số lượng và vị trí các tuyến đo kiểm tra được thể hiện như trên Hình 8. Các tuyến đo kiểm tra được bố trí tùy thuộc vào đặc điểm của các phòng trên mặt sàn. Một số tuyến kiểm tra được bố trí theo hai hướng vuông góc nhau và một số tuyến được thiết kế góc 45° so với trục dài của mặt sàn.

Trong thực nghiệm ở tầng 1, chỉ có 7 tuyến là đảm bảo tiêu chuẩn (tuyến màu xanh) để tính theo tiêu chuẩn ASTM E1155 vì các tuyến còn lại không đủ mật độ điểm (tuyến màu đỏ). Lý do là vì mặt sàn tầng 1 có nhiều thiết bị đang hoạt động nên khi quét laser một số vùng bị che khuất nên bị thiếu dữ liệu đo bề mặt. Kết quả tính toán các tham số độ phẳng (F_F và F_L) tổng thể và chi tiết các tuyến được cho trong Bảng 5 và Bảng 4, tương ứng.



Hình 7. Hình ảnh 3D mặt sàn tầng 1 từ dữ liệu đám mây điểm sau khi quét



Hình 8. Vị trí và số lượng các tuyến kiểm tra trên mặt sàn tầng 1

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 của tầng 1. 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 không đạt yêu cầu (Fail)

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. Hơn nữa, các tham số độ phẳng của bề mặt của sàn tầng 1 không đạt tiêu chuẩn như đã nêu trong Bảng 1.

Bảng 3. Giá trị tổng thể độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L trên mặt sàn tầng 1

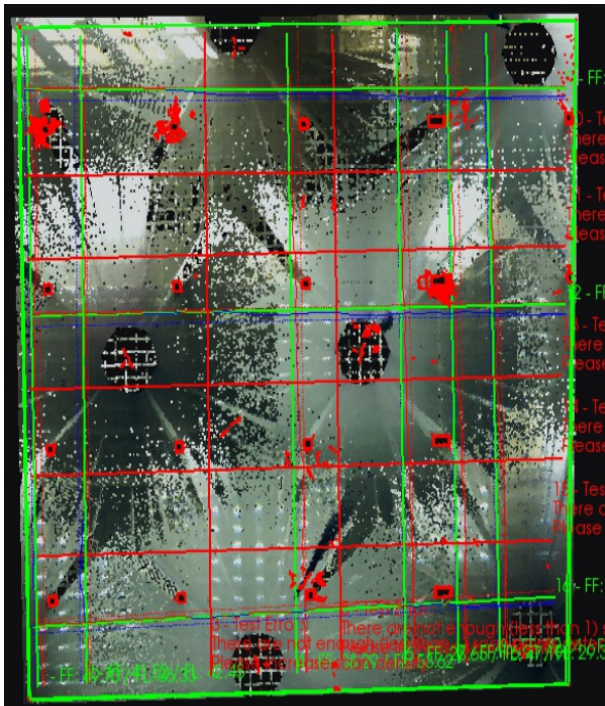
Tham số độ phẳng	Giá trị	Tham số độ phẳng bề mặt	Giá trị
Độ phẳng đo (F_F)	8.962	Độ phẳng bề mặt đo (F_L)	14.929
F_F Xác suất 90%	8.460 - 9.463	F_L Xác suất 90%	13.993 - 15.866
Độ phẳng kiểm tra	FAIL	Độ phẳng bề mặt kiểm tra	FAIL
Độ phẳng nhỏ nhất (F_{Fmin})	6.052	Độ phẳng bề mặt nhỏ nhất (F_{Lmin})	11.091
Xác suất 90% F_{F_min}	5.187 - 6.918	Xác suất 90% F_{L_min}	7.890 - 14.293
Độ phẳng kiểm tra nhỏ nhất	FAIL	Độ phẳng bề mặt nhỏ nhất	FAIL
Diện tích bề mặt	7356 ft ²	Tổng chiều dài tuyến đo	371 ft
Chiều dài tuyến kiểm tra yêu cầu	245 ft	Chiều dài tuyến kiểm tra	PASS

Bảng 4. Giá trị độ phẳng và độ phẳng bề mặt của 7 tuyến đo kiểm tra trên mặt sàn tầng 1

Tuyến	Độ phẳng (F_F)	Xác suất 90%	Độ phẳng bề mặt (F_L)	Xác suất 90%
1	17.170	14.782 - 19.557	19.057	16.228 - 21.886
2	7.276	6.242 - 8.309	15.249	12.932 - 17.566
3	6.052	5.187 - 6.918	13.052	11.053 - 15.051
4	8.073	6.136 - 10.009	11.091	7.890 - 14.293
5	8.831	6.675 - 10.987	18.966	13.352 - 24.580
6	27.888	22.555 - 33.220	11.266	8.846 - 13.686
7	42.093	33.850 - 50.336	31.221	24.315 - 38.126

Bảng 4 thể hiện giá trị độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L của 7 tuyến đo. Kết quả cho thấy giá trị độ phẳng của các tuyến 2, 3, 4, 5 tương đối nhỏ ($F_F < 10$), riêng tuyến 8 có độ phẳng tốt nhất $F_F = 42$.

Đối với sàn tầng 2 (xem Hình 9), các tuyến kiểm tra được thiết kế song song và vuông góc với nhau. Trong đó, các tuyến màu đỏ là các tuyến đo không đủ mật độ điểm nên không thể thực hiện để tính các tham số độ phẳng (được loại bỏ). Các tuyến màu xanh là các tuyến đạt yêu cầu để tính và kết quả tổng thể và chi tiết được thể hiện trong Bảng 5 và Bảng 5 thống kê các tham số tổng thể độ phẳng FF và độ phẳng bề mặt FL của mặt sàn tầng 2. Từ kết quả tính toán cho thấy cả giá trị tổng thể và giá trị nhỏ nhất cục bộ của độ phẳng FF và độ phẳng bề mặt tổng thể FL đều đạt yêu cầu (Pass) khi so với dung sai ($SOFF = 25$ và $SOFL = 20$) và ($MLFF = 15$ và $MLFL = 12$), tương ứng quy định 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. Ngoài ra, theo quy định trong Bảng 1, bề mặt của sàn kiểm tra có thể đạt tiêu chuẩn của “văn phòng, khu công nghiệp nhẹ, nền trải thảm”. Các giá trị độ phẳng FF và độ phẳng bề mặt FL đều lớn và đồng đều, riêng chỉ có mật cốt thứ 5 là cả hai giá trị FF và FL cùng nhỏ.



Hình 9. Vị trí và số lượng các tuyến kiểm tra trên sàn tầng 2

Bảng 5 thống kê các tham số tổng thể độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L của mặt sàn tầng 2. Từ kết quả tính toán cho thấy cả giá trị tổng thể và giá trị nhỏ nhất cục bộ của độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt tổng thể F_L đều đạt yêu cầu (Pass) khi so với dung sai ($SOFF = 25$ và $SOFL = 20$) và ($MLFF = 15$ và $MLFL = 12$), tương ứng quy định 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. Ngoài ra, theo quy định trong Bảng 1, bề mặt của sàn kiểm tra có thể đạt tiêu chuẩn của “văn phòng, khu công nghiệp nhẹ, nền trải thảm”. Các giá trị độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L đều lớn và đồng đều, riêng chỉ có mật cốt thứ 5 là cả hai giá trị F_F và F_L cùng nhỏ.

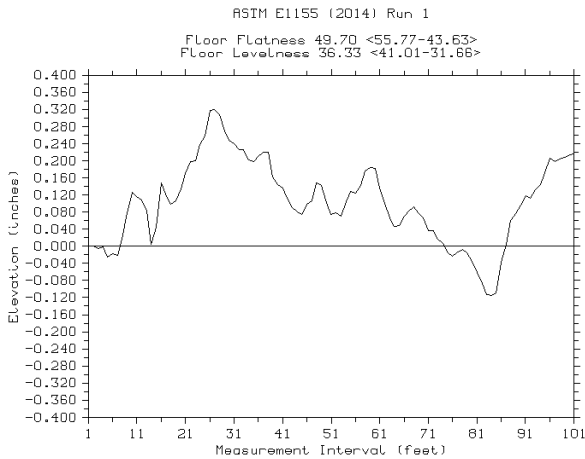
Bảng 6, tương ứng. Đồ thị mật cốt của tuyến đo được thể hiện như trong Hình 10.

Bảng 5. Giá trị độ phẳng và độ phẳng bề mặt tổng thể mặt sàn tầng 2

Tham số độ phẳng	Giá trị	Tham số độ phẳng bề mặt	Giá trị
Độ phẳng đo (F_F)	32.476	Độ phẳng bề mặt đo (F_L)	37.758
F_F Xác suất 90%	31.431 - 33.521	F_L Xác suất 90%	36.467 - 39.048
Độ phẳng kiểm tra	PASS	Độ phẳng bề mặt kiểm tra	PASS
Độ phẳng nhỏ nhất (F_{Fmin})	16.915	Độ phẳng bề mặt nhỏ nhất (F_{Lmin})	29.341
Xác suất 90% F_{F_min}	14.814 - 19.016	Xác suất 90% F_{L_min}	25.495 - 33.188
Độ phẳng kiểm tra nhỏ nhất	PASS	Độ phẳng bề mặt nhỏ nhất	PASS
Diện tích bề mặt	10731 ft ²	Tổng chiều dài tuyến đo	895 ft
Chiều dài tuyến kiểm tra yêu cầu	357 ft	Chiều dài tuyến kiểm tra	PASS

Bảng 6. Giá trị độ phẳng và độ phẳng bề mặt của 9 tuyến đo kiểm tra tầng 2

Tuyến	Độ phẳng (F_F)	Xác suất 90%	Độ phẳng bề mặt (F_L)	Xác suất 90%
1	49.699	43.630 - 55.768	36.331	31.656 - 41.006
2	41.525	36.425 - 46.624	42.447	36.952 - 47.943
3	38.293	33.564 - 43.022	53.616	46.632 - 60.601
4	28.649	25.090 - 32.207	47.194	41.008 - 53.381
5	16.915	14.814 - 19.016	29.341	25.495 - 33.188
6	39.244	34.342 - 44.147	34.817	30.224 - 39.409
7	41.413	36.439 - 46.387	32.368	28.277 - 36.460
8	43.084	37.881 - 48.287	43.375	37.861 - 48.890
9	46.683	40.951 - 52.416	37.022	32.229 - 41.816



Hình 10. Ví dụ về kết quả của một tuyến kiểm tra (tuyến kiểm tra số 1 tầng 2). Trong đó trục tung là độ cao (inch) và trục hoành là chiều dài tuyến (feet)

Kết quả tính toán độ phẳng bề mặt của sàn tầng 1 và tầng 2 theo các tham số độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L nêu trên là hợp lý. Kết quả này có thể được giải thích bởi lý do sau. Sàn tầng 1 được sử dụng cho các thiết bị máy móc hoạt động nên bề mặt sàn bị tác động bởi quá trình hoạt động của thiết bị, vì thế độ phẳng của bề mặt sàn bị giảm đáng kể sau quá trình sử dụng. Trong khi sàn tầng 2 để trống và chưa có thiết bị hoạt động vì thế mà mặt sàn vẫn đảm bảo độ phẳng bề mặt. Độ phẳng của bề mặt sàn tầng 2 vì thế mà có độ phẳng lớn hơn so với sàn tầng 1.

Trường hợp số lượng điểm lấy mẫu thấp hơn số lượng điểm yêu cầu, Li [21] đã đề xuất phương án sử dụng gương phẳng để tăng chiều dài khoảng cách đo và áp dụng cả những khu vực bị che khuất. Ngoài ra phương án thay đổi quy định trong tiêu chuẩn ASTM được đề xuất trong nghiên cứu [22] cũng là phương án khả thi cho vấn đề này.

Sử dụng thiết bị TLS để kiểm tra độ phẳng bề mặt thi công chỉ mất khoảng 5 phút cho việc quét dữ liệu tại mỗi trạm máy (ví dụ cho chế độ quét đã nêu với độ phân giải 9mm/10m và chất lượng quét 2X). Đối với mặt sàn không quá lớn và không bị che khuất thì tổng thời gian thực hiện việc đo đạc dữ liệu (gồm thời gian thiết lập không chế, giao hội nghịch xác định tọa độ trạm máy, quét dữ liệu và di chuyển máy) có thể từ 1 đến 2 giờ. Thời gian xử lý số liệu (định hướng mô hình, lọc dữ liệu và chọn khu vực đánh giá độ phẳng) và xuất báo cáo trên phần mềm RITHM có thể thực hiện trong vòng 1 đến 1.5 giờ. Thời gian cho đánh giá độ phẳng bề mặt công trình bằng máy GLS 2200 cũng tương đương với thời gian sử dụng máy FARO là gần 2 giờ trong nghiên cứu [2]. Trong nghiên cứu đó tác

giả cũng so sánh với phương pháp sử dụng thước thẳng thì phải mất hơn 20 giờ cho cùng một đối tượng. Có thể thấy rằng, thời gian đánh giá độ phẳng bề mặt sàn thi công bằng TLS được rút ngắn đáng kể so với phương pháp truyền thống và đặc biệt nó còn có thể thực hiện ngay lúc mặt sàn bê tông còn ướt. Trong trường hợp này, có thể sử dụng bản đồ nhiệt để có được cái nhìn tổng quan về độ lồi lõm của bề mặt trước khi phân tích bằng chỉ số độ phẳng. Vì thế thời gian kiểm tra khi mặt sàn ướt bằng TLS chỉ cần hơn chục phút sau khi quét, trút dữ liệu và bước xử lý sơ bộ. Ưu điểm này là hoàn toàn vượt trội so với các phương pháp đo trực tiếp trên bề mặt và nó mở ra cơ hội để sớm phát hiện và khắc phục sửa chữa khi mặt bê tông còn chưa khô. Có thể nói rằng việc áp dụng TLS vào công tác kiểm tra độ phẳng bề mặt công trình giúp giảm chi phí và tăng tiến độ thi công.

4. KẾT LUẬN

Đo độ phẳng bề mặt công trình là một trong những công việc quan trọng trong công tác kiểm tra chất lượng công trình. Máy quét laser mặt đất là thiết bị thu nhận bề mặt từ dữ liệu đám mây điểm với độ chính xác cao, tốc độ nhanh và đã được ứng dụng vào rất nhiều các lĩnh vực khác nhau. Tuy nhiên ở Việt Nam hiện nay, còn thiếu quy trình và các hướng dẫn công nghệ để ứng dụng hiệu quả thiết bị này trong đo độ phẳng bề mặt công trình. Bài báo đã đề xuất quy trình bốn bước nhằm đánh giá độ phẳng bề mặt sử dụng máy quét laser mặt đất tuân thủ theo quy phạm ASTM E1155. Từ quá trình thực nghiệm và phân tích kết quả cho thấy, quy trình bốn bước tính hệ số độ phẳng F_F và độ phẳng bề mặt F_L đơn giản, dễ áp dụng và phù hợp với điều kiện ứng dụng công nghệ quét laser mặt đất trong công tác xây dựng công trình ở Việt Nam hiện nay. Bài báo bước đầu nghiên cứu một cách có hệ thống từ lý thuyết đến thực nghiệm việc áp dụng công nghệ quét laser cho công tác đánh giá độ phẳng bề mặt công trình theo tiêu chuẩn ASTM E1155, một 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 phân tích độ phẳng bề mặt công trình ứng dụng máy quét laser 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. Trong công tác thu thập dữ liệu mặt sàn bằng máy quét laser mặt đất cần phải đưa ra quy trình để hạn chế sai số do khoảng cách quét, ảnh hưởng của chất liệu mặt sàn, góc tới chùm tia.

Ngoài ra, sai số ghép trạm máy cũng là một nguồn sai số đáng kể có thể ảnh hưởng tới độ chính xác độ cao, yếu tố rất quan trọng trong đánh giá độ phẳng bề mặt.

Cần tiếp tục nghiên cứu để xây dựng bộ phần mềm cho phép đánh giá độ phẳng bề mặt theo tiêu chuẩn ASTM E1155 từ dữ liệu quét lazer mặt đất để tránh phụ thuộc vào các phần mềm thương mại hiện nay. Hơn nữa, TLS cho phép thu nhận dữ liệu không những từ mặt sàn mà còn các cấu trúc có liên quan trong quá trình quét, do đó nguồn dữ liệu này phù hợp để tích hợp và quản lý trong mô hình thông tin công trình (BIM) hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TR34, *The Concrete Society Technical report 34: Concrete industrial floors - a guide to their design and construction*. 2003: p. 105.
- [2] Bosché, F. and E.J.A.i.c. Guenet, *Automating surface flatness control using terrestrial laser scanning and building information models*. 2014. 44: p. 212-226.
- [3] Talebi, S., L. Koskela, and P. Tzortzopoulos. *Tolerance compliance measurement using terrestrial laser scanner. in 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction—Towards Mature Production Across Cultures and Frontiers*, Chennai, India. 2018.
- [4] Valero, E. and F. Bosché. *Automatic surface flatness control using terrestrial laser scanning data and the 2d continuous wavelet transform. in ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. 2016. IAARC Publications.
- [5] Zaczek-Peplinska, J., et al., *Selected aspects of geometrical analyses of surfaces measured using terrestrial laser scanning (TLS)*. 2023.
- [6] ASTM E1155, *Standard test method for determining FF floor flatness and FL floor levelness numbers [metric]*. American Society for Testing and Materials., 2001: p. p. 8.
- [7] ACI-117-06, *Specifications for tolerances for concrete construction and materials and commentary*. American Concrete Institute: Farmington Hills, MI. p. 70, 2006.
- [8] American Concrete Institute (ACI), A.-.-S.f.t.f.c.c.a.m.a.c., 2006.
- [9] Afnor, NF P 11-213 - *Dallages conception, calcul et ex'ecution (dtu 13.3)*. 2007.
- [10] (BSI), B.S.I., *BS 8204 - Screeds, bases and in situ flooring*. 2009.
- [11] NZS-3114, *Specification for concrete surface finishes*, Standards New Zealand. 1987: p. p. 46.
- [12] NZS-3101, *Concrete construction, Standards New Zealand*. 1997: p. p. 67.
- [13] TCVN-8864, *Standard Test Method for Measuring Road Pavement Surface Roughness Using a 3.0 m Straight Edge*. 2011.
- [14] Henry, R. and J. Ingham, *Field measurements of concrete floor surface regularity*. 2010.
- [15] ACI-302.1R-96, *Guide for Concrete Floor and Slab Construction*; ACI:. Farmington Hills, MI, USA, 1997.
- [16] Institute, A.C., *ACI 117-06-Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary*; ACI: Farmington Hills, MI, USA, 2006.
- [17] Dos Santos, D.R., A.P. Dal Poz, and K.J.T.P.R. Khoshelham, *Indirect georeferencing of terrestrial laser scanning data using control lines*. 2013. 28(143): p. 276-292.
- [18] Pham, D.T., et al. *Indirect Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning: One-Step and Two-Step Approaches. in International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources*. 2022. Springer.
- [19] Uriz, P., J. Osteraas, and B. McDonald, *Using ASTM E1155 to determine finished floor quality: background and areas for consideration, in Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow*. 2013. p. 595-604.
- [20] Mark, A.C., *The Floor Flatness Report*. Concrete International, 2011. 33(1).
- [21] Li, F., et al., *Laser scanning based surface flatness measurement using flat mirrors for enhancing scan coverage range*. 2021. 13(4): p. 714.
- [22] Steffey, D., P. Uriz, and J. Osteraas, *Using ASTM E1155 to determine finished floor quality: minimum sampling requirements used to establish compliant floor flatness and levelness, in Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow*. 2012. p. 605-612.