

# XÁC ĐỊNH ĐỘ THẲNG ĐỨNG CỦA CÔNG TRÌNH NHÀ CAO TẦNG BẰNG CÔNG NGHỆ GPS CÓ TÍNH ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ RUNG LẮC CÔNG TRÌNH

TS. NGUYỄN QUANG MINH  
Trường Đại học Mở - Địa chất  
ThS. NGUYỄN ĐĂNG HIẾU  
Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Bài báo đề cập đến một số vấn đề về xác định độ thẳng đứng công trình bằng công nghệ GPS. Trong công tác xác định độ thẳng đứng của công trình, sự ảnh hưởng rung lắc và dao động của công trình trong thời gian đo đạc đến kết quả quan trắc độ thẳng đứng chưa được quan tâm đúng mức tại Việt Nam. Vấn đề này được thảo luận và kiểm chứng cho tòa nhà Lotte Tower tại Hà Nội và từ đó rút ra kết luận về việc cần thiết phải sử dụng công nghệ GPS xác định độ thẳng đứng của các công trình nhà cao tầng.

## 1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây quá trình phát triển đô thị đã diễn ra với tốc độ nhanh. Các dự án xây dựng nhà siêu cao tầng liên tục được triển khai một cách rộng rãi tại các thành phố lớn như tòa nhà Keangnam (Hà Nội), Bitexco (Thành phố Hồ Chí Minh),... Đối với các công trình nhà và các cấu kiện có chiều cao lớn, việc đảm bảo độ thẳng đứng của công trình là một trong những công việc quan trọng, nhằm duy trì tính ổn định cũng như các điều kiện vận hành của công trình trong thời gian sử dụng. Hiện nay, theo quy định về xác định độ nghiêng của công trình trong Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4453 : 1995 về thi công công trình bê tông cốt thép thì độ nghiêng được phép là 1/1000 hoặc không lớn hơn  $\pm 50\text{mm}$  [1]. Từ đó theo tiêu chuẩn TCXDVN 309:2004 và tiêu chuẩn TCXDVN 357:2005 về quan trắc nghiêng công trình thì sai số giới hạn trong quan trắc nghiêng công trình là 0.0001H với H là chiều cao công trình [2], [3].

Để quan trắc được độ thẳng đứng các công trình, đặc biệt là trong thời gian thi công có thể sử dụng nhiều phương pháp như phương pháp sử dụng máy chiếu đứng độ chính xác cao, phương pháp quan trắc bằng máy kinh vĩ và máy toàn đạc điện tử [3]. Tuy nhiên, các phương pháp này chỉ có thể sử dụng trong một số điều kiện nhất định tùy thuộc vào tình hình thi công của công trình. Ngoài ra, đối với một số công trình quan trọng thì cần sử dụng kết hợp nhiều phương pháp để đảm bảo tính chính xác trong xác định độ thẳng đứng của công trình.

Trong thời gian gần đây, công nghệ GPS đã được sử dụng để xác định độ thẳng đứng của công trình và được đăng ký bằng sáng chế tại Mỹ [4]. Công nghệ GPS cũng được sử dụng để chuyển tọa độ lên công trình và kiểm tra độ thẳng đứng tại tòa nhà cao nhất thế giới, tháp Burj Dubai tại Tiểu vương quốc Ả rập [5], [6]. GPS có một số lợi thế so với các phương pháp truyền thống sử dụng máy kinh vĩ hoặc máy toàn đạc điện tử như hai điểm khống chế lân cận không cần thông hướng ngắm, độ chính xác ổn định khi công trình lên cao. Phương pháp xác định độ thẳng đứng của công trình bằng GPS đã được sử dụng tại một số công trình nhà cao tầng tiêu biểu tại Việt Nam như tòa nhà Keangnam và tòa nhà Lotte Hanoi Tower tại Hà Nội. Trong bài báo này trình bày phương pháp xác định độ thẳng đứng của công trình bằng công nghệ GPS và đề cập một số vấn đề kỹ thuật liên quan đến xác định độ thẳng đứng công trình đang thi công bằng công nghệ GPS.

## 2. Ảnh hưởng của rung lắc các công trình đến kết quả đo

Độ chính xác của việc đo GPS trong xác định tọa độ trên công trình đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu của các tác giả như Trần Mạnh Nhất và nnk [7]. Tuy nhiên, đối với các công trình cao tầng thường xảy ra hiện tượng rung lắc và dao động chủ yếu là gió. Hiện tượng dao động của các công trình xây dựng ở Việt Nam chưa được nghiên cứu nhiều, các nghiên cứu chủ yếu xác định dao động một số công trình cầu như Rạch Miễu, Bãi Cháy, Trần Thị Lý [8].

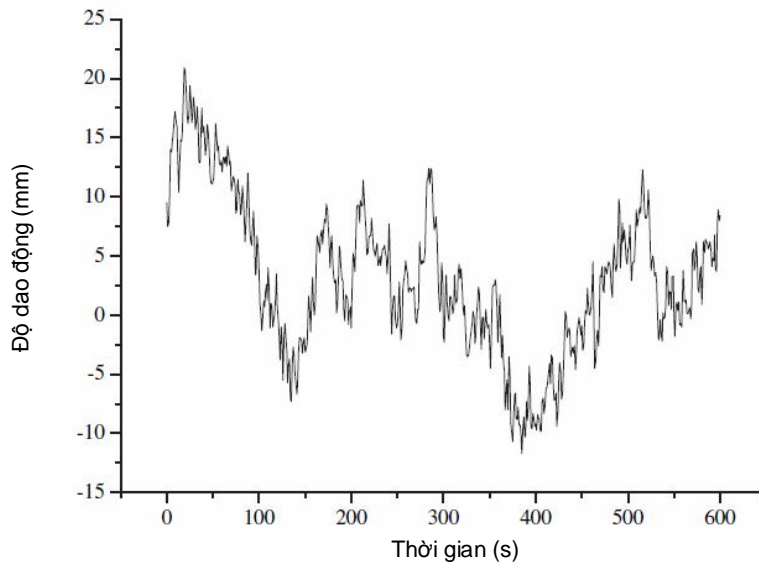
Đối với các công trình nhà cao tầng thì tốc độ gió có thể không ảnh hưởng nhiều đến kết cấu cũng như sự bền vững của công trình nên nhu cầu nghiên cứu ở Việt Nam chưa nhiều. Tuy nhiên, trên thế giới có khá nhiều nghiên cứu về vấn đề này bằng các công nghệ khác nhau như sử dụng GPS đo động thời gian thực và sử

dụng máy đo gia tốc [9], [10]. Các nghiên cứu này cho phép xác định được biên độ cũng như tần số dao động của các tòa nhà cao tầng do ảnh hưởng của gió.

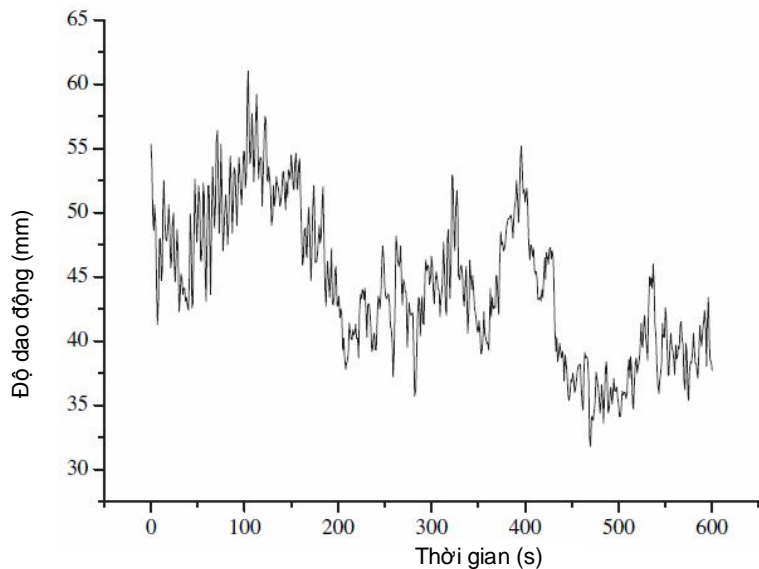
Theo nghiên cứu của nhóm nghiên cứu Hyo Seon Park [9] đã sử dụng GPS đo động thời gian thực và gia tốc kế xác định dao động của một tòa nhà có chiều cao 233m (66 tầng) kết cấu bê tông với tốc độ gió cao nhất 18m/s. Kết quả xác định được giá trị của dao động theo trục X là từ -11.7mm đến 20.9mm (hình 1) và Y từ 31.8mm đến 61mm với tần số dao động khoảng 0.2Hz (hình 2).

Trong một nghiên cứu khác của nhóm nghiên cứu Cazzaniga đã thực hiện quan trắc bằng GPS cho một ống khói có độ cao 120m trong điều kiện tốc độ gió khoảng 15m/s cho thấy dao động theo trục X từ giá trị 3026.380m đến 3026.480m và dao động theo trục Y từ giá trị 763.830m đến 763.900m với tần số dao động từ 0.39Hz đến 1.7Hz.

Qua hai nghiên cứu trên có thể thấy, đối với các kết cấu có chiều cao lớn, độ dao động sẽ có ảnh hưởng rất lớn đến kết quả xác định tọa độ của các điểm nằm ở phần đỉnh của kết cấu. Thông thường dao động này có biên độ dao động từ 5cm đến 15cm cho các công trình có chiều cao dưới 300m tùy thuộc vào độ cao, thiết kế và vật liệu kết cấu của công trình cao tầng.



**Hình 1.** Đồ thị về giá trị dao động của tòa nhà 66 tầng theo trục X (Trích từ nghiên cứu của nhóm Hyo Seon Park [8])



**Hình 2.** Đồ thị về giá trị dao động của tòa nhà 66 tầng theo trục Y (Trích từ nghiên cứu của nhóm Hyo Seon Park [8])

Hiển nhiên là các dao động này sẽ ảnh hưởng đến kết quả đo đạc các điểm tọa độ cho các tầng trên cao của công trình bằng các phương pháp như đo bằng máy kinh vĩ, máy toàn đạc điện tử hoặc máy chiếu đứng. Ảnh hưởng này cũng gần giống như việc đặt các thiết bị đo đạc lên giá 3 chân luôn bị đung đưa trong với biên

độ 3-5cm trong khoảng thời gian từ 3 đến 5 giây. Như vậy thì trong quá trình đo đạc tọa độ cho các điểm trên tầng cao (từ 100 trở lên) còn phải tính đến ảnh hưởng của các dao động của tòa nhà.

Để có thể khắc phục các ảnh hưởng do dao động nói trên khi chuyển tọa độ lên tầng cao thì cần thực hiện việc đo đạc tọa độ các điểm ở tầng trên cao rất nhiều lần ở các thời điểm khác nhau và lấy giá trị trung bình. Hiện chưa có nghiên cứu nào xác định số lần đo cần thiết để khử được ảnh hưởng của quá trình dao động của tòa nhà trên các tầng cao. Tuy nhiên theo nghiên cứu thực nghiệm của Heyes [5] thì có thể sử dụng trị đo GPS đo trong vòng một giờ với thời gian thu mỗi nhịp tín hiệu là 1 giây. Như vậy có thể thấy rằng số trị đo tham gia thực hiện định vị tĩnh là 1800 trị đo. Đây có thể là một ưu điểm nữa của việc xác định độ thẳng đứng của tòa nhà bằng GPS.

Đối với phương pháp sử dụng máy chiếu đứng thì việc phải chiếu nhiều lần là không thể thực hiện được đối với các thiết bị hiện có tại Việt Nam hiện nay. Có thể khắc phục vấn đề này phần nào bằng chuyển điểm tọa độ trong khoảng cách ngắn để đồng bộ các dao động. Tuy nhiên, điều này sẽ dẫn đến tích lũy các sai số do chiếu chuyển điểm. Trong trường hợp sử dụng máy toàn đạc điện tử thì cần sử dụng phương pháp đo tự động để xác định tọa độ nhiều lần đảm bảo tránh được ảnh hưởng của dao động của kết cấu đến kết quả đo độ thẳng đứng của công trình. Tuy nhiên, qua phân tích ở trên có thể khuyến cáo nên sử dụng GPS để chuyển điểm lên cao hoặc sử dụng máy GPS để kiểm tra độ thẳng đứng của công trình vì số lượng trị đo bằng phương pháp GPS lớn, và vị trí tọa độ xác định được sẽ là vị trí trung bình của các vị trí dao động.

### **3. Thực nghiệm xác định độ thẳng đứng của công trình bằng GPS**

#### **3.1 Khu vực thực nghiệm**

Với các phân tích về khả năng ứng dụng của GPS trong xác định độ thẳng đứng của công trình, các tác giả đã tiến thành một nghiên cứu thực nghiệm xác định độ thẳng đứng của công trình nhà cao tầng tại Việt Nam. Khu vực thực nghiệm được tiến hành tại tòa nhà Lotte Landmark Tower, đường Liễu Giai – Đào Tấn, quận Ba Đình, Hà Nội (hình 3). Công trình gồm một tòa nhà 68 tầng với tổng chiều cao dự kiến là 280m trên diện tích 14000m<sup>2</sup>. Công trình có hai lõi cứng bê tông cốt thép thi công bằng phương pháp cốp pha trượt được đẩy dần lên cao bằng ván khuôn trượt. Phần bên ngoài được xây dựng bằng bê tông bám vào các kết cấu lõi (hình 4).



**Hình 3.** Hình ảnh trên thiết kế của công trình tòa tháp Lotte dự kiến



Hình 4. Hai phần kết cấu lõi (Core) của tòa nhà Lotte đang thi công

Để chuyển trục công trình lên tầng cao, đơn vị thi công dựa vào các trục chính của mỗi kết cấu lõi. Giao điểm của các trục này sẽ được đặt tên là 1, 2, 3, 4 và được chiếu lên các tầng cao bằng máy chiếu đứng và tạo thành các trục đứng của kết cấu lõi. Các trục đứng này cần được kiểm tra độ thẳng đứng 3 tầng một lần bằng GPS với độ lệch trục đứng cho phép tối đa là 50mm. Như vậy, đối với hai lõi sẽ có 8 điểm cần xác định độ thẳng đứng của trục công trình. Tại 8 điểm này trên mặt sàn tầng 1 có chôn mốc làm cơ sở để chuyển điểm lên trên công trình.

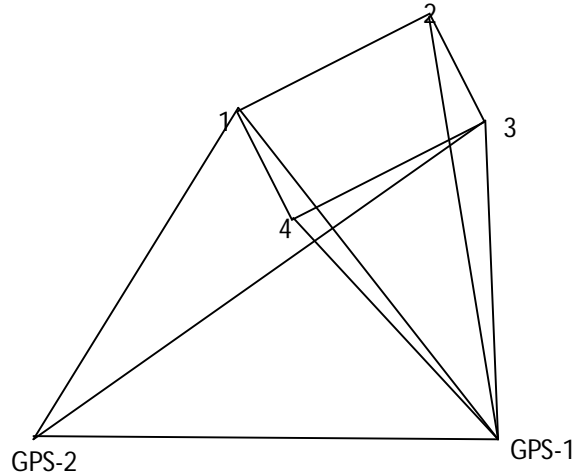
Từ các điểm gốc trên mặt sàn tầng 1 và lưới khống chế được bố trí xung quanh công trình, một lưới khống chế đo bằng máy toàn đạc điện tử được xây dựng để xác định tọa độ của các điểm gốc quan trắc bên ngoài công trường với sai số trung phương vị trí điểm yếu nhất là  $\pm 4\text{mm}$ . Lưới khống chế này sau đó được kiểm tra lại bằng máy GPS cho thấy các điểm khống chế có độ tin cậy cao. Từ tọa độ GPS WGS84 UTM múi 48 và tọa độ các điểm gốc trong hệ tọa độ địa phương tại công trường có thể xác định các tham số tính chuyển giữa hai hệ tọa độ theo phương pháp Helmert.

### 3.2 Xác định độ thẳng đứng công trình bằng GPS

Tại mỗi kết cấu lõi của công trình có xác định độ thẳng đứng của công trình bằng cách xây dựng một lưới khống chế như trên hình 5 với hai điểm gốc khống chế là GPS-1 và GPS-2 nằm gần công trường. 1, 2, 3, 4 là các điểm chiếu đứng của kết cấu lõi. Kết quả đo được sẽ so sánh với tọa độ do phía thi công xác định được và cho độ lệch của trục đứng công trình theo các phương X, Y của hệ trục tọa độ công trường.

Tọa độ các điểm 1, 2, 3, 4 được xác định bằng chế độ đo tĩnh với mỗi ca đo kéo dài từ 25-40 phút/1 ca đo nhằm mục đích tránh ảnh hưởng của dao động kết cấu công trình đến kết quả đo. Quá trình xử lý kết quả đo GPS được tọa độ các điểm 1, 2, 3, 4 trong hệ tọa độ UTM múi 48 với hai điểm khống chế là GPS-1 và GPS-2. Các tọa độ điểm này sau đó được tính chuyển về hệ tọa độ công trường bằng cách sử dụng phương pháp tính chuyển Helmert với các tham số tính chuyển góc xoay =  $341^{\circ} 08' 25.516''$ , tham số tỷ lệ = 1.000054498, tịnh tiến trục hướng Bắc = -2038035.9188m và tịnh tiến trục hướng Đông = -1231199.3409m.

Tại chu kỳ đầu tiên sau khi đo bằng máy GPS, tác giả đã sử dụng máy toàn đạc điện tử kiểm tra lại toàn bộ các cạnh trên kết cấu lõi (core) trong lưới và đem so sánh với chiều dài cạnh đo bằng GPS nhằm kiểm tra kết quả đo GPS.



**Hình 5.** Lưới khống chế xác định độ thẳng đứng của công trình tại các điểm thông tầng 1, 2, 3, 4 trên kết cấu lõi B

Đối với công trình nhà 66 tầng Lotte thì cứ 3 tầng lại yêu cầu kiểm tra độ thẳng đứng của các trục công trình một lần cho mỗi kết cấu lõi. Sau khi bình sai lưới GPS cho mỗi kết cấu lõi, ví dụ kết cấu lõi A tầng 28 có thể được kết quả như bảng 1.

**Bảng 1.** Tọa độ sau bình sai các điểm quan trắc trực đứng công trình của kết cấu lõi A, tầng 28 cho 4 điểm 1, 2, 3, 4 trong hệ tọa độ WGS-84

Điểm	N (X) (m)	SSố (mm)	E (Y) (m)	SSố (mm)
C1-1	2326522.3888	0.4	506321.4963	0.6
C1-2	2326528.5183	3.4	506339.4746	4.0
C1-3	2326520.1020	1.0	506342.3652	1.4
C1-4	2326513.9574	0.6	506324.3791	0.8
GPS2	2326417.4339	N/A	506378.9318	N/A

Từ kết quả bình sai của lưới GPS, tính chuyển về hệ tọa độ công trường theo bảng 2 và xác định được độ chênh tọa độ ở bảng 3.

**Bảng 2.** Kết quả tính chuyển tọa độ 4 điểm sang hệ tọa độ X, Y trên công trường

STT	N (m)	E (m)	X (m)	Y (m)
1	2326522.3888	506321.4963	26.6507	54.8015
2	2326528.5183	506339.4746	26.6396	73.7970
3	2326520.1020	506342.3652	17.7403	73.8119
4	2326513.9574	506324.3791	17.7396	54.8041

**Bảng 3.** Kết quả độ chênh giữa tọa độ điểm trực đứng do đơn vị thi công xác định và tọa độ xác định bằng GPS tại Core A tầng 28

STT	Tọa độ GPS		Tọa độ thi công		Chênh tọa độ	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	$e_x$ (mm)	$e_y$ (mm)
1	26.6507	54.8015	26.650	54.800	0.7	1.5
2	26.6396	73.797	26.650	73.800	-10.4	-3.0
3	17.7403	73.8119	17.750	73.800	-9.7	11.9
4	17.7396	54.8041	17.750	54.800	-10.4	4.10

**Bảng 4.** Độ nghiêng của trục đứng tại các điểm 1, 2, 3, và 4 của Core A, tầng 28

STT	e (mm)	Góc nghiêng (giây)	Hướng lệch		
			Độ	Phút	Giây
1	1.66	6.47	64	58	59.2
2	10.82	42.32	196	5	26.9
3	15.35	60.03	129	11	3.7
4	11.18	43.71	158	29	2.8

Sau khi có tọa độ của các điểm trục đứng công trình xác định bằng GPS, có thể xác định được độ lệch trục đứng, góc lệch và hướng lệch [3] của kết cấu lõi tại các điểm 1, 2, 3, 4 cho tầng 28 như bảng 4.

#### 4. Kết luận và đề xuất

Từ quá trình nghiên cứu về yêu cầu, giải pháp và thực nghiệm xác định độ thẳng đứng của các trục đứng công trình bằng công nghệ GPS, nhóm tác giả có một số kết luận và đề xuất như sau:

Sau khi xem xét và nghiên cứu hiện tượng rung lắc và dao động của các kết cấu công trình có chiều cao lớn, có thể thấy rằng các yếu tố này ảnh hưởng không nhỏ đến việc chuyển tọa độ lên các tầng cao của công trình. Sai số do sự rung lắc và dao động của công trình cần được loại bỏ bằng cách chuyển tọa độ rất nhiều lần và lấy giá trị trung bình của các vị trí tọa độ này. Việc sử dụng GPS sẽ cho phép khử được các ảnh hưởng do rung lắc và dao động của các kết cấu công trình khi lên cao vì các trị đo GPS là trung bình của nhiều trị đo ở nhiều thời điểm khác nhau. Vấn đề này cần được nghiên cứu thêm để từ đó đưa ra các quy định về đo đạc, chuyển tọa độ lên các tầng cao của các công trình có chiều cao lớn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Xây dựng, "Tiêu chuẩn TCVN 4453 : 1995 quy định về thi công nghiệm thu và thi công công trình bê tông cốt thép", Hà Nội, 1995.
2. Bộ Xây dựng, "Tiêu chuẩn TCXDVN 309 : 2004. Quy định về công tác trắc địa nhà cao tầng", Hà Nội, 2004.
3. Bộ Xây dựng, "Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam: TCXDVN 357: 2005, Quy trình đo độ nghiêng công trình bằng phương pháp trắc địa", Hà Nội, 2005.
4. Gary Sedman Chisholm, Jason Scott Daly, and Michael Anthony Hansby, "Relating to the determination of verticality in tall building and other structures", 5841353, Nov. 28, 1998.
5. DOUGLAS MCL HAYES, IAN R SPARKS, and JOËL VAN CRANENBROECK, "Core Wall Survey Control System for High Rise Buildings", in *XXIII FIG Congress: Shaping the Change, Munich, Germany, 2006*.
6. Joël van CRANENBROECK, Doug HAYES, Soang Hun OH, and Mohammed HAIDER, "Core Wall Control Survey - The State of Art," in *7th FIG Regional Conference*: , Hanoi, Vietnam, 2009.
7. HỒ THỊ LAN HƯƠNG, HỒ THỊ HOÀI, "Đánh giá tình hình ứng dụng hệ thống quan trắc cầu dây văng và cầu dây võng ở Việt Nam", *Hội thảo Khoa học "Công nghệ địa tin học trong quản lý cơ sở hạ tầng"*, Đại học Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2012.
8. HYO SEON PARK, HONG GYOO SOHN, ILL SOO KIM, and JAE HWAN PARK, "Application of GPS to monitoring of wind-induced response of high rise buildings," *Structure Design of Tall Spec Building*, pp. 117-132, June 2008.
9. Noemi Emanuela Cazzaniga, Livio Pinto, Franco Bettinal, and Antonella Frigerio, "Structure monitoring with GPS and accelerometers: the chimney of the power plant in Piacenza, Italy", in *12th FIG Symposium, Baden, 2006*.
10. TRẦN MẠNH NHẤT và nnk, "Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình công nghiệp và nhà cao tầng", Hà Nội, 2002.