

# Mô phỏng dao động nền Hà Nội và TP Hồ Chí Minh từ vi dao động và động đất xa

Simulation of ground motion in Hanoi and Ho Chi Minh City using local microtremor data and far-field earthquake effects

> TS NGÔ VIỆT DŨNG\*, TS LÊ TRUNG KIÊN

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ kỹ thuật TP.HCM

\*Email: dungnv@hcmute.edu.vn

## TÓM TẮT

Mặc dù Việt Nam không nằm trong các khu vực có hoạt động động đất mạnh, các đô thị lớn như TP.HCM và Hà Nội vẫn có thể chịu ảnh hưởng đáng kể của dao động nền do sóng địa chấn lan truyền từ các nguồn động đất xa.

Nghiên cứu này nhằm mô phỏng dao động nền đất tại hai khu vực trên bằng cách kết hợp dữ liệu thí nghiệm vi dao động microtremor đo tại chỗ với thông tin nguồn động đất xa và các mô hình suy giảm gia tốc. Các đặc trưng động lực của nền đất, bao gồm tần số trội, vận tốc sóng cắt, hệ số khuếch đại và cấu trúc lớp đất, được xác định từ phân tích vi dao động và tích hợp vào mô hình mô phỏng chuyển động nền theo lịch sử thời gian dựa trên cách tiếp cận ngẫu nhiên và bán thực nghiệm. Gia tốc nền tại bề mặt được ước tính thông qua các quan hệ suy giảm phù hợp. Trên cơ sở đó, có thể đánh giá khả năng xuất hiện dao động chu kỳ dài với giá trị PGA đáng kể do các trận động đất lớn ở xa và các đứt gãy nguồn xa.

Các chuỗi gia tốc mô phỏng được sử dụng làm đầu vào cho phân tích lịch sử thời gian của một số công trình nhà cao tầng điển hình tại Hà Nội và TP.HCM nhằm đánh giá ứng xử động lực của kết cấu. Kết quả cho thấy chuyển vị đỉnh công trình không lớn, nhưng độ lệch tầng có thể đạt giá trị đáng kể, đồng thời gia tốc tại mái tầng mạnh đối với các công trình có độ cứng ngang nhỏ.

**Từ khóa:** Dao động nền chu kỳ dài; vi dao động nền đất; động đất nguồn xa; mô phỏng chuyển động nền; nhà cao tầng.

## ABSTRACT

Although Viet Nam is not located in regions with strong seismic activity, major urban areas such as Ho Chi Minh City and Hanoi may still be significantly affected by ground motions induced by seismic waves propagating from distant earthquake sources.

This study aims to simulate ground motions in these two cities by integrating in-situ microtremor measurement data with information on far-field earthquake sources and appropriate ground motion attenuation models. Dynamic soil properties, including predominant frequency, shear-wave velocity, amplification factors, and subsurface stratification are derived from microtremor analyses and incorporated into ground motion time-history simulations based on stochastic and semi-empirical approaches. Surface ground accelerations are estimated using suitable attenuation relationships, enabling the assessment of potential long-period ground motions with considerable peak ground acceleration generated by large distant earthquakes and far-source fault systems.

The simulated acceleration time histories are subsequently used as input motions for time-history analyses of several representative high-rise buildings in Hanoi and Ho Chi Minh City to evaluate their dynamic structural behavior. The results indicate that roof displacements are relatively small; however, significant inter-storey drifts may occur, accompanied by markedly increased roof accelerations in buildings with low lateral stiffness.

**Keywords:** Long-period ground motion; microtremor measurements; far-field earthquakes; ground motion simulation; high-rise buildings.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong những thập kỷ gần đây, mô phỏng dao động nền đất đã trở thành một công cụ quan trọng trong phân tích đáp ứng động đất của công trình, đặc biệt tại các khu vực thiếu dữ liệu gia tốc nền thực đo. Nhiều nghiên cứu quốc tế đã phát triển và hoàn thiện các phương pháp mô phỏng chuyển động nền theo lịch sử thời gian, phục vụ đánh giá ứng xử động lực của kết cấu và hạ tầng kỹ thuật. Boore (2003) [1] đã đặt nền tảng cho phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên dao động nền, cho phép tái tạo đặc trưng phổ và dạng sóng gia tốc dựa trên các tham số nguồn, đường truyền và điều kiện nền đất. Trên cơ sở đó, Burks và Baker (2015) [2] đã tiến hành kiểm chứng và ứng dụng các mô hình mô phỏng dao động nền cho nhiều bài toán kỹ thuật xây dựng, khẳng định tính hiệu quả của phương pháp trong các phân tích đáp ứng kết cấu khi dữ liệu quan trắc còn hạn chế. Gần đây, Yang và cộng sự (2022) [3] đã phát triển các mô hình mô phỏng lịch sử thời gian dao động nền với độ tin cậy cao, nhấn mạnh vai trò của việc kết hợp mô hình nguồn động đất, suy giảm địa chấn và điều kiện nền địa phương trong phân tích đáp ứng động đất.

Tại Việt Nam, mặc dù không nằm trong các khu vực có hoạt động động đất mạnh, một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng dao động nền do động đất, đặc biệt từ các nguồn xa, vẫn có thể ảnh hưởng đến an toàn công trình. Trần Thị Mỹ Thành (2007) [4] đã mô phỏng trận động đất Điện Biên  $M = 5.3$ , cung cấp cơ sở ban đầu cho việc áp dụng các mô hình mô phỏng dao động nền trong điều kiện địa chất Việt Nam. Phùng Ngọc Dũng và cộng sự (2012) [5] đã xây dựng phổ phản ứng đàn hồi và phổ thiết kế cho kết cấu chịu động đất, góp phần hoàn thiện cơ sở lý thuyết cho thiết kế kháng chấn. Gần đây hơn, Lê Khắc Hưng (2021) [6] đã bàn luận chi tiết về dữ liệu gia tốc nền tại bề mặt và đá gốc phục vụ thiết kế công trình ngầm tại Hà Nội, nhấn mạnh sự cần thiết của việc xác định hợp lý chuyển động nền đầu vào trong điều kiện thiếu số liệu quan trắc.

Tuy nhiên, các nghiên cứu trong nước hiện nay vẫn còn hạn chế trong việc mô phỏng dao động nền chu kỳ dài do các nguồn động đất xa và đánh giá ảnh hưởng của chúng đến các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM, nơi điều kiện nền đất mềm và công trình cao tầng ngày càng phổ biến. Đặc biệt, việc khai thác dữ liệu vi dao động (microtremor) để mô phỏng dao động nền và phục vụ phân tích lịch sử thời gian công trình vẫn chưa được nghiên cứu một cách hệ thống.

Trong nghiên cứu này, gia tốc phổ tại lớp đá gốc của Hà Nội và TP.HCM được ước tính thông qua quan hệ suy giảm của Uchiyama và Midorikawa (2006) [7] đối với các nguồn đứt gãy xa. Tiếp theo, dạng sóng gia tốc tại bề mặt nền đất của hai đô thị được xác định bằng cách sử dụng tỷ số phổ thu được từ thí nghiệm vi dao động kết hợp với phép biến đổi Fourier ngược. Phương pháp này cho phép mô phỏng hợp lý dao động nền tại các khu vực thiếu dữ liệu gia tốc thực đo, đồng thời cung cấp chuỗi gia tốc đầu vào đáng tin cậy cho phân tích đáp ứng động đất của công trình cao tầng trong điều kiện Việt Nam.

## 2. ƯỚC TÍNH DAO ĐỘNG NỀN CHU KỲ DÀI TẠI HÀ NỘI VÀ TP.HCM

Trong nghiên cứu này, dao động nền chu kỳ dài tại Hà Nội và TP.HCM được ước tính thông qua hai bước chính: (i) xác định gia tốc phổ tại lớp đá gốc bằng quan hệ suy giảm phù hợp với nguồn động đất xa, và (ii) ước tính dạng sóng gia tốc tại bề mặt nền đất bằng cách sử dụng tỷ số phổ vi dao động và phép biến đổi Fourier ngược.

### 2.1. Quan hệ suy giảm gia tốc

Gia tốc phổ tại đá gốc được ước tính bằng quan hệ suy giảm của Uchiyama và Midorikawa (2006) [7]. Quan hệ này cho phép xác định phổ phản ứng gia tốc trên đá gốc, được định nghĩa là bề mặt

trên của lớp địa chất có vận tốc sóng cắt trung bình  $30 \text{ m} (V_{30}) = 500 \text{ m/s}$  [7]. Quan hệ suy giảm được xây dựng dựa trên 3.198 bản ghi gia tốc mạnh từ 52 trận động đất xảy ra tại Nhật Bản và khu vực lân cận trong giai đoạn 1978-2003, với độ lớn mômen từ 5,5 đến 8,3. Mô hình này bao phủ nhiều kiểu nguồn động đất khác nhau, bao gồm động đất mảng hút chìm, động đất vỏ và động đất trong mảng, với khoảng cách đứt gãy gần nhất tối đa khoảng 300 km [7].

Trong nghiên cứu này, đứt gãy THA-KHAEK tại Thái Lan được lựa chọn làm nguồn động đất kích bản đối với Hà Nội, với khoảng cách đứt gãy gần nhất khoảng 357 km. Đối với TP.HCM, nguồn động đất xa được xét là trận động đất Sumatra năm 2004, với khoảng cách từ đứt gãy nguồn đến khu vực nghiên cứu khoảng 1.174 km. Các khoảng cách này vượt quá phạm vi áp dụng ban đầu của quan hệ suy giảm Uchiyama-Midorikawa. Tuy nhiên, do hiện chưa có quan hệ suy giảm phù hợp cho khoảng cách nguồn lớn như vậy và số lượng các mô hình suy giảm cho điều kiện đá gốc còn hạn chế, nghiên cứu này sử dụng phép ngoại suy của quan hệ Uchiyama-Midorikawa để ước tính gia tốc phổ tại đá gốc. Quan hệ suy giảm gia tốc phổ được biểu diễn theo dạng sau:

$$\log SA(T) = a(T)M_w + b(T)X + g + d(T)D + c(T) + \sigma(T) \quad (1)$$

Trong đó:

SA: phổ phản ứng gia tốc ( $\text{cm/s}^2$ )

T: chu kỳ (giây)

$a(T) \sim d(T)$ : các hệ số hồi quy

$\sigma(T)$ : logarit của độ lệch chuẩn

$M_w$ : độ lớn mômen

X: khoảng cách đứt gãy gần nhất (km)

D: độ sâu tâm chấn (km)

$$g = -\log(X+e) \quad D \leq 30 \text{ km}$$

$$g = 0.4 \log(1.7D+e) - 1.4 \log(X+e) \quad D > 30 \text{ km}$$

$$e = 0.006 \cdot 100.5 M_w$$

### 2.2. Quan hệ suy giảm gia tốc

$a(T) \sim d(T)$  được xác định bằng phân tích hồi quy. Sau đó,  $a(T) \sim d(T)$  có thể được ước tính bởi  $x(T)$ :

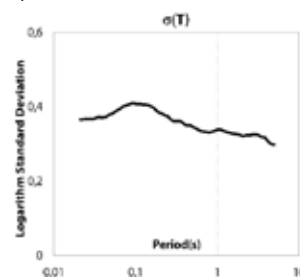
$$x(T) = x_0 + \sum_{i=1}^4 x_i \cdot (\log T)^i \quad (2)$$

Trong đó  $x_0 \sim x_4$  được tra cứu từ Bảng 1:  $x(T)$  là  $a(T) \sim d(T)$  và  $x(T)$  là hệ số hồi quy được xác định trong Uchiyama và Midorikawa [7].

Bảng 1. Hệ số hồi quy [7]

Hệ số	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
$a(T)$	0.6692	0.3140	0.1199	-0.1135	-0.0541
$b(T)$	-0.0018	0.0029	-0.0010	-0.0006	0.0003
$c(T)$	-0.8028	-3.4501	-1.3750	1.0960	0.5136
$d(T)$	0.0025	-0.0054	-0.004	0.0012	0.0001

Giá trị  $\sigma(T)$ : logarit của độ lệch chuẩn trong công thức (1) được truy xuất trực tiếp từ biểu đồ của Uchiyama - Midorikawa [7] như thể hiện trong (Hình 1).



Hình 1. Logarit của độ lệch chuẩn

**2.3. Các đứt gãy nguồn xa**

Phần này mô tả các đứt gãy được sử dụng để ước tính chuyển động mặt đất ở Hà Nội và TP.HCM.

*a. Đứt gãy của trận động đất Sumatra năm 2004*

Trận động đất này được sử dụng để ước tính chuyển động mặt đất ở TP.HCM với mối quan hệ suy giảm. Nó xảy ra lúc 00:58:53 UTC, ngày 26/12/2004 [8]. Theo Stein và Okal [9], độ lớn mômen của trận động đất này là  $M_w = 9,3$ . Khoảng cách đứt gãy gần nhất đến TP.HCM là 1.174 km như thể hiện trong (Hình 2) và độ sâu là  $D = 30$  km.

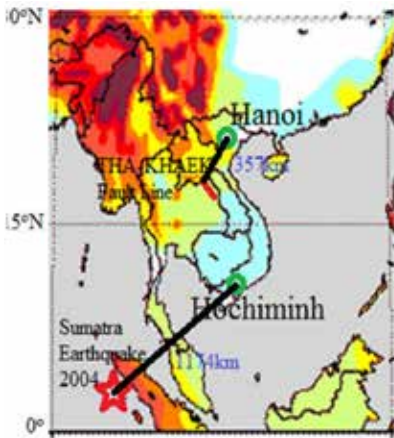
*b. Đường đứt gãy THA KHAEK ở Thái Lan*

Đường đứt gãy này được sử dụng để ước tính chuyển động mặt đất ở Hà Nội. Theo Matsuda [10], độ lớn mômen của một đứt gãy có thể được ước tính bằng chiều dài đứt gãy như sau:

$$M_w = 0.88 * (\log L + 2.9) / 0.6 + 0.54 \tag{3}$$

Trong đó  $L$  là chiều dài đứt gãy.

Nếu  $L$  là 140 km, thì ta thu được  $M_w = 7,94$ . Khoảng cách đứt gãy gần nhất đến Hà Nội là 357 km như thể hiện trong (Hình 2) và độ sâu giả định là  $D = 30$  km.

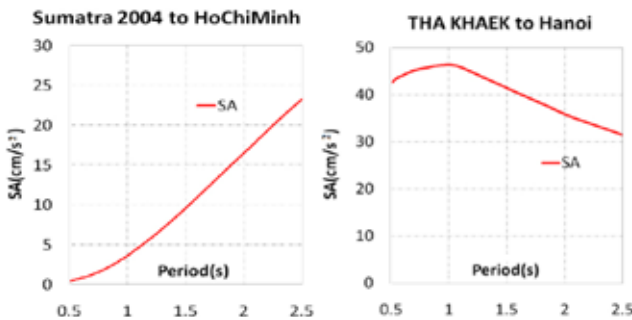


Hình 2. Khoảng cách đứt gãy gần nhất đến Hà Nội và TP.HCM (ngôi sao và đường màu đỏ là tâm chấn và đường đứt gãy, vòng tròn màu xanh lá cây là các thành phố, đường màu đen là khoảng cách đứt gãy gần nhất)

**2.4. Phổ gia tốc trên nền đá và trên bề mặt đất của Hà Nội và TP.HCM**

*a. Phổ gia tốc tại nền đá*

Phổ phản ứng trên nền đá ở TP.HCM (trái) và Hà Nội (phải) được đánh giá bằng cách sử dụng phương trình (1) của quan hệ suy giảm [7] như thể hiện trên (Hình 3).



Hình 3. Phổ phản ứng gia tốc tại nền đá TP.HCM (trái) và Hà Nội (phải)

Từ các phổ phản ứng gia tốc đã được ước tính tại hai thành phố, có thể rút ra nhận xét sau: Hình bên trái của (Hình 3) cho thấy đường cong có xu hướng dốc lên. Chu kỳ trội của vận tốc quan trắc được tại một trạm quan sát cách tâm chấn của trận động đất Sumatra năm 2004 hơn 350 km lớn hơn 10 giây. Nếu mở rộng dải tính toán, chu kỳ trội có thể xuất hiện trong cùng khoảng chu kỳ đó.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi chỉ tập trung vào dải chu kỳ từ 1,0 đến 2,5 giây vì đây là khoảng chu kỳ riêng đặc trưng của các công trình nhà cao tầng ở Việt Nam.

*b. Phổ gia tốc tại mặt đất*

Giả thiết sau đây có thể được rút ra từ Uehan [11], theo đó phổ gia tốc tại mặt đất có thể được ước tính bằng:

$$S_{a(surfac)}(f) = S_{a(bed\ rock)}(f) \times S_{H/V}(f) \tag{4}$$

Trong đó  $S_{H/V}(f)$  là tỷ số phổ gia tốc của vi địa chấn (microtremor).  $S_{H/V}(f)$  được tính toán sử dụng dữ liệu của các phép đo vi địa chấn (microtremor) đã được thực hiện hai lần tại TP.HCM với 5 địa điểm và Hà Nội với 2 địa điểm đã được trình bày trong một bài báo trước đây của tác giả [12].

Định nghĩa nền đá gốc (bedrock) trong phương trình này là đá gốc kỹ thuật, và phù hợp với định nghĩa đá gốc được sử dụng trong quan hệ suy giảm.

Quy trình ước tính gia tốc phổ tại đá gốc từ phổ gia tốc phản ứng thu được từ quan hệ suy giảm được trình bày như sau:

Bước 1: Chọn một phổ Fourier bất kỳ của gia tốc.

Bước 2: Thực hiện phép biến đổi Fourier ngược của phổ Fourier để thu được dạng sóng gia tốc theo thời gian.

Bước 3: Tính phổ phản ứng của dạng sóng gia tốc này.

Bước 4: Chia phổ phản ứng ước tính từ quan hệ suy giảm cho phổ gia tốc phản ứng vừa tính được để thu được một hàm hiệu chỉnh theo chu kỳ.

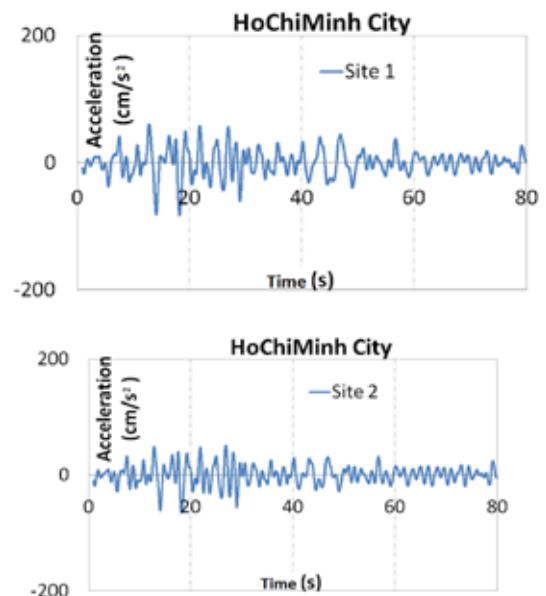
Bước 5: Nhân hàm hiệu chỉnh này với phổ Fourier gia tốc ban đầu để thu được phổ Fourier gia tốc đã được hiệu chỉnh.

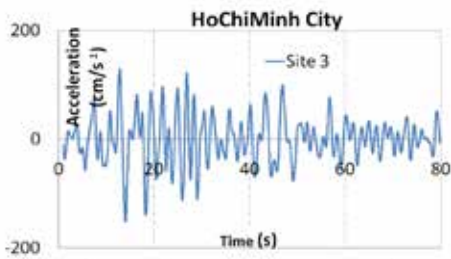
Quy trình từ bước 2 đến bước 5 được lặp lại cho đến khi hàm hiệu chỉnh tiến gần đến giá trị 1 tại mọi chu kỳ. Cuối cùng, ở vòng lặp cuối, gia tốc phổ sẽ được xác định bằng cách nhân phổ Fourier gia tốc đã hiệu chỉnh với hàm hiệu chỉnh cuối cùng.

**2.5. Gia tốc tại mặt đất của Hà Nội và TP.HCM**

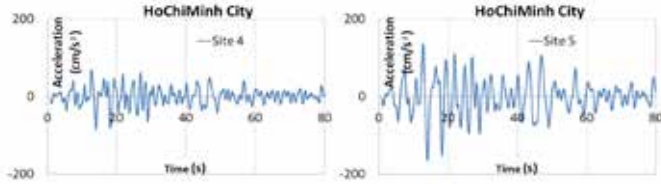
Việc ước tính dạng sóng gia tốc tại mặt đất được thực hiện bằng phép biến đổi Fourier ngược từ gia tốc phổ tại mặt đất. Sau khi thực hiện biến đổi Fourier ngược, đường bao (envelope curve) được áp dụng nhằm biểu diễn chuyển động động đất [13]. Thông tin pha không được xét đến trong các chuyển động động đất này.

Gia tốc tại mặt đất của hai thành phố Việt Nam nêu trên được xác định từ gia tốc phổ ước tính theo phương trình (4) và được trình bày trong (Hình 4) đến (Hình 6).

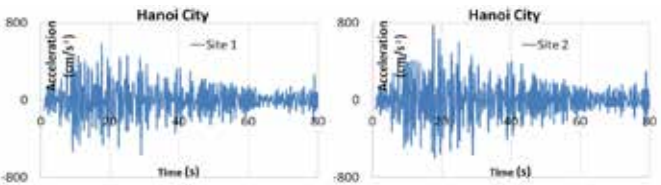




Hình 4. Gia tốc mặt đất của TP.HCM tại các địa điểm 1, 2 và 3



Hình 5. Gia tốc mặt đất của TP.HCM tại các địa điểm 4 và 5



Hình 6. Gia tốc mặt đất của Hà Nội tại các địa điểm 1 và 2

Bảng 2. Gia tốc nền cực đại (PGA) tại các vị trí ở Hà Nội và TP.HCM (với g là gia tốc trọng trường)

Site	Site1	Site2	Site3	Site4	Site5	Site1	Site2
PGA(g)	0.08	0.07	0.16	0.09	0.17	0.60	0.79
Name	LVT	TD	KH	LTR	HVT	NUCE	YP
City	Ho Chi Minh					Ha Noi	

Từ các kết quả nêu trên, có thể rút ra một số nhận xét như sau: Các trận động đất lớn có nguồn xa, chẳng hạn như trận động đất Sumatra năm 2004, có thể gây ra các chuyển động nền chu kỳ dài tại TP.HCM với giá trị gia tốc nền cực đại (PGA) đáng kể, lên tới 0,17g. Các đứt gãy nguồn xa như đứt gãy THA-KHAEK ở Thái Lan với quan hệ suy giảm nguồn có thể tạo ra tại Hà Nội các chuyển động nền chu kỳ dài có PGA lớn (lên tới 0,79g).

### 3. PHÂN TÍCH ĐÁP ỨNG THEO LỊCH SỬ THỜI GIAN CÁC CÔNG TRÌNH TẠI HÀ NỘI VÀ TP.HCM

#### 3.1. Tổng quan thông tin phân tích của 8 công trình nhà cao tầng được lựa chọn

Trong mục này, các gia tốc thu được ở phần trước được sử dụng để thực hiện phân tích lịch sử thời gian cho 8 công trình nhà cao tầng (5 công trình tại Hà Nội và 3 công trình tại TP.HCM).

Tám công trình được lựa chọn tại Hà Nội và TP.HCM được mô hình hóa bằng phần mềm ETABS Nonlinear V9.4.7 do công ty CSI (Computers & Structures, Inc.) phát triển (chương trình phân tích hệ nhiều bậc tự do) (Nguồn: <http://www.csiberkeley.com/etabs>). ETABS cung cấp một tập hợp rất đa dạng các công cụ phân tích và thiết kế cho kỹ sư kết cấu làm việc với các công trình xây dựng [14].

Hệ kết cấu của tất cả các công trình đều là bê tông cốt thép, bao gồm dầm, cột, sàn và vách cứng. Các vật liệu bê tông, thép và

kích thước cấu kiện được định nghĩa chính xác trong ETABS, thống nhất với các thông số trong hồ sơ thiết kế của từng công trình theo tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam. Với giả thiết rằng sàn có độ cứng tuyệt đối trong mặt phẳng của nó, mỗi tầng được gán một màng cứng (rigid diaphragm).

Tải trọng tĩnh và tải trọng sử dụng được xác định và gán cho từng công trình theo Tiêu chuẩn Việt Nam về tải trọng và tác động (TCVN 2737:2023). Nguồn khối lượng của mỗi công trình được xác định từ tải trọng, bao gồm 100% tải trọng tĩnh và 50% tải trọng sử dụng.

Bảng 3 và Bảng 4 lần lượt trình bày tên, địa chỉ, số tầng và chiều cao của các công trình tại TP.HCM và Hà Nội.

Sau khi thực hiện phân tích lịch sử thời gian với dạng phân tích tuyến tính, các giá trị cực đại tuyệt đối của chuyển vị đỉnh ( $u_{r(max)}$ ), gia tốc đỉnh ( $a_{r(max)}$ ) và độ lệch tầng ( $d_{(max)}$ ) của mỗi công trình được trích xuất trong bảng kết quả đầu ra. Thời gian phân tích lịch sử thời gian là 80 giây với bước thời gian 0,01 s. Chu kỳ trội của nền đất và chu kỳ riêng của các công trình nhỏ hơn 2,5 giây. Do nghiên cứu chỉ tập trung vào ảnh hưởng của chuyển động nền chu kỳ dài mà không xét đến thời gian kéo dài của chuyển động nền, nên khoảng thời gian phân tích 80 giây được xem là đủ để đảm bảo độ tin cậy của kết quả.

Bảng 3. Thông tin công trình tại TP.HCM

Tên	Địa chỉ	Số tầng	Chiều cao (m)
I. Southern Cross Sky View	Quận 7	20 (giả thiết)	66,35 (giả thiết)
IV. High-rise BMC	Quận 1	22	74,35
V. High-rise Office A&B Tower	Quận 1	28	98,00

Bảng 4. Thông tin công trình tại Hà Nội

Tên	Địa chỉ	Số tầng	Chiều cao (m)
II. High-rise XuanLa	Quận Tây Hồ	21	72,50
III. Vietcombank Tower	Đường Trần Quang Khải	26	78,50
VI. The LICOGI 13 Condominiums	Quận Thanh Xuân	21	62,30
VII. Industrial and Commercial Bank	Quận Ba Đình	21	61,20
VIII. CT CIPUTRA Apartment - D, E	Quận Từ Liêm	26	85,50

#### 3.2. Phân tích đáp ứng theo lịch sử thời gian sử dụng các gia tốc ước tính tại TP.HCM

Hình 7 thể hiện vị trí của các công trình và các điểm quan trắc vi địa chấn tại TP.HCM. Chỉ có công trình V nằm gần điểm quan trắc vi địa chấn số 2, trong khi các công trình còn lại nằm xa các điểm quan trắc vi địa chấn. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, giả thiết rằng ba công trình được bố trí tại các vị trí mà gia tốc nền động đất được ước tính tương ứng với từng điểm quan trắc vi địa chấn. Do đó, năm dạng sóng gia tốc đã được đưa vào phân tích lịch sử thời gian cho mỗi công trình nhằm khảo sát các dạng ứng xử có thể xảy ra.

Hình 8 trình bày một ví dụ về dạng sóng gia tốc thu được tại đỉnh công trình V ở vị trí số 3 tại TP.HCM. Kết quả của các phân tích lịch sử thời gian được liệt kê trong Bảng 5 đến Bảng 7. Các kết quả này cho thấy giá trị độ lệch tầng nhỏ hơn (lớn nhất đến 1,68% trong Bảng 7) và chuyển vị đỉnh nhỏ hơn (lớn nhất đến 1,43 m trong Bảng 7) so với các công trình tại thành phố Hà Nội. Tuy nhiên, giá trị độ lệch tầng lớn nhất có thể đạt tới 1,68% có khả năng gây ra một số ảnh hưởng bất lợi đến nội thất tại các tầng trên cùng của công trình.

Bảng 5. Building I: Southern Cross Sky View

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.23	0.38	0.44
Site2	0.25	0.40	0.47
Site3	0.63	0.91	1.15
Site4	0.29	0.44	0.53
Site5	0.38	0.56	0.71

Bảng 6. Building IV: High-rise Apartment BMC

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.33	0.32	0.55
Site2	0.26	0.31	0.46
Site3	0.74	0.81	1.26
Site4	0.38	0.38	0.61
Site5	0.71	0.59	1.16

Bảng 7. Building V: High-rise Office A&B Tower

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.61	0.41	0.72
Site2	0.45	0.31	0.53
Site3	1.18	0.81	1.39
Site4	0.57	0.43	0.75
Site5	<b>1.43</b>	0.90	<b>1.68</b>

**3.3. Phân tích đáp ứng theo lịch sử thời gian sử dụng các gia tốc ước tính tại Hà Nội**

Hình 9 thể hiện vị trí của các công trình và các điểm quan trắc vi địa chấn tại Hà Nội. Phần lớn các công trình nằm khá xa các điểm quan trắc vi địa chấn. Tuy nhiên, tương tự như giả thiết được áp dụng cho TP.HCM, hai dạng sóng gia tốc ước tính đã được đưa vào phân tích lịch sử thời gian cho mỗi công trình nhằm đánh giá các dạng ứng xử có thể xảy ra.

Hình 10 trình bày ví dụ về dạng sóng gia tốc thu được tại đỉnh công trình II ở vị trí số 1 tại Hà Nội. Kết quả của các phân tích lịch sử thời gian được trình bày trong Bảng 8 đến Bảng 12. Chuyển vị đỉnh của các công trình không quá lớn (chỉ đạt tối đa 0,91 m trong Bảng 5), tuy nhiên độ lệch tầng lớn nhất có thể đạt tới 2,15% (Bảng 8), điều này có thể ảnh hưởng đến khả năng làm việc của công trình. Độ lệch tầng lớn có thể dẫn đến hư hỏng nghiêm trọng các bộ phận phi kết cấu, chẳng hạn như thiết bị, máy móc, đồ nội thất hoặc hệ thống kỹ thuật bố trí bên trong công trình. Ngoài ra, gia tốc nền cực đại tại đỉnh công trình (PGA) ở một số nhà cao tầng có độ cứng ngang yếu đạt giá trị rất lớn.

Bảng 8. Building VI: The LICOGI 13 Condominiums

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.83	2.61	1.72
Site2	0.91	3.03	2.15

Bảng 9. Building VII: Industrial and Commercial Bank

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.52	1.78	1.20
Site2	0.61	2.08	1.44

Bảng 10. Building VIII: CT CIPUTRA Apartment - D, E

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.73	2.64	1.22
Site2	0.82	3.23	1.41

Bảng 11. Building II: High-rise XuanLa

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.75	1.60	2.14
Site2	0.69	1.51	1.94

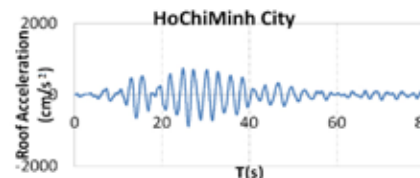
Bảng 12. Building III: Vietcombank Tower

THA cases	$u_{r(max)}(m)$	$a_{r(max)}(g)$	$d_{max}(\%)$
Site1	0.67	2.45	1.83
Site2	0.72	2.59	1.82

( $a_{r(max)}$  được biểu diễn theo đơn vị  $g=981\text{ cm/s}^2$ : gia tốc trọng trường)



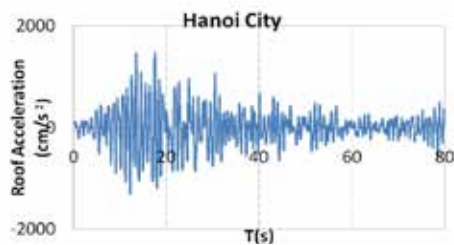
Hình 7. Vị trí công trình (đỏ) và điểm quan trắc vi địa chấn (xanh lá) trên bản đồ TP.HCM



Hình 8. Gia tốc tại đỉnh công trình V ở địa điểm số 3 tại TP.HCM



Hình 9. Vị trí công trình (đỏ) và điểm quan trắc vi địa chấn (xanh lá) trên bản đồ Hà Nội



Hình 10. Gia tốc tại đỉnh công trình II ở vị trí số 1 tại Hà Nội

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo này chỉ là bước thử nghiệm ban đầu nhằm mô phỏng và ước tính gia tốc tại mặt đất của Hà Nội và TP.HCM qua việc sử dụng các quan hệ suy giảm động đất. Các chuyển động nền chu kỳ dài với giá trị gia tốc nền cực đại (PGA) lớn tại Hà Nội và TP.HCM có thể được ước tính từ các trận động đất lớn, chẳng hạn như trận động đất Sumatra năm 2004, cũng như từ các đứt gãy nguồn xa như đứt gãy THA-KHAEK tại Thái Lan.

Các gia tốc ước tính này được sử dụng để thực hiện phân tích lịch sử thời gian cho 8 công trình nhà cao tầng tại Hà Nội và TP.HCM nhằm đánh giá ứng xử của công trình. Kết quả phân tích cho thấy chuyển vị đỉnh của các công trình không quá lớn, tuy nhiên độ lệch tầng có giá trị đáng kể. Ngoài ra, gia tốc cực đại tại đỉnh công trình ở một số nhà cao tầng có độ cứng ngang yếu đạt giá trị lớn. Các kết quả này cho thấy chuyển động nền chu kỳ dài có thể gây ra những ảnh hưởng bất lợi nhất định đến các hệ thống kỹ thuật, nội thất bên trong công trình.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần thu thập thêm dữ liệu quan trắc vi địa chấn và dữ liệu khoan địa chất tại các thành phố khác. Đồng thời, các nguồn xa khác như các đứt gãy tại Đài Loan, Trung Quốc hoặc các trận động đất lớn cũng cần được xem xét nhằm đánh giá đầy đủ hơn ứng xử của các công trình nhà cao tầng dưới tác động của chuyển động nền chu kỳ dài có thể phát sinh tại bề mặt nền đất của các đô thị Việt Nam.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài mã số T2025-244, với sự tài trợ của Trường Đại học Công nghệ kỹ thuật TP.HCM năm 2025. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. David M. Boore., Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method. Pure appl. geophys. 160. 2003.
- [2]. Lynne S. Burks, Jack W. Baker., Ground motion simulations: validation and application for civil engineering problems. 2015.
- [3]. Lanlan Yang., et al., Ground motion Time History Simulation for Seismic Response History Analysis. 2022.
- [4]. Trần Thị Mỹ Thành., Mô phỏng trận động đất Điện Biên  $M = 5.3$ . Tạp chí Các khoa học về trái đất, Vol. 29 No. 4. 2007.
- [5]. Phùng Ngọc Dũng., et al., Phổ phản ứng đàn hồi và phổ thiết kế cho kết cấu chịu động đất - I. Phổ phản ứng đàn hồi, Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng Số 3/2012.
- [6]. Lê Khắc Hưng., Bàn luận về dữ liệu gia tốc nền trên bề mặt và tại lớp đá gốc phục vụ thiết kế công trình ngầm tại Hà Nội". Tạp chí Khoa học Kiến trúc - Xây dựng. 2021.
- [7]. Uchiyama Y., Midorikawa S., Attenuation relation-ship for response spectra on engineering bedrock considering effects of focal depth, Journal of Structural and Construction Engineering, Transactions of AIJ, No. 606, pp.81-88. 2006.
- [8]. USGS report of Sumatra earthquake. 2004.
- [9]. Stein. S., Okal. E. A., Ultralong period seismic study of the December 2004 Indian Ocean earthquake and implications for regional tectonics and the subduction process,

Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 1A, pp. S279-S295. 2007.

[10]. Matsuda T., Magnitude and Recurrence Interval of Earthquake from a Fault, Earthquake, Vol. 2, No. 28, pp.269-283. 1975.

[11]. Uehan. F., Evaluation methods and structures of the ground by microtremor, RRR. 2009.

[12]. Ngô Việt Dũng., Tính toán chu kỳ dao động chủ yếu của đất nền Thành phố Hồ Chí Minh và Hà Nội bằng quan trắc vi dao động., Tạp chí Xây dựng, số 11. 2015: pp.74-78.

[13]. Jennings. P. C., Housner. G. W., Tsai. N. C., Simulated earthquake motions, E.E.R.L., California Institute of Technology, Pasadena, 1968.

[14]. ETABS Building Analysis and Design, <https://www.csiamerica.com/products/etabs>.

[15]. Seismic report of Department for the quality of construction work to the Minister of Construction, Vietnam, 2011.

[16]. Koketsu. K., Miyake. H., A seismological overview of long-period ground motion, Journal of the Seismological Society of Japan, pp.133-142, 2008.

[17]. Kanamori. H., A semi-empirical approach to prediction of long-period ground motions from great earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 69, pp.1645-1670, 1979.

[18]. Kawabe. K., Kamae. K., Prediction of long-period ground motions from huge subduction earthquakes in Osaka, Japan, Journal of the Seismological Society of Japan, 2008.

[19]. Beck. J. L., Hall. J. F., Factors contributing to the catastrophe in Mexico City during the earthquake of September 19, 1985, Geophysical Research Letter 13, pp.593-596, 1986.

[20]. Koketsu. K., Hatayama. K., Furumura. T., Ikegami. Y., Akiyama. S., Damaging long-period ground motions from the 2003 Mw 8.3 Tokachi-oki, Japan, earthquake, Seismological Research Letter 76, pp.67-73, 2005.

[21]. Nakamura. Y., A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor of the ground surface, Quarterly Report of Railway Techn. Res. Inst. (RTRI), 30/1, 1989.

[22]. Tuladhar. R., Nguyen. N. H. C., Yamazaki. F., Seismic Microzonation of Hanoi, Vietnam Using Microtremor Observations, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, No. 2539, DVD-ROM, 2004.

[23]. Bowles. J. E., Physical and geotechnical properties of Soils, McGraw-Hill, 1979.

[24]. Specification for Highway Bridges in Japan - Part V Seismic design (section 3.6), Japan Road Association, 1996.