



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Evaluate impacts of ground vibration on construction projects and determine reasonable blasting scale for Phong Xuan limestone quarry in Thua Thien Hue province



Hieu Quang Tran ^{1,*}, An Dinh Nguyen ¹, Bao Dinh Tran ¹, Phonepaserth Soukhanouvong ²

¹ Faculty of Mining, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Postgraduate department of surface Mining, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 28th June 2020

Accepted 15th July 2020

Available online 31st Aug. 2020

Keywords:

Blasting,

Ground vibration,

Peak particle velocity.

One of the advanced methods to evaluate the effects of blasting vibration wave on the constructions in need of protection surrounding limestone quarries is to use measurement equipment, according to Norm QCVN 02:2008/BCT of Ministry of Industry and Trade (Vietnam). It is the first time in Vietnam when the authors employ the blasting monitoring equipment MR3000BLA made of Bartec Syscom (Switzerland). The equipment is integrated with the new 4.0 technology to measure the effects of blasting vibration waves on the constructions in need of protection surrounding and determine the reasonable size of blasting for Phong Xuan limestone quarry in Thua Thien Hue province.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

**Corresponding author*

E - mail: tranquanghieu@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(4).13



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Đánh giá ảnh hưởng của sóng chấn động nổ mìn đến các công trình bảo vệ và xác định quy mô vụ nổ hợp lý cho mỏ đá vôi Phong Xuân - Thừa Thiên Huế

Trần Quang Hiếu ^{1,*}, Nguyễn Đình An ¹, Trần Đình Bảo ¹, Phonepaserth Soukhanouvong ²

¹ Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Nghiên cứu sinh bộ môn Khai thác lộ thiên, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài 28/6/2020
 Chấp nhận 15/7/2020
 Đăng online 31/8/2020

Từ khóa:
 Nổ mìn,
 Sóng chấn động,
 Tốc độ dao động.

TÓM TẮT

Một trong những phương pháp đánh giá ảnh hưởng của sóng chấn động đến các công trình bảo vệ xung quanh khi tiến hành nổ mìn là sử dụng các thiết bị đo để giám sát và đánh giá mức độ ảnh hưởng của nó theo QCVN 01:2019/BCT của Bộ Công thương. Lần đầu tiên ở Việt Nam, nhóm tác giả đã đưa vào sử dụng thiết bị giám sát nổ mìn MR3000BLA của hãng Bartec Syscom (Thụy Sĩ) với tích hợp của những công nghệ mới 4.0 cho phép đo và đánh giá, dự báo ảnh hưởng của sóng chấn động nổ mìn đến các công trình bảo vệ một cách nhanh chóng và chính xác. Kết quả nghiên cứu của bài báo đã đi tính toán và xác định được quy mô vụ nổ hợp lý trên cơ sở các kết quả đo được từ thiết bị đo MR3000BLA để dự báo và giảm thiểu sóng chấn động khi tiến hành nổ mìn tại mỏ đá vôi Phong Xuân - tỉnh Thừa Thiên Huế.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Các mỏ khai thác đá vôi hiện nay ở Việt Nam hầu hết đều áp dụng phương pháp khoan-nổ mìn để phá vỡ đất đá làm vật liệu xây dựng thông thường. Đây là một trong những phương pháp phá vỡ có hiệu quả nhất so với các phương pháp làm toi khác. Khi thực hiện vụ nổ mìn thì chỉ có một phần năng lượng sinh công có ích sinh ra của chất nổ được sử dụng để phá vỡ đất đá, còn lại sẽ

có một phần rất nhỏ năng lượng sinh ra những công vô ích như sóng chấn động lan truyền trong môi trường đất đá, sóng va đập không khí, đá văng và sinh ra nhiều bụi, tiếng ồn ảnh hưởng xấu đến môi trường và sự an toàn của các công trình bảo vệ xung quanh (Aldas và Ecevitoglu, 2008; Ozer và nnk., 2008; Saadat và nnk., 2014). Mức độ ảnh hưởng của những tác động có hại này phụ thuộc vào nhiều yếu tố tự nhiên - kỹ thuật khác nhau của từng vụ nổ mìn cụ thể (Đàm Trọng Thắng và nnk., 2015; Hoang Nguyen, 2018; Elsemain, 2000; Giraudi và nnk., 2009; Simangunsong và Wahyudi, 2015).

Để đánh giá mức độ an toàn của sóng chấn động khi tiến hành các vụ nổ mìn thường sử dụng

*Tác giả liên hệ

E - mail: tranquanghieu@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(4).13

công thức của (QCVN 01:2019/BCT; Xadopski, 2004; Ganaponxki và nnk, 2011; Kutudop, 2009):

$$V = k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^m \quad \text{mm/s} \quad (1)$$

Trong đó: m - hệ số phụ thuộc vào khoảng cách đến vị trí nổ $m = (1 - 3)$; k - Hệ số phụ thuộc vào tính chất của môi trường, các thông số đặc tính chất nổ và công nghệ nổ mìn ($k = 50 - 600$); Q - khối lượng thuốc nổ đồng thời, (kg); R - khoảng cách từ vị trí nổ mìn đến điểm đo đặt máy giám sát, (m).

Khi nổ vi sai, tác dụng chấn động phụ thuộc vào thời gian giãn cách vi sai, số lượng nhóm vi sai và khối lượng thuốc nổ lớn nhất trong một nhóm vi sai. Khi nổ một số lượng lớn các lượng thuốc liên tiếp với thời gian giãn cách nhỏ (vi sai) thời gian dao động chung có thể lên đến 12 giây. Khi đó xác suất phát sinh dao động cộng hưởng sẽ tăng lên, gây ra sự chuyển dịch và tốc độ dao động những chi tiết kết cấu của những công trình cũng tăng lên, gây nguy hiểm cho các công trình. Bên cạnh đó, việc lặp đi lặp lại công tác nổ mìn cũng có ảnh hưởng rất lớn đến các công trình. Các công trình cũng như đất đá đều có khả năng giữ lại kết quả tác dụng của những đợt nổ trước ở mức độ nhất định. Từ đó dẫn đến sự phát sinh và tích lũy những nứt nẻ nhỏ mà thực tế ban đầu không có, dần dần sẽ dẫn đến sự phá hủy (Đàm Trọng Thắng và nnk, 2015; Hoang Nguyen, 2018).

Ở Việt Nam, tiêu chuẩn đánh giá tác dụng chấn động khi nổ mìn là tốc độ dao động riêng của các toà nhà, các công trình dân dụng và công nghiệp. Mức độ tác động của sóng chấn động nổ mìn đến công trình được quy định tại QCVN 01:2019/BCT (Vật liệu nổ công nghiệp - yêu cầu an toàn bảo quản, vận chuyển và sử dụng) để làm cơ sở đánh giá an toàn cho các công trình bảo vệ giới thiệu trong Bảng 1

Bảng 1. Giá trị vận tốc dao động phần tử cực trị tại nền đất của công trình đo giám sát ảnh hưởng của chấn động theo QCVN 01:2019/BCT.

TT	Khoảng cách từ vị trí nổ mìn đến công trình gần nhất R , m	Tốc độ dao động lớn nhất cho phép của sóng chấn động V , mm/s
1	0÷91,4	31,75
2	92÷1524	25,4
3	1524 trở lên	19

Trong bài báo này, nhóm tác giả nhóm tác giả đã đưa vào sử dụng thiết bị giám sát nổ mìn MR3000BLA mới nhất của hãng Bartec Syscom (Thụy Sĩ) với những công nghệ mới 4.0 tích hợp trong máy đo để đánh giá ảnh hưởng của sóng chấn động nổ mìn đến các công trình bảo vệ và xác định quy mô vụ nổ hợp lý khi tiến hành tính toán, áp dụng cho mỏ đá vôi Phong Xuân - tỉnh Thừa Thiên Huế.

2. Giới thiệu thiết bị đo giám sát nổ mìn MR3000BLA

Từ những thiết bị đo chấn động đầu tiên năm 1989, đến nay Bartec Syscom đã nghiên cứu, phát triển một dải rộng các thiết bị đo chấn động ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như xây dựng, giao thông, khai thác mỏ. Thiết bị MR3000BLA Portable là dòng sản phẩm được phát triển để giám sát sóng chấn động và áp lực sóng đập không khí gây ra bởi vụ nổ. MR3000BLA Portable gồm 04 kênh với 03 kênh đo chấn động và 01 kênh đo áp lực sóng đập không khí (Hình 1).



Hình 1. Thiết bị đo giám sát nổ mìn - MR3000BLA (<http://www.syscom.ch/products/mr3000bla/>).

Các ưu điểm khi sử dụng thiết bị MR 3000BLA:

- Toàn bộ thiết bị gồm bộ thu thập dữ liệu, đầu đo sóng chấn động và đo áp lực sóng đập không khí, được cất gọn trong một va ly nhựa, nhỏ gọn, chống nước và chống va đập đạt chuẩn IP66, có tay cầm thuận lợi khi đi công tác vào những khu vực có địa hình khó khăn, nhiều bụi bẩn.

- Khả năng giám sát đồng thời tại nhiều điểm đo, lên tới 32 điểm giúp giám sát trên phạm vi rộng nếu cần thiết.

- Truy cập wifi, 4G/3G, cho phép truyền dữ liệu không dây với laptop, điện thoại di động hay gửi dữ liệu về ngay trung tâm sau khi ghi nhận sự kiện vụ nổ (kết hợp phần mềm Sycom Cloud Software (SCS)). Với giải pháp sử dụng phần mềm SCS software, phần thu thập và xử lý dữ liệu sẽ được thực hiện trên laptop, smartphone giúp quy trình giám sát trở nên đơn giản, nhanh chóng, an toàn hơn. Dữ liệu sẽ được thu thập gần như ngay lập tức sau vụ nổ, tại 1 vị trí an toàn cách xa vị trí đặt máy giám sát. Các kết quả đo được in ra trực tiếp tại hiện trường nhanh chóng và chính xác.

3. Công tác đo giám sát chấn động nổ mìn

3.1. Giới thiệu mỏ đá vôi Phong Xuân - tỉnh Thừa Thiên Huế

Mỏ đá Phong Xuân, thuộc Công ty cổ phần xi măng Đồng Lâm, thôn Cổ Xuân, xã Phong Xuân, huyện Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế. Mỏ đá có diện tích khai thác 90 ha với thời hạn 30 năm, trữ lượng khai thác trên 1 triệu tấn/năm (Hình 2). Mỏ đá nằm cách thành phố Huế khoảng 30 km về phía tây bắc, nằm cách ngã ba quốc lộ 1A khoảng 6,5 km về phía tây nam. Phía tây khu vực mỏ đá vôi cách khoảng 3 km là sông Ô Lâu và phía đông khu vực mỏ đá vôi cách khoảng 6 km là sông Bồ.



Hình 2. Hoạt động khai thác tại mỏ đá Phong Xuân, thuộc Công ty cổ phần xi măng Đồng Lâm, thôn Cổ Xuân, xã Phong Xuân, huyện Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế.

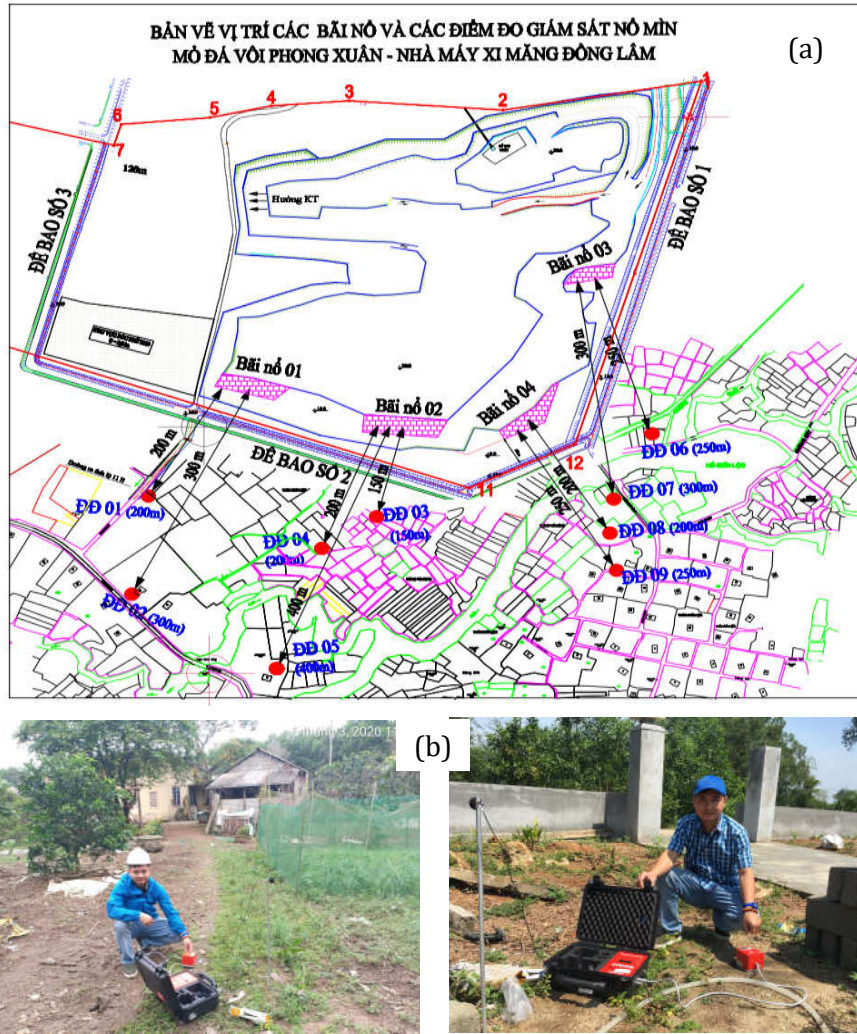
Nằm gần khu vực khai thác mỏ trong khoảng cách bán kính 200÷500 m có các công trình bảo vệ gồm 127 nhà dân thuộc 3 thôn Xuân Lộc, Xuân Điền Lộc, Cổ Xuân - Quảng Lộc và các thửa ruộng, cây trồng xung quanh khu mỏ. Do vậy, để đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá trong quá trình khai thác đá vôi tại mỏ này cần thiết phải nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của sóng chấn động nổ mìn đến các công trình bảo vệ nằm trong vùng ảnh hưởng, đồng thời cần thiết phải xác định quy mô vụ nổ hợp lý để đảm bảo an toàn và đạt sản lượng khai thác khi tiến hành nổ mìn tại mỏ đá vôi Phong Xuân - tỉnh Thừa Thiên Huế.

3.2. Tiến hành đo giám sát chấn động nổ mìn

Để tiến hành giám sát ảnh hưởng nổ mìn tại mỏ đá Phong Xuân, nhóm nghiên cứu đã tiến hành giám sát các vụ nổ mìn thử nghiệm, sử dụng thiết bị đo MR3000BLA để xác định các thông số về sóng chấn động do nổ mìn gây ra (Hình 3). Các hộ chiếu từ số 1561/03/2020/HCNM đến hộ chiếu số 1564/03/2020/HCNM (Bảng 2). Các vụ nổ sử dụng thuốc nổ nhũ tương và ANFO, áp dụng phương pháp nổ mìn vi sai phi điện.

3.3. Kết quả đo giám sát chấn động nổ mìn

Các kết quả đo giám sát chấn động nổ mìn được trình bày trong Bảng 3 và Hình 4.



Hình 3. (a) Sơ đồ vị trí các bãi mìn; (b) Hình ảnh đo giám sát nổ mìn sử dụng thiết bị MR 3000BLA tại mỏ đá vôi Phong Xuân.

Bảng 2. Các thông số khoan nổ mìn của các bãi mìn thực hiện giám sát.

TT	Tên chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị			
				Bãi mìn số 1	Bãi mìn số 2	Bãi mìn số 3	Bãi mìn số 4
1	Chiều cao tầng khai thác	H_t	m	10	10	10	10
2	Đường kính lỗ khoan	d_k	mm	105	105	105	105
3	Chiều sâu lỗ khoan	L_{lk}	m	11,5	11,5	11,5	11,5
4	Chiều sâu khoan thêm	L_{kt}	m	1,5	1,5	1,5	1,5
5	Đường kháng chân tầng	W	m	3,0	3,0	3,0	3,0
6	Khoảng cách giữa các lỗ khoan	a	m	3,5	3,5	3,5	3,5
7	Khoảng cách giữa các hàng lỗ khoan	b	m	3,0	3,0	3,0	3,0
8	Chỉ tiêu thuốc nổ	q	kg/m ³	0,37	0,37	0,37	0,37
9	Lượng thuốc nổ trong 1 lỗ khoan	Q_{lk1}	kg	40,0	40,0	41,0	42,0
10	Tổng lượng thuốc nổ cho bãi nổ	Q	kg	2.000	2.000	1.500	1.500
11	Chiều dài nạp thuốc lỗ khoan	L_{t1}	m	7,7	7,7	7,7	7,7
12	Chiều dài nạp búa lỗ khoan	L_{b1}	m	3,8	3,8	3,8	3,8
13	Suất phá đá	S	m ³ /mlk	9,5	9,5	9,5	9,5

- Tại bãi mìn số 2, đo được giá trị tốc độ dao động lớn nhất của sóng chấn động là $V_{max}= 15,48$ mm/s ở khoảng cách đo 150 m với tổng khối lượng thuốc nổ lớn nhất là 2000 kg và khối lượng thuốc nổ lớn nhất trong một nhóm vi sai là 40 kg.

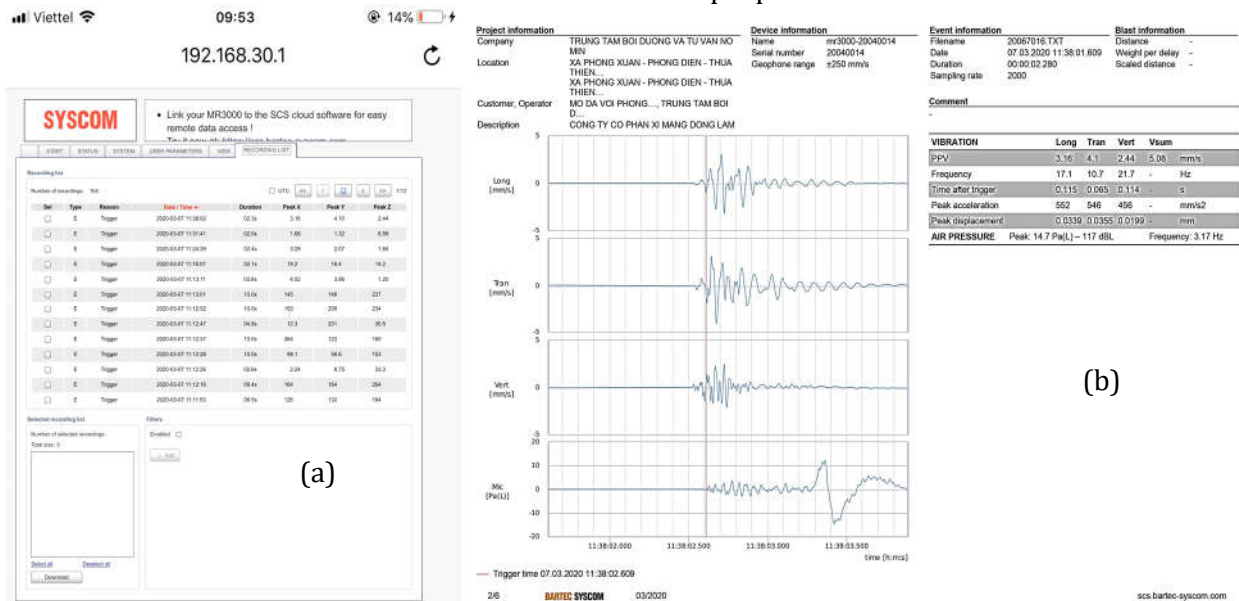
- Tại bãi mìn số 4 đo được giá trị tốc độ dao động nhỏ nhất của sóng chấn động là $V_{min}= 3,45$ mm/s ở khoảng cách đo 300 m với tổng khối lượng thuốc nổ lớn nhất là 1500 kg và khối lượng thuốc nổ lớn nhất trong một nhóm vi sai là 41 kg.

Đối chiếu các kết quả đo trong Bảng 3 với quy định ghi trong Bảng 1 thì các kết quả đo được đều nằm trong giới hạn an toàn cho phép về sóng chấn động nổ mìn.

3.4. Xác định khối lượng thuốc nổ hợp lý đảm bảo an toàn về sóng chấn động nổ mìn theo QCVN 01:2019/BCT

Trên cơ sở 12 kết quả đo sóng chấn động nổ mìn tại 04 bãi nổ thực hiện ở trên.

Từ các kết quả đo được ở Bảng 3 thấy được: Tốc độ giao động lớn nhất của sóng chấn động (V_{max}) đo được là 15,48 mm/s tại bãi mìn số 2 và tốc độ giao động nhỏ nhất của sóng chấn động (V_{min}) đo được là 3,45 mm/s tại bãi mìn số 4. Tất cả các kết quả đo được đều nhỏ hơn giá trị quy định cho phép ($V_{cp-QCVN}$) của quy chuẩn QCVN 01:2019/BCT và đều nằm trong giới hạn an toàn cho phép.



Hình 4. Kết quả đo giám sát nổ mìn hiển thị trên điện thoại di động (a) và máy tính (b) khi sử dụng thiết bị đo MR 3000BLA.

Bảng 3. Kết quả đo giám sát chấn động nổ mìn tại mỏ đá vôi Phong Xuân.

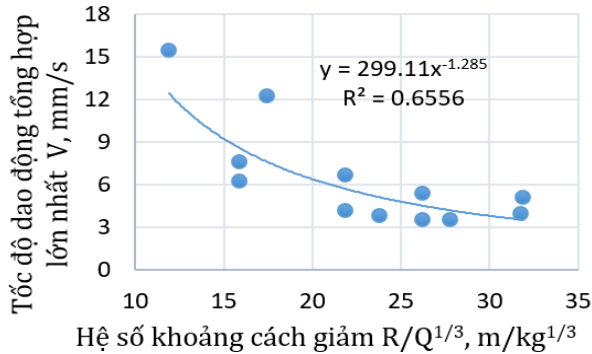
TT	Tên bãi mìn thực hiện giám sát	Khối lượng thuốc nổ toàn bãi/ (Khối lượng thuốc nổ lớn nhất trong cấp vi sai) Q/(Qvs), kg	Khoảng cách từ vị trí nổ mìn đến điểm đặt máy đo R, m	Tốc độ giao động của sóng chấn động, mm/s			
				V _x	V _y	V _z	V
1	Bãi mìn số 1	2000/(40)	200	4,729	1,805	6,542	7,565
			300	2,286	2,413	3,175	3,76
			350	3,26	2,58	2,10	3,51
2	Bãi mìn số 2	2000/(41)	150	12,73	10,05	10,2	15,48
			200	4,953	4,953	4,064	6,172
			400	3,52	3,76	1,60	3,90
3	Bãi mìn số 3	1500/(41)	250	4,699	4,699	6,096	6,67
			300	4,430	2,593	4,997	5,376
			365	3,16	4,10	2,44	5,08
4	Bãi mìn số 4	1500/(41)	200	11,94	2,794	6,985	12,19
			250	2,309	3,011	3,712	4,139
			300	3,29	2,07	1,65	3,45

Bảng 4. Xác định khối lượng thuốc nổ lớn nhất hợp lý đảm bảo an toàn về sóng chấn động nổ mìn theo QCVN 01:2019/BCT cho mỏ đá vôi Phong Xuân.

TT	Giá trị	R, m	100 m	150 m	200 m	250 m	300 m
1	$V \leq V_{cp-QCVN} = 25,4$ mm/s	Q/Qvs, kg	3.159/58,9	10.663/198,6	25.276/470,8	49.367/919,6	85.306/1589,1
2	$V_{max} \leq V_{cp-QCVN} = 15,48$ mm/s	Q/Qvs, kg	994/20,0	3.356/67,6	7.955/160,2	15.536/312,9	26.847/540,7
3	$V_{min} \leq V_{cp-QCVN} = 3,45$ mm/s	Q/Qvs,kg	29,9/0,8	100,9/2,6	239,1/6,1	467,0/11,9	806,9/20,6

TT		R, m	350 m	400 m	450 m	500 m
1	$V \leq V_{cp-QCVN} = 25,4$ mm/s	Q/Qvs, kg	13.5463/ 2523,4	202.208/ 3766,7	287.909/ 5363,1	394.937/ 7356,8
2	$V_{max} \leq V_{cp-QCVN} = 15,48$ mm/s	Q/Qvs, kg	42.631/ 858,6	63.636/ 1281,6	906.07/ 1824,8	124.290/ 2503,1
3	$V_{min} \leq V_{cp-QCVN} = 3,45$ mm/s	Q/Qvs, kg	1281,3/ 32,7	1912,7/ 8,8	2723,3/ 69,5	3735,7/ 95,3

Trong Hình 5, nhóm tác giả đã xây dựng mối quan hệ giữa tốc độ dao động tổng hợp lớn nhất (V) với hệ số khoảng cách giảm (R/Q^{1/3}) trong các kết quả đo giám sát chấn động nổ mìn tại mỏ đá vôi Phong Xuân.



Hình 5. Mối quan hệ giữa tốc độ dao động tổng hợp lớn nhất V với hệ số khoảng cách giảm (R/Q^{1/3}) trong các kết quả đo giám sát chấn động nổ mìn tại mỏ đá vôi Phong Xuân.

Để xác định khối lượng thuốc nổ lớn nhất trong mỗi vụ nổ mìn đảm bảo an toàn về sóng chấn động thì trong mọi trường hợp giá trị vận tốc dao động cực trị cho phép lớn nhất (V) của mỗi vụ nổ mìn phải luôn nhỏ hơn hoặc bằng giá trị vận tốc dao động tổng hợp lớn nhất cho phép (V_{cp-QCVN}) theo quy định của QCVN 01:2019/BCT (V ≤ V_{cp-QCVN}).

Trong Bảng 4, nhóm tác giả đã tiến hành tính toán, xác định khối lượng thuốc nổ lớn nhất hợp lý đảm bảo an toàn về sóng chấn động nổ mìn theo

QCVN 01:2019/BCT cho mỏ đá vôi Phong Xuân trong trường hợp $V \leq V_{cp-QCVN} = 25,4$ mm/s và trường hợp $V_{max} \leq V_{cp-QCVN} = 15,48$ mm/s và $V_{min} \leq V_{cp-QCVN} = 3,45$ mm/s với khoảng cách từ vị trí nổ mìn đến công trình cần bảo vệ thay đổi từ 100÷500 m.

4. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu sử dụng thiết bị đo giám sát nổ mìn MR3000BLA để đánh giá ảnh hưởng của sóng chấn động đến các công trình bảo vệ và xác định quy mô vụ nổ hợp lý cho mỏ đá vôi Phong Xuân - tỉnh Thừa Thiên Huế cho phép rút ra một số kết luận và kiến nghị sau:

- Lần đầu tiên ở Việt Nam thiết bị giám sát nổ mìn MR3000BLA được đưa vào sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của sóng chấn động đến các công trình bảo vệ và xác định quy mô vụ nổ hợp lý cho mỏ đá vôi Phong Xuân - tỉnh Thừa Thiên Huế. Đây là thiết bị tiên tiến, hiện đại cho phép thu nhận được các kết quả nhanh chóng và chính xác thông qua truy cập mạng wifi, 4G kết hợp phần mềm Sycam Cloud Software (SCS) cho phép truyền dữ liệu không dây với laptop, điện thoại di động hay gửi dữ liệu về ngay trung tâm sau khi ghi nhận sự kiện vụ nổ.

- Qua việc giám sát ảnh hưởng do sóng chấn động nổ mìn tại mỏ đá vôi Phong Xuân nhận thấy các kết quả đo được so với QCVN 01:2019/BCT đều nằm trong giới hạn an toàn cho phép.

- Để nâng cao hiệu quả đập vỡ đất đá và đảm

bảo an toàn về sóng chấn động nổ mìn đến các công trình cần bảo vệ thì mỏ đá vôi Phong Xuân thường xuyên phải tiến hành giám sát nổ mìn theo QCVN 01:2019/BCT. Ngoài ra đơn vị thi công cần phải nổ mìn với quy mô vụ nổ hợp lý để đảm bảo $V \leq V_{cp-QCVN}$, cụ thể là giá trị V nên nhỏ hơn giá trị V_{max} đo được là 15,48 mm/s. Mỏ đá nên tiếp tục áp dụng phương pháp nổ mìn vi sai phi điện như hiện nay để đảm bảo ổn định về lâu dài với các khu vực dân cư xung quanh và có thể nghiên cứu và áp dụng thêm những biện pháp kỹ thuật - công nghệ như xác định các thông số khoan - nổ mìn, lựa chọn thuốc nổ, sơ đồ đầu ghép, trình tự khởi nổ hợp lý, tăng số cấp vi sai.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin cảm ơn ban lãnh đạo công ty Cổ phần xi măng Đồng Lâm, các cán bộ phòng kỹ thuật khai thác mỏ đá Phong Xuân, Công ty Trách nhiệm hữu hạn Công nghệ S. L. S đã cung cấp các tài liệu, thiết bị và giúp đỡ nhóm tác giả trong quá trình đo đạc, giám sát nổ mìn thực nghiệm tại mỏ để hoàn thành bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- Aldas G. G. U., Ecevitoglu B., (2008). Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations. *Journal of Applied Geophysics* 66(1-2), 25-30.
- Đàm Trọng Thắng, Bùi Xuân Nam, Trần Quang Hiếu, (2015). Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình. *Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*.
- Elsemain I. A., (2000). Measurement and analysis of the effect of ground vibrations induced by blasting at the limestone quarries of the Egyptian cement company. *College of Engineering, Assiut University, ASIUT EGYPT*.
- Ganaponxki, M. I., Paron, B. L., Belin, V. A., Pukop,

V. V., Xivenkop, M. A., (2011). Methods of blasting. Special blasting operations. *MGGU-Moscow, Russian*, 175p.

Giraudi A., Cardu M., Kecojevic V., (2009). An assessment of blasting vibrations: a case study on quarry operation. *American Journal of Environmental Sciences* 5, 468-474.

Hoang Nguyen (2018). A comparative study of artificial neural networks in predicting blast-induced air-blast overpressure at Deo Nai open-pit coal mine, Vietnam. *Neural Computing and Applications*, 1-17.

Kutudop, (2009). Safety of blasting in mining and industry. *MGGU-Moscow, Russian*, 670p.

Ozer U., Kahrirman A., Aksoy M., Adiguzel D., Karadogan A., (2008). The analysis of ground vibrations induced by bench blasting at Akyol quarry and practical blasting charts. *Environmental Geology* 54, 737-743.

QCVN 01:2019/BCT, (2019). An toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ.

Saadat M., Khandelwal M., Monjezi M., (2014). An ANN-based pproach to predict blast-induced ground vibration of Gol-E-Gohar iron ore mine, Iran. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Gineering* 6, 67-76.

Simangunsong G. M., Wahyudi S., (2015). Effect of bedding plane on prediction blast-induced ground vibration in open pit coal mines International. *Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 79, 1-8.

Xadopski M. A, (2004). The mechanical action of air shock waves of explosion according to experimental studies. *MGGU-Moscow, Russian*, 93-102.