

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA THỐNG KÊ PHỤC VỤ CÔNG TÁC ĐÁNH GIÁ HÀM LƯỢNG CHO CÁC KHOÁNG SÀNG QUẶNG Ở VIỆT NAM

KS. MAI NGỌC LUÂN - Công ty CP THCNMT-Vinacomin

TS. BÙI HOÀNG BẮC, PGS.TS. BÙI XUÂN NAM

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

1. Tổng quan về địa thống kê

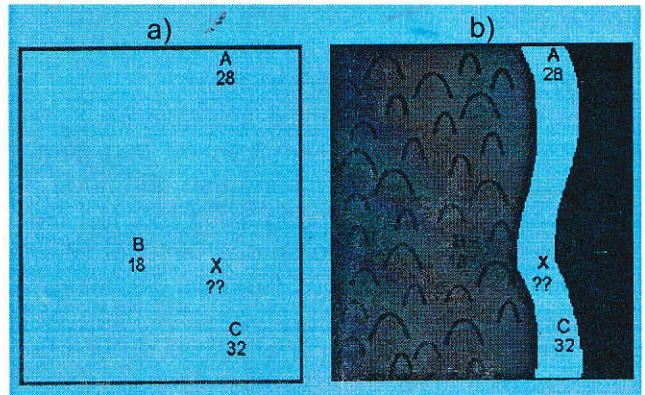
Kể từ ngày được Daniel Krige đề xuất năm 1951 và được giáo sư Matheron phát triển thành bộ môn khoa học mới đặt tên là Địa thống kê, bộ môn này đã có những bước phát triển mạnh mẽ và được ứng dụng rộng rãi vào các lĩnh vực có liên quan đến yếu tố phân tích không gian. Những năm gần đây, địa thống kê có những đóng góp quan trọng cho công tác đánh giá địa chất thân khoáng sàng của ngành mỏ và dầu khí, trở thành một mảng quan trọng của 2 ngành này. Hiện bộ môn này đang được phát triển tại những trường đại học hàng đầu thế giới như ĐH Stanford-Mỹ, ĐH Alberta-Canada, ĐH Porto-Bồ Đào Nha....

Địa thống kê đã chứng tỏ được tính ứng dụng cao, độ chính xác vượt trội so với các phương pháp nội suy truyền thống, tuy nhiên việc áp dụng là không đơn giản vì cơ sở lý thuyết đồ sộ, phức tạp, đòi hỏi có kiến thức vững vàng. Cần nhấn mạnh rằng việc xây dựng mô hình 3D của thân quặng với các yếu tố chiều dày, hàm lượng các thành phần kim loại... là không quá phức tạp với 1 phần mềm tốt (ví dụ như phần mềm Surpac), tuy nhiên độ chính xác của mô hình phụ thuộc rất nhiều vào việc nắm vững cơ sở lý thuyết của địa thống kê.

2. Cơ sở lý thuyết của Địa thống kê

Một ví dụ đơn giản thể hiện ưu điểm của địa thống kê so với phương pháp thống kê truyền thống như sau: Giả sử ta biết nhiệt độ tại 3 điểm A, B, C như trong H.1.a, ta cần dự đoán nhiệt độ tại điểm X. Áp dụng phương pháp xác suất thống kê, ta sẽ phỏng đoán: Do điểm A nằm khá xa điểm X, có thể nhiệt độ tại A sẽ không đáng tin cậy cho phỏng đoán. Do đó nhiệt độ tại X sẽ chỉ phụ thuộc vào B, C, và do khoảng cách từ B, C đến X là bằng nhau nên nhiệt độ tại X sẽ là: $(18+32)/2=25$.

Cũng với các điểm như trên nhưng ta giả sử B nằm trên núi cao, còn A và C là hai điểm nằm trên bãi biển (H.1.b). Trong trường hợp này, nhiệt độ tại B không nên sử dụng để phỏng đoán vì sự khác biệt lớn giữa vùng núi cao và vùng biển. Do đó nhiệt độ tại điểm X sẽ nằm trong khoảng giữa nhiệt độ tại A và tại C, tức là nằm giữa 28 và 32 độ. Vì vậy, nếu ta không xem xét đến yếu tố không gian giữa các điểm (A và C cùng nằm gần biển, B nằm ở núi cao) thì việc ước lượng giá trị cho điểm X sẽ bị sai khác nhiều.



H.1. Các ví dụ minh họa về địa thống kê

Ví dụ trên thể hiện rằng để phỏng đoán giá trị của 1 điểm dựa trên các điểm lân cận đã biết khác, ngoài việc dựa trên giá trị bản thân các điểm đó (thống kê đơn thuần) ta còn phải xét đến yếu tố không gian giữa các điểm (địa thống kê) nhằm đạt được độ chính xác cao hơn trong công tác ước lượng và nội suy.

2.1. Thống kê cơ bản (basic statistic)

Một trong những bước quan trọng đầu tiên khi đánh giá địa thống kê là cần hiểu rõ các thuộc tính thống kê thuần túy của dữ liệu. Các thuộc tính này bao gồm:

a. Biểu đồ phân bố xác suất (Histogram):

Dùng để mô tả qui luật phân bố xác suất của biến ngẫu nhiên liên tục. Gồm các thuộc tính: Phương sai (Variance - σ^2); độ lệch tiêu chuẩn (Standard Deviation - σ); hệ số bất đối xứng (Coefficient Skewness - C_s); hệ số nhọn (Coefficient of Kurtosis - C_k); hệ số phân tán (Coefficient Variation - C_v)...

b. Điểm ngoại lai (outliers): Là những điểm có giá trị rất lớn hoặc rất nhỏ so với mặt bằng chung của toàn bộ tập điểm. Những điểm như vậy có ảnh hưởng tiêu cực đến độ chính xác của việc đánh giá địa thống kê, cần tiến hành chỉnh sửa các điểm này hoặc loại bỏ khỏi tập điểm. Ví dụ về một tập điểm có chứa điểm ngoại lai như Bảng 1.

Bảng 1.

Điểm lấy mẫu	A	B	C	D	E	F	G	H
% kim loại	11,25	19	15,43	67,6	7,4	13,4	15,5	9,5

Điểm D theo bảng 1 là một điểm ngoại lai vì giá trị hàm lượng lớn hơn nhiều so với các điểm khác trong tập điểm.

Phương pháp xử lý điểm ngoại lai: Phương pháp phổ biến nhất là đặt khoảng giá trị lớn nhất/nhỏ nhất cho các điểm mẫu. Việc đặt giá trị lớn nhất/nhỏ nhất này có thể theo phương pháp khoảng tin cậy (confidence interval); giá trị lớn nhất của 97,5 % số điểm (theo kinh nghiệm dựa trên thực tế những thân quặng đã khai thác).

c. Tính thống nhất của tập điểm:

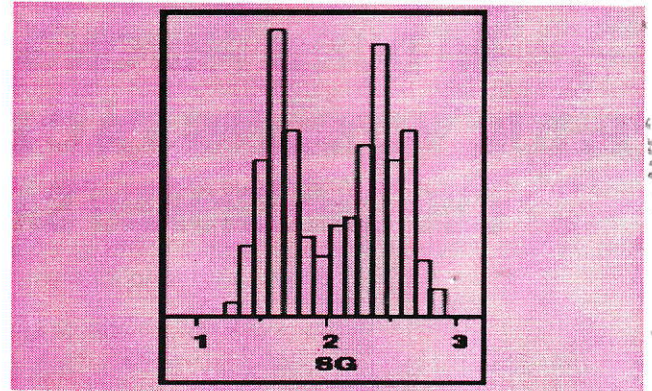
Nếu trên biểu đồ phân bố xác suất có 2 đỉnh riêng biệt (H.2) thì tập điểm trên đã bao gồm 2 nhóm tập điểm phụ không liên quan đến nhau. Ví dụ như than và đá nằm cùng trong một tập điểm đánh giá tỉ trọng. Việc tồn tại của bimodal sẽ làm giảm tính chính xác của việc đánh giá địa thống kê. Cần tìm mọi cách để loại bỏ bimodal bằng cách tách thành các tập điểm riêng biệt. Ví dụ bên là 1 trường hợp bimodal: một tập điểm đánh giá tỉ trọng của mẫu như gồm cả than và đá. Khoảng từ 1 đến 2 là tập điểm của than, từ 2 đến 3 là tập điểm của đá. Chúng cần được tách thành 2 tập điểm riêng biệt để đánh giá riêng.

2.2. Tính đẳng hướng (isotropy) và bất đẳng hướng (anisotropy)

❖ Tính đẳng hướng: Việc ước lượng giá trị của điểm là như nhau theo mọi hướng.

❖ Tính bất đẳng hướng: Việc ước lượng giá trị của điểm là khác nhau theo các hướng khác nhau. Có thể khẳng định rằng gần như mọi tập mẫu khoáng vật trên trái đất đều có tính bất đẳng hướng. Trong ngành mỏ, tính bất đẳng hướng

được tạo nên từ việc phân bố địa tầng, quá trình nhiệt dịch, quá trình hoạt động địa chất kiến tạo,...



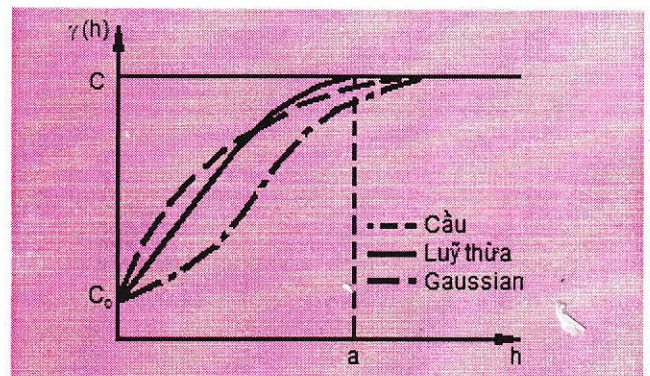
H.2. Minh họa tính thống nhất của tập điểm

2.3. Hàm cấu trúc Variogram

Hàm cấu trúc Variogram $\gamma(h)$ là hàm nghiên cứu tính liên tục trong không gian của thuộc tính được khảo sát:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z_i - Z_{i+h})^2 \quad (1)$$

Trong đó: $N(h)$ - Số cặp điểm; Z_i - Giá trị điểm cuối của vector h ; Z_{i+h} - Giá trị điểm đầu của vector h .



H.3. Mô hình Variogram

Các yếu tố của hàm cấu trúc:

❖ Trần (C): giá trị của trần càng nhỏ thì tính biến thiên không gian của hàm càng nhỏ.

❖ Bán kính ảnh hưởng (a): giá trị càng lớn thì tính liên tục trong không gian càng tốt.

❖ Hiệu ứng tự sinh (C_0): theo lý thuyết, hàm cấu trúc tại điểm gốc sẽ bằng 0, tuy nhiên hiệu ứng tự sinh xuất hiện do có những sai khác trong công tác lấy/phân tích mẫu.

Mục đích của việc xây dựng hàm cấu trúc variogram là nhằm đánh giá tính liên tục không gian của tập điểm theo các hướng khác nhau. Như đã biết gần như toàn bộ các tập điểm địa chất đều mang tính bất đẳng hướng nên tính liên tục không

gian cũng là khác nhau theo các hướng. Việc xác định chính xác hướng có tính liên tục tốt nhất và tỉ lệ bất đẳng hướng là thông số quyết định tính chính xác của công tác nội suy Kriging sau này.

2.4. Phương pháp nội suy Kriging

Họ các phương pháp nội suy giá trị trung bình được sử dụng trong địa thống kê được gọi chung là phương pháp nội suy Kriging. Cách đặt tên này là nhằm ghi nhớ công lao của ông Daniel Krige (Nam Phi). Hai phương pháp phổ biến nhất hiện nay là phương pháp Kriging thông thường (Ordinary Kriging - OK) và phương pháp Kriging giản đơn (Simple Kriging - SK). Ngoài ra, còn các phương pháp khác như CoKriging (CK), Indicator Kriging (IK), Universal Kriging (UK),...

Phương pháp Kriging thông thường:

$$V^* = \sum_{i=1}^n W_i \cdot V_i \quad (1)$$

Tại đây: V^* - Điểm cần ước lượng giá trị; V_i - Giá trị của mẫu thứ i ; W_i - Trọng số của mẫu thứ i , được xác định thông qua mô hình variogram; n - Số điểm mẫu; $\sum_{i=1}^n W_i = 1$.

Phương pháp Kriging giản đơn:

$$V^* = m + \sum_{i=1}^n W_i \cdot (V_i - m) \quad (2)$$

Tại đây: m - Trung bình số học của tập điểm; $\sum_{i=1}^n W_i \neq 1$.

3. Các bước nội suy giá trị hàm lượng than quặng dựa trên phương pháp địa thống kê

- ❖ Khoan khảo sát, thu thập số liệu thăm dò, phân tích mẫu, lập cơ sở dữ liệu địa chất cho khu vực cần khảo sát.

- ❖ Phân tích biểu đồ xác suất cho các giá trị cần khảo sát.

- ❖ Xây dựng hàm cấu trúc variogram cho các hướng khác nhau, kết luận hướng có tính liên tục không gian tốt nhất và xây dựng mô hình hàm cấu trúc cho hướng đó.

- ❖ Áp dụng mô hình hàm cấu trúc đã xây dựng được để nội suy hàm lượng cho toàn bộ thân quặng. Phương pháp phổ biến là sử dụng mô hình hóa dạng vi khối 3D của thân quặng kết hợp với phương pháp nội suy Kriging phù hợp.

4. Áp dụng tính toán thử nghiệm cho mỏ đồng Sin Quyền

Ví dụ tính toán thử nghiệm được thực hiện cho Vĩa Trung tâm của mỏ Sin Quyền. Thông tin chung về tài liệu địa chất của khu vực này như sau: tổng số lỗ khoan thăm dò: 191 lỗ, với tổng chiều dài là

51.764 m; tổng số mẫu phân tích hàm lượng đồng: 10.762 mẫu.

4.1. Lập biểu đồ phân bố xác suất khu vực thăm dò

Biểu đồ phân bố xác suất khu vực thăm dò được thể hiện trong H.5 với các thông số thống kê như Bảng 2.

Bảng 2.

Thông số	Giá trị
Số điểm	12051
Giá trị nhỏ nhất	0.004
Giá trị lớn nhất	14.5
Trung bình số học	0.526805
Giá trị tại 50 % số điểm	0.1706
Phương sai	0.637341
Độ lệch tiêu chuẩn	0.798336
Hệ số phân tán	1.515431
Giá trị lớn nhất tại 80 % số điểm	0.87715
Giá trị lớn nhất tại 90 % số điểm	1.6
Giá trị lớn nhất tại 95 % số điểm	2.2106
Giá trị lớn nhất tại 97.5 % số điểm	2.7757

Có một số nhận xét sau:

- ❖ Tập điểm đã cho là đồng nhất;
- ❖ 80 % số điểm mẫu có giá trị hàm lượng đồng nhỏ hơn 0,877 %;
- ❖ Có nhiều điểm ngoại lai. Phương pháp loại bỏ: Đặt giá trị lớn nhất cho hàm lượng đồng của tập điểm bằng với giá trị lớn nhất tại 97,5 % số điểm. Vậy giá trị lớn nhất của hàm lượng đồng trong tập mẫu sẽ là 2,7757 %. Việc đánh giá sẽ được tiếp tục thực hiện với tập điểm mới đã loại bỏ điểm ngoại lai.

4.2. Lập mô hình hàm cấu trúc

- ❖ Tỉ lệ bất đẳng hướng của tập mẫu trong thân quặng là $41,530/22,78=1,823$;

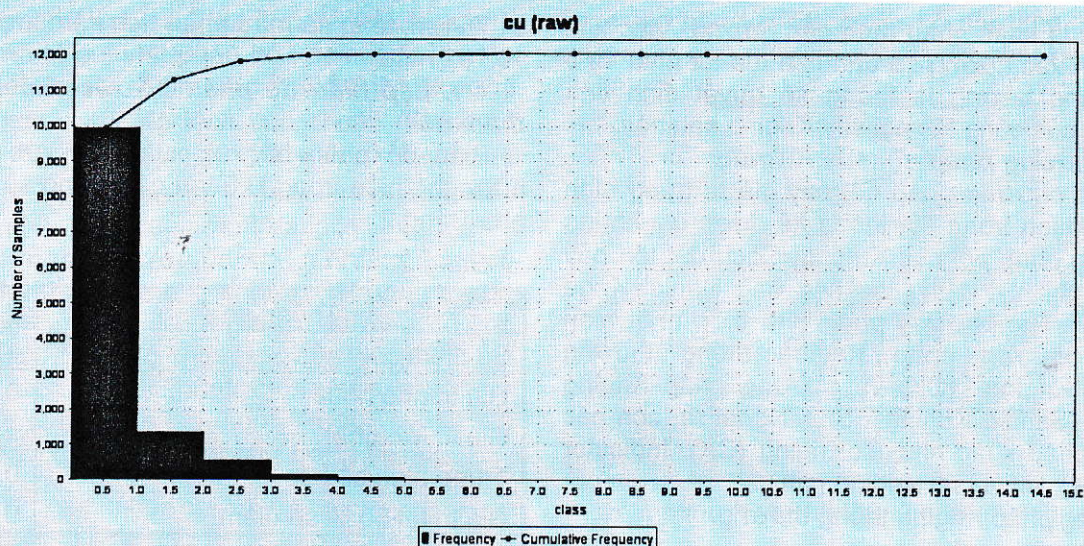
- ❖ Hướng có tính liên tục không gian tốt nhất: Đông Bắc-Tây Nam;

- ❖ Hướng có tính liên tục không gian kém nhất: Tây Bắc-Đông Nam;

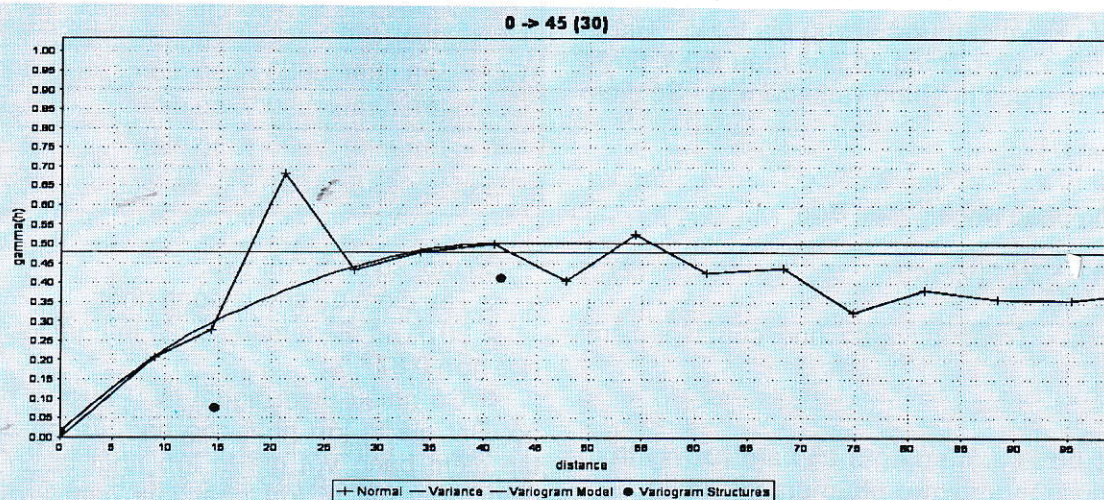
- ❖ Kết quả thu được từ variogram model được áp dụng cho bước nội suy giá trị các vi khối của mô hình 3D thân quặng.

4.3. Mô hình 3D của thân quặng

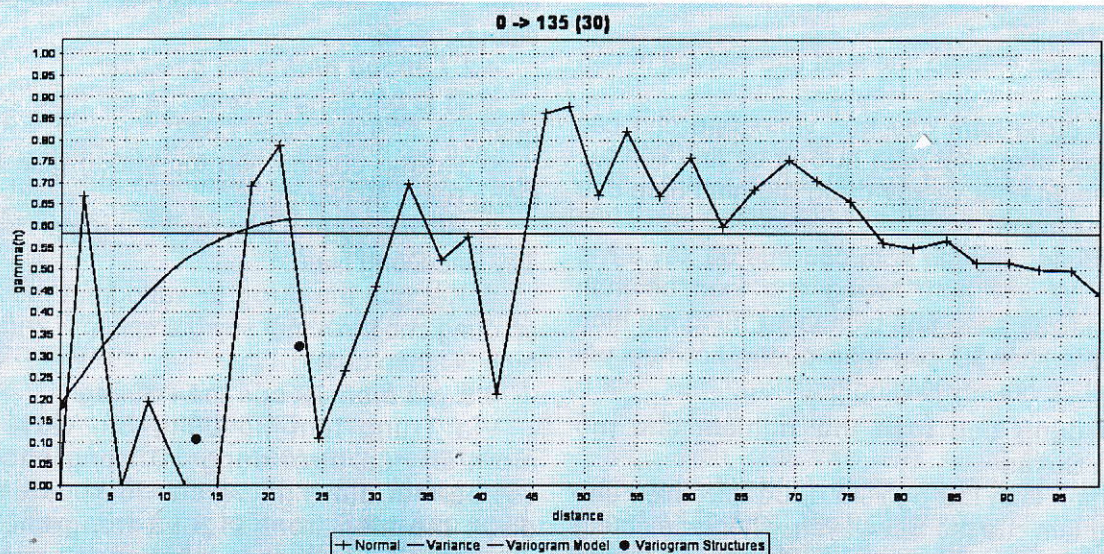
Vĩa Trung tâm-Mỏ đồng Sin Quyền được mô hình hóa dưới dạng 3D trong không gian với bề mặt địa hình và các lỗ khoan thăm dò được thể hiện trong H.8 và trong không gian của mô hình khối (bao gồm các vi khối) được thể hiện trong H.9.



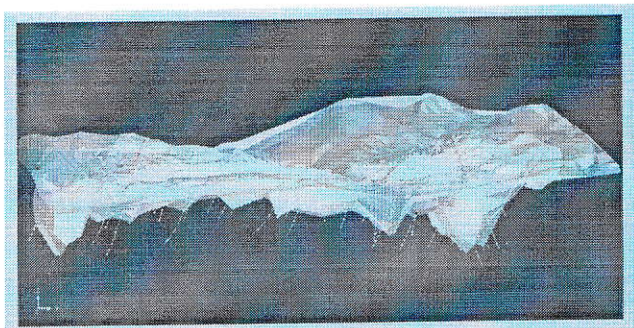
H.5. Biểu đồ phân bố xác suất của Vĩa Trung tâm-Mỏ đồng Sin Quyền



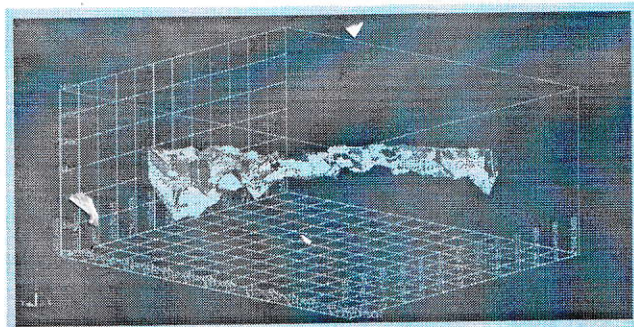
H.6. Mô hình hàm cấu trúc có tính liên tục không gian tốt nhất: Góc phương vị $\alpha=45^\circ$; $a=41,53$; $C=0,50$



H.7. Mô hình hàm cấu trúc có tính liên tục không gian kém nhất: Góc phương vị: $\alpha=135^\circ$; $a=22,78$; $C=0,50$



H.8. Mô hình 3D nhìn từ hướng Đông-Bắc



H.9. Mô hình 3D (gồm các vi khối) nhìn từ hướng Tây Nam

Các tác giả sử dụng phương pháp nội suy Kriging thông thường để nội suy hàm lượng đồng cho toàn bộ các vi khối của Vĩa Trung tâm-Mỏ đồng Sin Quyền.

Số liệu đầu vào cho việc nội suy giá trị hàm lượng đồng trong than quặng: thể trọng quặng đồng trung bình là $3,3 \text{ tấn/m}^3$, hàm lượng biên của quặng đồng là $0,2 \%$. Sau khi nội suy, hàm lượng đồng trong các vi khối được mô phỏng qua thang màu sắc như ở bảng bên.

Kết quả cụ thể như sau:

- ❖ Tổng thể tích vi khối chứa quặng trên hàm lượng biên: $102.454.500 \text{ m}^3$;
- ❖ Tổng khối lượng quặng óc hàm lượng lớn hơn hàm lượng biên: $338.099.850 \text{ tấn}$;
- ❖ Hàm lượng đồng trung bình trong thân quặng lớn hơn hàm lượng biên: $0,658 \%$.

5. Kết luận và kiến nghị

Mô hình hóa cơ sở dữ liệu địa chất khoáng sàng dưới dạng 3D đang là tiêu chuẩn phổ biến tại những nước có nền công nghiệp mỏ phát triển. Mô hình 3D thể hiện được những ưu điểm nổi bật như độ chính xác cao, áp dụng được những phương pháp nội suy tiên tiến và khả năng đồng bộ cao với các phần mềm tin học hiện đại nhằm nâng cao hiệu quả công tác thiết kế mỏ, quản lý tài nguyên, điều hành sản xuất tại mỏ.

Mô hình 3D có thể được xây dựng bằng nhiều phương pháp và phần mềm khác nhau, tuy nhiên

độ chính xác của kết quả mô phỏng phụ thuộc nhiều vào sự phù hợp của phương pháp nội suy được áp dụng.

Bài báo phân tích cơ sở lý thuyết của phương pháp địa thống kê (Geostatistics) trong đánh giá hàm lượng thân quặng dựa trên mô hình khối 3D (3D block modelling) của thân khoáng sàng; đồng thời cũng tính toán áp dụng cho Vĩa quặng Trung tâm của mỏ đồng Sin Quyền.

Trong xu thế hội nhập thế giới, ngôn ngữ kỹ thuật chung trong ngành mỏ với các phần mềm tin học và các sản phẩm tương ứng của chúng là điều tất yếu. Điều này đòi hỏi ngành Mỏ Việt Nam cần từng bước nghiên cứu triển khai, áp dụng vào thực tế sản xuất trong công nghiệp mỏ của chúng ta. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Xuân Nam. Tin học ứng dụng cho khai thác mỏ lộ thiên. Bài giảng Trường Đại học Mỏ-Địa chất. 2008.
2. Pierre Goovaerts. Geostatistics for Natural Resources Estimation. 1997.
3. Michael David. Geostatistical Ore Reserve Estimation. 1977.
4. Trương Xuân Luận. Địa thống kê ứng dụng, Bài giảng cao học Trường Đại học Mỏ-Địa chất. 2010.
5. Surpac User's Guide.

Người biên tập: Hồ Sĩ Giao

SUMMARY

3D simulation model of geological database is a popular standard in mining developed countries. 3D models have present many advantages, such as high accuracy, great synchronism with advance-estimator-method Geostatistics and other modern mining software to improve/optimize management effectiveness, mining operation and production. Although 3D model can be permissibly built by some good software, namely Surpac, Datamine, the precision of simulation results depends deeply on theory basis of estimation method. This paper aims to analyze the application of geostatistics in combination with 3D block modelling and a case study for centre deposit of Sin Quyền copper mine.