



PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH BỜ MỎ LỘ THIÊN VỚI ĐỒNG BỘ ỨNG DỤNG TIN HỌC

Kiều Kim Trúc

Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

Email: kieukimtruc@gmail.com

TÓM TẮT

Ứng dụng tin học tính toán độ ổn định bờ mỏ lộ thiên là công việc rất phổ biến và cần thiết để giải quyết việc tính toán phức tạp xác định hình dạng, góc dốc bờ mỏ tối ưu. Ngành than nước ta thời gian trước đây thường quen với tài liệu từ Liên Xô trước đây với những hướng dẫn thực hiện cụ thể, dễ dàng, còn các phần mềm có xuất xứ từ các nước phương Tây có cách tiếp cận tổng quát phức tạp. Bài báo trình bày phương pháp tính toán ổn định bờ mỏ như Bishop, Spencer-Wright, Sarma trong các phần mềm, đồng thời nêu lên tổng thể đồng bộ các ứng dụng từ xây dựng cơ sở dữ liệu thăm dò địa chất, mô hình hóa khoáng sàng đến lập mặt cắt, hiển thị mô hình 3D, tính toán ổn định bờ mỏ, và áp dụng thực tế cho trường hợp mỏ Đèo Nai khi kết hợp các phần mềm GeoLynx, MapInfo và Galena.

Từ khóa: phần mềm tính toán, ổn định bờ mỏ, cơ sở dữ liệu thăm dò địa chất, mô hình hóa, mỏ Đèo Nai.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chuyển đổi số (Digital transformation) là Quá trình thay đổi tổng thể mô hình hoạt động trên cơ sở tích hợp các giải pháp số/công nghệ mới như điện toán đám mây (Cloud), dữ liệu lớn (Big data), Internet vạn vật (IOT), công nghệ thông tin (CNTT)... Do đó việc ứng dụng CNTT với các phần mềm là thành phần quan trọng của quá trình chuyển đổi số, để đơn giản từ những ứng dụng nhỏ tích hợp thành hệ thống lớn. Bên cạnh thông tin về các phương pháp tính toán ổn định bờ mỏ, bài báo cũng đưa ra những ví dụ cụ thể về đồng bộ ứng dụng CNTT ban đầu quan trọng nhất trong kỹ thuật mỏ, như xây dựng cơ sở dữ liệu địa chất, mô hình hóa dữ liệu, lập mặt cắt...

2. NỘI DUNG TRAO ĐỔI

2.1. Về ổn định bờ mỏ

Trên thế giới phổ biến phương pháp tính toán ổn định bờ mỏ lộ thiên theo cơ sở lý thuyết Cân bằng giới hạn (CBGH) và Phần tử hữu hạn (PTHH). Do tính đơn giản của lý thuyết CBGH (vì sử dụng đầu vào là thông số địa kỹ thuật thông dụng và tính ra hệ số an toàn trực tiếp) so với PTHH (vì xác định trạng thái ứng suất và dịch chuyển, biến dạng

phức tạp) và tính dị hướng của môi trường không liên tục như đất đá mỏ thì CBGH có nhiều ứng dụng thực tế hơn.

Công tác nghiên cứu, thiết kế và tính toán độ ổn định bờ mỏ gồm các bước: Phân vùng khu vực bờ mỏ theo cấu trúc địa chất; Xây dựng mặt cắt địa chất với việc xác định cấu trúc địa chất và hình dạng bờ mỏ; Xác định tính chất cơ lý đá và điều kiện thủy văn; Phân tích, tính toán độ ổn định bờ tầng, nhóm tầng và toàn bộ bờ mỏ theo các mặt trượt tiềm năng; Đưa ra các biện pháp đảm bảo ổn định bờ mỏ. Thiết kế bờ mỏ là quá trình xây dựng hình học và tính toán liên tục với nhiều phép thử và lựa chọn, có khối lượng công việc lớn và phức tạp, nên ứng dụng CNTT là giải pháp rất cần thiết.

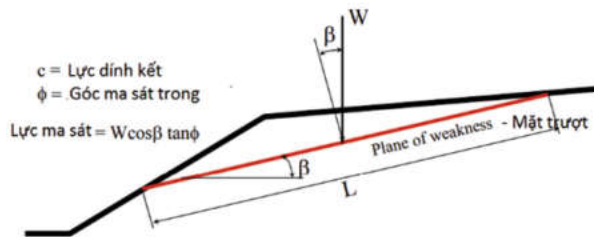
Biến dạng bờ mỏ xảy ra theo nhiều dạng khác nhau như trượt khối theo mặt phẳng (Hình H.1), trượt nêm, trượt trôi, trượt xoay, sập đổ... Mặt trượt có hình dạng khác nhau, thường là mặt yếu cấu trúc địa chất, còn trong khối đồng nhất có dạng mặt cung lồi trụ tròn (Hình H.2).

Đọc theo mặt trượt khối đá là tác động của các lực đẩy gây trượt và lực giữ chống trượt/ổn định. Điều kiện cơ bản CBGH theo một diện tích bất kỳ trong mái dốc đất đá mỏ là tổng lực giữ và tổng



lực đẩy bằng nhau. Mục đích của phương pháp CBGH là xác định điều kiện cân bằng, bằng cách thỏa mãn tất cả các phương trình tĩnh. Nghĩa là, tổng các lực theo phương ngang và phương thẳng đứng phải bằng 0 và tổng các mômen về một điểm bất kỳ phải bằng 0.

Các yếu tố ảnh hưởng đến độ ổn định bờ mỏ (mô hình đơn giản là mặt trượt phẳng Hình H.1) bao gồm: Trọng lượng đất đá - ký hiệu W ; Góc dốc bờ mỏ - β ; Lực dính kết đất đá - c ; Góc ma sát trong - ϕ/Φ .



H.1. Sơ đồ lực tác dụng trên mặt trượt phẳng.

2.2. Cơ sở các phương pháp tính toán ổn định bờ mỏ

Độ ổn định bờ mỏ được thể hiện bởi Hệ số an toàn hay Hệ số ổn định (F), là tỷ số giữa tổng lực giữ chống trượt và tổng lực đẩy gây trượt theo mặt trượt. Các phương pháp tính toán ổn định bờ mỏ khác nhau ở cách đánh giá lực tác động.

Các tài liệu của Liên Xô trước đây cụ thể hóa 2 phương pháp tính độ ổn định bờ mỏ một cách dễ thực hiện là: Phương pháp cộng đại số lực - coi lăng trụ trượt biến dạng như một khối đồng nhất, không tính phản lực giữa các khối và chỉ áp dụng cho mặt trượt có dạng cung trụ tròn, đủ chính xác khi chiều cao bờ mỏ dưới 100 m và góc nội ma sát bé hơn 20° ; Phương pháp cộng véc tơ lực (đa giác lực) - có tính tổng hợp và chính xác hơn vì có tính đến phản lực giữa các khối được phân chia trong lăng trụ trượt theo dấu hiệu địa chất cụ thể, áp dụng cho điều kiện địa chất phức tạp với mọi dạng mặt trượt đa dạng [3, 9].

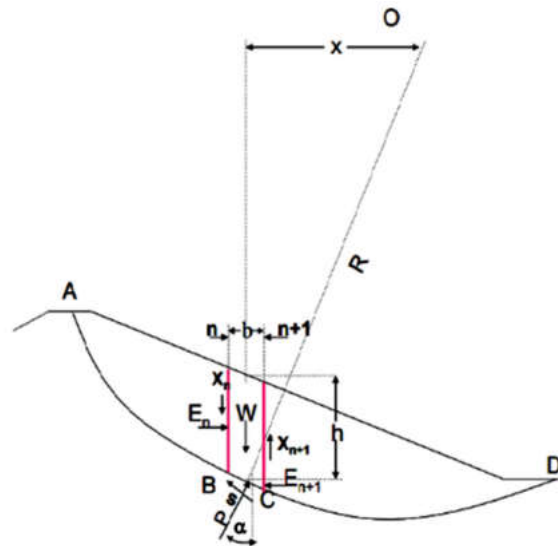
Cũng với cơ sở lý thuyết CBGH, các phần mềm quốc tế thường sử dụng các phương pháp tiếp cận sau.

2.2.1. Phương pháp Bishop

Khối đá bờ mỏ được xem như khối nêm cứng đồng nhất/lăng trụ tròn chịu tác động chuyển động xoay quanh trục của lăng trụ/tâm O bởi mômen lực

tính bằng tích của trọng lượng khối đá với khoảng cách nằm ngang đến tâm trục.

Giống như phương pháp Cộng đại số chỉ dành cho những trường hợp mặt trượt cung lăng trụ tròn, bờ mỏ được chia thành các lát cắt để phân giải các lực trên mỗi lát cắt, tính hệ số an toàn và tổng kết quả các lát cắt trên toàn bộ bờ mỏ để thu được hệ số an toàn tổng thể (Hình H.2).



H.2. Sơ đồ tác dụng lực lên khối trượt trên mặt trượt cung lăng trụ tròn.

(E_n, E_{n+1} - Lực phương nằm ngang, N; X_n, X_{n+1} - Lực kháng cắt dọc, N; W - Trọng lượng khối đá, T; P - Lực/cấp tuyến, N; s - Lực kháng cắt ở chân mặt trượt, N; h - Chiều cao của lát cắt, m; b - Chiều rộng của lát cắt, m; l - Chiều dài cung trượt BC, m; α - Góc giữa BC và phương ngang, độ; x - Khoảng cách ngang giữa lát cắt và tâm cung tròn, m; ϕ/ϕ - Góc ma sát trong, độ; c - Lực kết dính, Pa; μ - Áp suất lỗ rỗng (nước ngầm), Pa).

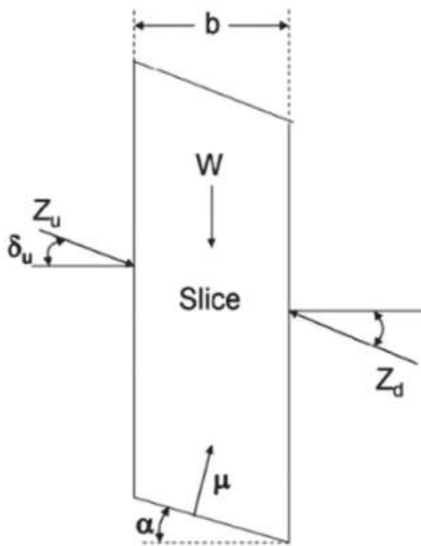
Phương trình kết quả cho hệ số an toàn là:

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [cl + \tan \phi (W \cos \alpha - \mu l)] \quad (1)$$

Trong đó tử số là tổng các lực giữ chống trượt gồm ma sát và dính kết, mẫu số là tổng lực tiếp tuyến gây trượt.

2.2.2. Phương pháp Spencer-Wright

Khác với phương pháp Bishop chỉ xét đến cân bằng lực thẳng đứng và mômen, phương pháp Spencer-Wright xét thêm CBGH của lực phương



H.3. Sơ đồ tác dụng lực trong phương pháp Spencer-Wright [6].

Trong đó: Z_u - Lực liên kết khối (phản lực) từ khối phía trên (trên mặt cắt 2D thì khối được xem là lát cắt/slice), N ; Z_d - Lực liên khối (phản lực) từ khối phía dưới, N ; M_n - Mômen của hệ thống, N.m; μ - Áp suất lỗ rỗng tại tâm của đáy khối, Pa; α - Góc ngang của đáy khối, độ; ϕ/ϕ - Góc nội ma sát, độ; c - Lực dính kết, Pa; F - Hệ số An toàn; b - Chiều rộng của khối, m; W - Trọng lượng của khối, T; i - Số thứ tự khối bắt đầu từ chân là số 1; δ_u - góc nghiêng của lực liên kết khối, độ

nằm ngang, và có thể áp dụng cho cả trường hợp mặt trượt cong tròn và không cong tròn (Hình H.3).

Phản lực từ các khối trên và dưới được tính như sau:

$$Z_u = \frac{\left(\frac{c}{F}\right) b \sec \alpha - W \sin \alpha + \left(\frac{\tan \phi}{F}\right) (W \cos \alpha - \mu b \sec \alpha)}{\cos(\alpha - \delta_i) \left[1 + \left(\frac{\tan \phi}{F}\right) \tan(\alpha - \delta_i) \right]}$$

$$Z_d = \frac{\cos(\alpha - \delta_i) \left[1 + \left(\frac{\tan \phi}{F}\right) \tan(\alpha - \delta_i) \right]}{\cos(\alpha - \delta_i) \left[1 + \left(\frac{\tan \phi}{F}\right) \tan(\alpha - \delta_i) \right]} \quad (2)$$

Phương trình mômen của hệ thống được giải như sau:

$$M_n = \sum \{ 0.5 Z_d [\sin \delta_i (b_i + b_j) - \cos \delta_i (b_i \tan \alpha_i + b_j \tan \alpha_j)] \} \quad (3)$$

Vì giá trị góc của lực liên kết khối biến động giữa các khối nên nó được biểu diễn dưới dạng hàm số sau:

$$\tan \delta_i = k_i \tan \theta \quad (4)$$

Trong đó: δ_i là góc của lực liên kết trên mặt nghiêng của lát cắt; k_i - hệ số hiệu chỉnh δ_i trong 20% khối đất cuối cùng; θ - hằng số góc được gọi là *Spencer's Theta*.

Hệ số k_i hiệu chỉnh các lực liên kết khi chúng ở gần phần trên của mặt trượt. $k = 1$ trong tất cả các

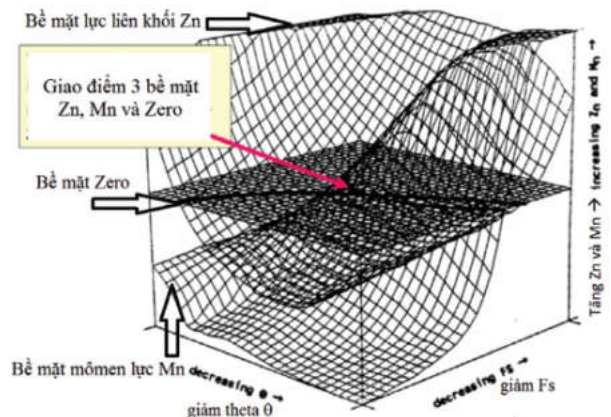
khối trừ 20% nhóm cuối cùng, nơi k được giảm tuyến tính đến 0.

Giải pháp là tìm giá trị của hệ số an toàn F và *Spencer's Theta* θ mà Z_n và M_n bằng không, trong đó Z_n là lực liên kết khối lên mặt trên của khối cuối cùng và M_n là mômen kết quả cuối cùng.

Để giải bài toán, phần mềm sử dụng quy trình giảm thiểu phương trình Z_n và M_n cho các giá trị tương ứng của F và θ , hay thay đổi F và θ sao cho Z_n và M_n tiếp cận giá trị bằng 0 (Zero).

Khái niệm này có thể được minh họa bằng hình họa khi xét 3 bề mặt Z_n , M_n và Zero (Hình H.4). Bề mặt Z_n thể hiện lực liên kết khối từ khối trên lên khối cuối cùng, giao nhau với mặt phẳng Zero xác định các giá trị của F và θ thỏa mãn phương trình lực đối với Z_n (F, θ) = 0.

Tương tự, nghiệm cho phương trình mômen



H.4. Giải pháp giao nhau của 3 bề mặt Z_n , M_n và Zero [6].



Mn cho các giá trị khác nhau của F và θ được hiển thị là giao điểm của bề mặt Mn với mặt phẳng Zero xác định các giá trị của F và θ thỏa mãn phương trình mômen đối với Mn (F, θ) = 0.

Giải pháp cuối cùng đáp ứng được cả hai phương trình Zn và Mn được hiển thị là giao điểm 3 bề mặt Zn, Mn và Zero (Hình H.4), với giá trị của F và θ thỏa mãn các điều kiện cả Zn (F, θ) = 0 và Mn (F, θ) = 0 là nghiệm.

2.2.3. Phương pháp Sarma

Phương pháp Sarma là một cách tiếp cận khác để xác định hệ số an toàn cho bờ mỏ chỉ dành cho các mặt trượt gấp khúc/không trơn tròn. Cả hai phương pháp Bishop và Spencer đều sử dụng tỷ số giữa lực đẩy và lực giữ tại mặt trượt để tính toán hệ số an toàn. Thông qua các lần lặp lại, một loạt các mặt trượt được kiểm tra và mặt trượt với tỷ lệ bé nhất là hệ số an toàn được chấp nhận.

Phương pháp Sarma xác định độ ổn định của bờ mỏ bằng cách sử dụng gia tốc ngang (như một phần của hằng số hấp dẫn) đối với vật liệu bờ mỏ và tính toán hệ số an toàn của khối đất đá đối với lực tác dụng. Việc các thông số độ bền của đất đá được giảm dần cho đến khi gia tốc ngang bằng không là điều kiện để có trượt lở, tức là khi hệ số an toàn bằng 1,0, là điểm mà khối đá ở trạng thái CBGH. Giá trị gia tốc này được gọi là gia tốc tới hạn và ký hiệu là K_c .

Sử dụng phương pháp Sarma, hệ số an toàn được xác định là hệ số mà theo đó độ bền của vật liệu phải được giảm dần để tạo ra trạng thái CBGH, lúc đó lực gây trượt bằng lực giữ chống trượt. Hệ số này đạt được từ một loạt các thử nghiệm và giảm lỗi của các tính chất địa kỹ thuật để đạt đến giá trị K_c là 0,0 đại diện cho hệ số an toàn 1,0.

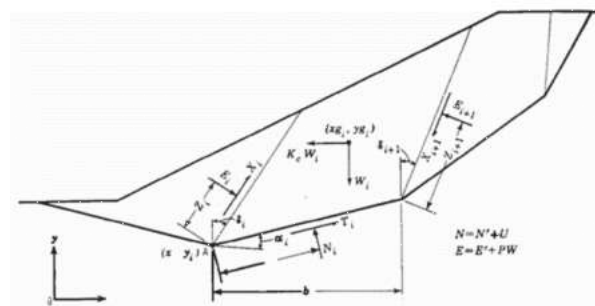
Sự khác biệt giữa Sarma và các phương pháp khác. Trong Sarma, lực đẩy gây trượt là hệ số K (0,0 - 1,0) cần thiết để đặt khối đất đá vào trạng thái CBGH. Trong khi đó, các phương pháp khác tính toán tỷ lệ của tổng lực giữ đến tổng lực đẩy của khối đất đá.

Trong Sarma, hệ số K được xác định bằng cách giải các phương trình cân bằng cho mỗi phạm vi được chỉ định bởi người dùng. Trong các phương pháp khác, hệ số an toàn được xác định cho từng cấu hình trượt lở bằng cách thay đổi hình dạng của mặt trượt khi thay đổi các điểm kết thúc bên trái, bên phải và bán kính của mặt trượt. Điều này đòi hỏi

một thuật toán tìm kiếm cho các phương pháp khác để thay đổi hình dạng, tính toán hệ số an toàn, theo dõi hệ số an toàn tối thiểu trong giới hạn của các ràng buộc được đặt trong phạm vi tìm kiếm.

Phương pháp Sarma cho phép các ranh giới không thẳng đứng và không song song giữa các lát cắt trong khi các phương pháp khác khuyến khích dù không yêu cầu lát cắt thẳng đứng. Các lát cắt không thẳng đứng làm cho việc tính toán số học khó hơn đặc biệt là để tính toán các mômen. Nhưng Sarma không sử dụng mômen, nên có thể sử dụng các ranh giới lát cắt không thẳng đứng.

Mô hình Sarma. Mô hình Sarma chia bờ mỏ trên mặt trượt gấp khúc thành các khối/lát cắt có các cạnh không cần thẳng đứng và không cần song song với nhau (thực tế theo cấu trúc địa chất - Hình H.5).

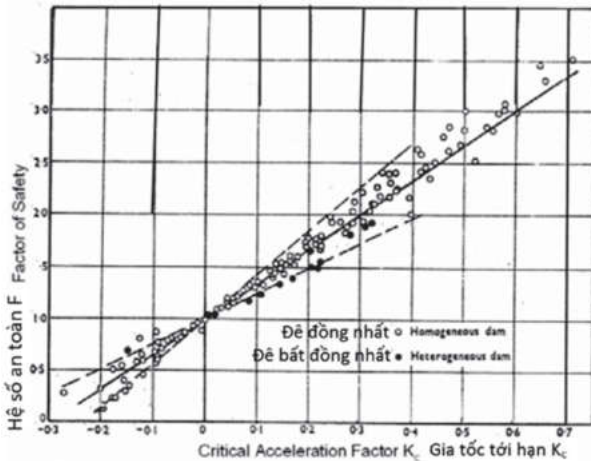


H.5. Mô hình bờ mỏ theo Sarma [6].

Trong đó: E_i, E_{i+1} - Lực phương ngang, N; T_i - Lực gây trượt/cắt trượt ở đáy khối/mặt trượt, N; μ - Áp suất lỗ rỗng (nước), Pa; Z_i, Z_{i+1} - Điểm tác dụng của lực liên kết khối/lát cắt; b - Chiều rộng của khối cắt/lát cắt, m; X_i, X_{i+1} - Lực cắt dọc/đứng vertical, N; l - Chiều dài BC, m; W_i - Trọng lượng đất đá, T; α - Góc ngang đáy mặt trượt, độ; K_c - Hệ số gia tốc tới hạn; ϕ - Góc nội ma sát, độ; N_i - Lực pháp tuyến, N; c - Lực dính kết, Pa.

Xác định hệ số an toàn. Sarma phát hiện tồn tại mối quan hệ tuyến tính giữa gia tốc tới hạn K_c và hệ số an toàn F. Mối quan hệ này được tính toán bằng cách vẽ biểu đồ tương quan hệ số an toàn F tính toán được khi sử dụng phương pháp Bishop và Spencer-Wright và hệ số gia tốc K_c tính toán được khi sử dụng phương pháp Sarma.

Sarma đã phát triển một đường cong để suy diễn chuyển đổi K_c nhất định thành F. Mối quan hệ giữa F và K_c được tìm thấy là tuyến tính trên một loạt các giá trị điển hình (Hình H.6).



H.6. Đồ thị tương quan giữa Gia tốc tới hạn và Hệ số An toàn tính trong phân tích độ ổn định của đập và đề kè đất. [Geotechnique, Tập 24, Số 4, 1974, trang 661-665].

Các tình huống sử dụng Sarma so với các phương pháp khác. Phương pháp Sarma có thể được sử dụng trên bất kỳ hình dạng bờ mả nào và đặc biệt trên các bờ mả có cấu tạo địa chất phức tạp, bất đồng nhất như có các lớp đất đá khác nhau, đứt gãy kiến tạo, đới giảm yếu (ví dụ xem Hình 7). Những cấu trúc này rất khó để mô hình hóa trong các phương pháp khác nhưng Sarma dễ dàng thực hiện vì không phân tích các phương trình mômen.

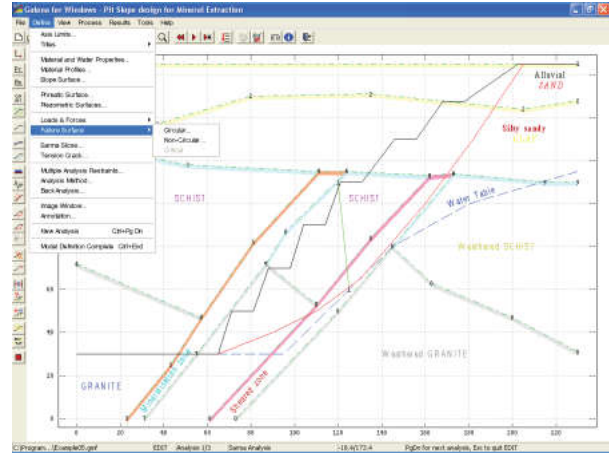
2.3. Áp dụng tính toán thực tế

Việc tin học hóa các công đoạn sản xuất trên thế giới thông qua các phần mềm đang phát triển rất mạnh mẽ. Tính toán ổn định bờ mả được tích hợp trong các phần mềm đa chức năng như MineSight, Surpac (Úc), Techbase (Mỹ), GeoLynx, Pamap (Canada), Maptex Vulcan (Anh)... Đồng thời cũng được phát triển riêng biệt trong các phần mềm chuyên nghiệp như Geoslope (Canada), Slide (Mỹ), Galena (Úc)... với việc sử dụng các phương pháp tính toán ổn định bờ mả thông dụng Bishop, Spencer-Wright, Sarma... như đã kể trên.

Trong khuôn khổ bài báo là trình bày một số kết quả về công tác xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL), mô hình hóa khoáng sàng, lập mặt cắt địa chất, hiển thị mô hình 3D, tính toán ổn định bờ mả với việc ứng dụng kết hợp các phần mềm GeoLynx, Mapinfo và Galena.

2.3.1. Xây dựng mặt cắt địa chất

Các phần mềm tính toán ổn định bờ mả hiện



H.7. Mô hình bờ mả cấu trúc bất đồng nhất trong phần mềm Galena [5].

(tên các lớp đá: Alluvial sand- Cát phù sa, silty sandy clay - đất sét pha cát, water table - mực nước ngầm, weathershed schist - đá phiến phong hóa, weathershed granit - granit phong hóa, schist - đá phiến, sheared zone - đới cắt trượt, mineralization zone - đới khoáng hóa, granit - granit).

Hole	North	East	Level	Depth	Description	Mo	Me	Dir	mm	C. kg/m ³	Wet. kg/m ³	Thresh. g/cm ³	Wt	
1051	2496.57	427101.2	128.14	0.0	77.8	SETTLMAN	0.5	0.46	24	30	3	150	2.54F	
1054	25197.02	427770	210.95	307.7	77.8	TRNH	1	0.91	24	30	3	85	1.42 DA	
1055	24922.48	427284.1	110.51	63.8	78.8	95.7	BOHNET	16.9	10.44	24	30	4	695	2.58 DA
1058	24980.7	427070.7	268.44	84.4	95.7	194.45	CADNET	6.75	7.17	30	30	5.61	690	2.55 DA
1058B	25516.27	427070.3	241.59	513.4	104.45	130.8	CADNET	18.15	13.32	30	30	5.67	1190	2.59 DA
1059	25284.23	427174.8	173.3	334.71	120.6	138	BOHNET	7.4	6.96	30	30	4	695	2.58 DA
1060	26321.27	42670.3	189.81	300	129	142.7	CADNET	14.7	12.04	30	30	5.67	1190	2.59 DA
1061	26204.67	426445.0	191.95	300	142.7	181.46	BOHNET	18.15	14.68	30	30	4	695	2.58 DA
1062	26170.59	426586.2	247.47	657	181.46	383.1	CADNET	21.9	24.16	30	30	5.61	690	2.55 DA
1063	26146.34	426740.2	161.38	300.3	405.8	455.1	CADNET	20.5	24.16	30	30	5.61	690	2.55 DA
1064	26146.34	426740.2	161.38	300.3	455.1	455.9	CADNET	11.6	8.5	30	30	5.61	690	2.55 DA
1065	420	110	74	1051	455.1	455.9	CADNET	10.9	9.95	30	30	5.67	1190	2.59 DA
1066	400	110	75	1051	405.8	455.1	CADNET	20.5	24.16	30	30	5.61	690	2.55 DA
1067	440	109	72.4	1051	405.8	477.5	CADNET	11.6	8.5	30	30	5.61	690	2.55 DA
1068	400	110	72	1051	477.5	488.4	BOHNET	21.9	17.84	30	30	4	695	2.58 DA
1069	400	110	71	1051	488.4	510.9	CADNET	11.4	9.34	30	30	5.61	690	2.55 DA
1071	500	130	70	1051	610.8	541.5	BOHNET	30.7	25.16	30	30	4	695	2.58 DA
1071	530	130	68.8	1051	641.5	616.4	CADNET	24.9	21.36	30	30	5.67	1190	2.59 DA
1071	440	140	75.6	1051	0	0	CADNET	0	0	30	30	0	2.1 DA	
1071	500	150	67	1054	0	12.5	THAN	2.5	2.17	30	30	3.2	85	1.42 DA

H.8. Các bảng CSDL địa chất quan hệ Đèo Nai (dịnh dạng file Deonai.mdb trong MsAccess database) [4].

nay thường sử dụng phương pháp CBGH trên cơ sở hình học 2 chiều (2D) trên các mặt cắt địa chất tại khu vực có độ bền yếu nhất, do đó việc xây dựng mặt cắt mô hình bờ mả đúng đắn là rất cần thiết. Bắt đầu từ kết quả thăm dò địa chất tiến hành những ứng dụng đồng bộ quan trọng nhất là xây dựng CSDL, mô hình hóa cấu trúc khoáng sàng để từ đó làm cơ sở thiết kế mả, lập mặt cắt và nhiều ứng dụng khác.

- **Xây dựng CSDL địa chất:** Xây dựng CSDL địa chất quan hệ (relational geological database)

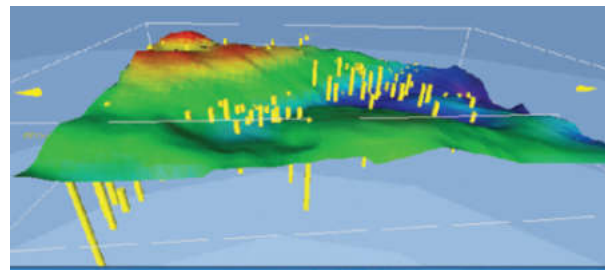


là nội dung có ý nghĩa thiết thực, nhập 1 lần và sử dụng vô số lần, là bước đầu quan trọng nhất của ứng dụng CNTT trong kỹ thuật mỏ, khi toàn bộ kết quả thăm dò địa chất gốc được cấu thành một CSDL thống nhất để phục vụ xử lý mọi vấn đề kỹ thuật tiếp theo. Dữ liệu thăm dò sắp xếp thành các trường và bản ghi theo hàng và cột, có quan hệ logic với nhau, cụ thể là các bảng như: tọa độ lỗ khoan (Collar); cột địa tầng lỗ khoan (Log); phân tích mẫu theo khoan (Samp); độ cong lỗ khoan (Survey)...Chữ “quan hệ” (relational) ở đây thể hiện tính liên quan logic và không gian trong CSDL, ví dụ như nếu có dữ liệu 1 lỗ khoan mới thì các mặt cắt qua đó sẽ tự thay đổi, không thể có lỗ khoan trùng tên nhau, hay các đoạn chiều sâu khoan trùng nhau trong 1 lỗ khoan... (Hình H.8). Có thể so sánh khi hàng chục hộp tài liệu của báo cáo địa chất với hàng trăm lỗ khoan thăm dò được đưa vào một file theo định dạng chuẩn để dàng cập nhật, truy cập và xử lý bằng máy tính với các phần mềm khác nhau. Trường hợp khoáng sàng Đèo Nai dưới đây – ta có file CSDL Deonai.mdb trong phần mềm MsAccess database dung lượng chỉ 8.8Mb (xem Hình H.8), tập hợp kết quả thăm dò chi tiết của hơn 200 lỗ khoan và hào thăm dò, với tổng hơn 50 ngàn mét khoan các thời kỳ, đầy đủ thông tin về hành trình khoan qua các lớp than và đá. Tiếp theo, các phần mềm chuyên dụng đọc và xử lý dữ liệu khoan, lập mô hình vỉa than và cấu trúc địa chất, làm cơ sở tiếp tục lập mặt cắt, bình đồ, tính trữ lượng, tối ưu hóa, thiết kế mỏ, lập lịch khai thác...một cách đồng bộ và tự động, tạo thành tập hợp dữ liệu dung lượng ban đầu hàng trăm Mb. Ở phạm vi mỏ than có thể xem CSDL đây như khái niệm dữ liệu lớn ‘big data’ cho các đối tượng sử dụng khác nhau.

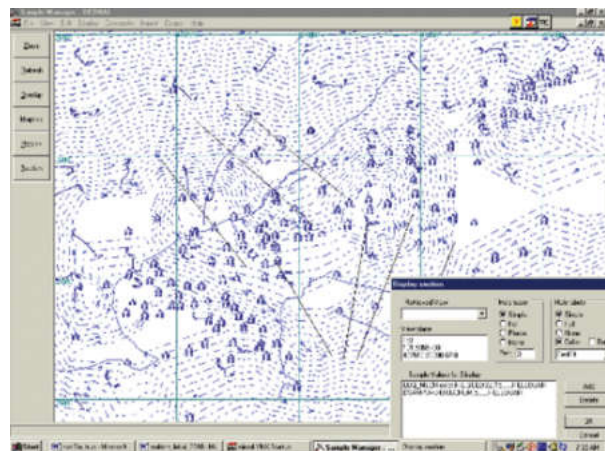
- **Mô hình hóa cấu trúc khoáng sàng:** Đây là khâu khó khăn và quan trọng nhất trong ứng dụng tin học, bởi khối lượng tính toán lớn và tiện ích phong phú, và là cơ sở cho việc đồng bộ các ứng dụng khác như thiết kế mỏ, tính hiệu quả kinh tế... Mô hình hóa dữ liệu bằng máy tính điện tử là quá trình biến đổi từ tập hợp mẫu thăm dò rời rạc thành một tập hợp giá trị bằng số liên tục về cấu trúc địa chất, vỉa than... Mảng giá trị số này (array of values) có thể hiển thị bằng hình ảnh, bản đồ, mặt cắt [1, 4].

- **Lập mặt cắt địa chất:** Với ví dụ mỏ Đèo Nai,

khi đã đầy đủ CSDL với các lỗ khoan thăm dò (Hình H.9), thông số địa kỹ thuật, mô hình địa hình, biên giới kết thúc, vỉa than, đứt gãy địa chất ... thì mặt cắt địa chất được xây dựng đơn giản bằng lệnh “COMPUTE > CROSS SECTION” và kẻ tuyến bất kỳ (ví dụ tuyến Eb ngoài cùng bên trái, Hình H.10), tiếp theo khai báo phạm vi, màu sắc, góc dốc và hiển thị các thông số lỗ khoan như độ sâu trụ lớp đá, độ tro mẫu than, phân bố các vỉa than, địa hình và đứt gãy kiến tạo... (Hình H.11). Sản phẩm nhận được là mặt cắt tuyến Eb như trên Hình H.12 (Khác với các mặt cắt truyền thống, trên mặt cắt do máy tính lập ra các lớp đất đá chỉ thể hiện là nằm ngang như trục lỗ khoan, đồng thời trong phạm vi bài báo đã lược bỏ màu sắc ký hiệu các lớp đá).



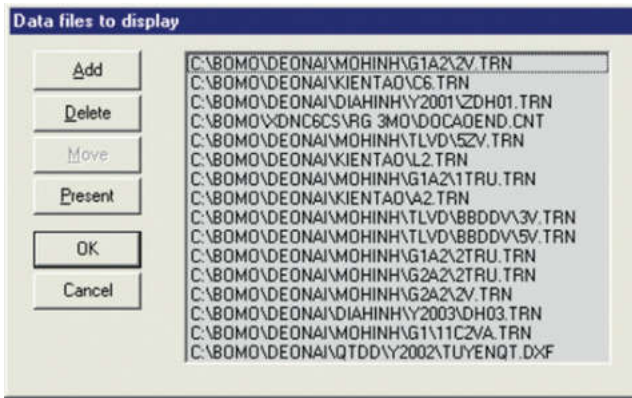
H.9. Địa hình 3D bờ mỏ Đèo Nai cùng các lỗ khoan thăm dò [4].



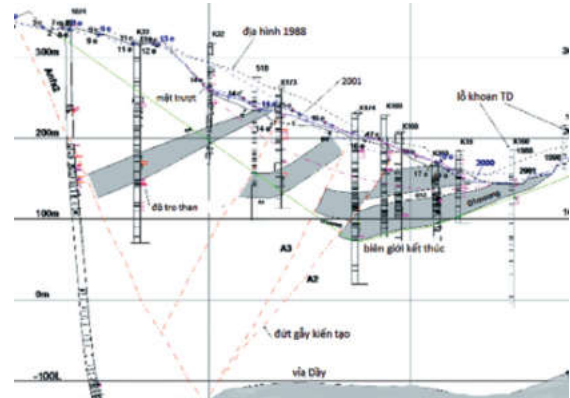
H.10. Lập tuyến mặt cắt trên địa hình bờ mỏ Đèo Nai với các lỗ khoan [4].

2.3.2. Tính toán ổn định bờ mỏ

Trên các mặt cắt đưa ra phân tích ổn định bờ mỏ theo các giai đoạn khai thác khác nhau cho bờ thiết kế [2]. Các thông số đầu vào chính khi xây dựng mô hình tính toán bao gồm: tọa độ mô hình,



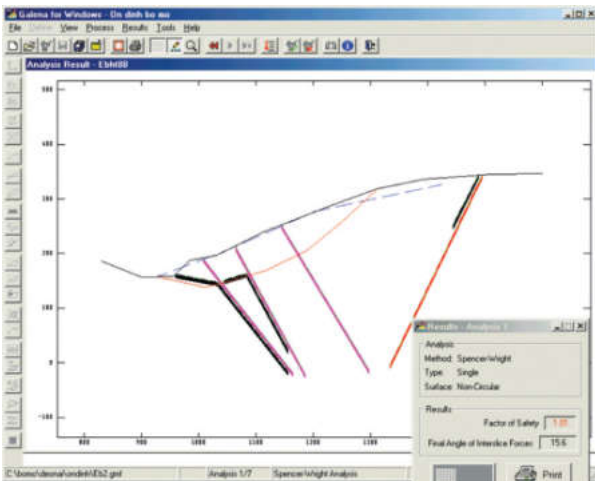
H.11. Đưa thông tin cần thiết vào mặt cắt (địa hình, đứt gãy, vỉa than, lỗ khoan...).



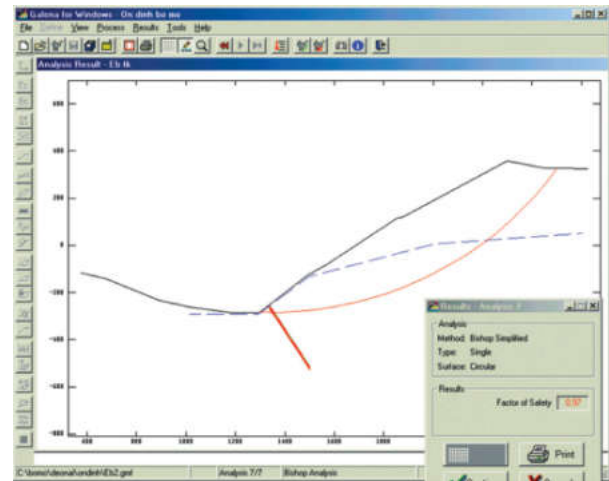
H.12. Kết quả xây dựng mặt cắt địa chất bờ mỏ tự động, đồng bộ trên máy tính (Tuyến Eb, Đèo Nai) [4].

tính chất cơ lý đá (c , ϕ/ψ , $W...$), cấu trúc đất đá (đứt gãy, đới giảm yếu. lớp đất đá có độ bền khác nhau...), bề mặt địa hình, mức nước ngầm, mặt trượt tiềm năng, phương pháp tính toán (Bishop, Spencer-Wright hoặc Sarma)... (Trong trường hợp mặt cắt như trên Hình H.12 được lập ra có thể ngược chiều hướng dốc với phần mềm tính toán ổn định (Hình H.13), thì đơn giản là chuyển đổi ngược dấu tọa độ X của mặt cắt để có sự đồng bộ).

Đối với bờ vách có thể sử dụng các dạng mặt trượt cung trụ tròn hoặc không trụ tròn và tương ứng với phương pháp tính bất kỳ (Bishop, Spencer-Wright hoặc Sarma), ví dụ phương pháp Spencer-Wright (H.13a), Bishop (H.13b), Sarma (H.14a), Bishop (H.14b). Đồng thời khi lựa chọn các phương pháp tính toán khác nhau (Sarma - H.14a), Bishop - H.14b) đã cho kết quả hệ số ổn định khá giống nhau, tương ứng là 1,35 và 1,27 với mặt trượt không trụ tròn và cung trụ tròn.



(a) pp Spencer-Wright, T. Eb mức +170 m

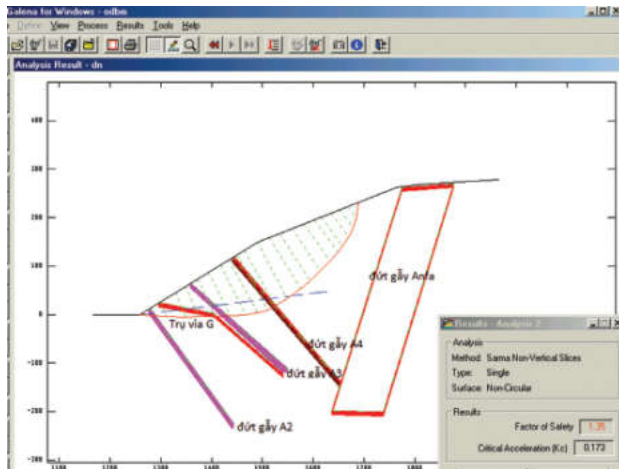


(b) pp Bishop, T. Eb. Mức -285 m

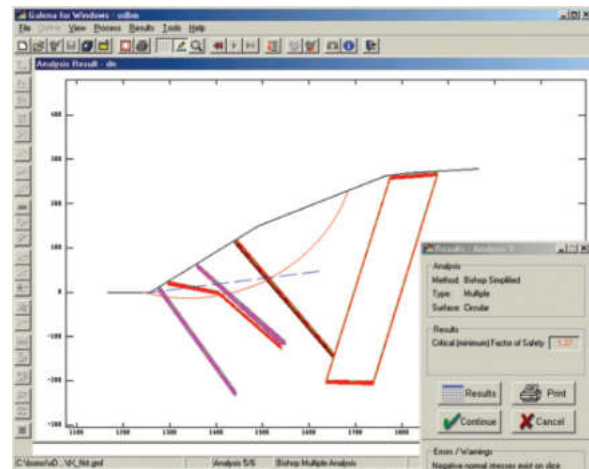
H.13. Kết quả tính ổn định bờ Bắc Đèo Nai, T. Eb (ký hiệu như Hình 14a)[2].

Đối với bờ trụ Nam, do là cấu trúc địa chất bờ trụ nên không thể áp dụng với mặt trượt cung trụ tròn và phương pháp Bishop, nên xem xét mặt trượt

gấp khúc và phương pháp tính Sarma (H.15a) và Spencer (H.15b). Kết quả hệ số ổn định khá giống nhau tương ứng là 1,00 và 0,98 ở 2 tuyến gần nhau.

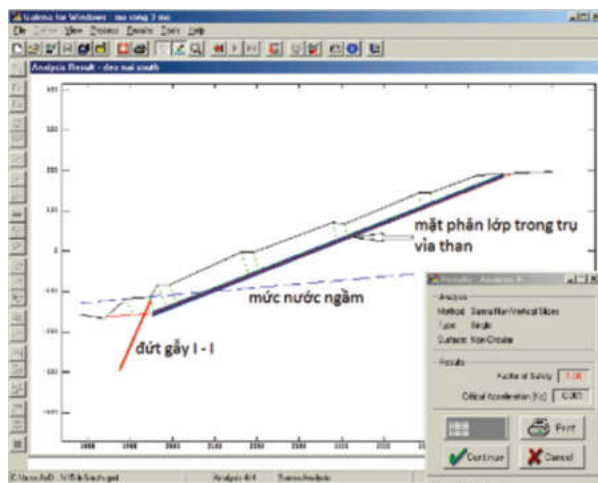


(a) phương pháp Sarma, $F=1,35$

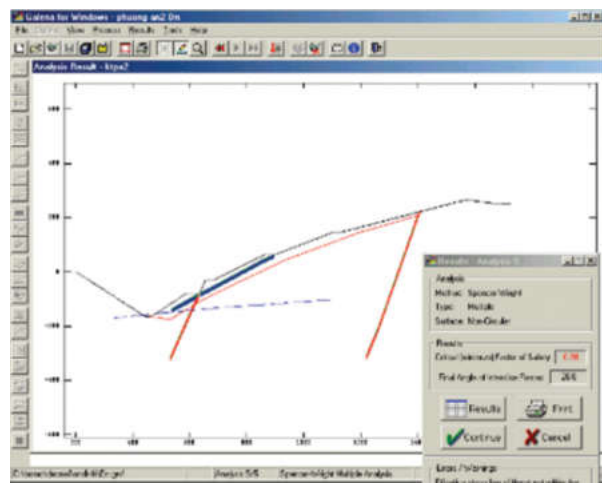


(b) phương pháp Bishop, $F=1,27$

H.14. Kết quả tính ổn định bờ Bắc Đèo Nai, tuyến TX (Eb) mức ±0 m [2].



(a) phương pháp Sarma, Tuyến XV.



(b) phương pháp Spencer, Tuyến En.

H.15. Kết quả tính ổn định bờ trụ Nam Đèo Nai, mức -170 m [2].

Kết quả tính toán cho thấy bờ mỏ Tây Bắc thiết kế kết thúc khai thác vỉa Dày mức -285 m không ổn định ($F = 0,97$), thiết kế kết thúc khai thác vỉa G mức ±0 m ổn định ($F=1,35$) và bờ mỏ hiện trạng mức +170 m biến dạng ở mức độ CBGH ($F =$

1,01); Bờ mỏ trụ nam nhìn chung không ổn định ($F=1$) nên cần các biện pháp xử lý...

Kết luận rút ra là khi lựa chọn các phương pháp tính toán hợp lý cần theo những điều kiện áp dụng cụ thể như bảng tổng hợp sau:

Bảng 1. Tổng hợp các phương pháp tính toán và điều kiện áp dụng.

Phương pháp	Mặt trượt	Khối cắt/Lát cắt	Tính toán	Điều kiện áp dụng
Bishop	Cung trụ tròn	Thẳng đứng	Giải bài toán lực thẳng đứng và mômen cân bằng	Để phân tích nhanh bờ mỏ cấu tạo đơn giản từ đất đá khá đồng nhất.



Phương pháp	Mặt trượt	Khối cắt/Lát cắt	Tính toán	Điều kiện áp dụng
Spencer-Wright	Cung trụ tròn và không cung trụ tròn	Thẳng đứng	Giải bài toán lực thẳng đứng, lực ngang và mômen cân bằng	Mặt trượt không cung trụ tròn với cấu trúc đơn giản
Sarma	Không cung trụ tròn/Gấp khúc	Thẳng đứng và Không thẳng đứng	Giảm độ bền đất đá đến khi gia tốc ngang bằng 0 để có trượt lở	Cấu trúc địa chất phức tạp, có các lớp đất đá khác nhau, đới đứt gãy, đới giảm yếu...

3. KẾT LUẬN

Kết quả tính toán trên đây thể hiện độ chính xác cao khi các bờ mỏ những năm qua có hiện trạng biến dạng bắt đầu từ trạng thái CBGH, sau đó có lúc mạnh mẽ và phải xử lý xúc bóc... Đồng thời kết quả tính toán cũng chỉ thể hiện một trong số rất nhiều phép chọn tính toán khác nhau nhưng có giá trị ổn định bé nhất. Đây chính là ưu điểm của CNTT khi dễ dàng thay đổi các thông số, các lựa chọn và phân tích kết quả, để trên cơ sở đó có thể điều chỉnh thiết kế hình

dạng và các biện pháp đảm bảo ổn định bờ mỏ tối ưu. Hơn nữa, mỗi phần mềm thường có ưu điểm và chức năng riêng, nên việc kết hợp các phần mềm sẽ nâng cao được rõ rệt hiệu quả và sự tiện lợi sử dụng.

Để có kết quả tính toán chính xác thì điều quan trọng nhất là xác định đầy đủ, chính xác các thông số đầu vào về đặc trưng địa kỹ thuật, về mô hình cấu trúc địa chất - thủy văn và hình dạng mặt trượt yếu nhất của bờ mỏ, đồng thời cần lựa chọn đúng đắn phương pháp tính toán □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đoàn Văn Kiển, Nguyễn Chí Quang, Kiều Kim Trúc và nnk (2001). Xây dựng Cơ sở dữ liệu địa chất khoáng sàng than Tổng Công ty Than Việt Nam. Báo cáo Dự án Tổng Công ty Than Việt Nam. Công ty Tin học, Công nghệ và Môi trường. Hà Nội.
2. Lê Đức Phương, Kiều Kim Trúc (2002). Nghiên cứu phương án mở rộng khai thác xuống sâu 3 mỏ vùng Cẩm Phả. Đề xuất dự án. Công ty CP Tư vấn đầu tư mỏ và công nghiệp - Vinacomin. Hà Nội.
3. Pustovoitova, Kiều Kim Trúc và nnk (2019). Hướng dẫn áp dụng công tác đảm bảo ổn định bờ mỏ các mỏ khai thác than lộ thiên và bãi thải Việt Nam. Sách hướng dẫn. Tập đoàn Công nghiệp Than-Khoáng sản Việt Nam. Hà Nội.
4. Kiều Kim Trúc (2005). Ứng dụng máy tính với chức năng mô hình hóa địa chất và mỏ. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, ISSN 0868-7052, số 5/2005, tr. 29-33, Hội KHCN Mỏ Việt Nam. Hà Nội.
5. Galena 3.1 for Windows (2001). Clover Technonogy Associates Pty. Ltd. Robertson, NSW. Australia.
6. Lou Hamm (2001). GALENA® Slope Stability Analysis Methods Background. TIPS training. Australia.
7. Slide for Windows (2011). Limit equilibrium analysis of slope stability. Rocksciences Inc. Toronto, Ontario. Canada.
8. Smith M. L. (1999). Geologic and Mine Modelling using Techbase and Lynx. AA. Balkema. Rotterdam. Netherland.
9. ВНИМИ (1998). Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. ВНИМИ. Санкт Петербург.



PIT SLOPE STABILITY ANALYSIS METHODS WITH OVERALL APPLICATION OF COMPUTER

Kieu Kim Truc

ABSTRACT

Computer applications to analyze the slope stability of open-pit mines are very common and necessary work to solve complex calculations to determine the optimal pit-mine shape and slope. The coal industry in our country in the past is often familiar with documents from the former Soviet Union with specific and easy implementation instructions, while softwares originating from Western countries has a complex general approach. The article presents methods to calculate the stability of pit-mine slope such as Bishop, Spencer-Wright, Sarma applied in softwares, and also presents the overall application from creating geological database, modeling deposit, to creating sections, displaying 3D models, calculating pit-mine slope stability in case study of Deo Nai pit with using of GeoLynx, MapInfo and Galena softwares.

Keywords: softwares, pit-mine slope stability, geological database, modeling, Deo Nai pit.

Ngày nhận bài: 20/3/2023;

Ngày gửi phản biện: 30/3/2023;

Ngày nhận phản biện: 20/4/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2023.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.