

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

-----o0o-----



## **BÁO CÁO HỌC THUẬT**

**NGHIÊN CỨU SỰ PHÂN BỐ ỨNG SUẤT PHÍA DƯỚI TRỤ THAN BỊ  
BỎ LẠI TRONG KHÔNG GIAN KHAI THÁC**

Hà Nội, tháng 06/2024

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

-----o0o-----

**BÁO CÁO HỌC THUẬT**

Tên báo cáo:

**NGHIÊN CỨU SỰ PHÂN BỐ ỨNG  
SUẤT PHÍA DƯỚI TRỤ THAN BỊ BỎ  
LẠI TRONG KHÔNG GIAN KHAI  
THÁC**

Người báo cáo:

**TS. LÊ QUANG PHỤC**

Tổ chức chủ trì:

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

Thời gian thực hiện:

**HỌC KỲ II NĂM HỌC 2023-2024**

Hà Nội, tháng 06/2024

## MỤC LỤC

<b>MỞ ĐẦU.....</b>	<b>5</b>
<b>Chương 1. Tổng quan kinh nghiệm nghiên cứu sự tập trung ứng suất phía dưới trụ than .....</b>	<b>6</b>
1.1 Luận giải sự xuất hiện của áp lực tựa dưới trụ than .....	6
1.2 Kinh nghiệm nghiên cứu và phương pháp xác định phạm vi phân bố của ứng suất dưới trụ than.....	10
<b>Chương 2. Nghiên cứu sự tập trung ứng suất phía dưới trụ than trong một trường hợp cụ thể .....</b>	<b>18</b>
2.1 Các thông số đầu vào của bài toán .....	18
2.2 Tính toán xác định phạm vi phân bố ứng suất dưới trụ than.....	18
2.2.1 <i>Phương pháp lý thuyết</i> .....	18
2.2.2 <i>Phương pháp mô phỏng số</i> .....	19
<b>Kết luận và kiến nghị .....</b>	<b>22</b>
<b>Tài liệu tham khảo.....</b>	<b>23</b>

## DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1. Sơ đồ phân bố áp lực khi khai thác .....	6
Hình 1.2. Ảnh hưởng của sập đổ đá vách trên mô hình vật liệu tương đương .....	6
Hình 1.3. Vùng ảnh hưởng áp lực tựa khi khai thác vỉa trên .....	7
Hình 1.4. Vùng phân chia ứng suất khi khai thác vỉa giữa đối với vỉa dưới và vỉa trên liền kề; $\beta$ , $\varphi$ lần lượt là góc giải phóng ứng suất trên và dưới;.....	7
Hình 1.5. Phân vùng ứng suất trên phần mềm Flac 3D; .....	8
Hình 1.6. Phân vùng áp lực dưới trụ than.....	10
Hình 1.7. Phân vùng áp lực tựa – vùng ảnh hưởng nguy hiểm từ trụ bảo vệ đối với vỉa phía trên .....	11
Hình 1.8. Phân vùng áp lực tựa – vùng ảnh hưởng nguy hiểm từ trụ bảo vệ đối với vỉa phía dưới .....	13
Hình 1.9. Sơ đồ xác định vùng áp lực tựa từ trụ bảo vệ.....	15
Hình 1.10. Đồ thị xác định kích thước vùng áp lực tựa trên vỉa chịu ảnh hưởng.....	15
Hình 1.11. Biểu đồ xác định tham số của phạm vi ảnh hưởng áp lực tựa dưới trụ than....	16
Hình 1.12. Biểu đồ xác định chiều rộng của vùng áp lực tựa (l) dưới trụ than trong mối tương quan với chiều sâu phân bố công trình và chiều dày vỉa .....	16
Hình 1.13. Sơ đồ xác định kích thước vùng ảnh hưởng áp lực tựa từ phần cạnh khối ....	17
Hình 2.1. Biểu đồ xác định vùng áp lực tựa dưới trụ than tương ứng với các chiều rộng trụ than khác nhau.....	19
Hình 2.2. Phân bố ứng suất dưới trụ than ở vỉa dày 3m, trụ than rộng lần lượt: a – 20m; b – 25m; c – 30m .....	20
Hình 2.3. Phân bố ứng suất dưới trụ than ở vỉa dày 5m, trụ than rộng lần lượt: a – 20m; b – 25m; c – 30m .....	21
Hình 2.4. Phân bố ứng suất dưới trụ than ở vỉa dày 7m, trụ than rộng lần lượt: a – 20m; b – 25m; c – 30m .....	21

## MỞ ĐẦU

Khai thác than tại các mỏ than hầm lò Việt Nam hiện nay được thực hiện chủ yếu thông qua hệ thống khai thác cột dài. Trong hệ thống khai thác này, mỗi tầng được chuẩn bị bằng hai hoặc 3 đường lò dọc vỉa đào trong than để đảm bảo công tác thông gió, vận tải và đi lại. Giữa các đường lò chuẩn bị luôn tồn tại một trụ than với chiều rộng thay đổi phụ thuộc vào từng điều kiện mỏ. Một trong hai lò dọc vỉa sẽ được giữ lại để phục vụ thông gió cho lò chợ ở tầng khai thác tiếp theo nên trụ than sẽ đóng vai trò là trụ bảo vệ cho sự ổn định của đường lò được giữ lại này. Đồng nghĩa với vai trò của trụ than này, cho đến nay ngành than Việt Nam chưa có giải pháp khai thác triệt để nhằm giảm tổn thất than trong trụ. Ngoài ra, sự tồn tại của trụ than không được khai thác (bị bỏ lại trong không gian khai thác) sẽ tiềm ẩn nguy cơ tăng cường sự tập trung ứng suất khi khai thác các vỉa than bên dưới. Bởi vì, trụ than tồn tại trong không gian khai thác sẽ có vai trò như một trụ đỡ để chịu tải trọng từ các tầng đá vách, và nó lại là cầu nối để truyền tải trọng từ đá vách xuống đá trụ và vỉa than bên dưới. Nghĩa là trụ than đã tạo ra điểm tựa áp lực để hình thành vùng ứng suất cao phía dưới trụ. Chúng ta đã biết rằng, các đường lò nằm trong vùng ứng suất cao sẽ không thuận lợi cho việc chống giữ và duy trì ổn định. Do đó, khi thực hiện đào lò và khai thác phía dưới các trụ than này, nguy cơ xuất hiện các sự cố nén bẹp, tụt lở và đổ lò có thể xảy ra.

Hiểu biết về trạng thái phân bố ứng suất được hình thành phía dưới trụ than là nền tảng để xây dựng các giải pháp kỹ thuật và an toàn trong quá trình khai thác tại các vỉa than gần nhau. Theo một số nghiên cứu, vùng ứng suất này được hình thành có dạng bầu ứng suất (bóng đèn ứng suất) và thay đổi về giá trị theo khoảng cách tương đối với trụ than. Ở gần đáy của trụ than, ứng suất đạt giá trị cực đại và sau đó giảm dần khi khoảng cách xa hơn. Do đó, vị trí của các đường lò ở vỉa than dưới sẽ được chống giữ và duy trì ổn định tốt hơn nếu nó nằm ngoài vùng áp lực cao phía dưới trụ.

Nói chung, ứng suất phía dưới trụ than còn sót lại ở vỉa than phía trên sẽ ảnh hưởng đến độ ổn định của đường lò vỉa dưới trong trường hợp khai thác các vỉa than gần nhau. Do vậy, với mục tiêu nghiên cứu đặc điểm phân bố ứng suất dưới trụ than nhằm định hướng nghiên cứu vị trí hợp lý của đường lò dọc vỉa trong trường hợp khai thác các vỉa than gần nhau, việc thực hiện báo cáo và thảo luận chuyên đề: **“Nghiên cứu sự phân bố ứng suất phía dưới trụ than bị bỏ lại trong không gian khai thác”** là cấp thiết. Nội dung nghiên cứu mang hàm ý chuyên sâu về ngành khai thác mỏ hầm lò. Để thực hiện các nội dung, báo cáo thực hiện cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu như sau:

Cách tiếp cận: Sử dụng phương pháp tiếp cận tổng hợp để phân tích, thống kê và đánh giá tổng quan. Sử dụng phương pháp toán phân tích để luận giải, xác định áp lực mỏ cũng như các giả thuyết lan truyền áp lực trong các tầng lớp đá mỏ.

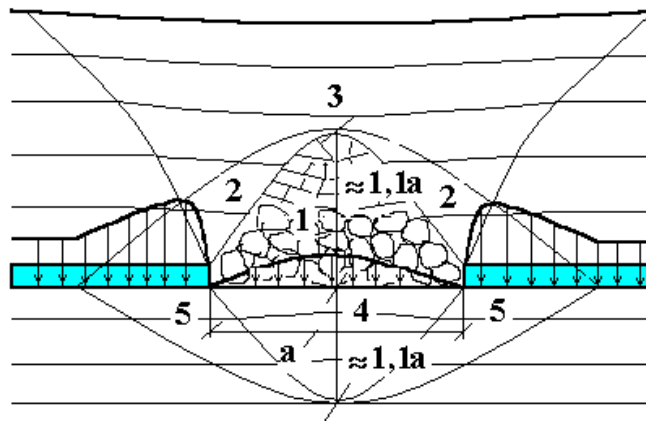
Phương pháp nghiên cứu: Sử dụng phương pháp tổng hợp, phân tích, nghiên cứu lý thuyết kết hợp với khảo sát trong thực tế của các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh.

Kỹ thuật sử dụng: Sử dụng máy tính và các phần mềm chuyên dụng để tổng hợp, phân tích, xử lý các số liệu;

## Chương 1. Tổng quan kinh nghiệm nghiên cứu sự tập trung ứng suất phía dưới trụ than

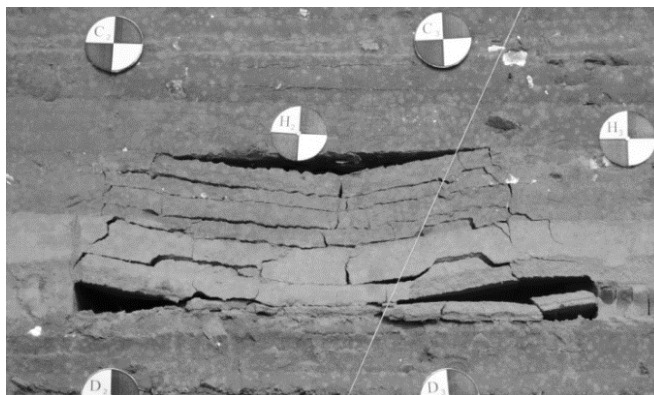
### 1.1 Luận giải sự xuất hiện của áp lực tựa dưới trụ than

Theo nhiều nghiên cứu trên thế giới cũng như ở Việt Nam đã chỉ ra rằng, sự võ nhàu, dịch chuyển của các lớp đá do sự gia tăng áp lực của khối đá xung quanh công trình hầm lò. Vùng gia tăng áp lực này được gọi là vùng áp lực tựa (vùng ảnh hưởng nguy hiểm). Theo nhiều nghiên cứu, vùng áp lực tựa này xuất hiện trong quá trình khai thác theo hình sau:

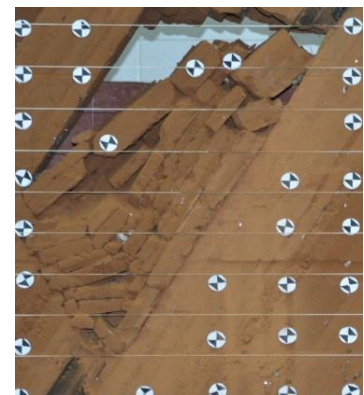


Hình 1.1. Sơ đồ phân bố áp lực mỏ tại khu vực khai thác

Theo hình 1.1 có thể thấy rằng, vùng gia tăng áp lực chỉ tập trung ở phần trụ tiếp giáp với không gian đã khai thác (theo quy tắc ngàm - dầm công son) hay phía trước của gương khai thác lò chợ. Trong không gian lò chợ, đất đá sập đổ lấp đầy khoảng trống đã khai thác để đưa về trạng thái cân bằng mới nên áp lực rất nhỏ. Ngoài ra, vấn đề đá vách sập đổ gây hiện tượng võ nhàu đá trụ dưới vĩa là không đáng kể. Theo kết quả nghiên cứu trên mô hình vật liệu tương đương, việc đá vách sập đổ hầu như rất ít ảnh hưởng đến nền đá trụ (xem hình dưới).

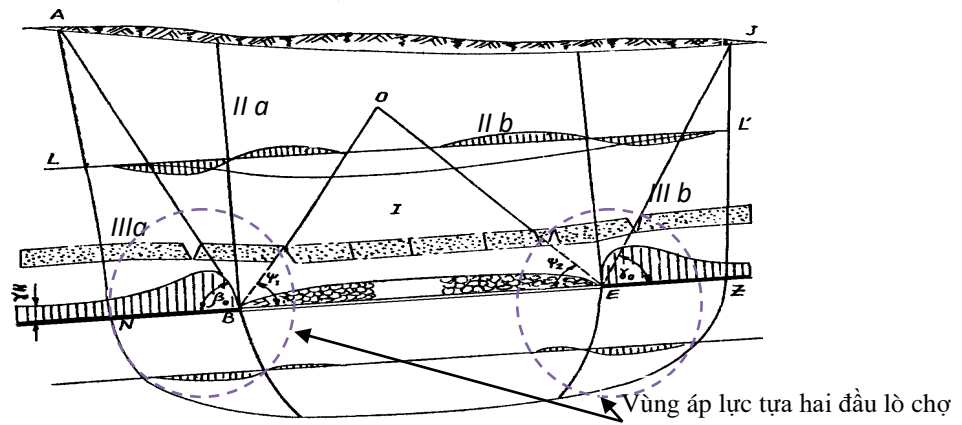


a. Khi khai thác vỉa dốc thoải



b. Khi khai thác vỉa nghiêng đứng

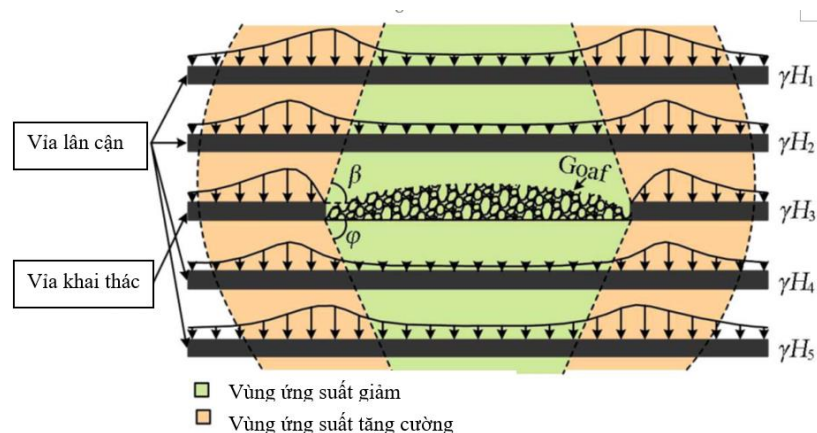
Hình 1.2. Ảnh hưởng của sập đổ đá vách trên mô hình vật liệu tương đương



Hình 1.3. Vùng ảnh hưởng áp lực tựa khi khai thác vỉa trên

Theo hình 1.3, vấn đề ảnh hưởng của khai thác vỉa trên đến vỉa dưới chủ yếu do nguyên nhân của sự hình thành vùng áp lực tựa trên các trụ, khối than. Do đó, để giảm ảnh hưởng khi khai thác các vỉa gần nhau cần có giải pháp hợp lý để hạn chế sự tồn tại vùng áp lực tựa này. Cũng từ những nghiên cứu trên và thực tế sản xuất đã khẳng định rằng, trình tự khai thác các vỉa gần nhau phải được thực hiện theo thứ tự vỉa trên trước, vỉa dưới khai thác sau. Việc khai thác vỉa dưới trước với phương pháp điều khiển đá vách bằng phá hóa toàn phần sẽ làm sụt lở đá vách và vỉa than phía trên (vỉa than trên sẽ nằm trong vùng sập đổ của đá vách vỉa dưới), điều này dẫn đến việc không thể khai thác vỉa trên một cách an toàn và hiệu quả.

Vùng áp lực tựa hình thành phía dưới trụ than, hay còn được gọi là vùng ảnh hưởng nguy hiểm chỉ xuất hiện xung quanh trụ than bảo vệ và tại phần khối than nguyên liên kề không gian đã khai thác của vỉa gần nhau. Sự xuất hiện vùng áp lực tựa này ảnh hưởng rất lớn đến việc đào lò và duy trì đường lò cũng như quá trình khai thác ở vỉa lân cận. Theo tác giả Mingwei Zhang, quá trình khai thác lò chợ hình thành nên 3 vùng ứng suất xung quanh khu vực khai thác gồm: Vùng ứng suất giảm, vùng ứng suất tăng và vùng ổn định ứng suất (xem hình 1.4).

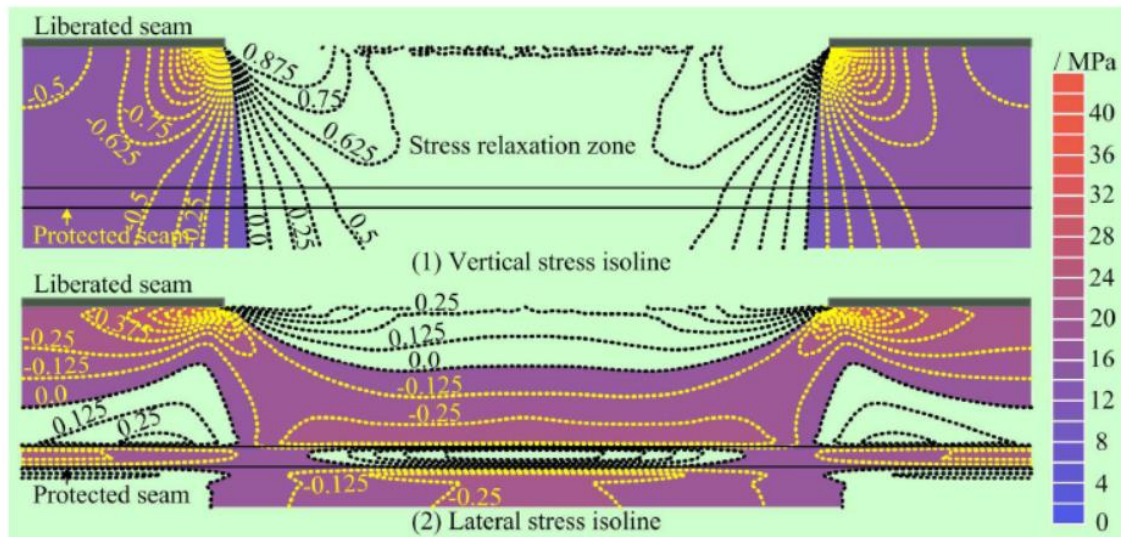


Hình 1.4. Vùng phân chia ứng suất khi khai thác vỉa giữa đối với vỉa dưới và vỉa trên liền kề;  $\beta$ ,  $\varphi$  lần lượt là góc giải phóng ứng suất trên và dưới;



Trên hình 1.4, ứng suất nằm dưới và trên khu vực lò chợ được giảm đáng kể khi chuyển ứng suất trong khối đá. Do đó, khu vực này được gọi là vùng ứng suất giảm. Vía than nằm trong khu vực này được cho là an toàn. Điều không thể tránh khỏi là việc sập đổ đất đá trong không gian khai thác đã làm giảm đáng kể mức độ tập trung ứng suất, làm suy yếu sự biến dạng đàn hồi và tạo điều kiện thuận lợi cho việc khai thác lò chợ ở vỉa liền kề (thường thuận lợi cho vỉa bên dưới).

Để mô tả các cùng ứng suất này, tác giả đã sử dụng phần mềm Flac 3D với kết quả như hình sau:



Hình 1.5. Phân vùng ứng suất trên phần mềm Flac 3D;

Từ hình trên cho thấy vùng tập trung ứng suất tập trung chủ yếu trong khối đá xen kẹp giữa hai vỉa ở hai đầu lò chợ. Sự tăng áp lực khu vực này làm giảm độ bền bên trong khối đá, gây ra các hiện tượng vỡ nhàu, nén ép và tiềm ẩn nhiều nguy cơ gây mất an toàn trong quá trình đào lò và khai thác vỉa dưới.

Đặc biệt, trong trường hợp để lại trụ than bảo vệ của vỉa khai thác phía trên, theo nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng sự gia tăng ứng suất và áp lực bên dưới trụ bảo vệ lớn hơn đáng kể so với xung quanh và ảnh hưởng của nó đối với các vỉa than bên dưới là tương đối mạnh. Sự ảnh hưởng tương tác của vùng áp lực dưới trụ bảo vệ này có thể gây thiệt hại nghiêm trọng như: tụt nóc, nổ hông và bùng nền của các đường lò ở vỉa phía dưới. Sự ổn định của các đường lò có ảnh hưởng trực tiếp tới hoạt động khai thác và sự an toàn của công nhân. Do đó, cần thiết phải tính toán vị trí đặt đường lò của vỉa than bên dưới để giảm ảnh hưởng tương tác, đặc biệt là dưới trụ than của vỉa khai thác phía trên.

Cũng nghiên cứu về vấn đề này, theo hướng dẫn điều khiển áp lực mỏ trong khu vực lò chợ khai thác dưới (hoặc trên) trụ bảo vệ và biên giới khu vực ảnh hưởng khi khai thác tập vỉa dốc đến 35 độ (đã được phê duyệt bởi Thứ trưởng thứ nhất V.D. Nikitin – Bộ năng lượng Nga ngày 16 tháng 5 năm 1984) đã chỉ rõ rằng trước khi khai



thác tập vỉa than gần nhau cần thiết phải xem xét kế hoạch khai thác kết hợp giữa hai vỉa hay việc có sự tồn tại trụ bảo vệ trong không gian khai thác, vùng biên của khối than trên các vỉa than liền kề và phân bố tương đối các cột khai thác. Nếu trên vỉa than trên và vỉa than dưới có các trụ bảo vệ và các khối than cạnh không gian khai thác với hình chiếu bằng của nó trùng với lò chợ đang được khai thác thì ranh giới của các khu vực ảnh hưởng của các trụ bảo vệ hay các khối than này được xác định theo phương pháp sau”

Theo mức độ nguy hiểm của ảnh hưởng từ các trụ cột than và phần khối than cạnh không gian khai thác của các vỉa liền kề, cần phân biệt 3 vùng:

- Vùng nguy hiểm cao
- Vùng nguy hiểm
- Vùng dự báo;

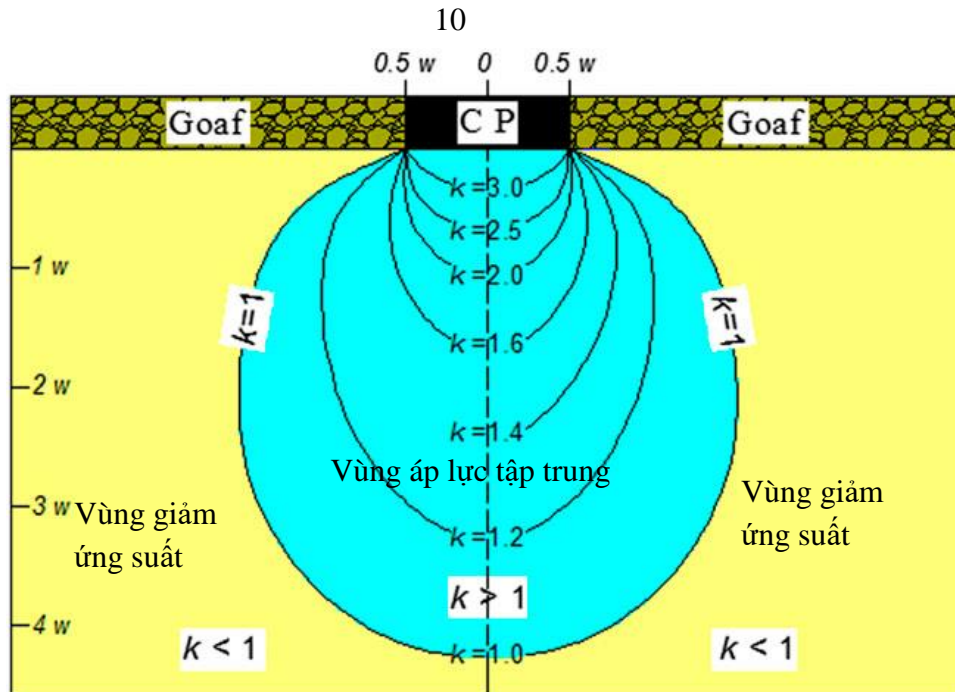
Khi lò chợ hay đường lò nằm trong vùng nguy hiểm cao thường giảm mạnh sự ổn định của các lớp đá vách, ngoài ra có những biểu hiện động lực đặc trưng của áp lực đá vách cơ bản khó sập đổ. Điều này dẫn đến sự phá hủy ngay lập tức các lớp đá thấp hơn của vách trực tiếp hoặc một phần đáng kể của khối đá xung quanh lò chợ khai thác, có thể dẫn đến sự gia tăng mãnh liệt của tải trọng lên đá trụ. Trong khu vực này, sự bùng nổ và ép than thường xuất hiện và tăng cao.

Khi lò chợ hay đường lò nằm trong vùng nguy hiểm, sự giảm ổn định của các lớp đá thuộc vách trực tiếp dẫn đến sự tăng các vết nứt và dập vỡ.

Khi làm việc trong vùng dự báo và các vùng lân cận không gian đã khai thác có thể không có những ảnh hưởng đáng kể nào, chỉ thỉnh thoảng có sự thay đổi tính ổn định của lớp đá vách trực tiếp.

Các nghiên cứu khác cũng đã chỉ ra rằng, trụ bảo vệ để lại trong không gian khai thác đóng vai trò như một trụ cột chịu tải của đá vách vỉa. Toàn bộ đá vách xung quanh phía trên trụ bảo vệ sẽ được giữ không bị sập đổ, điều đó dẫn đến sự gia tăng áp lực của khối đá vách này lên trụ than.

Ngoài ra, trụ than lúc này đóng vai trò như một cầu nối truyền ứng suất từ đá vách xuống đá trụ của vỉa. Do đó, vùng đá trụ phía dưới của trụ bảo vệ cũng chịu một tải trọng lớn từ đá vách truyền xuống và hình thành nên vùng áp lực tựa (áp lực nguy hiểm).



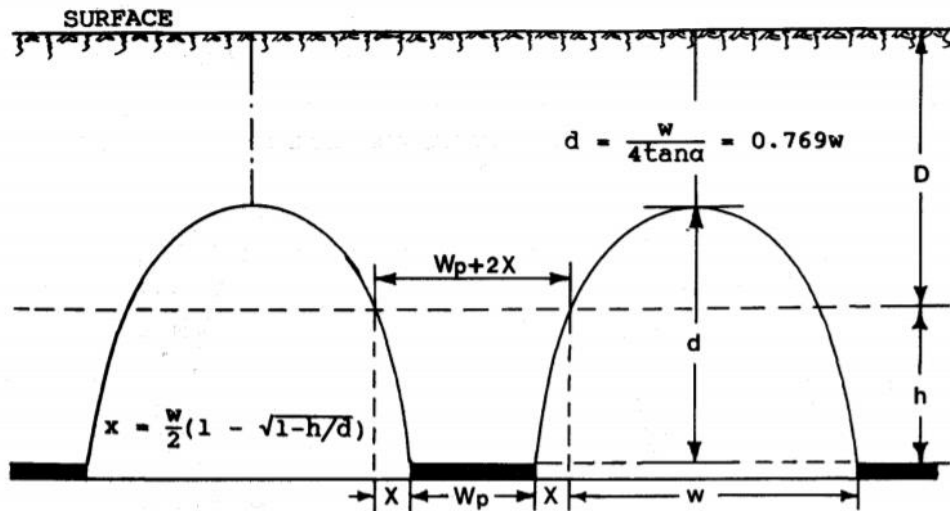
Hình 1.6. Phân vùng áp lực dưới trụ than

Với hình trên, “w” tương ứng là chiều rộng của trụ than. Như vậy, theo nghiên cứu này, tại vị trí dưới độ sâu lớn hơn hoặc bằng 4 lần chiều rộng trụ bảo vệ thì khu vực đã nằm trong vùng giảm ứng suất ( $k < 1$ ). Việc bố trí đường lò tại đây hoàn toàn bình thường như trong trường hợp khai thác một vỉa độc lập mà không có sự tác động của vỉa khác. Tuy nhiên, tại mức sâu  $\leq 4w$ , vùng tập trung ứng suất ( $K > 1$ ), áp lực gia tăng tập trung trong hình oval phía dưới trụ bảo vệ. Càng gần trụ bảo vệ, áp lực mỏ càng lớn và khả năng thi công cũng như duy trì đường lò trong khu vực này là rất khó khăn. Do đó, giải pháp giảm thiểu là cần bố trí đường lò trong vùng ứng suất giảm ( $k < 1$ ) phía dưới trụ bảo vệ của vỉa khai thác phía trên.

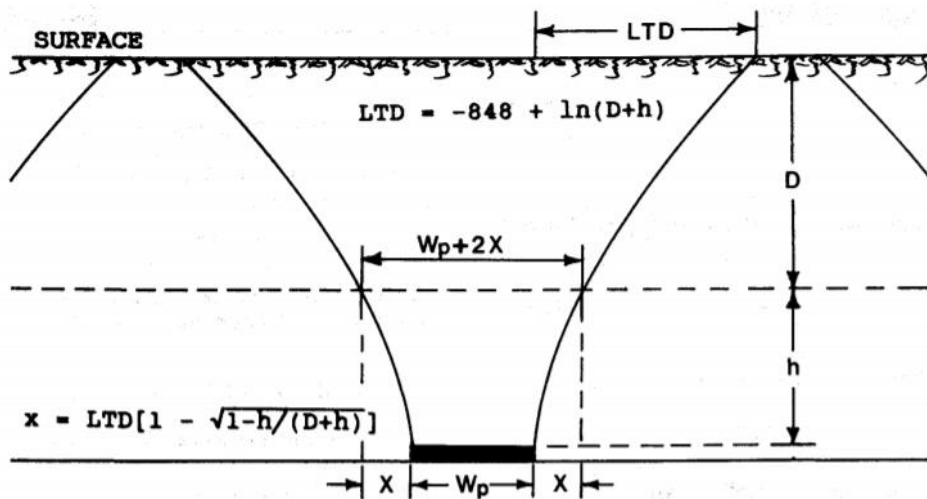
Vấn đề đặt ra là cần xác định vùng ứng suất tập trung dưới trụ bảo vệ này theo phương pháp nào. Theo tác giả Yingxin Zhou, ứng suất tập trung xuất hiện do việc để lại trụ bảo vệ hình thành cả phía trên và phía dưới của trụ. Phương pháp xác định vùng ứng suất này có liên hệ mật thiết giữa vùng phía trên và vùng phía dưới trụ, cũng như tính chất đất đá vách và trụ của vỉa than.

## 1.2 Kinh nghiệm nghiên cứu và phương pháp xác định phạm vi phân bố của ứng suất dưới trụ than

Theo tác giả Yingxin Zhou, việc xác định vùng tập trung ứng suất (vùng áp lực tựa – vùng ảnh hưởng nguy hiểm) phía trên vỉa than được xác định theo hình 1.7.



a. Trường hợp vòm áp lực hình thành trong lò chợ khai thác không phát triển tới bề mặt địa hình



b. Trường hợp vòm áp lực hình thành trong lò chợ khai thác phát triển tới bề mặt địa hình

Hình 1.7. Phân vùng áp lực tựa – vùng ảnh hưởng nguy hiểm từ trụ bảo vệ đối với vỉa phía trên

Trong hình 1.10a, chiều rộng vùng áp lực nguy hiểm phía trên trụ than ở vỉa phía trên được xác định bằng công thức:

$$S = W_p + 2x ; m$$

Ở đây:

B – Chiều rộng vùng ảnh hưởng của áp lực tựa từ trụ bảo vệ đối với vỉa phía trên, m;

$W_p$  – Chiều rộng của trụ bảo vệ, m;

$x$  – Khoảng cách mở rộng vùng ảnh hưởng áp lực tựa tính từ trụ bảo vệ đối với vỉa phía trên, m;

Trong trường hợp vòm áp lực từ lò chợ không phát triển tới mặt đất thì giá trị  $x$  được xác định bằng công thức:

$$x = \frac{w}{2}(1 - \sqrt{1 - h/d}) ; m$$

Ở đây:

$w$  – Tương ứng bằng chiều rộng vòm cân bằng áp lực của lò chợ trừ đi khoảng cách  $x$ ; mét. Chiều rộng vòm cân bằng áp lực của lò chợ tương ứng bằng chiều dài của lò chợ.

$h$  – Khoảng cách từ vỉa than có trụ bảo vệ đến vỉa phía trên, m;

$d$  – Chiều cao của vòm cân bằng áp lực của lò chợ, m;  $d$  được xác định gần đúng bằng công thức thực nghiệm sau:

$$d = \frac{w}{4 \cdot \tan \alpha} \approx 0,769.w ; m$$

Tuy nhiên, khi chiều cao vòm cân bằng tự nhiên của lò chợ phát triển tới bề mặt địa hình (hình 2.10b) thì tương tự, chiều rộng vùng ảnh hưởng của áp lực tựa từ trụ bảo vệ đến vỉa than phía trên cũng sẽ là:  $S = Wp + 2x ; m$

Các thông số tương tự như trường hợp trên, nhưng giá trị khoảng cách mở rộng vùng ảnh hưởng áp lực tựa tính từ trụ bảo vệ đối với vỉa phía trên ( $x$ ) được xác định bằng công thức sau:

$$x = LTD.(1 - \sqrt{1 - h/(D + h)}) ; m$$

Ở đây:

$LTD$  – Khoảng cách truyền tải theo bán kính trên mặt địa hình từ trụ than, m;

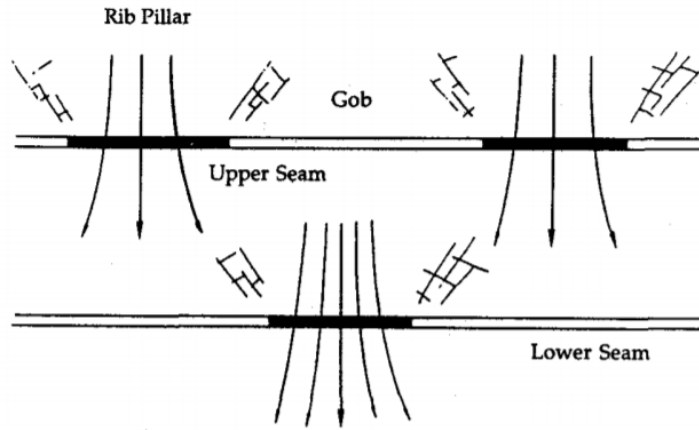
Giá trị  $LTD$  được xác định gần đúng bằng công thức thực nghiệm sau:

$$LTD = -848 + 159 \ln(D);$$

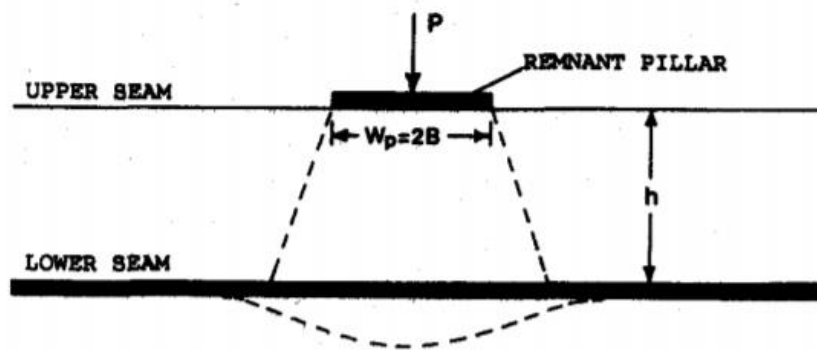
$D$  – Khoảng cách từ vỉa phía trên đến bề mặt địa hình, m;

Như vậy, vùng áp lực tựa (vùng áp lực nguy hiểm) phía trên trụ than là hoàn toàn có thể xác định được trong điều kiện cụ thể.

Tuy nhiên, thực tế khai thác mỏ và nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng vùng áp lực nguy hiểm còn phát triển sâu xuống phía dưới của trụ than. Dưới tải trọng của các lớp đá, áp lực được truyền qua trụ than xuống phần đá trụ của vỉa được thể hiện theo hình 1.8 như sau:



a. Hướng truyền áp lực của đá vách qua trụ than xuống nền đá trụ



b. Sơ đồ xác định vùng ảnh hưởng của áp lực tựa từ trụ than xuống vỉa phía dưới  
 Hình 1.8. Phân vùng áp lực tựa – vùng ảnh hưởng nguy hiểm từ trụ bảo vệ đối với vỉa phía dưới

Trụ bảo vệ đóng vai trò như cầu nối chuyển tải áp lực giữa đá vách và đá trụ của vỉa. Khi chiều sâu khai thác càng lớn thì trụ áp lực càng cao. Giả sử toàn bộ áp lực tác động lên trụ bảo vệ được biểu diễn bởi áp lực tập trung P trên chiều rộng trụ bảo vệ  $W_p = 2B$ , khi đó áp lực P được xác định bằng công thức sau:

$$P = \left[ (W_p + w) \cdot D - \frac{2}{3} d \cdot w \right] \cdot \gamma$$

Hay

$$P = \frac{[D^2 (1 + (-LTD))]}{3} \gamma$$

Ở đây:

P – Tải trọng tập trung của đá vách lên trụ bảo vệ; Mpa.

$W_p$  – Chiều rộng của trụ bảo vệ; m

w – Chiều rộng của vòm áp lực, m

d – Chiều cao vòm áp lực; m

D – Độ sâu khai thác của vỉa phía trên, m;

LTD – Khoảng cách truyền tải áp lực trên bề mặt

$\gamma$  – Dung trọng thể tích của đá vách, kg/m<sup>3</sup>;

Trên cơ sở lý thuyết về sự đàn hồi trong khối đá, ứng suất tại một khoảng cách thẳng đứng của tải trọng phân phối P trên chiều rộng trụ bảo vệ có thể được xác định gần đúng theo công thức:

$$\sigma_{\max} \approx \frac{3P}{4(B+h)} = \frac{3P}{2(Wp+2h)}$$

Ở đây:

$\sigma_{\max}$  - Ứng suất thẳng đứng tối đa, Mpa;

B – Nửa chiều rộng của trụ bảo vệ, m;

h – Khoảng cách giữa hai vỉa, m;

Ứng suất trung bình lên trụ than được xác định giảm khoảng 1,5 lần so với ứng suất tối đa như sau:

$$\sigma_{\text{avg}} \approx \frac{\sigma_{\max}}{1,5} = \frac{P}{(Wp+2h)}$$

Ứng suất ban đầu ở các vỉa thấp hơn sẽ là:

$$\sigma_o = (D+h) \cdot \gamma$$

Như vậy, sự tập trung ứng suất trung bình trên vỉa dưới sẽ là:

$$S = \frac{\sigma_{\text{avg}}}{\sigma_o} = \frac{P}{(D+h)(Wp+2h)\gamma}$$

Tóm lại, ngoài vùng ảnh hưởng phía trên trụ than, áp lực từ đá vách còn truyền tải xuống phía dưới trụ than hình thành vùng áp lực tựa tác động trực tiếp lên vỉa than bên dưới.

\* Cách xác định vùng áp lực tựa phía dưới trụ than khi khai thác các vỉa gần nhau tại các mỏ Liên Bang Nga

Theo hướng dẫn điều khiển áp lực mỏ trong khu vực lò chợ khai thác dưới (hoặc trên) trụ bảo vệ và biên giới khu vực ảnh hưởng khi khai thác tập vỉa dốc đến 35 độ (đã được phê duyệt bởi Thứ trưởng thứ nhất V.D. Nikitin – Bộ năng lượng Nga ngày 16 tháng 5 năm 1984) cũng đã chứng minh vùng áp lực tựa nguy hiểm xảy ra cả bên dưới và trên trụ than. Theo hướng dẫn này, kích thước của vùng ảnh hưởng nguy hiểm cao với các sơ đồ khác nhau (khai thác dưới hay trên) được đặc trưng bởi phạm vi ảnh hưởng từ các trụ than, vùng biên và góc ảnh hưởng. Ranh giới khu vực nguy hiểm cao được xác định bởi cấu trúc hình học trên các mặt cắt dọc dọc theo vùng biên tiếp giáp không gian khai thác hay là vuông góc với các trụ than.

Các thông số cơ bản trong việc xây dựng ranh giới vùng ảnh hưởng nguy hiểm bao gồm:

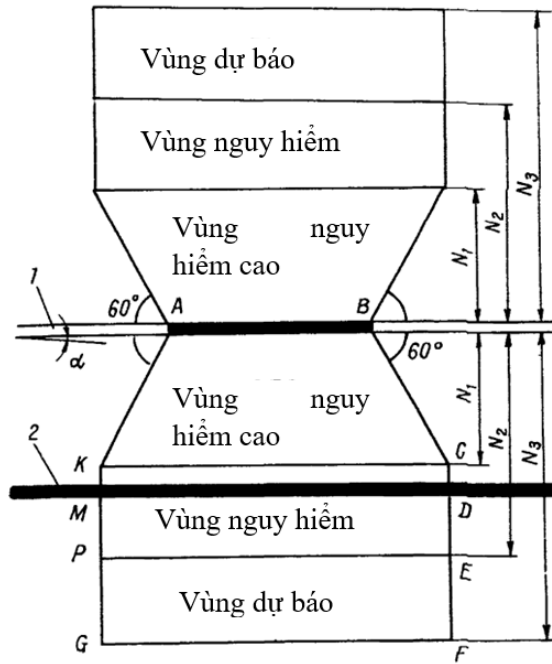
$H$  – chiều sâu khai thác, m;

$m_B$  – Chiều dày vỉa, m;

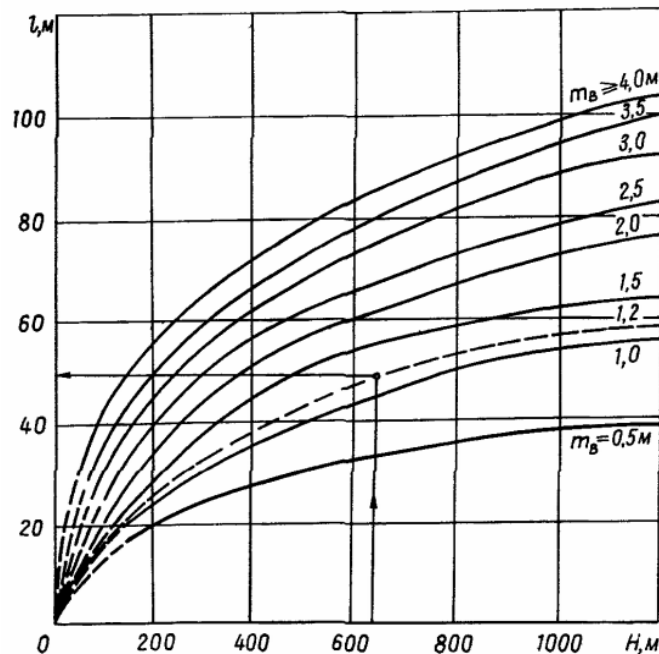
$h$  – chiều dày lớp đá vách giữa 2 vỉa, m;

$a$  – Chiều rộng trụ than (hay trụ bảo vệ)

$l$  – Chiều rộng vùng áp lực tựa trên vỉa chịu ảnh hưởng từ trụ bảo vệ, m;



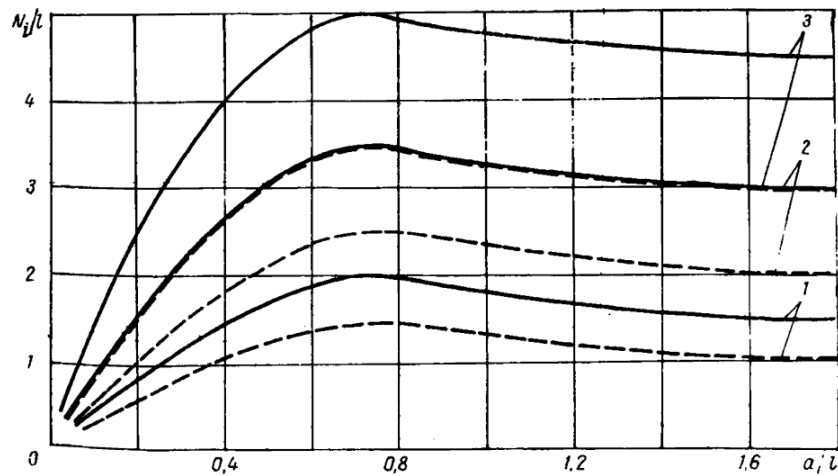
Hình 1.9. Sơ đồ xác định vùng áp lực tựa từ trụ bảo vệ



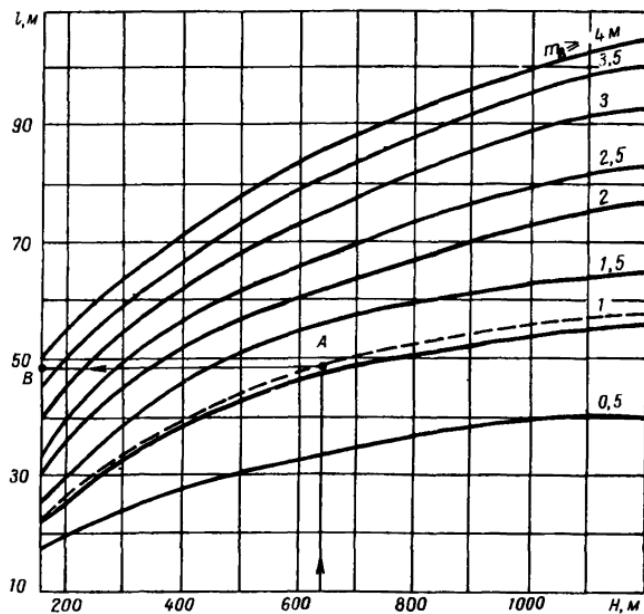
Hình 1.10. Đồ thị xác định kích thước vùng áp lực tựa trên vỉa chịu ảnh hưởng



Như vậy, với đồ thị trên có thể xác định được vùng ảnh hưởng nguy hiểm cao từ trụ bảo vệ khi biết chiều sâu khai thác và chiều dày của vỉa than. Để xác định vùng nguy hiểm và vùng dự báo cần xác định thêm tỷ lệ không thứ nguyên  $a_j/l_j$ . Việc xác định này được thực hiện theo đồ thị hình 1.11;



Hình 1.11. Biểu đồ xác định tham số của phạm vi ảnh hưởng áp lực tựa dưới trụ than (Ghi chú: đường nét đứt là xác định đối với phần cạnh của khối than)

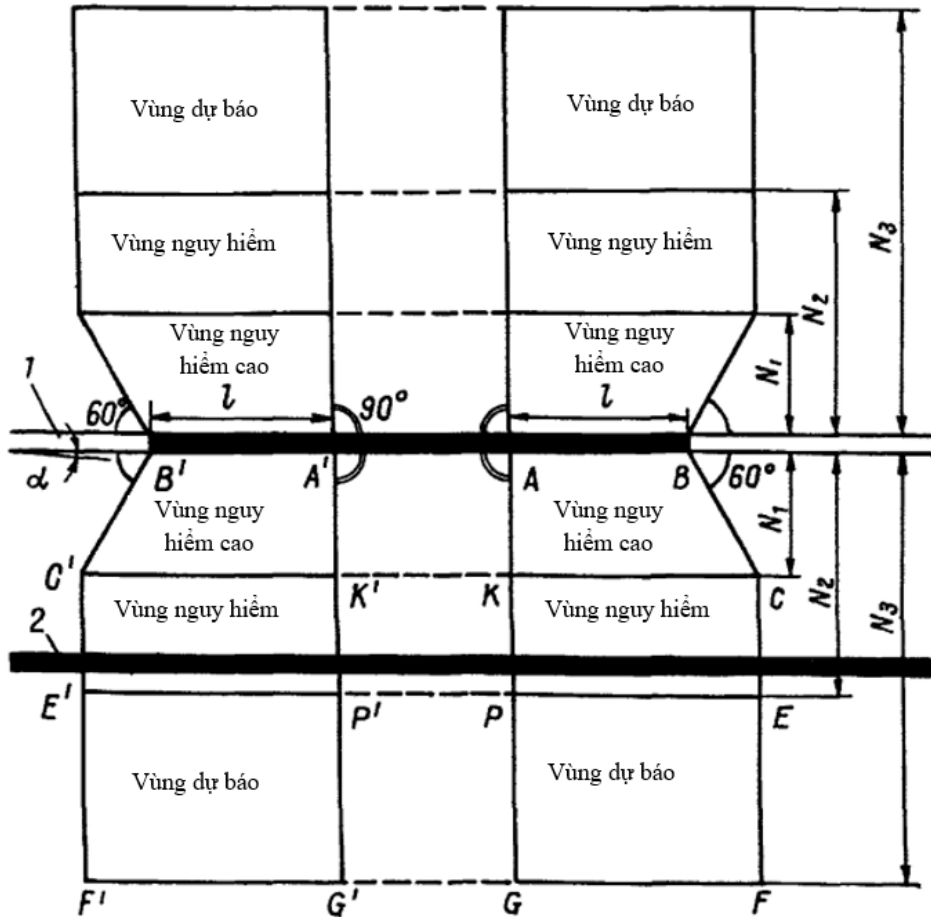


Hình 1.12. Biểu đồ xác định chiều rộng của vùng áp lực tựa ( $l$ ) dưới trụ than trong mối tương quan với chiều sâu phân bố công trình và chiều dày vỉa

Trên biểu đồ hình 1.12, trục hoành biểu thị giá trị không thứ nguyên của tỷ lệ giữa kích thước trụ bảo vệ với kích thước vùng ảnh hưởng áp lực tựa trên vỉa liền kề. Trục tung thể hiện giá trị không thứ nguyên  $N/l$  (với  $N$  là đại lượng phạm vi ảnh hưởng). Trên biểu đồ, đường cong nét liền thể hiện phạm vi ảnh hưởng vuông góc với trụ bảo vệ và nét đứt thể hiện phạm vi ảnh hưởng song song với trụ bảo vệ.

Đường cong 1 thể hiện phạm vi ảnh hưởng của vùng nguy hiểm cao, đường cong 2 thể hiện phạm vi ảnh hưởng của vùng nguy hiểm và đường cong 3 thể hiện phạm vi ảnh hưởng của vùng dự báo nguy hiểm.

Cũng giống như khi xác định vùng nguy hiểm từ trụ bảo vệ, tại các vùng cạnh của khối than cũng được xác định kích thước vùng ảnh hưởng nguy hiểm như hình sau:



Hình 1.13. Sơ đồ xác định kích thước vùng ảnh hưởng áp lực tựa từ phần cạnh khối

## **Chương 2. Nghiên cứu sự tập trung ứng suất phía dưới trụ than trong một trường hợp cụ thể**

### **2.1 Các thông số đầu vào của bài toán**

Bài toán lấy điều kiện vỉa 4C khu Lộ Trí của mỏ than Thống Nhất là điều kiện tính toán. Các tham số chính của bài toán như sau:

- Chiều dày trung bình của vỉa than: 3m;
- Góc dốc trung bình của vỉa than:  $4^0$ ;
- Độ sâu tại vị trí tính toán so với mặt địa hình: 300m;
- Chiều rộng trụ than (a) được tính toán trong các trường hợp: 15m, 20m, 25m và 30m (chiều rộng này được lấy tương ứng với thực tế sản xuất tại mỏ);

### **2.2 Tính toán xác định phạm vi phân bố ứng suất dưới trụ than**

#### **2.2.1 Phương pháp lý thuyết**

Đề tài lựa chọn phương pháp tính toán của viện nghiên cứu VNIMI (Liên Bang Nga) để tính toán.

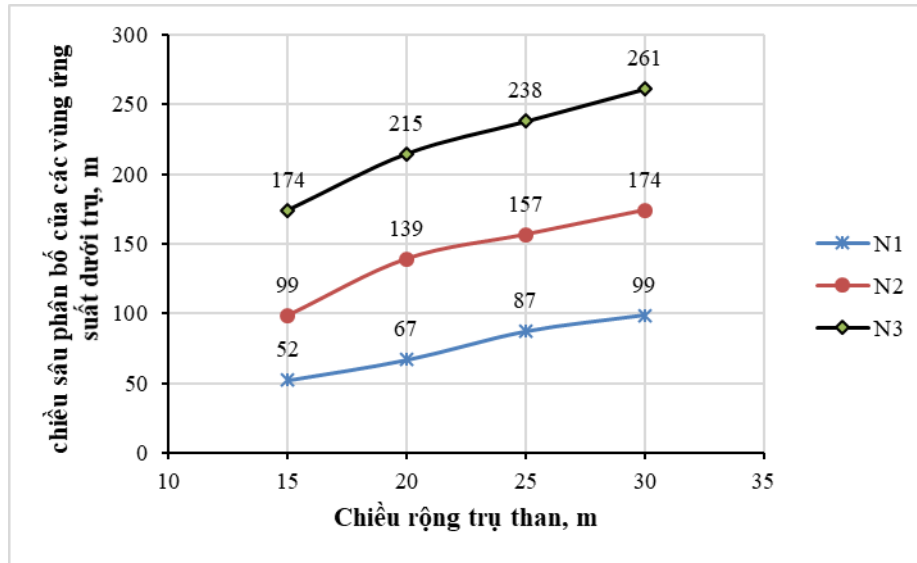
- Phạm vi phân bố của vùng áp lực tựa (l) được xác định theo biểu đồ 1.15 (chương 1) với điều kiện vỉa dày 3m và ở độ sâu 3m là:  $l = 58\text{m}$ ;

- Với chiều rộng trụ than tương ứng 15m, 20m, 25m và 30m. Tỷ lệ giữa tham số chiều rộng trụ than (a) tương ứng với chiều rộng của vùng áp lực tựa (l) lần lượt là:  $a/l = 0,26; 0,34; 0,43; 0,52$ .

Như vậy, trên cơ sở của biểu đồ 1.12 (chương 1), phạm vi phân bố ứng suất (áp lực tựa) dưới trụ than được tổng hợp trong bảng sau.

*Bảng 2.1. Bảng tổng hợp thông số tính toán chiều sâu phân bố của các vùng áp lực tựa dưới trụ than*

Chiều rộng trụ than (a), m	Chiều rộng vùng áp lực tựa (l), m	Tỷ lệ $a/l$	Các tham số chiều sâu phân bố của vùng áp lực tựa (ứng suất)					
			N1/l	N2/l	N3/l	N1, m	N2, m	N3, m
15	58	0,26	0,9	1,7	3	52	99	174
20	58	0,34	1,15	2,4	3,7	67	139	215
25	58	0,43	1,5	2,7	4,1	87	157	238
30	58	0,52	1,7	3	4,5	99	174	261



Hình 2.1. Biểu đồ xác định vùng áp lực tựa dưới trụ than tương ứng với các chiều rộng trụ than khác nhau

Từ biểu đồ trên có thể thấy rằng, độ sâu phân bố của vùng áp lực tựa tăng khi chiều rộng trụ than tăng. Với góc áp lực ở cạnh trụ là  $60^0$  thì điều này đồng nghĩa với việc chiều rộng của vùng áp lực tựa dưới trụ than cũng tăng tương ứng với chiều sâu phân bố của nó.

### 2.2.2 Phương pháp mô phỏng số

Đề tài lựa chọn phần mềm kỹ thuật số Phase<sup>2</sup> của hãng Rocscience của Canada để thực hiện mô phỏng trạng thái phân bố ứng suất dưới trụ than. Phase2 là chương trình được xây dựng trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn (FEM - Finite Element Method) để phân tích ứng suất và biến dạng cho công trình ngầm, bờ dốc...v.v, được thi công trong khối đất hoặc đá. Phase2 có thể mô hình được nhiều loại đất đá khác nhau theo các tiêu chuẩn bền Mohr-Coulomb hoặc Hoek-Brown.

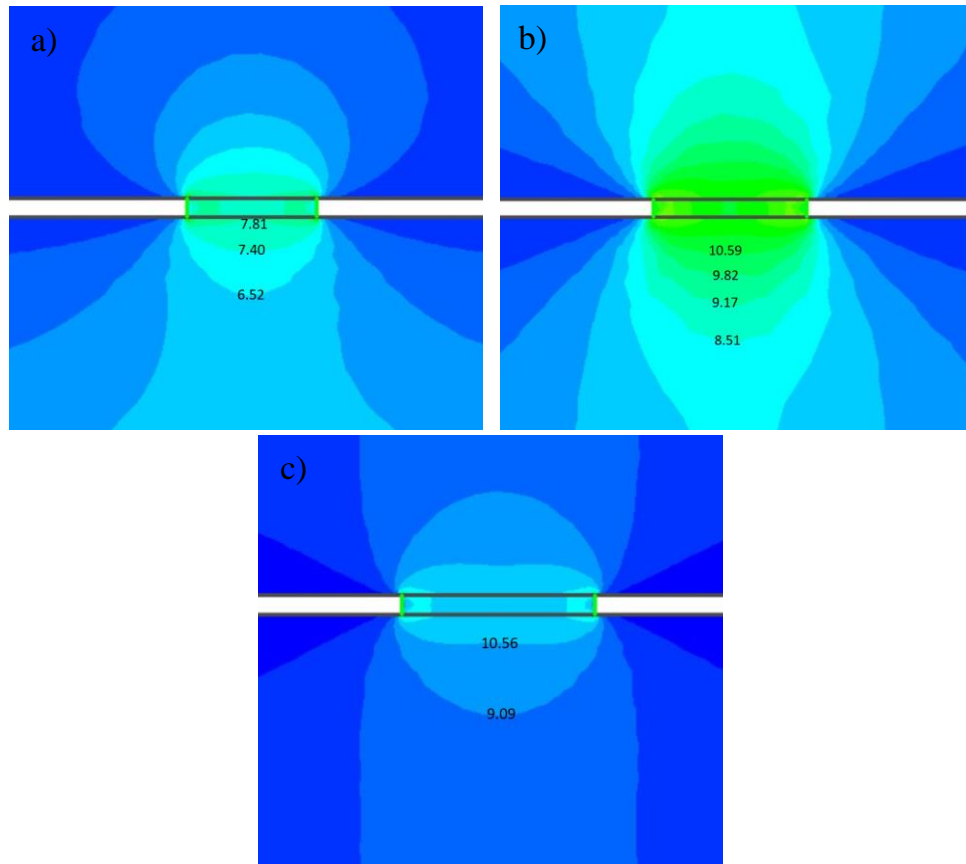
Dưới nền tảng của điều kiện vĩa 4C như trình bày tại mục 3.1, bốn mô hình 2D khác nhau đã được mô hình Phase2 mô phỏng với chiều rộng của trụ than tương ứng với các trường hợp: 20m, 25m và 30m. Tuy nhiên, trong mô hình này, các trường hợp của chiều dày vĩa than 5m và 7m được bổ sung. Tất cả các mô hình số này đều sử dụng chiều rộng 500m và chiều cao 100 m. Ở đầu các mô hình, một tải trọng thẳng đứng ( $p = \gamma H = 0,025 \times 300 = 7,5 \text{ MPa}$ ) được áp dụng để mô phỏng quá tải của các lớp đá. Phương pháp mô hình Mohr - Coulomb bằng vật liệu nhựa đàn hồi với quy tắc dòng chảy không liên tục được sử dụng.

Bảng 2.2. Đặc điểm vật liệu sử dụng trong mô hình

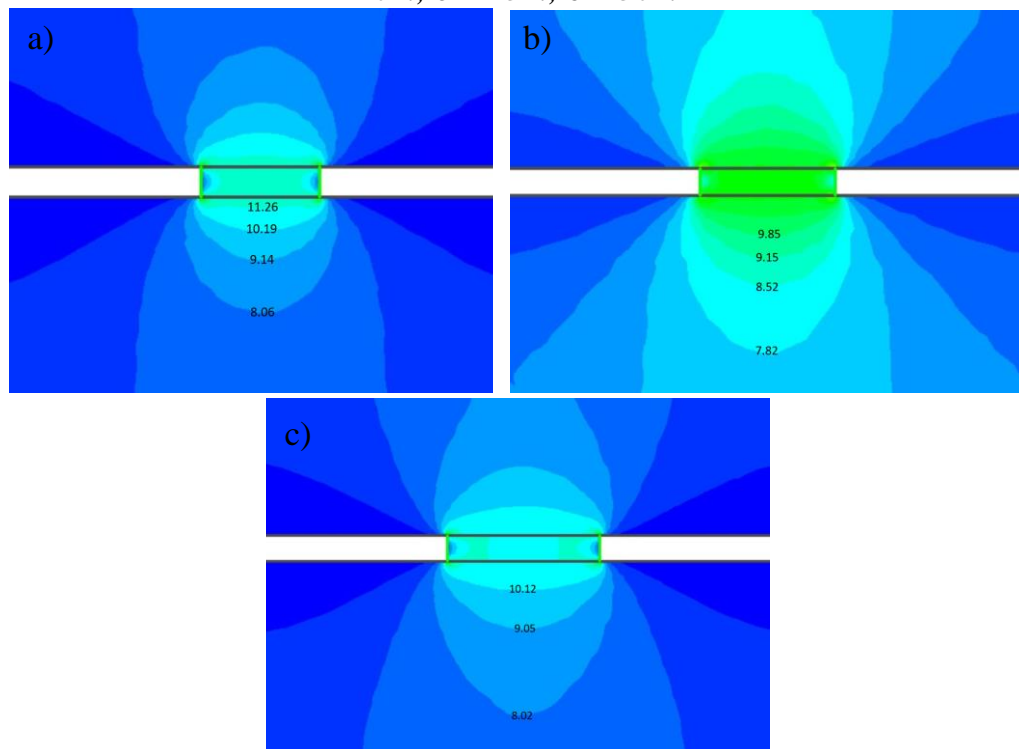
Loại đá	Độ bền kéo (MPa)	Lực dính kết (MPa)	Góc nội ma sát (độ)	Độ bền nén đơn trục (MPa)	Trọng lượng thể tích ( $\text{kg/m}^3$ )
Cát kết	1,6	3,2	34	83,2	2780
Bột kết	0,9	2,1	30	50,6	2550

Sét kết	1,2	1,8	26	16,5	2250
Than	0,4	1,5	19	14,5	1450

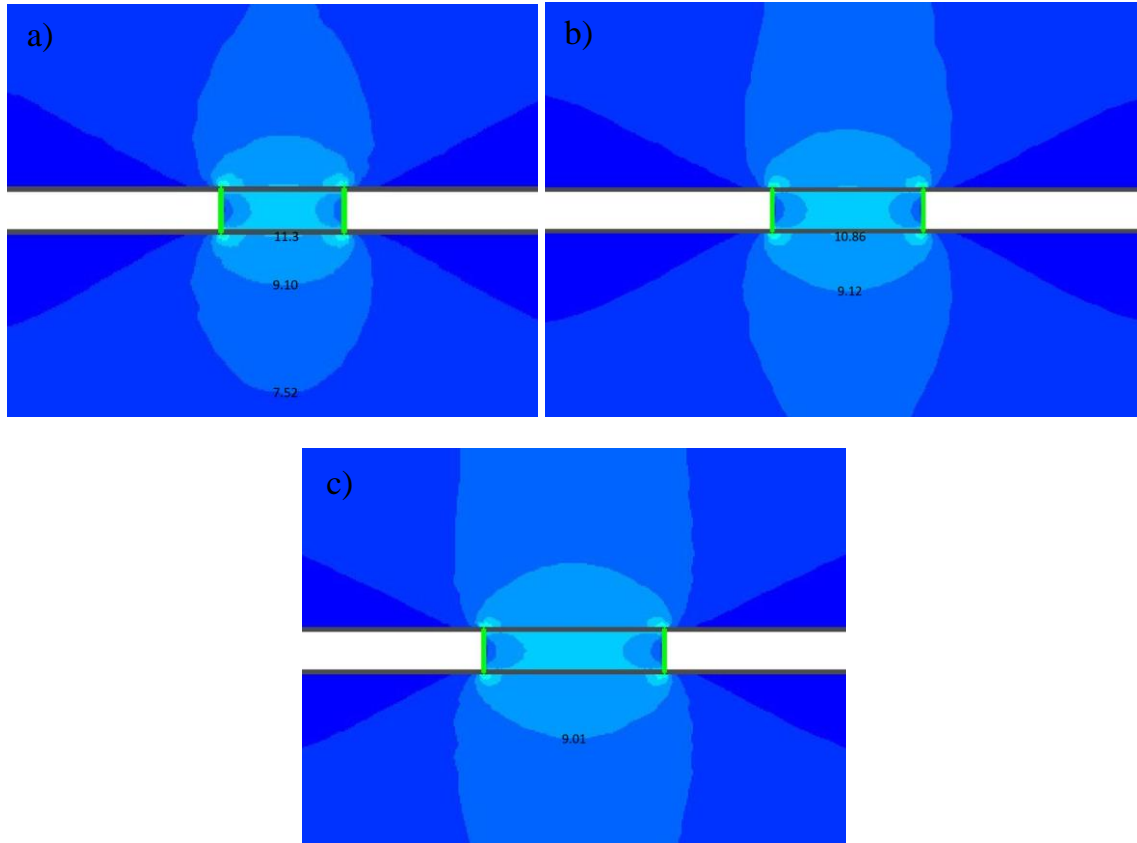
Kết quả mô phỏng được mô tả trong các hình sau:



Hình 2.2. Phân bố ứng suất dưới trụ than ở vỉa dày 3m, trụ than rộng lần lượt: a – 20m; b – 25m; c – 30m



Hình 2.3. Phân bố ứng suất dưới trụ than ở vỉa dày 5m, trụ than rộng lần lượt: a – 20m; b – 25m; c – 30m



Hình 2.4. Phân bố ứng suất dưới trụ than ở vỉa dày 7m, trụ than rộng lần lượt: a – 20m; b – 25m; c – 30m

Từ các hình 2.2, 2.3 và 2.4 có thể thấy rằng, phạm vi phân bố ứng suất dưới trụ than có hình quả trám (hình bóng đèn). Đường đồng mức phân bố ứng suất có dạng cung và phát triển theo chiều thẳng đứng và theo phương ngang. Càng ở gần trụ than, ứng suất càng lớn và ngược lại nó giảm dần khi xa trụ than hơn. Trong sự phụ thuộc vào chiều rộng của trụ than, trụ than càng lớn thì chiều rộng của vùng phân bố ứng suất càng lớn. Trụ than hẹp hơn có chiều rộng phân bố ứng suất nhỏ, đồng thời giá trị ứng suất cũng nhỏ hơn so với trụ rộng 3m.

Cũng từ các biểu đồ trên, nhìn chung phạm vi phân bố ứng suất dưới trụ than không phụ thuộc nhiều vào chiều dày của vỉa (chiều cao trụ).

## **Kết luận và kiến nghị**

### **Kết luận:**

Bằng phương pháp nghiên cứu phân tích tổng quan, kế thừa kết quả đã có của các công trình khoa học trong và ngoài nước, báo cáo đã tiến hành nghiên cứu sự hình thành và phát triển của vùng ứng suất phân bố phía dưới trụ than. Một số kết quả thu được gồm:

1. Khai thác than hầm lò tại các vỉa nằm gần nhau là nguyên nhân gây ra các sự cố về tụt lở than, đá nóc, lở gương, bùng nền và đổ lò khi thực hiện đào lò và khai thác của vỉa lân cận. Thêm vào đó, đặc điểm chứa nước và lưu lượng nước lớn chảy vào mỏ dẫn đến sự trương nở đáng kể của than và đá xung quanh đường lò, là nguyên nhân dẫn đến nén bẹp lò.

2. Trên cơ sở kinh nghiệm khai thác và nghiên cứu tại các mỏ hầm lò trên thế giới, hiện tượng xuất hiện những ảnh hưởng có hại khi khai thác hai vỉa ở gần nhau trong thời gian vừa qua tại Công ty, đề tài đã nghiên cứu và đề xuất giải pháp xác định vùng ảnh hưởng nguy hiểm của áp lực tựa từ trụ bảo vệ và phần cạnh của khối than khi khai thác các vỉa liền kề làm cơ sở để bố trí các công trình đường lò, lò chợ trong vùng đảm bảo an toàn.

3. Trên cơ sở các nguyên nhân gây mất ổn định của đường lò tại các mỏ than trong thời gian qua, báo cáo đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo để nâng cao sự ổn định đường lò theo sơ đồ công nghệ cột dài theo phương theo giải pháp không để lại trụ bảo vệ đồng thời kết hợp giải pháp khoan nổ mìn cắt đá vách tiến trước phía lò dọc vỉa để tạo mặt phẳng khe nứt ngăn chặn sự lan truyền ứng suất từ không gian khai thác lò chợ. Đường lò trong giải pháp này được chống giữ bằng vì chống neo cốt thép kết hợp với neo cáp dài để gia cường khối đá. Đây là giải pháp đang mang lại hiệu quả cao khi ứng dụng tại các mỏ hầm lò Trung Quốc.

### **Kiến nghị:**

Để tăng cường sự ổn định và bảo vệ các đường lò dọc vỉa trong quá trình khai thác hầm lò, giảm thiểu chi phí sửa chữa thì vấn đề xác định phạm vi vùng tăng cường ứng suất (vùng áp lực tựa) phía dưới các trụ than bị bỏ lại trong không gian khai thác là rất quan trọng. Bởi vì, như đã phân tích trong nội dung báo cáo, sự tồn tại của trụ than ở trong không gian đã khai thác không những làm tăng tổn thất than mà tiềm ẩn nguy cơ của sự tập trung ứng suất trong khu vực mỏ. Đặc biệt, vấn đề này liên quan đến sự ổn định của đường lò và quá trình khai thác của các vỉa than bên dưới. Do đó, kiến nghị vấn đề này được các nhà khoa học ngành mỏ quan tâm nghiên cứu nhiều hơn để tìm kiếm giải pháp tốt nhất áp dụng vào thực tế sản xuất, nâng cao mức độ an toàn và hiệu quả khai thác mỏ.



### Tài liệu tham khảo

1. Рогачков, А.В. Обоснование способов обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зонах повышенного горного давления при разработке сближенных пластов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22/Рогачков Антон Владимирович. - Санкт-Петербург, 2010. - 21 с.
2. Информационный сайт Донецкого национального технического университета:  
<http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2008/fgtu/spivakova/diss/index.htm>  
<http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2005/ggeo/nozdrenko/diss/index.htm>
3. Инструкция по выбору рамной металлической податликов крепи горных выработок. - Л.: ВНИМИ, 1986. - 48 с.
4. Долгий И.Е., Конокотов Н.С. Совершенствование способов охраны горизонтальных пластовых подготовительных горных выработок в условиях ПО "Воркутауголь"// Устойчивость и крепление в сложных условиях. -Л., 1990.
5. Бублик Ф.П. Методическое пособие по определению основных параметров систем разработки с гидромеханизацией в условиях пологих пластов. Изд. ВНИМИ, Л., 1967;
6. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля: метод. указ. / под ред. проф. И.М. Петухова. – Ленинград: ВНИМИ, 1973. – 130 с.;
7. Теория защитных пластов / И. М. Петухов [и др.]. - М.: Недра, 1976.-224 с.;
8. Коршунов Г. И., Казанин О. И., Баранов В. Н. Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на напряженно-деформированное состояние окружающего массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 1999. — № 7. — С. 44—46.
9. Мустафин М.Г. Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на изменение динамики нагружения краевых частей выработки и характер сдвижения подработанного массива горных пород. Рабочее совещание. СПб, ВНИМИ, 2006.
10. М.Г. Мустафин. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. С. 17—22.
11. Wang Z, Yin L, Chen J, Ma K. Research on distribution law of advanced abutment pressure in deep soft rock working face. Grotech Geol Eng. (2019) 37:4089–97. doi: 10.1007/s10706-019-00895-0.

12. A. Li, Q. Ma, L. Ma, L. Kang, Q. Mu, and J. B. Chen, "Coal mine abutment pressure distribution based on a strain-softening model," *Frontiers in Physics*, vol. 8, 2020.
13. Lu, De Chao, et al. "Study on Distribution Laws of Abutment Pressure for Fully-Mechanized Top-Coal Caving Face in Deep and Large Mining Height." *Advanced Materials Research*. Vol. 746. Trans Tech Publications Ltd, 2013. p. 496-500.
14. Eremin, M., Esterhuizen, G., & Smolin, I. (2020). Numerical simulation of roof cavings in several Kuzbass mines using finite-difference continuum damage mechanics approach. *International journal of mining science and technology*, 30(2), 157-166.
15. Zhu, S., Feng, Y., & Jiang, F. (2016). Determination of abutment pressure in coal mines with extremely thick alluvium stratum: a typical kind of rockburst mines in China. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49(5), 1943-1952.
16. Chang, J. C. (2011). Distribution laws of abutment pressure around fully mechanized top-coal caving face by in-situ measurement. *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, 17(1), 1-5.
17. Xie, J. L., & Xu, J. L. (2017). Effect of key stratum on the mining abutment pressure of a coal seam. *Geosciences Journal*, 21(2), 267.
18. Zhang, N., Zhang, N., Han, C., Qian, D., & Xue, F. (2014). Borehole stress monitoring analysis on advanced abutment pressure induced by longwall mining. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 457-463.
19. Zhang, B., Sun, D., & Zheng, R. (2021). Evolution Law of Coal Seam Abutment Pressure under the Influence of Shallow Buried Complex Strata: A Case Study. *Shock and Vibration*, 2021. P 11-13.
20. Wang, F., Jie, Z., Ma, B., Zhu, W., & Chen, T. (2021). Influence of Upper Seam Extraction on Abutment Pressure Distribution during Lower Seam Extraction in Deep Mining. *Advances in Civil Engineering*, 2021.
21. Singh A.K., Rajendra S., Maiti J., Kumar R., and Mandal P.K., 2011, Assessment of mining induced stress development over coal pillars during depillaring. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 48, 805-818.
22. Hosseini, N., Oraee, K., Shahriar, K., and Goshtasbi, K., 2011. Studying the stress redistribution around the longwall mining panel using passive seismic velocity tomography and geostatistical estimation. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 1407-1416.
23. Suchowerska A.M., Merifield R.S., and Carter J.P., 2013. Vertical stress changes in multi-seam mining under supercritical longwall panels. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 61, 306-320.
24. Xu, J.L., Qian, M.G., Ma, W.D., and Zhao H.Y., 2001, Discussion on the loading problem in the numerical simulation of strata movement. *Journal of China University of Mining and Technology*, 30, 252-255.
25. Li, J., Huang, Y., Zhang, J., Li, M., Qiao, M., & Wang, F. (2019). The influences of key strata compound breakage on the overlying strata movement and strata pressure behavior in fully mechanized caving mining of shallow and extremely thick seams: a case study. *Advances in Civil Engineering*, 2019.

