

CHƯƠNG 5

**THÍ NGHIỆM NÉN NGANG PMT**

**5.1. GIỚI THIỆU**

**5.1.1. NGUYÊN LÝ**

Thí nghiệm PMT (PressureMeter Test) ra đời trước thí nghiệm DMT, có nguyên lý và các kết quả, các ứng dụng tương tự thí nghiệm DMT, tuy nhiên phức tạp hơn rất nhiều so với DMT. Có vài điểm khác biệt về nguyên lý được thể hiện trên bảng 5.1.

*Bảng 5.1. Nguyên lý thí nghiệm*

DMT	PMT
Áp lực giãn nở là khí	Áp lực giãn nở thường là nước
Đất được nén ngang bởi chuyển vị của màng thép	Đất được nén ngang bởi chuyển vị của vỏ các lá thép xếp vòng quanh ống PMT (bên trong có màng cao su cứng, lá thép có nhiệm vụ bảo vệ màng)
Chuyển vị là cố định: 0; 1,1 và 0 mm	Chuyển vị được xác định qua lượng nước bơm vào. Tuy nhiên, lượng nước có sự mất mát do sự giãn nở của hộp điều khiển, ống PMT, cáp dẫn nước, v.v... Do đó, quá trình chuẩn hoá rất rườm rà

**5.1.2. LỊCH SỬ CỦA THÍ NGHIỆM PMT**

Từ những năm 1930, Kogler đã bắt đầu thử nghiệm với thiết bị tương tự như PMT. Tuy nhiên, đến tận năm 1957, PMT mới thực sự chính thức ra đời qua luận án Thạc sỹ của Louis Menard, tiến hành tại Đại học Illinois (Mỹ), và thiết bị ba buồng của ông được đặt tên là Menard PMT. Sau đó, Menard trở về quê hương Pháp, và Pháp là nước mà PMT được tiến hành nhiều nhất.

PMT là thí nghiệm hiện trường có nhiều version ("đời") khác nhau nhất:

- Menard PMT loại E, thí nghiệm "kiểm soát áp lực";
- Menard PMT loại GC, thí nghiệm "kiểm soát áp lực";
- TEXAM PMT, thí nghiệm cả loại "kiểm soát áp lực", hoặc cả loại "kiểm soát thể tích";
- Pencil PMT, thí nghiệm "kiểm soát thể tích";

- Thí nghiệm tự khoan PMT (Cambridge của Anh, PAFSOR của Pháp);
- Và nhiều đời khác.

Các đời này có sự làm việc khác nhau. Đa số là thí nghiệm trong hố khoan sẵn, trừ hai loại Pencil và Tự khoan.

## 5.2. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM PMT

PMT là thí nghiệm rất phức tạp (riêng phần chuẩn bị và chuẩn hoá thiết bị, nếu nêu đầy đủ phải mất 30 ÷ 40 trang giấy). PMT không phổ biến lắm ở nhiều nước, kém ưu việt hơn hẳn so với DMT. Do đó, trong phần này, chúng tôi chỉ trình bày vắn tắt hai loại PMT: Pencil và TEXAM.

Hình 5.1. Buồng PMT  
(đang giãn nở)

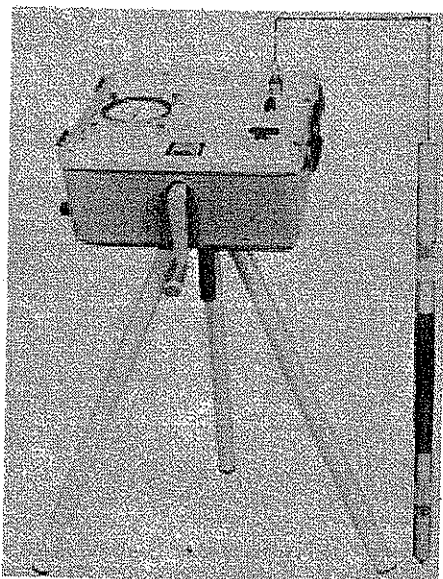


### 5.2.1. CÁC THÀNH PHẦN CỦA THIẾT BỊ

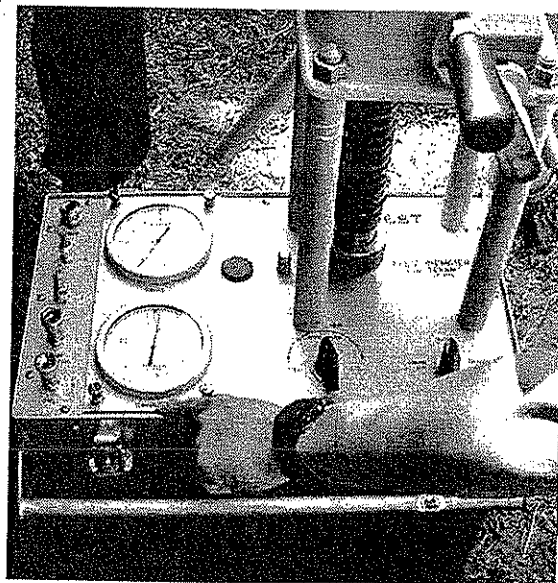
Các thành phần của hai loại thí nghiệm trên được tóm tắt trong bảng 5.2.

Bảng 5.2. Các thành phần của thiết bị

Pencil	TEXAM
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Thiết bị gia lực và xuyên (thường dùng chung với CPT)</li> <li>■ Hộp điều khiển áp lực-thể tích (hình 5.2)</li> <li>■ Buồng PMT gắn với mũi xuyên</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Thiết bị khoan lỗ, thiết bị gạt tủa lỗ khoan</li> <li>■ Hộp điều khiển: pittông, đồng hồ, tay quay (hình 5.3).</li> <li>■ Buồng PMT (hình 5.1)</li> </ul>



Hình 5.2. Pencil



Hình 5.3. TEXAM

## 5.2.2. CHUẨN BỊ THIẾT BỊ

### 5.2.2.1. Làm bão hoà hộp điều khiển

Để biết được lượng dung dịch bơm vào, hộp điều khiển cần phải được bão hoà hoàn toàn, quá trình này được trình bày trong bảng 5.3.

Bảng 5.3. Quá trình bão hoà hộp điều khiển

Pencil	TEXAM
1. Chính đồng hồ áp lực về 0	1. Chính đồng hồ áp lực số 6 và 7 về 0
2. Dây ngấn: một đầu cắm vào cổng 1 ("Fill-bleed"), đầu kia cắm vào bình nước (bình ngoài)	2. Dây ngấn (màu trắng): một đầu cắm vào cổng 4 và 5, đầu kia cắm vào bình nước (bình ngoài)
3. Chính van 3 về "Fill-Bleed", đóng van số 4	3. Chính van 8 về "Fill", van 9 về "Test"
4. Đẩy pittông (để ép khí ra ngoài) đến khi đồng hồ thể tích chỉ 138 cm <sup>3</sup>	4. Đẩy pittông (quay tay quay nhỏ để ép khí ra ngoài) đến khi đồng hồ thể tích chỉ 1732 cm <sup>3</sup>
5. Kéo pittông (hút) (60 vòng/phút) đến khi đồng hồ về 0 cm <sup>3</sup> để hút nước từ bình nước vào	5. Kéo pittông (hút) (45 vòng/phút) đến khi đồng hồ về 0 cm <sup>3</sup> để hút nước từ bình nước vào
6. Đẩy pittông để ép những bong bóng khí ra ngoài, đến khi đồng hồ chỉ 100 cm <sup>3</sup>	6. Nghiêng hộp điều khiển khoảng 15°. Đẩy pittông để ép những bong bóng khí ra ngoài, đến khi đồng hồ chỉ 192 cm <sup>3</sup>
7. Lặp lại bước 5 để hút nước.	7. Để hộp điều khiển thẳng lại. Lặp lại bước 5 để hút nước. Sau đó, đợi 30 giây.

### 5.2.2.2. Làm bão hoà đồng hồ áp lực (không cần với Pencil)

1. Dây đen cắm vào cổng 1;
2. Chính van 8 về "Chạy với đồng hồ 6". Đẩy pittông đến khi đồng hồ chỉ 96cm<sup>3</sup>, đảm bảo để không thấy bong bóng ra khỏi đầu dây đen;
3. Tháo dây đen;
4. Chính van 9 về "đồng hồ 6". Đẩy pittông đến khi đồng hồ chỉ 192 cm<sup>3</sup>;
5. Chính van 8 và 9 về "đồng hồ 7". Đẩy pittông đến khi đồng hồ chỉ 288 cm<sup>3</sup>;
6. Chính van 8 về "Chạy với đồng hồ 3", van 9 về "Chạy". Cắm dây đen vào cổng 3. Đẩy pittông đến khi đồng hồ chỉ 380 cm<sup>3</sup>;
7. Chính van 8 về "Fill". Kéo (hút) pittông quay lại 0 cm<sup>3</sup>. Chờ 1 phút;
8. Lặp lại bước 6 và 7 ở phần 5.2.2.1 để ép bong bóng khí ra;
9. Kiểm tra độ bão hoà như phần 5.2.2.4.



### 5.2.2.3. Làm bão hoà buồng PMT

Tương tự như trên, quá trình bão hoà buồng PMT được trình bày trong bảng 5.4.

Bảng 5.4. Quá trình bão hoà buồng PMT

Pencil	TEXAM
1. Nối buồng PMT với ống (cáp) dẫn nước. Đặt buồng thẳng đứng. Nối dây (dài 10 m) với cổng 2.	1. Nối buồng PMT với ống (cáp) dẫn nước. Đặt buồng hơi nghiêng đứng. Nối dây telecan với cổng 1.
2. Chỉnh van 3 và 4 về "Chạy". Đẩy pittông ép nước vào buồng PMT đến khi đồng hồ chỉ 130 cm <sup>3</sup>	2. Chỉnh van 8 về "Chạy với đồng hồ 6", van 9 về "Chạy". Đẩy pittông ép nước vào buồng PMT đến khi chỉ có nước (không bọt) đi vào buồng. Để nước chảy khỏi buồng đến khi buồng trở lại kích thước ban đầu.
3. Van 3 ở "Fill-Bleed", đóng van 4. Kéo (hút) pittông để hút nước vào hộp điều khiển.	3. Tháo dây Telecan khỏi cổng 1.
4. Lặp lại bước 2 và 3.	4. Van 8 ở "Fill". Kéo pittông để hút nước vào cho tới khi đồng hồ chỉ 0 cm <sup>3</sup> . Chờ 1 phút
5. Tháo dây khỏi cổng 2.	5. Kiểm tra độ bão hoà như phần 5.2.2.4
6. Kiểm tra độ bão hoà như phần 5.2.2.4	6. Tháo dây trắng khỏi cổng 4 và 5.

### 5.2.4.4. Kiểm tra độ bão hoà

Sự bão hoà của hộp điều khiển và buồng PMT được kiểm tra như trong bảng 5.5.

Bảng 5.5. Kiểm tra độ bão hoà

Pencil	TEXAM
1. Van 3 và 4 ở "Chạy"	1. Chỉnh van 8 về "Chạy với đồng hồ 6", van 9 về "Chạy".
2. Đẩy pittông tới áp lực là 2500 kPa. Quá trình bão hoà là chuẩn nếu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Đồng hồ thể tích chỉ <math>\leq 5,0</math> cm<sup>3</sup></li> <li>• Sau 2 phút, áp lực vẫn lớn hơn 2000 kPa</li> </ul>	2. Quay tay quay lớn đến áp lực 2500 kPa. Đồng hồ thể tích chỉ $\leq 18$ cm <sup>3</sup> thì bão hoà là tốt.
	3. <b>Chuyển van 8 về "đồng hồ 7"</b> . Quay tiếp lên 10000 kPa. Sau 2 phút, áp lực (trên đồng hồ 7) vẫn phải lớn hơn 9500 kPa.
	4. <b>Giảm áp lực về 2500 kPa</b>
	5. Chỉnh lại van 8 về "Chạy với đồng hồ 6".
	6. Giảm áp lực tiếp về 0.

### 5.2.3. CHUẨN HOÁ THIẾT BỊ

#### 5.2.3.1. Hiệu chỉnh áp lực:

Đặt buồng PMT thẳng đứng trong không khí, mục đích là đo áp lực cần có để kháng lại độ cứng của bản thân buồng PMT (hình 5.4). Sau đó thao tác tiếp theo bảng 5.6.

*Bảng 5.6*

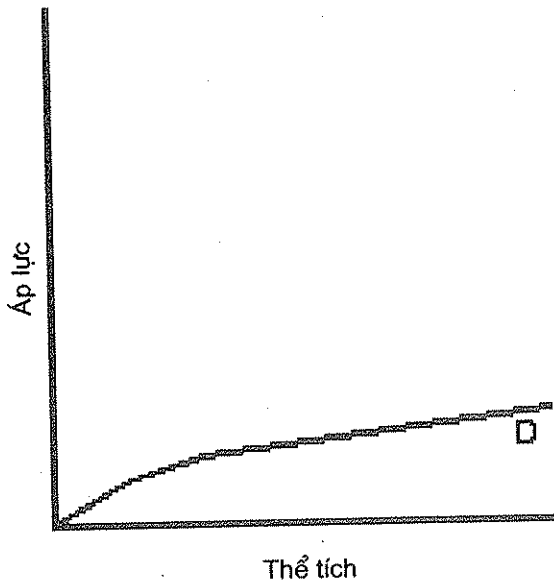
Pencil	TEXAM với loại buồng 70mm
1. Van 3 và van 4 ở "Chạy" 2. Với lá thép mới, bơm và hút buồng PMT 5 lần, mỗi lần 90 cm <sup>3</sup> . 3. Bơm 90 cm <sup>3</sup> , tốc độ 1 vòng/9 giây. Ghi lại áp lực mỗi khi thể tích tăng 5 cm <sup>3</sup>	1. Van 8 ở "Chạy với đồng hồ 6", van 9 ở "Chạy" 2. Bơm 1200 cm <sup>3</sup> , tốc độ 1 vòng/2 giây. Chờ 30 giây, sau đó ghi lại áp lực mỗi khi thể tích tăng 60 cm <sup>3</sup> .
3. Giảm áp lực về 0. 4. Vẽ đường cong D ở hình 5.4	

#### 5.2.3.2. Hiệu chỉnh thể tích

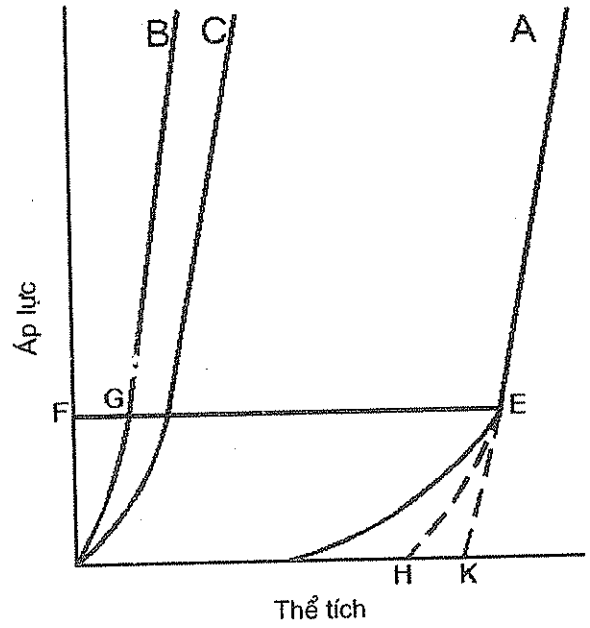
Đặt buồng PMT trong một ống thép dày (đường kính của ống thép hơi nhỏ hơn đường kính buồng). Mục đích là đo sự mất mát thể tích do sự giãn nở của hộp điều khiển, dây dẫn nước và buồng PMT.

*Bảng 5.7*

Pencil	TEXAM với loại buồng 70mm
1. Van 3 và van 4 ở "Chạy" 2. Bơm đến 2000 kPa, tốc độ 1 vòng/9 giây. Ghi lại áp lực mỗi khi thể tích tăng 5 cm <sup>3</sup> . 3. Giảm áp về 0. Vẽ đường cong A ở hình 5.5 4. Tháo buồng PMT, đầu dây dẫn sẽ tự được đóng kín. Bơm đến 2500 kPa (do đó, chỉ có sự giãn nở của dây dẫn và của hộp điều khiển). Ghi lại áp lực mỗi khi thể tích tăng 1 cm <sup>3</sup> . 5. Giảm áp về 0. Vẽ đường cong B ở hình 5.5 6. Dựa vào A và B, vẽ đường C	1. Van 8 ở "Chạy với đồng hồ 6", van 9 ở "Chạy". Đọc số đọc đồng hồ thể tích khí áp lực là 0 kPa 2. Bơm đến 500 kPa. Chờ 30 giây rồi ghi lại thể tích mỗi khi áp lực tăng 50 kPa. Lấp tay quay lớn. Bơm tiếp đến 2500 kPa. Chờ 30 giây rồi ghi lại thể tích mỗi khi áp lực tăng 50 kPa. 3. Giảm áp về 0. Vẽ đường cong A ở hình 5.5 4. Chuyển đường A về đường C (đi qua gốc tọa độ).



Hình 5.4. Đường hiệu chỉnh áp lực



Hình 5.5. Đường hiệu chỉnh thể tích

Cách vẽ đường C (Pencil):

- Xác định điểm E (là điểm bắt đầu của đoạn tuyến tính) trên đường A;
- Kéo dài AE, cắt trục hoành tại K; Vẽ đường EF nằm ngang;
- Lấy KH bằng FG; Vẽ bằng tay đoạn EH;
- Chuyển đường cong AEH về gốc tọa độ được đường C.

### 5.2.4. TIẾN HÀNH THÍ NGHIỆM

Bảng 5.8

Pencil	TEXAM với loại buồng 70mm	
1. Xuyên PMT bằng hệ gia lực. 2. Van 3 và van 4 ở "Chạy"	1. Khoan hố, cắt tủa hố. Hạ buồng PMT xuống hố	
	2. Van 8 ở "Chạy với đồng hồ 6", van 9 ở "Chạy".	
3. Bơm 90 cm <sup>3</sup> , mỗi cấp 5 cm <sup>3</sup> , tốc độ quay 6 ÷ 7 vòng/phút. Chờ 30 giây, ghi lại áp lực.	"Kiểm soát thể tích"	"Kiểm soát áp lực"
	3. Bơm 1200 cm <sup>3</sup> , mỗi cấp 60 cm <sup>3</sup> , tốc độ quay 12 vòng/phút. Chờ 30 giây, ghi lại áp lực.	3. Ước đoán áp lực giới hạn $p_L$ . Bơm 10 cấp, mỗi cấp 0,1 $p_L$ , ghi lại thể tích để duy trì cấp áp lực đó tại thời điểm 30 và 60 giây.
4. Nếu có dỡ tải, ta giảm áp từ từ và ghi lại số liệu như ở bước 3.		

5.2.5. CHUẨN HOÁ SỐ ĐỌC

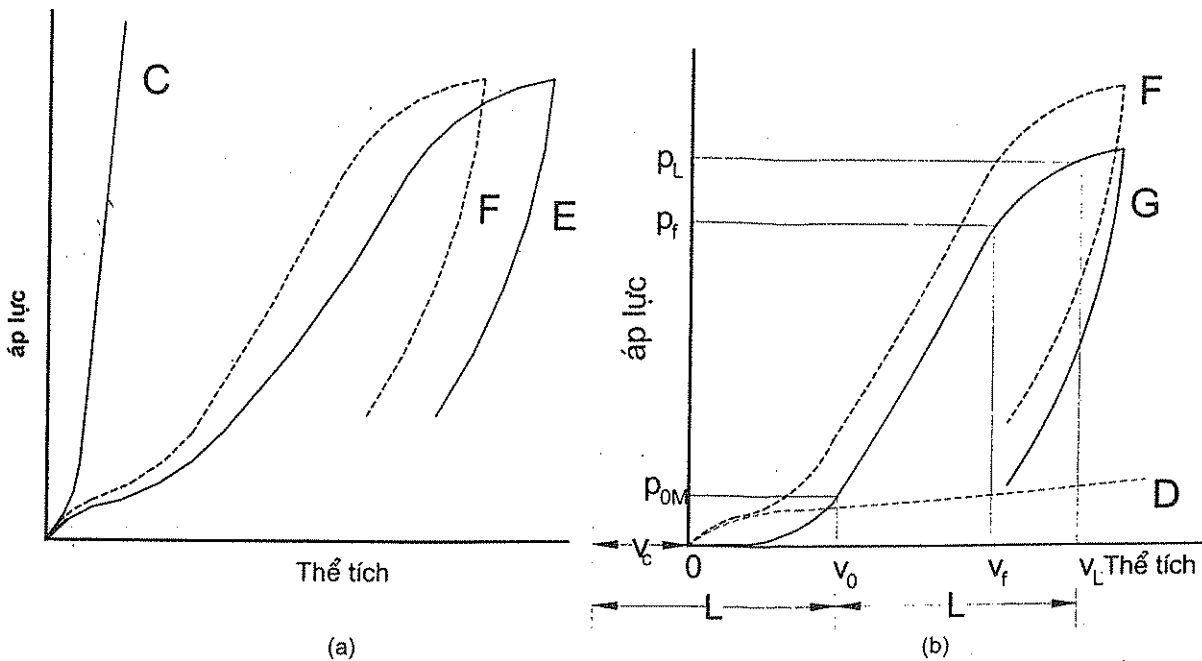
1. Cộng áp lực ghi được ở mục 5.2.4 với chiều cao cột nước áp (từ bình nước đến mặt đất);
2. Sau đó, vẽ đường cong E như ở hình 5.6a;
3. Thể tích hiệu chỉnh = thể tích đo được (ở phần 5.2.4) trừ thể tích ở đường cong C (phần 5.2.3.2). Vẽ lại được đường cong F (hình 5.6a);
4. Áp lực hiệu chỉnh = áp lực ở bước 1 trừ đi áp lực ở đường cong D (phần 5.2.3.1). Vẽ lại được đường cong G (hình 5.6b);
5.  $p_0$  hay  $p_{OM}$  gọi là áp lực "đầu", tại điểm bắt đầu đoạn tuyến tính. Với thí nghiệm Pencel, thì không xác định được  $p_{OM}$  vì đoạn cong trước đoạn tuyến tính không tồn tại (do đó, không biết đoạn tuyến tính bắt đầu từ đâu);

Còn với TEXAM,  $p_{OM}$  còn có thể được xác định bằng cách vẽ biểu đồ từ biến;

6.  $p_f$  là áp lực "từ biến", tại điểm kết thúc đoạn tuyến tính. Với TEXAM, ta cũng có thể dùng cách vẽ biểu đồ từ biến để xác định  $p_f$ ;
7.  $p_L$  là áp lực tới hạn:
  - Trong Pencel, áp lực  $p_L$  tương ứng với thể tích giãn nở là  $100 \text{ cm}^3$  ;
  - Trong TEXAM, áp lực  $p_L$  tương ứng với thể tích  $v_L$  mà  $v_L - v_0 = v_0 + v_c (= L$  trên hình 5.6b);

$v_0$  là thể tích "đầu", xác định ở bước 5;

$v_c$  là thể tích của buồng PMT ở trạng thái tự nhiên.



Hình 5.6. Hiệu chỉnh đường quan hệ áp lực - thể tích



### 5.3. ƯỚC TÍNH CÁC CHỈ TIÊU CƠ LÝ DỰA TRÊN KẾT QUẢ PMT

#### 5.3.1. DỰ BÁO MÔĐUN BIẾN DẠNG CỦA ĐẤT DỰA TRÊN KẾT QUẢ PMT

Từ đoạn tuyến tính trên đường cong PMT, ta có:

$$E_{PMT} \approx 2,66 \left[ v_c + \frac{v_o + v_f}{2} \right] \frac{p_o - p_f}{v_o - v_f} \quad (5.1)$$

Trong phương trình trên, với đất cát,  $E_{PMT}$  được coi là môđun biến dạng thoát nước ( $E'$ ); còn với đất sét,  $E_{PMT}$  được coi là môđun đàn hồi không thoát nước ( $E_u$ )

#### 5.3.2. DỰ BÁO HỆ SỐ OCR VÀ $K_0$ CỦA ĐẤT SÉT DỰA TRÊN KẾT QUẢ PMT

Ban đầu, nhiều nhà nghiên cứu cho rằng  $p_f$  tương đương với áp lực tiên cố kết  $p'_c$ , do đó, hệ số quá cố kết của đất sét là:

$$OCR = p_f / \sigma'_o \quad (5.2)$$

Tuy nhiên, từ thí nghiệm PMT tự khoan, người ta cho rằng công thức sau nên được dùng (Kulhawy và Mayne, 1990):

$$OCR = 0,45 p_L / \sigma'_o \quad (5.3)$$

$p_o$  (hay  $p_{oM}$ ) được coi là áp lực ngang địa tĩnh, do đó hệ số nén ngang tĩnh của đất sét là:

$$K_0 = \frac{p_o - u_o}{\sigma'_{vo}} \quad (5.4)$$

trong đó  $p_o - u_o$  - áp lực ngang hiệu quả;  
 $u_o$  - áp lực nước lỗ rỗng;  
 $\sigma'_{vo}$  - áp lực đứng hiệu quả.

### 5.4. DỰ BÁO ĐỘ LÚN CỦA MÓNG NÔNG DỰA TRÊN KẾT QUẢ PMT

Sử dụng thí nghiệm PMT, ta có thể dự báo độ lún của móng nông như sau:

$$S = \frac{2}{9E_d} \sigma_{gl} \times 0,6 \times \left( \lambda_d \frac{B}{0,6} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{9E_d} \sigma_{gl} \lambda_c B, m \quad (5.5)$$

trong đó  $B$  - bề rộng móng, m;  
 $\alpha$  - hệ số từ biến, lấy theo bảng 5.9;

$\lambda_d, \lambda_c$  - hệ số hiệu chỉnh hình dáng, lấy theo bảng 5.10.

Nếu  $h_m < B$  (chiều sâu chôn móng nhỏ hơn bề rộng móng), thì độ lún sẽ tăng  $(1,2 - 0,2 h_m / B)$  lần.

$E_d$  là giá trị trung bình của  $E_{PMT}$  vùng  $8B$  dưới đáy móng. Cách tính trung bình rất đặc biệt (gọi là harmonic mean) được trình bày chi tiết bởi Centre d'Etudes Menard.

Bảng 5.9. Hệ số từ biến

Đất	Bùn	Sét		Bụi		Cát		Cát, cuội	
	$\alpha$	$E_{PMT} / p_i$	$\alpha$	$E_{PMT} / p_i$	$\alpha$	$E_{PMT} / p_i$	$\alpha$	$E_{PMT} / p_i$	$\alpha$
quá cố kết (OC)	1	> 16	1	> 14	2 / 3	> 12	1 / 2	> 10	1 / 3
cố kết thường (NC)		9 ÷ 16	2 / 3	8 ÷ 14	1 / 2	7 ÷ 12	1 / 3	6 ÷ 10	1 / 4
phong hoá hoặc xáo động		7 ÷ 9	1 / 2		1 / 2		1 / 3		1 / 4

Bảng 5.10. Hệ số hiệu chỉnh hình dáng

	Móng tròn	Móng vuông	L / B = 2	L / B = 3	L / B = 5	L / B = 20
$\lambda_d$	1	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65
$\lambda_c$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

### 5.5. ĐỘ TIN CẬY CỦA THÍ NGHIỆM PMT

Sai số của PMT được tóm tắt trong bảng 5.11. Theo Kulhawy và Trautmann (1996) thì thí nghiệm PMT loại trong hố khoan có COV = 0,1 ÷ 0,2, còn loại tự khoan (SBPMT) thì có COV = 0,15 ÷ 0,25 (xem phụ lục 1 và 2).

Bảng 5.11. Tóm tắt những sai số của PMT

Do thiết bị	Kích thước của ống thăm
	Màng giãn nở
	Ống dẫn dung dịch
	Với SBPMT: hình dáng của ống thăm, mũi cắt, thiết bị khoan lỗ
Do thí nghiệm	Phương pháp khoan và chuẩn bị lỗ thí nghiệm
	Tốc độ giãn nở ống thăm
	Thời gian nghỉ trước khi đọc số đọc

## 5.6. TÓM TẮT THÍ NGHIỆM PMT

1. Thí nghiệm PMT đo áp lực từ đất lên màng thép/ cao su của ống thăm PMT khi ta dùng nước (hoặc chất lỏng khác) đẩy màng thép/ cao su ép về phía đất.
2. PMT là 1 thí nghiệm cực kỳ phức tạp, thời gian chuẩn bị thí nghiệm rất lâu.
3. PMT là thí nghiệm nén ngang, cho kết quả là quan hệ "áp lực - chuyển vị" của đất. Từ PMT, ta có thể ước tính môđun biến dạng của đất, dự báo độ lún của móng và dự báo sức chịu tải theo phương ngang.
4. Cũng nên lưu ý rằng, các quan hệ thực nghiệm thường dựa trên đất tương đối đồng nhất (cát hoặc sét). Vì vậy cần cẩn thận khi sử dụng PMT để ước tính các chỉ tiêu cho những đất pha tạp (cát pha, sét pha), hoặc đất phong hoá khác thường.

