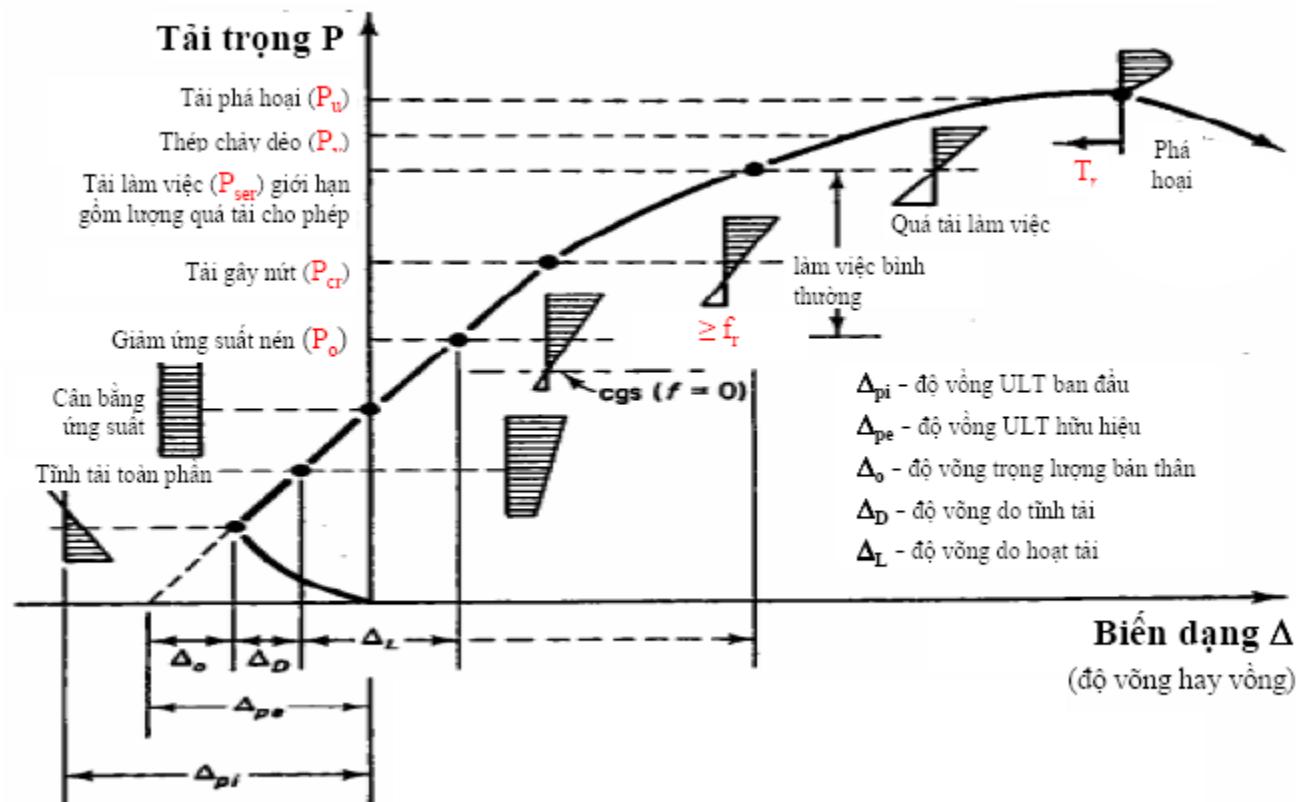
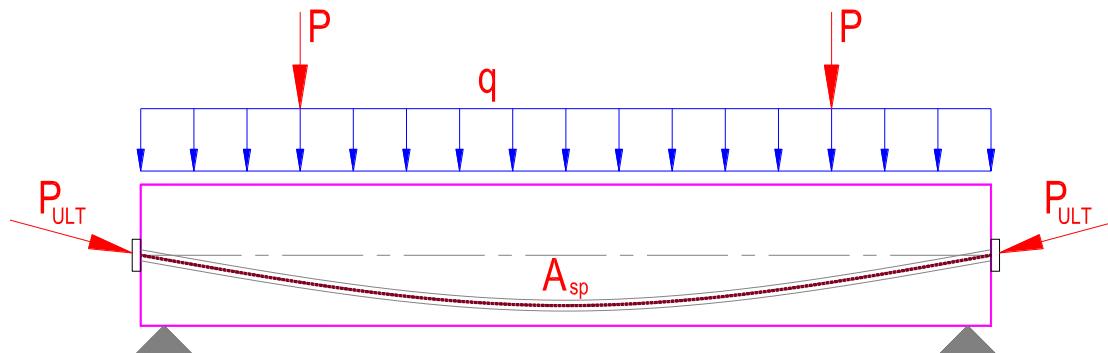


# Chương 3

## CÁC CHỈ DẪN TÍNH TOÁN CƠ BẢN

- 3.1      Nội dung tính toán cơ bản
- 3.2      Tổn hao ứng suất trong kết cấu ứng lực trước
- 3.3      Phân tích kết cấu bê tông ứng lực trước theo tải trọng cân bằng

# ĐƯỜNG CONG P-Δ CỦA DÂM BTULT ĐIỂN HÌNH



### 3.1. NỘI DUNG TÍNH TOÁN CƠ BẢN

- ❑ Theo BS 8110:1997, cấu kiện BTULT cần được tính toán theo 3 trạng thái:

➤ Trạng thái **ban đầu** (*initial – transfer*):

- Tương ứng với giai đoạn *ngay sau khi cắt cáp ULT*.
- Tải trọng tác dụng lên cấu kiện:
  - ✓ *Tải ULT*
  - ✓ *Trọng lượng bản thân cấu kiện (SW)*

➤ Trạng thái **giới hạn điều kiện sử dụng** (SLS):

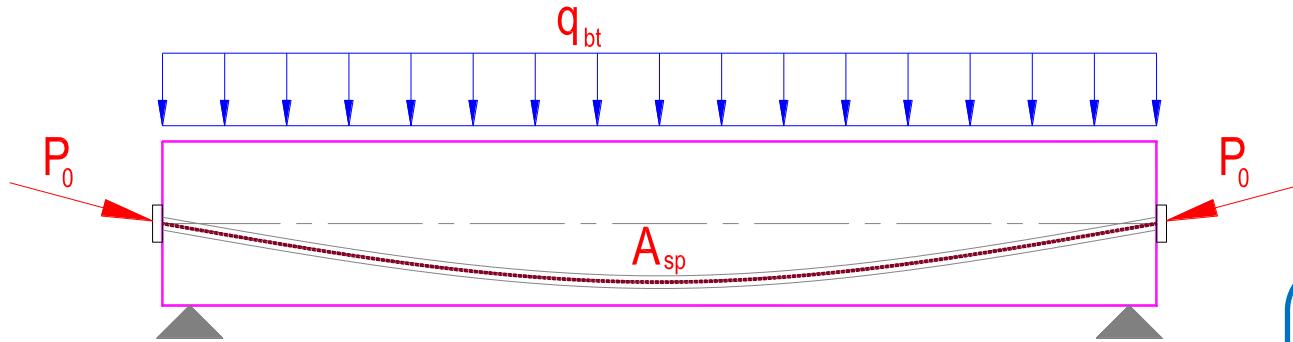
- Tương ứng với phạm vi thay đổi của tải trọng gây uốn  $P_o \leq P \leq P_{ser}$ .
- Tải trọng tác dụng lên cấu kiện:
  - ✓ *Tải ULT*
  - ✓ *Tổng tải = (SW) + (SDL) + (LL)*

### 3.1. NỘI DUNG TÍNH TOÁN CƠ BẢN

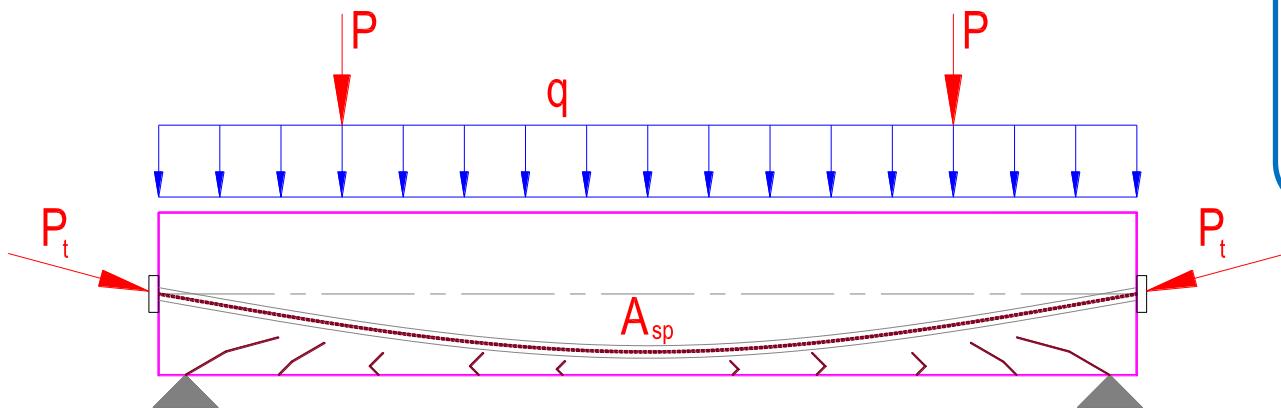
➤ Trạng thái **giới hạn về độ bền** (ULS):

- Tương ứng với tải trọng gây uốn tối hạn  $P = P_u$ .
- Tải trọng tác dụng lên cấu kiện:
  - ✓ *Tải ULT*
  - ✓ *Tổng tải = (SW) + (SDL) + (LL)*

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT



Hình 3.1. Dам ở trạng thái ban đầu (initial)



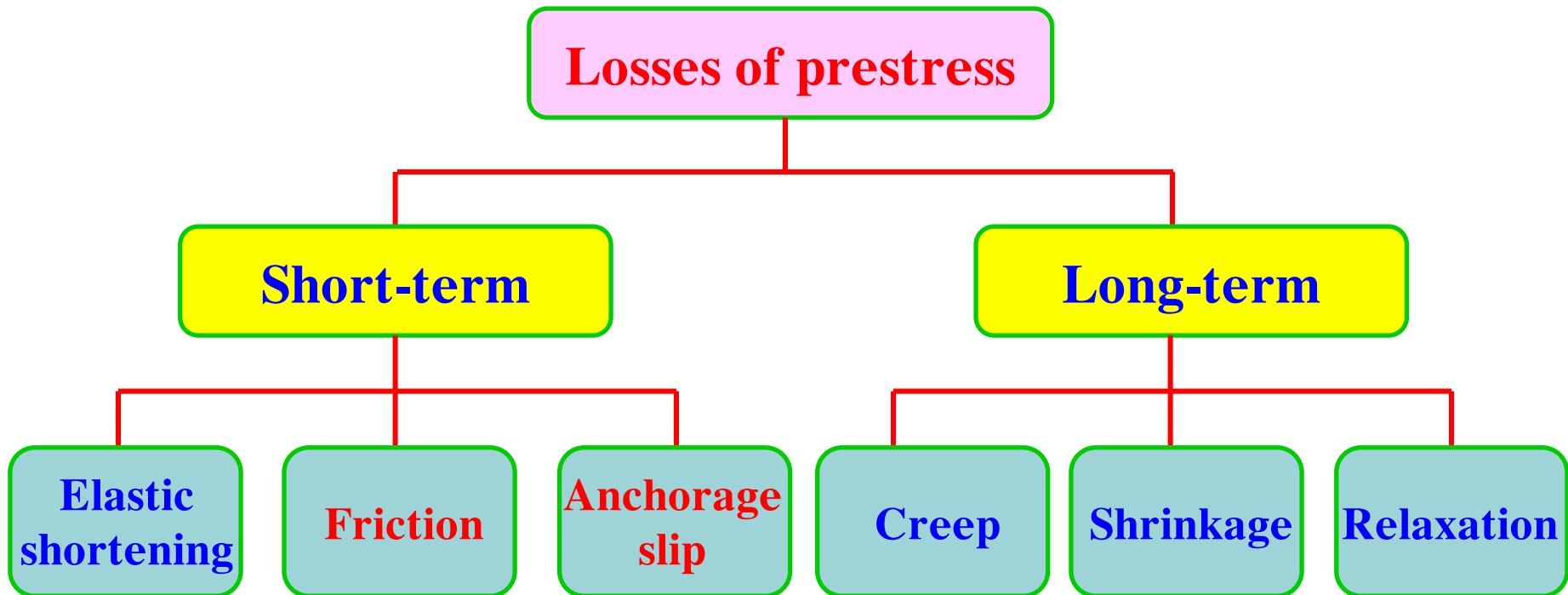
Hình 3.2. Dам ở trạng thái SLS

#### Tổn hao ứng suất:

- Ứng suất nén trong BT giảm theo thời gian từ khi truyền ULT.

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

□ Phân loại tổn hao ứng suất:



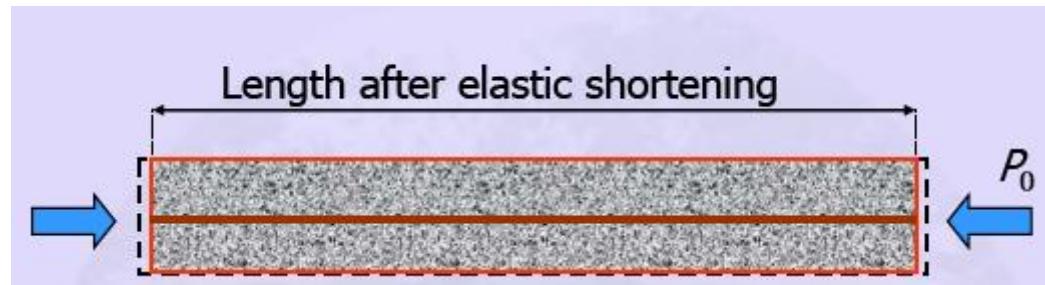
- PP căng sau (*post-tension*): gồm tất cả tổn hao.
- PP căng trước (*pre-tension*): không có *tổn hao do ma sát* (friction) và *truột đầu neo* (anchorage slip).

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses):

➤ Tổn hao do co ngắn đàm hồi (*Elastic shortening-ES*)

- Khi ULT được truyền cho BT -> cấu kiện co ngắn lại -> cáp ULT cũng bị co ngắn -> *tổn hao ứng suất trong cáp*.
- Xét cấu kiện chịu lực dọc gây bởi ULT:



### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do biến dạng đàn hồi (*Elastic shortening-ES*) (tt)

✓ Giá trị co ngắn đơn vị:

$$\delta_{es} = \frac{f_{co}}{E_{ci}} = \frac{P_o}{E_{ci} A_c} \quad (3.1)$$

✓ Tổn hao ứng suất trong thép:

$$ES = E_{ps} \delta_{es} = \frac{E_{ps} P_o}{E_{ci} A_c} \quad (3.2)$$

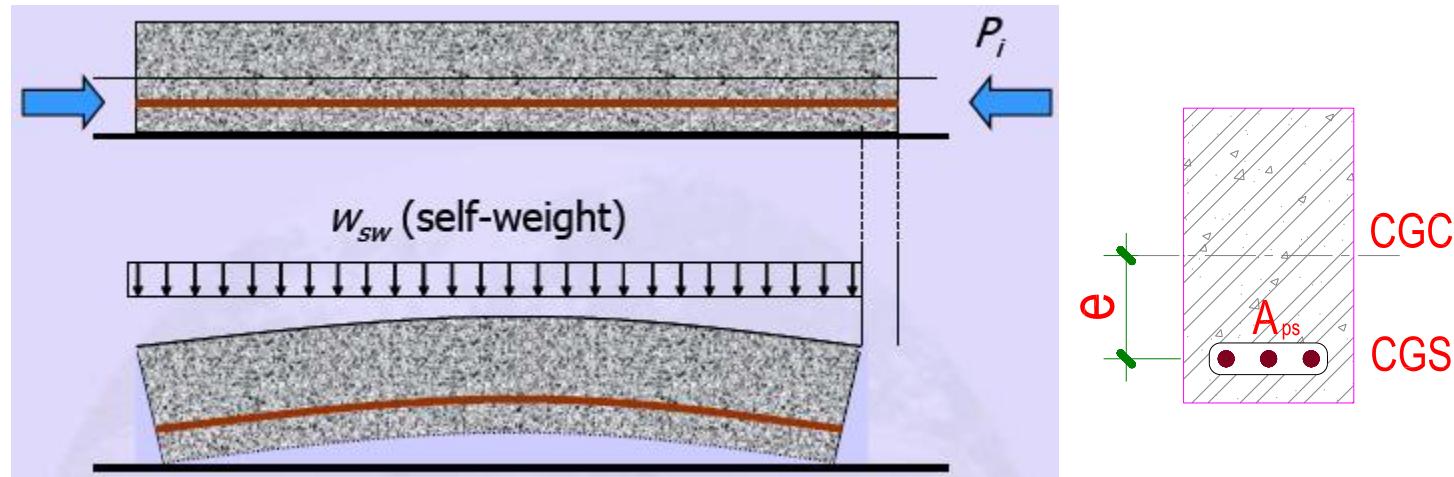
Với  $E_{ci}$  – Modul đàn hồi của BT tại thời điểm truyền ứng suất trước (*transfer*) [Section 7 – BS 8110:1997 part 2]

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do biến dạng đàn hồi (*Elastic shortening-ES*) (tt)

- Khi cấu kiện chịu uốn được gây ULT:



✓ Ứng suất trong BT ở trọng tâm cáp ULT (CGS):

$$f_{co} = -\frac{P_o}{A} - \frac{P_o e^2}{I} + \frac{M_{sw}e}{I} \quad (3.3)$$

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do biến dạng đàn hồi (*Elastic shortening-ES*) (tt)

■ Đề xuất của *BS 8110:1997*:

✓ Giá trị tổn hao trong cáp ULT do biến dạng đàn hồi:

$$\delta P_{ES} = ES \times A_{ps} = \delta_{ES} E_{ps} A_{ps} \quad (3.4)$$

$$\delta_{ES} = 0.5 \times \frac{f_{co}}{E_{ci}} \quad (3.5)$$

Trong đó:

- $f_{co}$  - ứng suất trong BT ở trọng tâm cáp ULT tại thời điểm *truyền ứng suất trước (transfer)*
- *Hệ số 0.5* - xét đến tác động trung bình khi cáp được căng một cách liên tục.

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

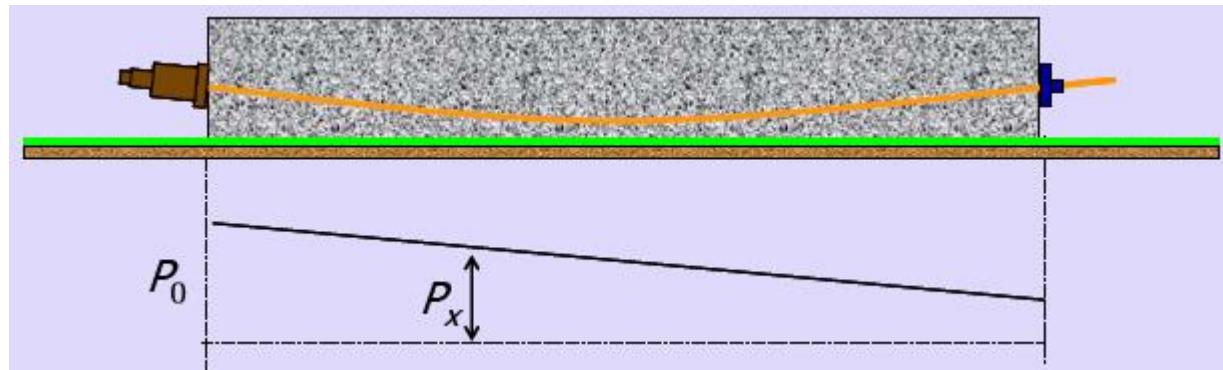
- Tổn hao do ma sát (*Friction loss-FL*)
  - Trong quá trình căng cáp, *tổn hao do ma sát* gây ra bởi:
    - ✓ Ma sát giữa *cáp* và *ống* do sự thay đổi dạng đường cong của cáp (*curvature friction*).
    - ✓ Ma sát giữa *cáp* và *ống* do sự dao động của cáp khi thi công (*wobble friction*).

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do ma sát (*Friction loss-FL*) (tt)

- *Tổn hao ma sát càng lớn* khi khoảng cách từ đầu cảng càng lớn.



*Hình 3.3. Giá trị lực nén trước sau khi căng cáp*

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do ma sát (*Friction loss-FL*) (tt)

- Theo *BS 8110:1997*, giá trị lực căng trong cáp ULT tại khoảng cách x từ đầu căng:

$$P_x = P_o e^{-(\mu\alpha + kx)} \quad (3.6)$$

Trong đó:

- $P_o$  - lực căng ban đầu tại đầu kích
- $\mu$  - hệ số ma sát do sự thay đổi dạng đường cong của cáp (*curvature friction coefficient*).
- $\alpha$  - góc chuyển hướng trong cáp từ đầu kích đến điểm tính toán (*rad*).
- $k$  - hệ số ma sát do sự dao động của cáp khi thi công (*wobble friction coefficient*).

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do ma sát (*Friction loss-FL*) (tt)

✓ Giá trị hệ số ma sát  $\mu$  và  $k$  theo *BS 8110:1997*:

- $k$  – phụ thuộc vào cáp, ống gen, khoảng cách giữa các gối đỡ, thông thường  $k \geq 0.0033$  (*rad/m*).

$$k = 0.004 - 0.0048(\text{ rad / m })$$

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

##### ➤ Tổn hao do ma sát (*Friction loss-FL*) (tt)

- $\mu$  - phụ thuộc vào loại cáp và điều kiện tiếp xúc giữa cáp và ống gen.

Loại và dạng tiếp xúc	$\mu$
Cáp rỉ nhẹ (lightly-rusted strand) trong ống thép rỉ nhẹ	0.30
Cáp rỉ nhẹ trong ống mạ kẽm (galvanized duct)	0.25
Cáp sáng (bright strand) trong ống mạ kẽm	0.20

- *Trong trường hợp cáp hoặc ống gen bị rỉ nặng, giá trị  $\mu$  cần lấy cao hơn giá trị trong bảng trên.*

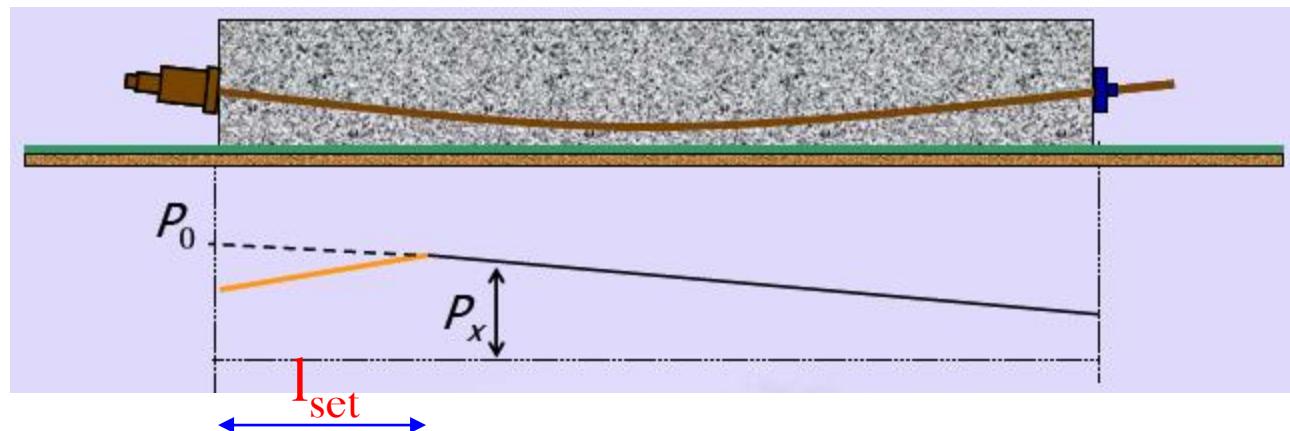
### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do trượt đầu neo (*Anchorage slip - Wedge draw-in*)

- Khi cáp được căng (*transfer*), các nêm sẽ bị trượt 1 khoảng nhỏ trước khi kẹp chặt sợi cáp, đồng thời khối neo (*anchorage block*) cũng dịch chuyển trước khi đông cứng trong bê tông.

→ Sự dịch chuyển này làm giảm ứng suất căng ban đầu trong cáp.



### 3.2. TỔN HAO ỦNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ❑ Các tổn hao ngắn hạn (short-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do trượt đầu neo (*Anchorage slip - Wedge draw-in*) (tt)

- Tổng độ dịch chuyển neo phụ thuộc vào hệ thống neo.

Hệ thống neo	Độ dịch chuyển neo $\Delta$
Freyssinet	4-6 mm
Magnel	8 mm
Dywidag	1 mm

- Thông thường, thiết kế chọn  $\Delta = 6-8 mm$ .
- Tổn hao do trượt đầu neo chỉ xảy ra ở *cấu kiện căng sau*.

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ☐ Các tổn hao dài hạn (long-term losses):

➤ Tổn hao do từ biến của bê tông (*Creep of Concrete-CR*)

- Biến dạng phát triển theo thời gian trong khi tải trọng không đổi (*tải dài hạn*).
- Đề xuất của *BS 8110:1997*:
  - ✓ Giá trị tổn hao trong cáp ULT do từ biến:

$$\delta P_{cr} = CR \times A_{ps} = \varepsilon_{cc} E_{ps} A_{ps} \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_{cc} = \frac{f_{co}}{\underline{E}_c} = \frac{f_{co}}{E_c} \times \Phi \quad (3.8)$$

Trong đó:

- $\Phi$  – hệ số từ biến, phụ thuộc vào *bê tông dày tiết diện ngang hữu hiệu, độ ẩm tương đối và tuổi của tải trọng*.

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ☐ Các tổn hao dài hạn (long-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do từ biến của bê tông (*Creep of Concrete-CR*) (tt)

✓ Cách xác định hệ số từ biến  $\phi$ :

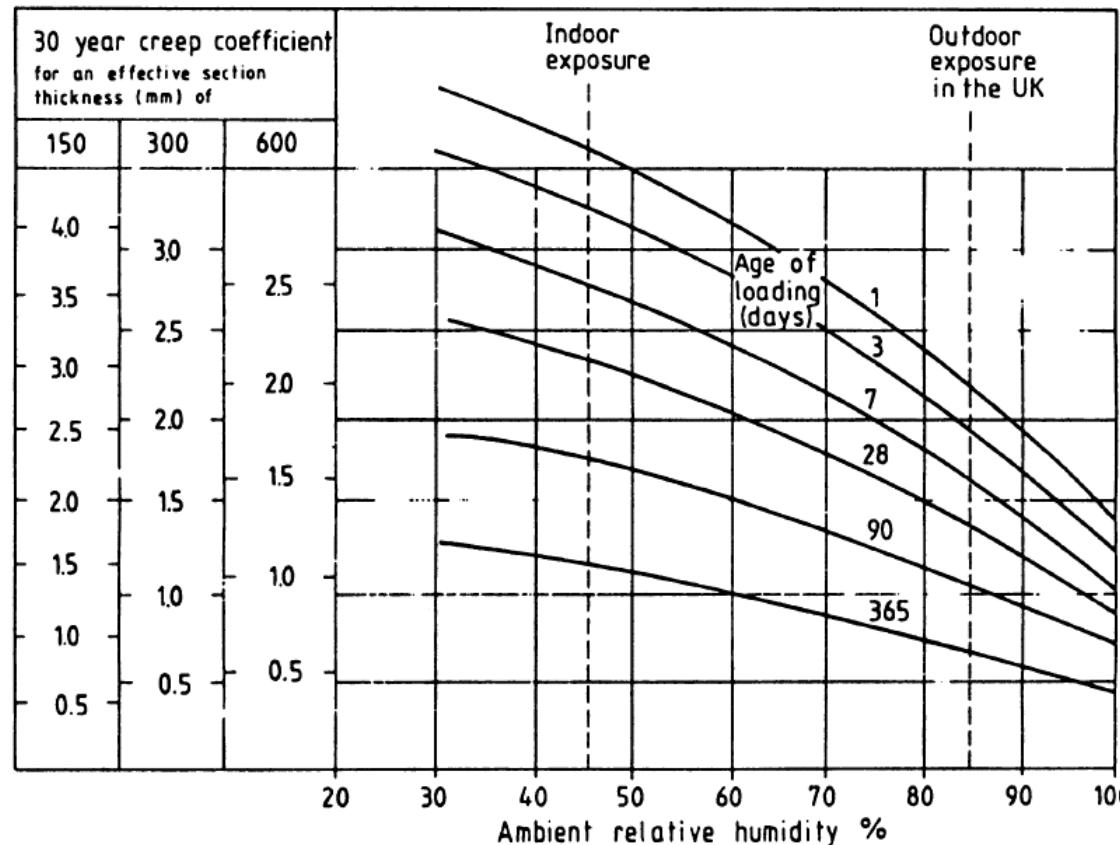


Figure 7.1 — Effects of relative humidity, age of loading and section thickness upon creep factor

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### □ Các tổn hao dài hạn (long-term losses) (tt):

- Tổn hao do từ biến của bê tông (*Creep of Concrete-CR*) (tt)
  - ❖ Từ biến xảy ra *sau khi* cấu kiện đã được truyền ULT.
  - ❖ Giá trị  $f_{co}$  trong công thức (3.8) được xác định với *tải trọng dài hạn*.
  - ❖ Nên chọn *bê tông cường độ cao* (HSC) để giảm tổn hao ứng suất do từ biến.

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ☐ Các tổn hao dài hạn (long-term losses) (tt):

- Tổn hao do co ngót của bê tông (*Shrinkage of Concrete-SH*)
  - Sự co ngót trong bê tông xảy ra khi *độ ẩm thấp (low humidity)*.
  - Bê tông co ngót → thép ULT co ngắn lại, từ đó gây ra sự *tổn hao ứng suất*.
  - Đề xuất của *BS 8110:1997*:
    - ✓ Giá trị tổn hao trong cáp ULT do co ngót:

$$\delta P_{sh} = SH \times A_{ps} = \varepsilon_{sh} E_{ps} A_{ps} \quad (3.9)$$

Trong đó:

- $\varepsilon_{sh}$  – biến dạng do co ngót, phụ thuộc vào *bề dày tiết diện ngang hữu hiệu và độ ẩm tương đối*.

### 3.2. TỔN HAO ỦNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ☐ Các tổn hao dài hạn (long-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do co ngót của bê tông (*Shrinkage of Concrete-SH*) (tt)

✓ Cách xác định biến dạng do co ngót  $\varepsilon_{sh}$ :

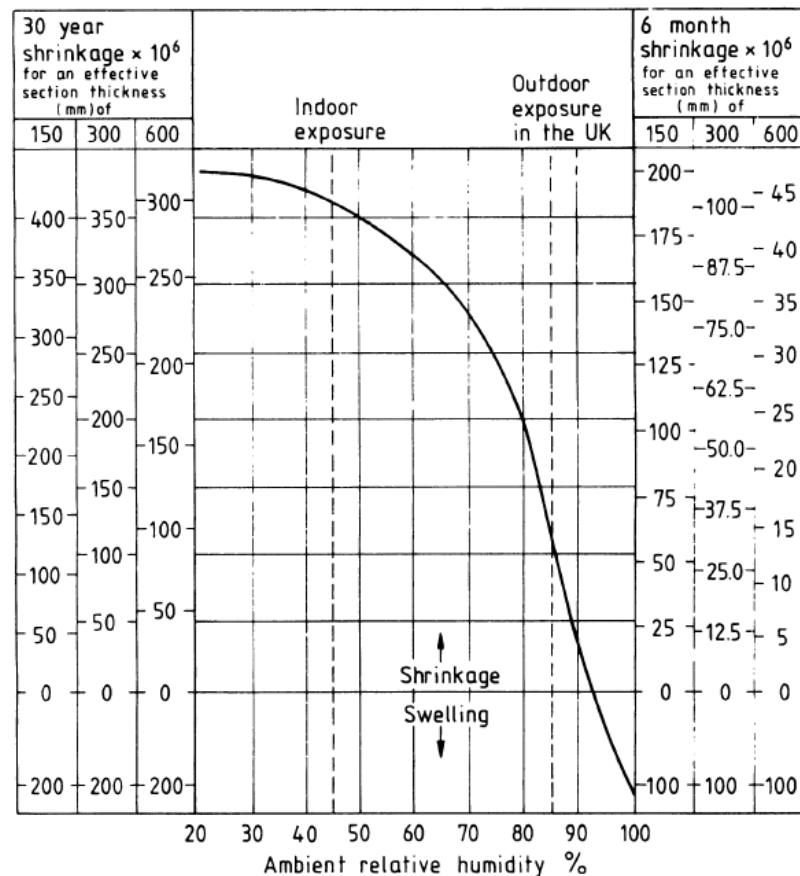


Figure 7.2 — Drying shrinkage of normal-weight concrete

### **3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT**

#### **□ Các tổn hao dài hạn (long-term losses) (tt):**

- Tổn hao do chùng ứng suất (*Relaxation of the tendons*)
  - Sự chùng ứng suất trong cáp được định nghĩa là sự *giảm ứng suất* theo thời gian trong khi *biến dạng không đổi*.  
→ Sự chùng ứng suất làm *giảm lực căng trước* trong cáp.
  - Giá trị chùng ứng suất phụ thuộc vào *loại cáp, lực căng ban đầu (at transfer)* và *nhiệt độ*.

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ☐ Các tổn hao dài hạn (long-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do chùng ứng suất (*Relaxation of the tendons*) (tt)

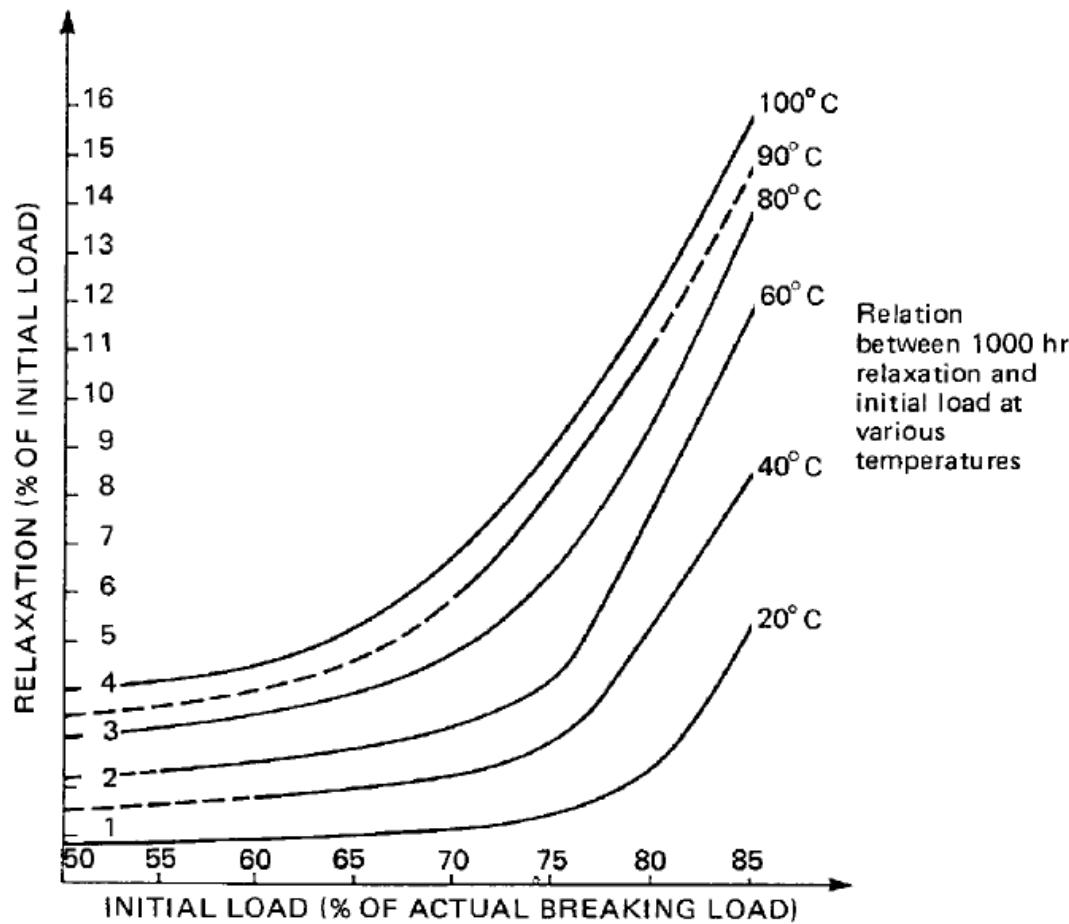


Figure B3: Relaxation curves for types of strand at various load levels

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

#### ☐ Các tổn hao dài hạn (long-term losses) (tt):

➤ Tổn hao do chùng ứng suất (*Relaxation of the tendons*) (tt)

- The *BS 8110:1997*, tổn hao do chùng ứng suất trong cáp xác định theo công thức:

$$\delta P_r = (\text{1000-hour relaxation}) \times (\text{relaxation factor}) \\ \times (\text{the prestress force at transfer}) \quad (3.10)$$

Force at transfer as a % of characteristic strength of tendon	1000-hour relaxation	Relaxation factor	Force loss as a % of force at transfer
80%	4.5%	1.5	6.75%
70%	2.5%	1.5	3.75%
60%	1.0%	1.5	1.50%

Table B2: Relaxation for Class 2 low-relaxation steel

### 3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT

□ **Tổn hao ứng suất trong các giai đoạn làm việc:**

➤ Giai đoạn nén trước (*Prestress transfer*)

- Tổn hao do biến dạng đàn hồi (ES).
- Tổn hao do trượt đầu neo (*chỉ có ở cảng sau*).
- Tổn hao do ma sát (FL) (*chỉ có ở cảng sau*).
- Không có tổn hao do chùng ứng suất trong cáp ULT (RE).
- Không có tổn hao do co ngót bê tông (SH).
- Không có tổn hao do từ biến bê tông (CR).

➤ Giai đoạn làm việc bình thường (*ULS - SLS*)

- Xét đến tất cả tổn hao *ngắn hạn* và *dài hạn* trong tính toán.

### **3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT**

#### **□ Tỉ lệ tổn hao ứng suất**

➤ Trên thực tế rất khó xác định chính xác tổng tổn hao ứng suất trong cáp, bởi nó phụ thuộc vào quá nhiều yếu tố như:

- Đặc tính của bê tông và cáp ULT.
- Điều kiện độ ẩm và bảo dưỡng.
- Độ lớn của ứng suất căng ban đầu.
- Thời gian tác dụng ULT.
- Phương pháp ULT,...

→ Khi thiết kế, thường giả thiết tổng tổn hao ứng suất bằng một **tỉ lệ %** *của ứng suất căng ban đầu*.

### **3.2. TỔN HAO ỨNG SUẤT TRONG KẾT CẤU ULT**

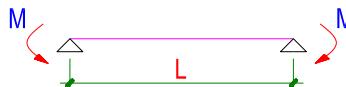
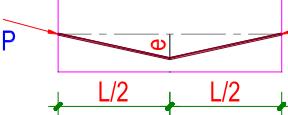
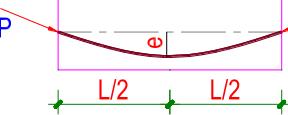
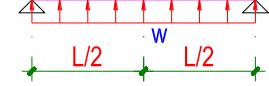
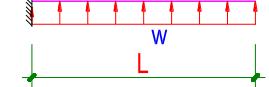
#### **□ Tỉ lệ tổn hao ứng suất (tt)**

- Tỉ lệ điển hình của tổng tổn hao ứng suất trong điều kiện làm việc bình thường như bảng sau:

Type of losses	Pre-tension (%)	Post-tension (%)
Short-term	10	10
Long-term	15	10
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>20</b>

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTCB

- Cáp ULT được thay thế bằng *lực tương đương, ngược hướng* và *cân bằng với một phần tải trọng tác dụng lên kết cấu*. Lực này được gọi là *tải trọng cân bằng* (TTCB)
- TTCB (*balanced load*) phụ thuộc vào *quỹ đạo cáp* và *biểu đồ momen do tải trọng tác dụng*.

TENDON PROFILE	BALANCED LOAD DIAGRAM	BALANCED LOAD	CAMPER
		$M = Pe$	$\frac{ML^2}{8EI}$
		$W = \frac{4Pe}{L}$	$\frac{WL^3}{48EI}$
		$W = \frac{8Pe}{L^2}$	$\frac{5wL^4}{384EI}$
		$W = \frac{2Pe}{L^2}$	$\frac{wL^4}{8EI}$

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTGB

➤ Lựa chọn tải trọng cân bằng  $w_{bal}$ :

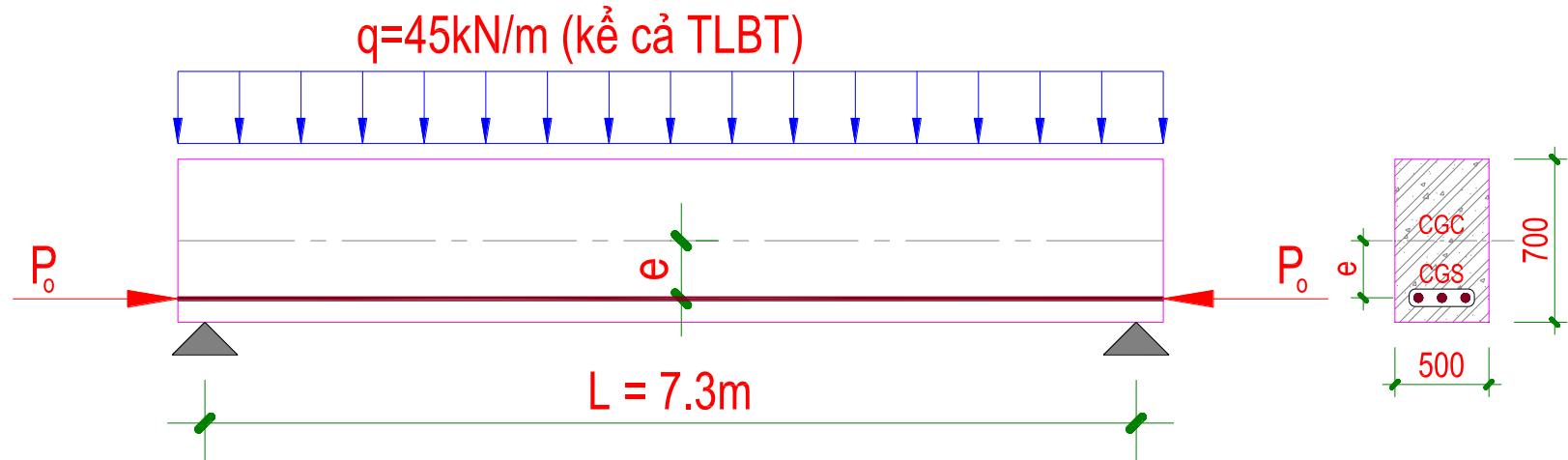
- Đáp ứng được yêu cầu về *ứng suất nén trung bình của bê tông trong giai đoạn sử dụng*:

$$\sigma_{av} = \frac{P_e}{A_g} \in 0.7 \div 2.5 \text{ MPa}$$

- Thông thường, với kết cấu *căng sau (post-tension)*:
  - ✓ Trong sàn:  $w_{bal} = 80 - 100\% \text{ TLBT sàn.}$
  - ✓ Trong đầm:  $w_{bal} = 90 - 100\% \text{ TLBT đầm.}$

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTGB

➤ Ví dụ 3.1: Cho dầm ứng suất trước có quỹ đạo cáp và tải trọng tác dụng như hình sau:



Biết rằng lực căng ban đầu  $P_o = 1620\text{kN}$ .

Độ lệch tâm  $e = 145\text{mm}$ . Bỏ qua các tổn hao ứng suất.

Các hệ số vượt tải, hệ số tổ hợp lấy bằng 1,0.

*Hãy xác định biểu đồ phân bố ứng suất tại giữa nhịp dầm.*

## Bước 1: Chuẩn bị số liệu

- Tải trọng tiêu chuẩn q:

$$q = 45kN / m$$

- Lực căng hữu hiệu lên đầm:

$$P_e = P_o = 1620kN$$

- Tiết diện ngang đầm:

$$b = 500mm$$

$$h = 700mm$$

- Độ lệch tâm giữa tiết diện bê tông (**CGC**) và tiết diện cáp (**CGS**):

$$e = 145mm$$

- Nhịp đầm:

$$L = 7.3m$$

## Bước 2: Xác định đặc trưng hình học mặt cắt ngang đầm

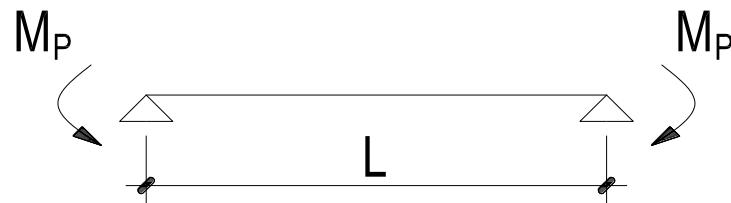
- Diện tích tiết diện ngang  $A_b$ :

$$A_b = b \times h = 500 \times 700 = 35 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

- Momen kháng uốn của tiết diện ngang  $W_b$ :

$$W_b = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{500 \times 700^2}{6} = 40.83 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

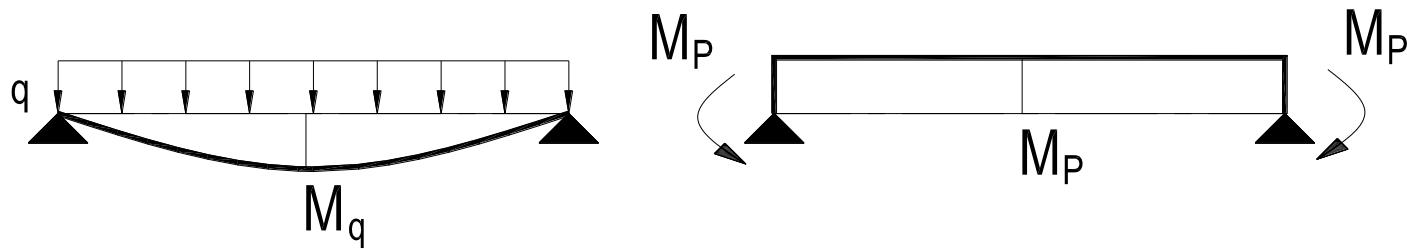
## Bước 3: Quy đổi cáp ULT sang TTCB



- Momen cân bằng:

$$M_p = P_e \times e = 1620 \times 0.145 = 234.9 \text{ kNm}$$

#### Bước 4: Vẽ biểu đồ momen của đầm



- Momen giữa nhịp do tải trọng q gây ra:

$$M_q = \frac{q \times L^2}{8} = \frac{45 \times 7.3^2}{8} = 299.76 kNm$$

- Momen giữa nhịp do tải trọng cân bằng gây ra:

$$M_p = 234.9 kNm$$

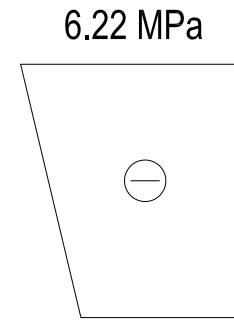
## Bước 5: Xác định ứng suất tại giữa nhịp dầm:

- Quy ước: Kéo (+), Nén (-)
- Ứng suất thó trên tại giữa nhịp:

$$\sigma_{top} = \sigma_{P_e} + \sigma_{M_P} + \sigma_{M_q} = -\frac{P_e}{A_b} + \frac{M_P}{W_b} - \frac{M_q}{W_b}$$

*Biểu đồ phân bố ứng suất giữa nhịp dầm*

$$\Rightarrow \sigma_{top} = -\frac{1620 \times 10^3}{35 \times 10^4} + \frac{234.9 \times 10^6}{40.83 \times 10^6} - \frac{299.76 \times 10^6}{40.83 \times 10^6} = -6.22 MPa < 0$$



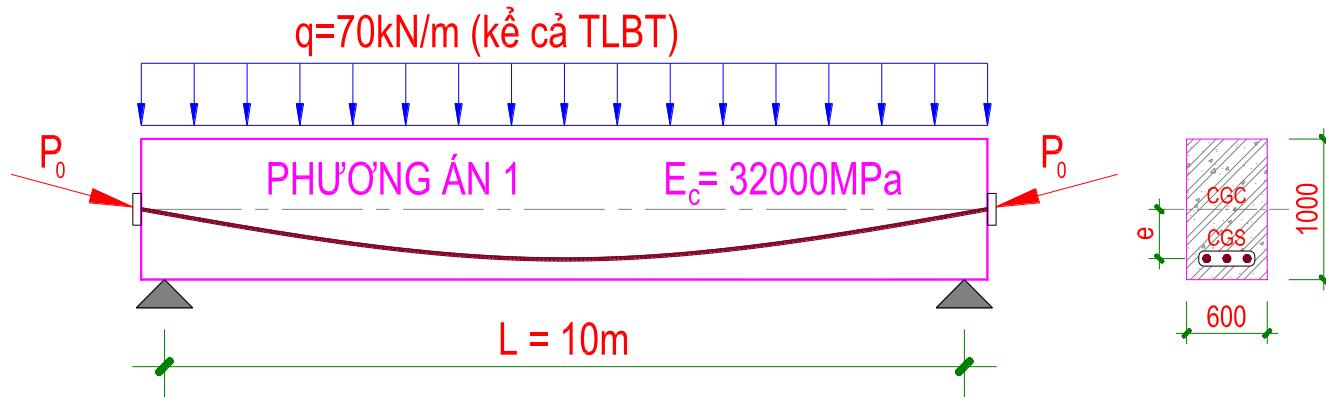
- Ứng suất thó dưới tại giữa nhịp:

$$\sigma_{bot} = \sigma_{P_e} + \sigma_{M_P} + \sigma_{M_q} = -\frac{P_e}{A_b} - \frac{M_P}{W_b} + \frac{M_q}{W_b}$$

$$\Rightarrow \sigma_{bot} = -\frac{1620 \times 10^3}{35 \times 10^4} - \frac{234.9 \times 10^6}{40.83 \times 10^6} + \frac{299.76 \times 10^6}{40.83 \times 10^6} = -3.04 MPa < 0$$

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTGB

➤ Ví dụ 3.2:



Cho  $P_o = 2000\text{kN}$ ,  $e = 400\text{mm}$ . Tổng tổn hao ứng suất =  $20\%P_o$ . Xem bê tông không nứt khi làm việc. Các hệ số vượt tải, hệ số tố hợp lấy bằng 1,0.

*Hãy xác định biểu đồ phân bố ứng suất tại giữa nhịp đầm.*

## Bước 1: Chuẩn bị số liệu

- Tải trọng tiêu chuẩn q:

$$q = 70kN / m$$

- Lực căng hữu hiệu lên đầm:

$$P_e = P_o - 0.2P_o = 1600kN$$

- Tiết diện ngang đầm:

$$b = 600mm$$

$$h = 1000mm$$

- Độ lệch tâm giữa tiết diện bê tông (**CGC**) và tiết diện cáp (**CGS**):

$$e = 400mm$$

- Nhịp đầm:

$$L = 10m$$

## Bước 2: Xác định đặc trưng hình học mặt cắt ngang dầm

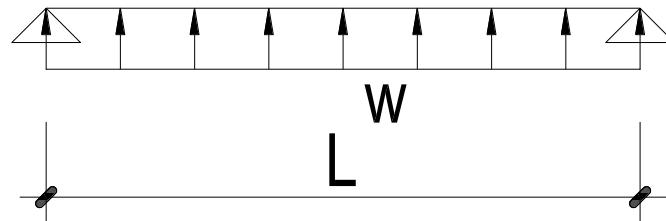
- Diện tích tiết diện ngang  $A_b$ :

$$A_b = b \times h = 600 \times 1000 = 60 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

- Momen kháng uốn của tiết diện ngang  $W_b$ :

$$W_b = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{600 \times 1000^2}{6} = 100 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

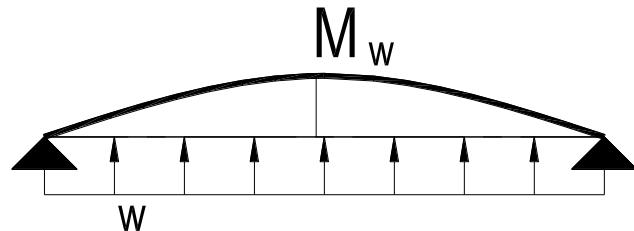
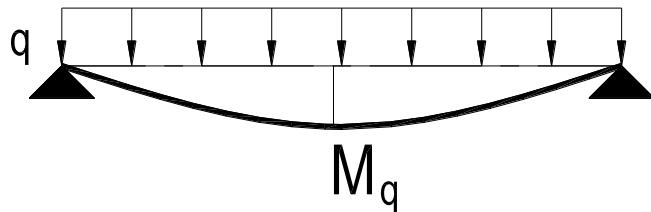
## Bước 3: Quy đổi cáp ULT sang TTCB



- Tải trọng cân bằng:

$$w = \frac{8 \times P_e \times e}{L^2} = \frac{8 \times 1600 \times 0.4}{10^2} = 51.2 \text{ kN/m}$$

#### Bước 4: Vẽ biểu đồ momen của đầm



- Momen giữa nhịp do tải trọng  $q$  gây ra:

$$M_q = \frac{q \times L^2}{8} = \frac{70 \times 10^2}{8} = 875 \text{ kNm}$$

- Momen giữa nhịp do tải trọng cân bằng gây ra:

$$M_w = \frac{w \times L^2}{8} = \frac{51.2 \times 10^2}{8} = 640 \text{ kNm}$$

## Bước 5: Xác định ứng suất tại giữa nhịp dầm:

- Quy ước: Kéo (+), Nén (-)
- Ứng suất thó trên tại giữa nhịp:

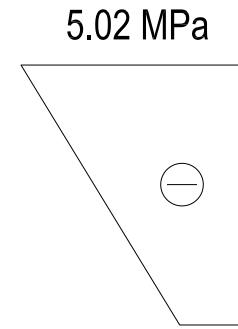
$$\sigma_{top} = \sigma_{P_e} + \sigma_{M_P} + \sigma_{M_q} = -\frac{P_e}{A_b} + \frac{M_w}{W_b} - \frac{M_q}{W_b}$$

$$\Rightarrow \sigma_{top} = -\frac{1600 \times 10^3}{60 \times 10^4} + \frac{640 \times 10^6}{100 \times 10^6} - \frac{875 \times 10^6}{100 \times 10^6} = -5.02 MPa < 0$$

- Ứng suất thó dưới tại giữa nhịp:

$$\sigma_{bot} = \sigma_{P_e} + \sigma_{M_w} + \sigma_{M_q} = -\frac{P_e}{A_b} - \frac{M_w}{W_b} + \frac{M_q}{W_b}$$

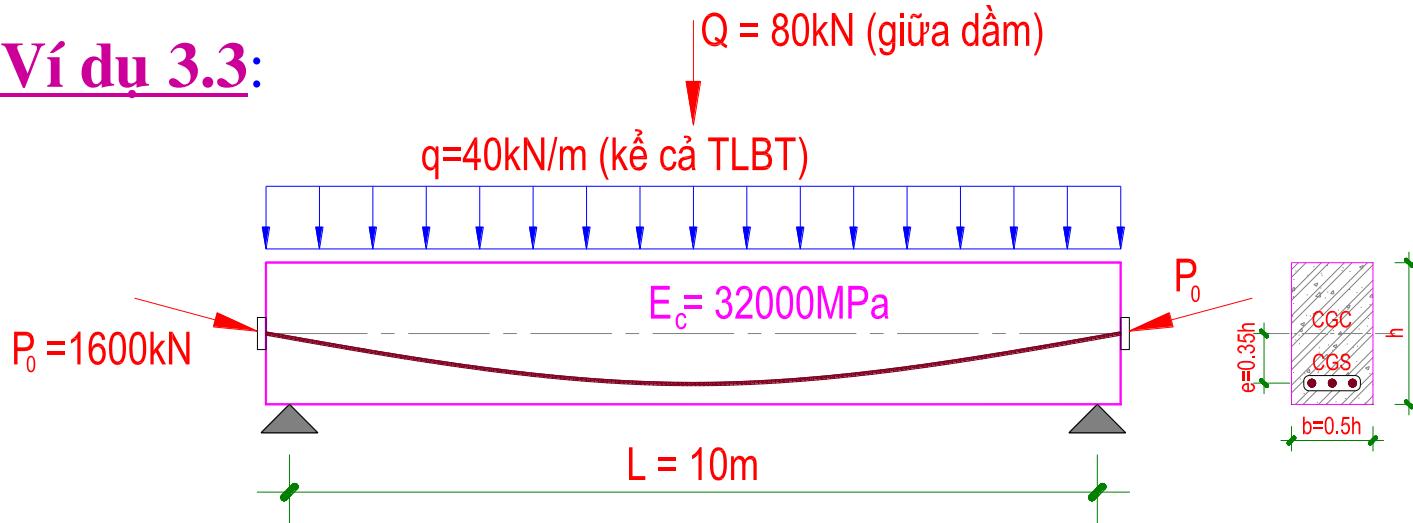
$$\Rightarrow \sigma_{bot} = -\frac{1600 \times 10^3}{60 \times 10^4} - \frac{640 \times 10^6}{100 \times 10^6} + \frac{875 \times 10^6}{100 \times 10^6} = -0.32 MPa < 0$$



*Biểu đồ phân bố ứng suất  
giữa nhịp dầm*

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTGB

➤ Ví dụ 3.3:



Các hệ số vượt tải, hệ số tổ hợp lấy bằng 1,0.

Yêu cầu:

1. Thiết kế tiết diện dầm ( $b, h, e$ ) sao cho độ vồng dự kiến của dầm  $\sim 0$  (sai số  $\pm 5\%$ ) với các giả thiết:
  - a, Bê tông không nứt khi làm việc.
  - b, Tổng tổn hao ứng suất  $= 20\%P_o$ .
  - c, Độ vồng giữa dầm sau khi căng cáp  $< 3mm$ .
2. Xác định biểu đồ phân bố ứng suất tại tiết diện *đầu dầm* và *giữa dầm*.

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTCB

#### □ Sự làm việc của kết cấu siêu tĩnh ULT:

➤ Quỹ đạo cáp lý tưởng trong cấu kiện liên tục chịu *tải phân bố đều*:

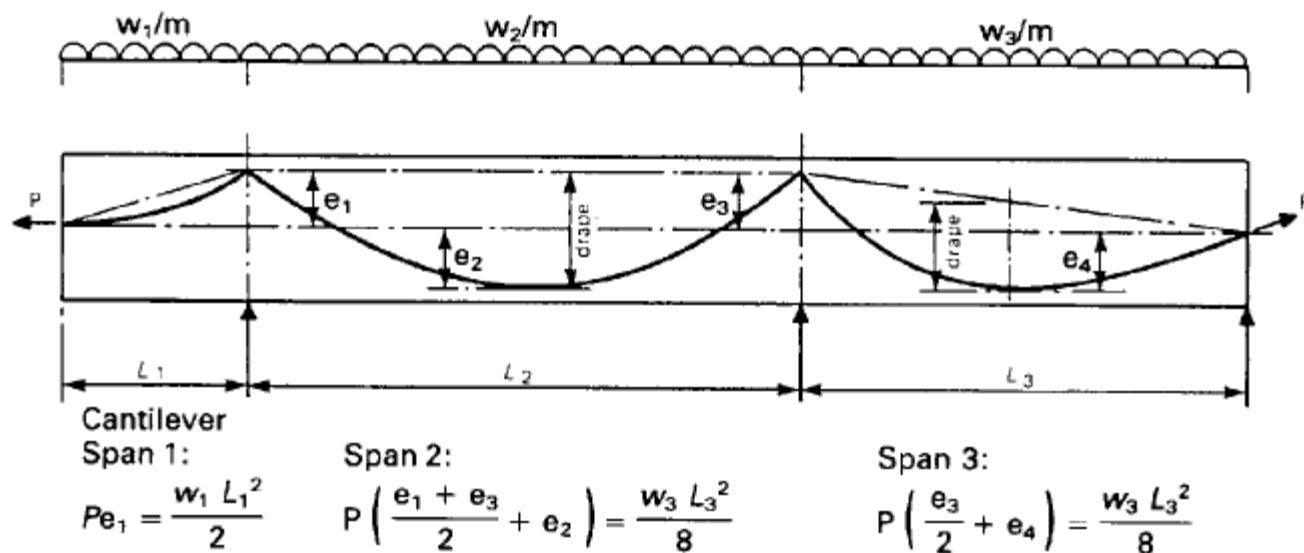
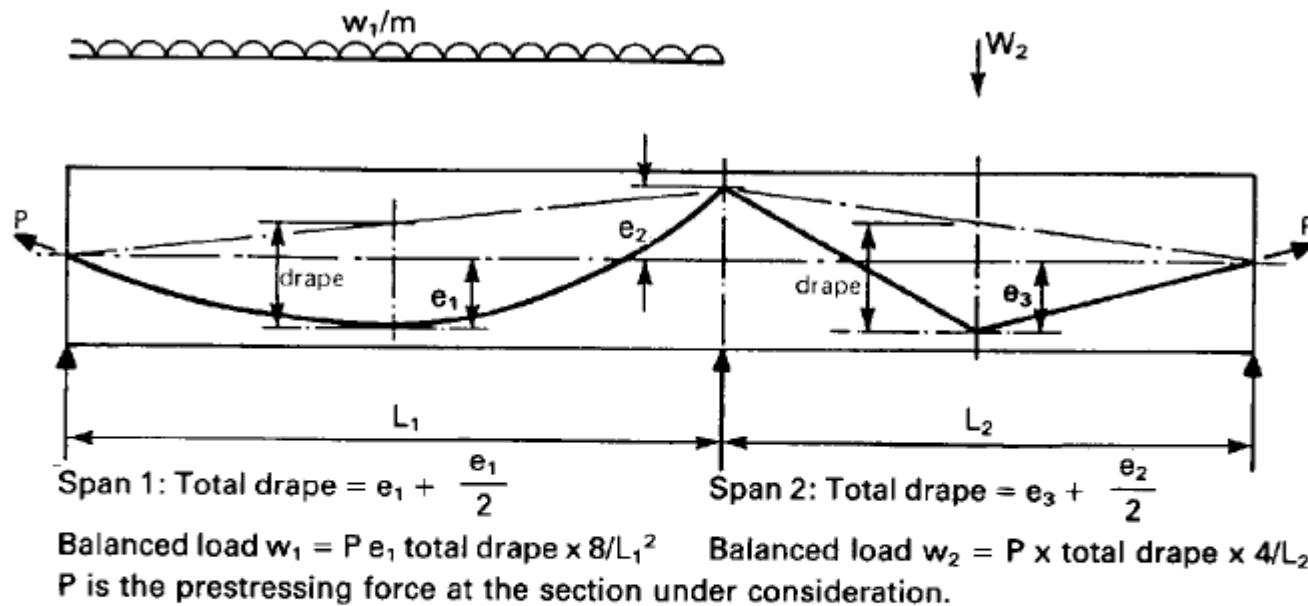


Figure 27: Idealised tendon profile for two spans with single cantilever.

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTGB

#### □ Sự làm việc của kết cấu siêu tĩnh ULT (tt):

➤ Quỹ đạo cáp lý tưởng trong cấu kiện liên tục chịu *tải phân bố đều và tải tập trung*:



Note:

that the centre of gravity of the concrete and the centre of gravity of the tendon coincide at the end of the member so that no equivalent load moments are applied at the end of the member.

Figure 28: Idealised tendon profile for two spans with point load

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTGB

#### □ Sự làm việc của kết cấu siêu tĩnh ULT (tt):

- Quỹ đạo cáp trong *thực tế thiết kế* của cầu kiện siêu tĩnh:

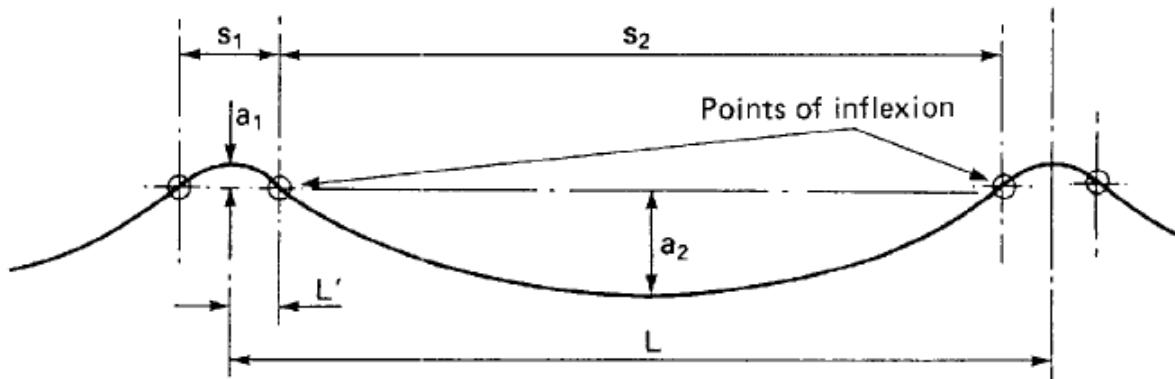


Figure 30: Practical representation of idealised tendon profile.

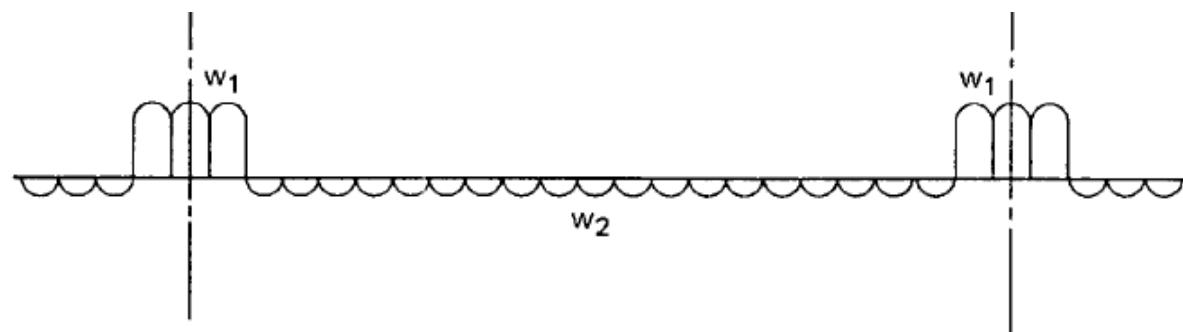


Figure 31: Resultant balancing forces.

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTCB

#### □ Sự làm việc của kết cấu siêu tĩnh ULT (tt):

➤ Momen thứ cấp (*secondary moment*):

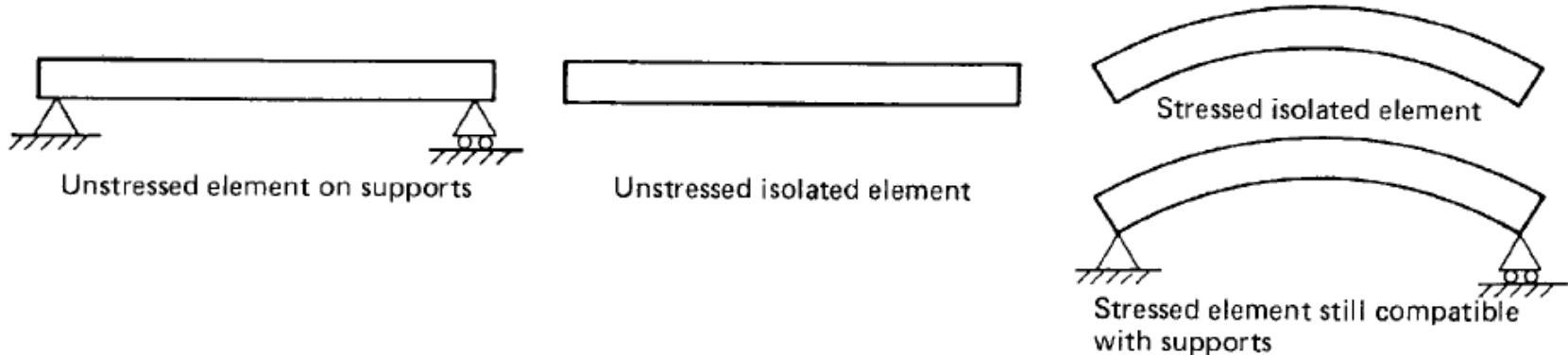
- *Momen sơ cấp (primary moment)* là nội lực phát sinh *trực tiếp* của *lực căng trước* với *độ lệch tâm e* giữa CGC và CGS.
- *Momen thứ cấp (secondary moment)* là nội lực xảy ra do *quá trình căng cáp* làm cho cấu kiện ULT bị *thay đổi hình dạng* của nó (*shorten, bend*) .

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTCB

#### □ Sự làm việc của kết cấu siêu tĩnh ULT (tt):

➤ Momen thứ cấp (*secondary moment*) (tt):

■ Xét dầm đơn giản BTULT:



Hình 3.6. Dầm đơn giản BTULT

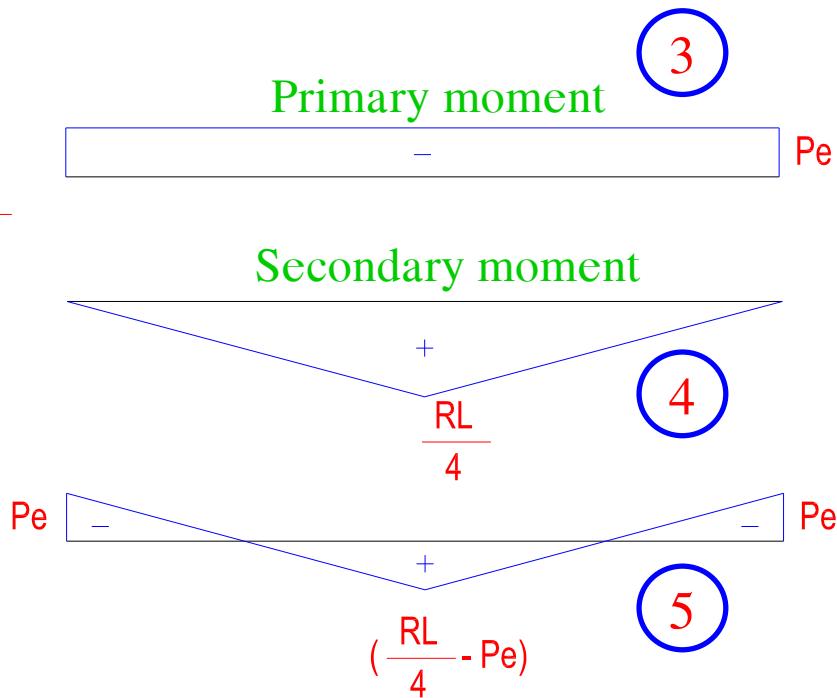
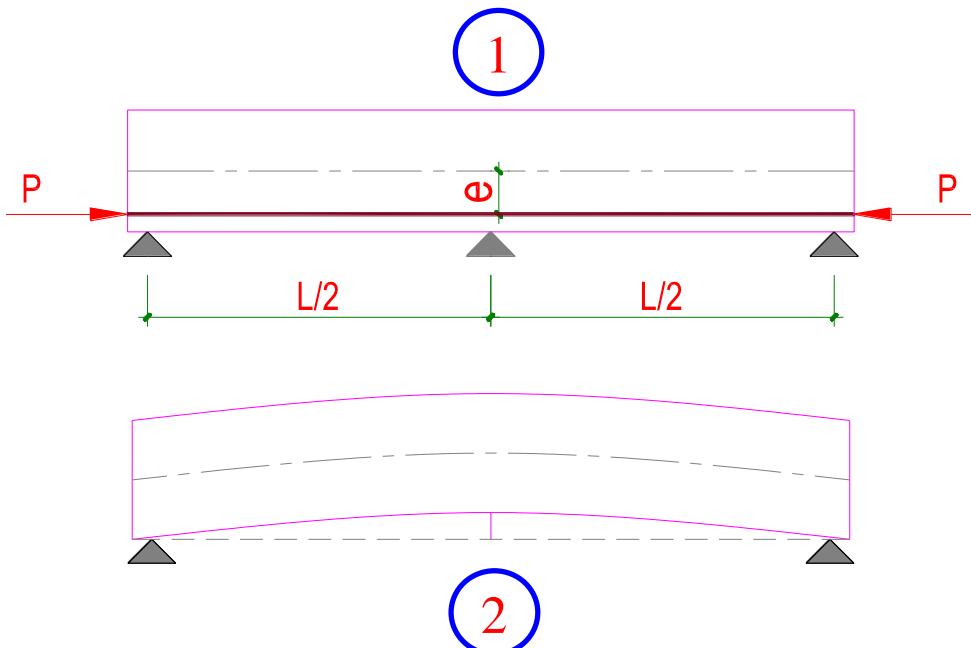
→ Momen thứ cấp không xảy ra trong hệ *tĩnh định*.

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTCB

#### □ Sự làm việc của kết cấu siêu tĩnh ULT (tt):

➤ Momen thứ cấp (*secondary moment*) (tt):

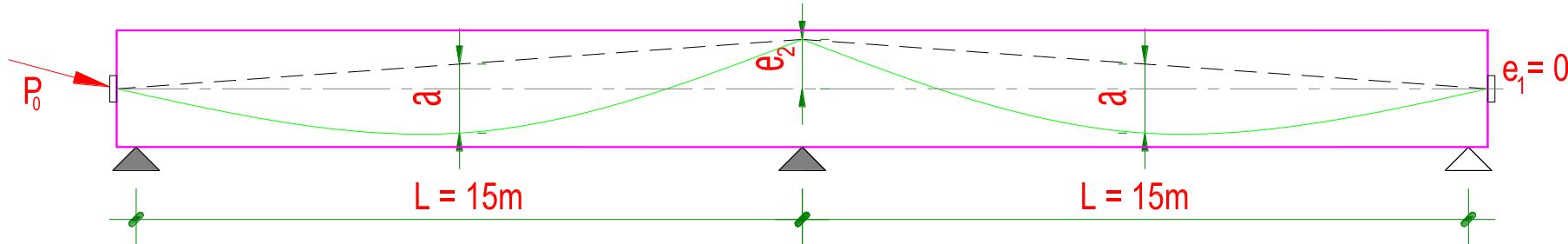
▪ Xét dầm liên tục BTULT:



→ Momen thứ cấp xảy ra trong hệ *siêu tĩnh*, là nội lực *không mong muốn* và *bất lợi* cho kết cấu ULT.

### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT THEO TTGB

➤ Ví dụ 3.4: Xác định momen sơ cấp và momen thứ cấp của dầm ULT có bố trí cáp như sau:



- Dầm có tiết diện (500x600)mm, bố trí 1 đường cáp ST13x5.
- Cáp sử dụng loại ASTM A416 Gr1860.
- Ứng suất căng ban đầu  $f_{po} = 75\% f_{pu}$ .
- Tổng tổn hao ứng suất lấy bằng  $20\% f_{po}$ .
- Lớp bê tông bảo vệ cáp  $c = 50\text{mm}$ .

## Bước 1: Chuẩn bị số liệu

- Cường độ kéo đứt của cáp:  $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$
- Ứng suất căng ban đầu của cáp:  $f_{po} = 0.75 * f_{pu} = 1395 \text{ MPa}$
- Ứng suất căng hữu hiệu của cáp:

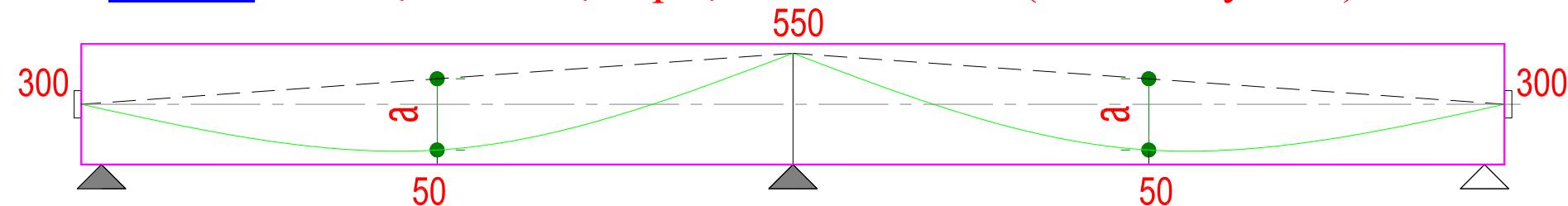
$$f_{pe} = f_{po} - 0.2 * f_{po} = 1395 - 0.2 * 1395 = 1116 \text{ MPa}$$

- Diện tích tiết diện ngang của cáp:

$$A_{ps} = n * A_{lps} = 5 * 98.71 = 493.55 \text{ mm}^2$$

- Lực căng hữu hiệu của cáp:  $P_e = f_{pe} * A_{ps} = 550.80 \text{ kN}$

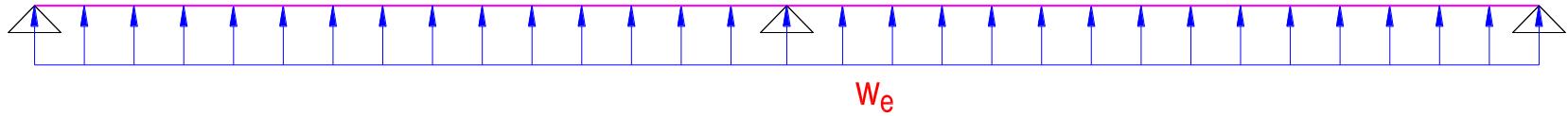
## Bước 2: Xác định cao độ cáp tại các điểm uốn (tính từ đáy dầm)



- Xác định khoảng cách a tại giữa nhịp dầm:

$$a = \frac{300 + 550}{2} - 50 = 375 \text{ mm}$$

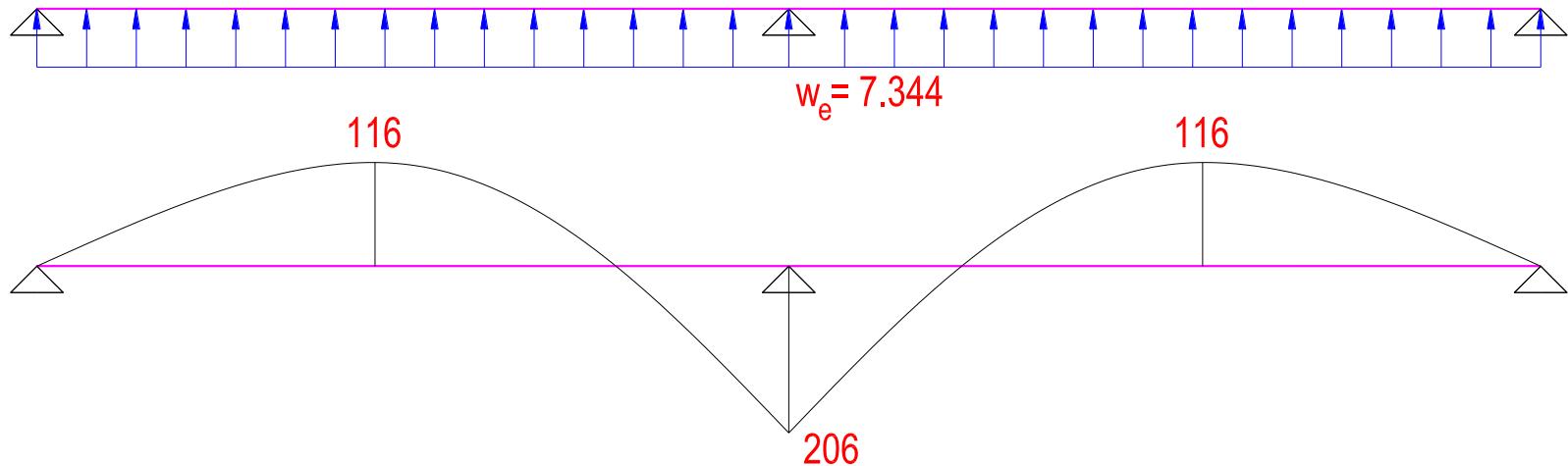
### Bước 3: Quy đổi cáp sang TTCB



- Tải trọng cân bằng:

$$w_e = \frac{8 \times P_e \times a}{L^2} = \frac{8 \times 550.8 \times 0.375}{15^2} = 7.344 \text{ (kN/m)}$$

### Bước 4: Biểu đồ momen do cáp ULT $M_w(kNm)$



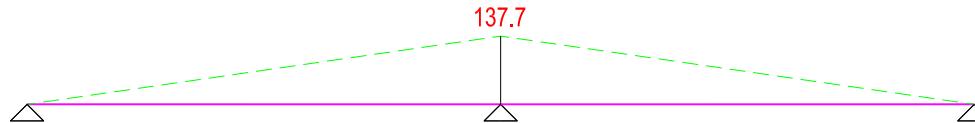
## Bước 5: Xác định momen sơ cấp $M_1$ do căng cáp

- Độ lệch tâm giữa CGC và CGS tại các gối tựa:

$$e_1 = 0$$

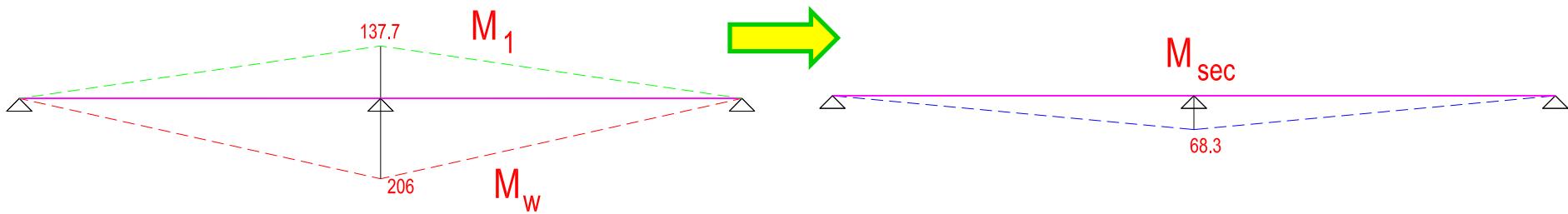
$$e_2 = 550 - 300 = 250 \text{ mm}$$

- Tại gối biên:  $M_{1\_B} = P_e * e_1 = 550.8 * 0 = 0 \text{ kNm}$
- Tại gối giữa:  $M_{1\_G} = P_e * e_2 = 550.8 * 0.25 = 137.7 \text{ kNm}$



## Bước 6: Xác định momen thứ cấp $M_{sec}$ (*thay đổi tuyến tính giữa các gối tựa*)

- Tại gối biên:  $M_{sec\_B} = M_{w\_B} - M_{1\_B} = 0 - 0 = 0$
- Tại gối giữa:  $M_{sec\_G} = M_{w\_G} - M_{1\_G} = 206 - 137.7 = 68.3 \text{ kNm}$



### 3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BTULT

#### □ Sự làm việc của kết cấu siêu tĩnh ULT (tt):

➤ Momen thứ cấp (*secondary moment*) (tt):

- Khi tính toán theo trạng thái SLS, không cần xét đến ảnh hưởng của *momen thứ cấp*.
- Khi tính toán theo trạng thái ULS, *momen thứ cấp cần được xét* đến với hệ số vượt tải bằng 1.0