



ISO 9001:2015

**KIẾN THỨC CHUYÊN NGÀNH**

# **ĐỘ GIÃN DÀI CÁP DỰ ỨNG LỰC**



American Concrete Institute®



POST-TENSIONING  
INSTITUTE®



196/12 Cộng Hòa, Phường 12, Quận Tân Bình, TP. Hồ Chí Minh

Email: [info@pmec.com.vn](mailto:info@pmec.com.vn) Đt: (84-28) 3948 1126 - Fax : (84-28) 3948 1127

## **1. Giới thiệu**

Trong công tác thi công dự ứng lực vấn đề đầu đầu nhất với các nhà thầu PT là kiểm soát độ giãn dài của đường cáp khi kéo căng. Vấn đề thường gặp cho hầu hết các đường cáp sàn là dung sai vượt quá giới hạn cho phép của các tiêu chuẩn kỹ thuật; thường gặp là các đường cáp dài có dung sai âm và các đường cáp ngắn có dung sai dương so với giới hạn cho phép. Điều này ảnh hưởng tới việc nghiệm thu, chuyển bước thi công, tiến độ thi công cũng như gây tranh cãi giữa các đơn vị nhà thầu, tư vấn giám sát, thiết kế ...

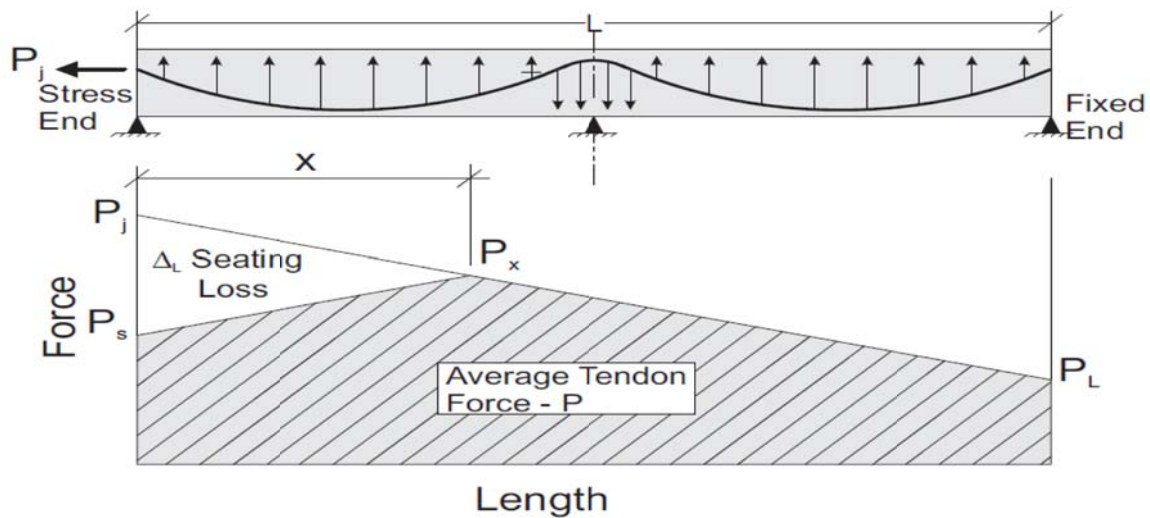
Đối với kết cấu dự ứng lực, độ giãn dài khi kéo căng là chỉ tiêu quan trọng nhất có thể đo lường được nhằm đánh giá đường cáp có làm việc đúng theo mô hình và tính toán của thiết kế hay không. Các sai lệch độ giãn dài nếu xuất hiện quá nhiều có thể ảnh hưởng lớn tới sự làm việc bình thường của kết cấu dự ứng lực ở cả hai trạng thái giới hạn và tuổi thọ kết cấu.

Bài viết này chia sẻ một số khái niệm về độ giãn dài, các nguyên nhân sai lệch và một số biện pháp kiểm soát độ giãn dài khi kéo căng.

## **2. Độ giãn dài lý thuyết và dung sai**

Đối với kết cấu dự ứng lực, các đường cáp lắp đặt nằm trong bê tông cần được kéo căng để truyền ứng suất nén trước vào bê tông cũng như tạo ra một lực ngược chiều với trọng lực cho kết cấu. Đường cáp được lắp đặt theo quỹ đạo thiết kế ví dụ như đối với sàn là quỹ đạo parapol, khi kéo căng đường cáp sẽ bị kéo thẳng ra và bị hạn chế chuyển vị ở các điểm cao và điểm thấp dọc quỹ đạo bởi bê tông sàn.

Lực kéo được giữ ở hai đầu neo và truyền vào bê tông sàn đồng thời đường cáp tạo lực ngược hướng với trọng lực cân bằng một phần với trọng lượng kết cấu.



Đối với vật liệu đàn hồi, khi kéo căng độ giãn dài tuân thủ định luật Hook:

$$\Delta = P \times L / A \times E$$

P: lực kéo

L: chiều dài sợi cáp

A: diện tích tiết diện sợi cáp

E: module đàn hồi sợi cáp

Như vậy khi kéo căng ở lực kéo giới hạn 80% cường độ kéo danh định của cáp 7 sợi, độ chùng ứng suất thấp (14.7 tấn cho cáp 12.7mm và 20 tấn cho cáp 15.24 mm), với chiều dài 1m, độ giãn dài lý thuyết của đường cáp thẳng không bị ảnh hưởng bởi ma sát (để đơn giản bỏ qua ma sát của kích kéo căng) là:

$$\Delta = P \times L / A \times E = 14.7 \text{ T} \times 1 \text{ m} / 98.7 \text{ mm}^2 \times 195 \text{ GPA} = 7.63 \text{ mm}$$

Như vậy đối với một sợi cáp bất kỳ, không có ma sát cản trở, khi kéo căng với lực kéo thiết kế (80% GUTS), độ giãn dài lý thuyết tối đa là 7.6 mm/m

Tuy nhiên trong thực tế, đường cáp lắp đặt nằm trong kết cấu bê tông, khi kéo căng sẽ có các lực cản làm cho độ giãn dài của sợi cáp nhỏ hơn độ giãn dài tối đa như trên:

- Ma sát giữa sợi cáp và ống luồn cáp.
- Ma sát giữa bản thân các sợi cáp khi kéo căng trong bó cáp nhiều sợi
- Ma sát giữa sợi cáp và kích kéo căng, sợi cáp và nêm giữa cáp

Từ đó, tổn hao ứng suất do ma sát (qua đó là độ giãn dài) được tính như sau:

$$P_L = P_J * e^{-(\mu\alpha + kL)} ;$$

$$P_X = P_J * e^{-(\mu\alpha + kX)} ;$$

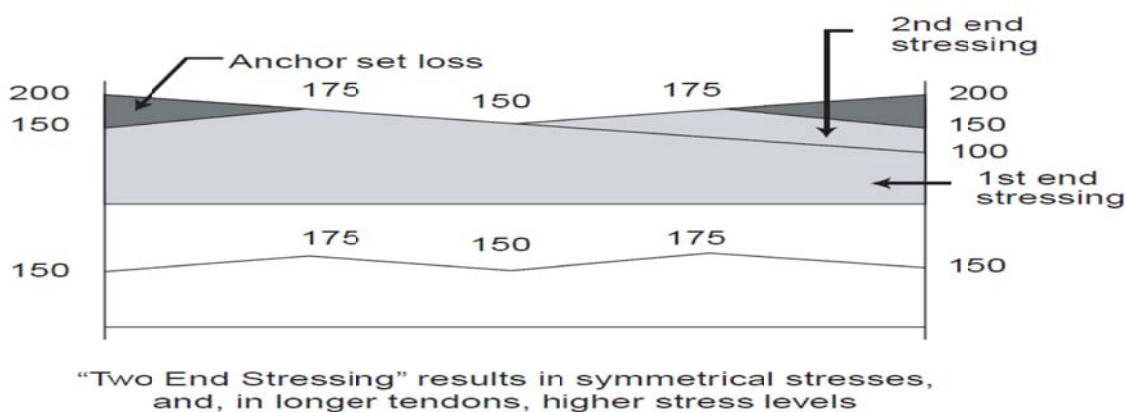
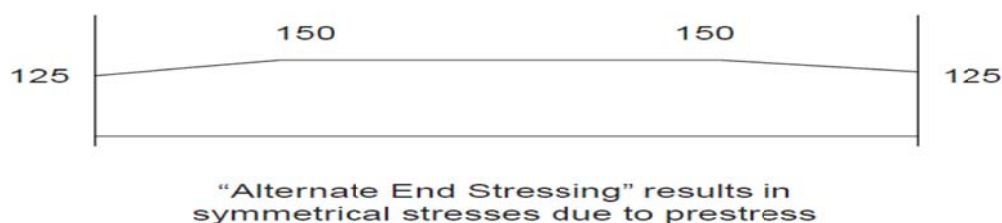
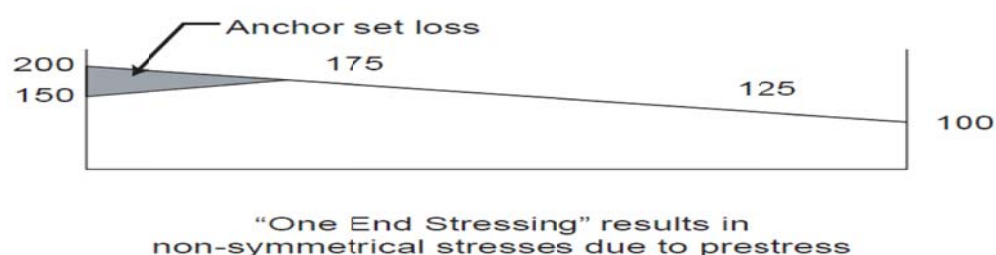
$$X = \{E(\Delta_L)L / 12(P_J - P_L)\}^{1/2} ;$$

$$P_S = P_J - \{E(\Delta_L) (P_J - P_L) / 3L\}^{1/2}$$

- $P_L$ : Lực kéo trong sợi cáp tại đầu neo chết
- $P_J$ : Lực kéo trong sợi cáp tại đầu neo kéo
- $\mu$ : hệ số ma sát giữa sợi cáp và ống
- $K$ : hệ số chệch hướng quỹ đạo (wooble)

Độ giãn dài lý thuyết theo định luật hook sẽ xác định bằng lực kéo trung bình giữa hai đầu neo kéo và neo cố định ( $P_L/2 + P_S/2$ ), chiều dài sợi cáp, module đàn hồi và diện tích sợi cáp. Sợi cáp càng dài, lực ma sát càng lớn, lực còn lại tại đầu cố định càng nhỏ và độ giãn dài lý thuyết càng thấp.

Các tiêu chuẩn kỹ thuật đều khuyến nghị chiều dài đường cáp tối đa là 40m cho một đầu neo kéo. Đường cáp dài hơn 40m cần phải có hai đầu neo kéo và tiến hành kéo căng ở cả hai đầu nhằm giảm các tổn hao ứng suất do ma sát. Như có thể thấy trên hình, đường cáp 02 đầu kéo lực kéo trung bình trong suốt chiều dài đường cáp sẽ lớn hơn trường hợp chỉ có 01 đầu kéo.



**Ví dụ 1:** Tính toán một đường cáp dài 39.11m trong sàn dày 220mm với các thông số thay đổi sẽ minh họa vấn đề độ giãn dài lý thuyết và mất lực.

- Đường kính cáp :15.24mm
- Lực kéo :204 KN
- Diện tích sợi cáp :140 mm<sup>2</sup>
- Modul đàn hồi :195 GPA
- Chiều dài sợi cáp :39.11 mm
- Chiều dày sàn :220 mm

<b>Chiều dài đường cáp</b>	m	39.11	39.11	39.11	39.11
<b>Hệ số ma sát</b>	1/rad	0.20	0.20	0.20	0.20
<b>Hệ số chệch hướng</b>	rad/m	0.005	0.008	0.010	0.0125
<b>Chiều dài nhịp 1</b>	m	6.60	6.60	6.60	6.60
<b>Tổn hao ma sát nhịp 1</b>	KN	10.00	13.89	16.43	19.60
<b>Độ giãn dài nhịp 1</b>	mm	49.00	48.60	48.30	47.90
<b>Chiều dài nhịp 2</b>	m	15.27	15.27	15.27	15.27
<b>Tổn hao ma sát nhịp 2</b>	KN	20.43	27.83	32.40	37.73
<b>Độ giãn dài nhịp 2</b>	mm	105.03	100.80	98.10	94.85
<b>Chiều dài nhịp 3</b>	m	17.24	17.24	17.24	17.24
<b>Tổn hao ma sát nhịp 3</b>	KN	22.88	32.20	38.17	45.33

<b>Độ giãn dài nhịp 3</b>	mm	104.90	94.84	88.46	80.83
<b>Tổng tổn hao</b>	KN	53.31	73.92	87.00	102.66
<b>Độ giãn dài lý thuyết cả sợi cáp</b>	mm	258.93	244.24	234.86	223.58
<b>Độ giãn dài/m dài</b>	mm/m	6.62	6.24	6.01	5.72

Có thể thấy trên bảng tính, chênh lệch độ giãn dài và tổn hao là rất lớn giữa hai trường hợp hệ số chệch hướng là 0.005 và 0.125. Mất lực tăng gấp đôi và độ giãn dài giảm 1mm/m. Trường hợp này có thể xảy ra trên thực tế thi công. Tính toán lý thuyết là ở trường hợp 1 (hệ số ma sát 0.2 và hệ số chệch hướng là 0.005) tuy nhiên vì lý do lắp đặt hệ số chệch hướng là 0.0125 dẫn tới ma sát tăng và tổn hao do ma sát gấp đôi so với lý thuyết, độ giãn dài thiếu (dung sai âm) vượt dung sai cho phép.

Nếu vấn đề này xảy ra tại nhiều đường cáp trong một khu vực kết cấu, kết quả là lực truyền vào bê tông và lực ngược hướng (balanced load) do hiệu ứng quỹ đạo của đường cáp không còn như sơ đồ tính của thiết kế mà sẽ nhỏ hơn khá nhiều. Điều này làm tăng độ võng, tăng nội lực và tăng cốt thép. Vấn đề này có thể thấy qua minh họa bên dưới:

**Ví dụ 2:** Kết cấu sàn 3x3, nhịp 9m x 9m, tĩnh tải  $SDL = 6.5 \text{ KN/m}^2$ , hoạt tải  $LL = 2.0 \text{ KN/m}^2$ , chiều dày sàn 230mm, cáp 15.24 mm. Trường hợp 1 hệ số ma sát 0.19, hệ số chệch hướng 0.004, tụt nêm 6mm. Trường hợp 2, hệ số ma sát 0.24, hệ số chệch hướng 0.015, tụt nêm 6mm.

Như vậy độ giãn dài đo sau khi kéo căng là chỉ tiêu cực kỳ quan trọng, phản ánh chất lượng của kết cấu cũng như tuổi thọ kết cấu. Nếu

độ giãn dài sai lệch qua nhiều so với lý thuyết đặc biệt là bị dung sai âm qua giới hạn, ứng suất trước trong kết cấu sẽ thấp hơn mô hình tính toán của thiết kế dẫn tới tăng độ võng, nội lực khả năng gây nứt kết cấu và tăng lượng cốt thép cần bố trí.

### 3. Dung sai độ giãn dài

Các tiêu chuẩn kỹ thuật đối với dung sai cho phép khi kéo căng thông thường là  $\pm 7\%$  trên bó cáp. Đối với các đường cáp ngắn dưới 10m, có thể tăng dung sai lên  $\pm 10\%$  hoặc một giá trị tuyệt đối là 6.5mm.

Tiêu chuẩn/ Tài liệu	Dung sai	Ghi chú
ACI 318, PTI Manual 6 <sup>th</sup> edition	$\pm 7\%$	
AS 3600	$\pm 10\%$	
FWHA/ AASHTO	$\pm 5\%$	L > 15m
	$\pm 7\%$	L ≤ 15m

Dung sai âm là khi độ giãn dài đo sau khi kéo căng nhỏ hơn độ giãn dài lý thuyết; ngược lại dung sai dương là khi độ giãn dài đo sau khi kéo lớn hơn độ giãn dài lý thuyết. Dung sai độ giãn dài phản ánh hệ thống dự ứng lực có làm việc đúng chuẩn theo như tính toán thiết kế hay không. Nếu độ giãn dài thực tế lệch nhiều so với lý thuyết, hoặc biến động nhiều (nhiều đường cáp dung sai âm dương sai lệch lớn so với độ giãn dài lý thuyết) chứng tỏ hệ thống dự ứng lực trong kết cấu không phù hợp với tính toán thiết kế, chất lượng không đảm bảo yêu cầu.



Dung sai âm thường gặp ở các đường cáp dài một đầu kéo (khoảng 30-40m), các đường cáp uốn cong trên mặt bằng (tránh lỗ mở, đường ống trong kết cấu), các đường cáp có lỗ mở kéo căng trên sàn (pocket). Điều này do tổn hao ma sát tăng khi đường cáp dài và độ chệch hướng (sai lệch vị trí) tích lũy lớn trên dọc chiều dài đường cáp, ma sát cáp-neo ở vị trí kéo pocket. Dung sai dương thường gặp ở các đường cáp ngắn (dưới 12m). Đối với đường cáp ngắn dung sai độ giãn dài nhạy với các sai biệt nhỏ trong thông số của hệ thống dự ứng lực như module đàn hồi thực tế, độ tụt nêm, sai số đo ... một vài milimet trong báo cáo đã gây ảnh hưởng khá nhiều tới kết quả đánh giá độ giãn dài. Đó là lý do vì sao đối với đường cáp ngắn biến động độ giãn dài cho phép có thể cho tới  $\pm 10\%$  hoặc giá trị tuyệt đối bằng khoảng 6.5 mm.

#### **4. Các yếu tố ảnh hưởng tới độ giãn dài**

##### **4.1. Dung sai âm:**

- Ma sát giữa các sợi cáp, sợi cáp với ống tăng do lắp đặt không đúng profile hoặc ống bị thủng khiến nước xi măng, bê tông lọt vào trong ống gây tăng lực ma sát.
- Độ chệch hướng tích lũy tăng do lắp đặt, đường cáp cong nhiều so với profile, chân chống yếu bị gãy/ lật khi đổ bê tông gây biến dạng đường cáp trên mặt bằng. Lưu ý độ giãn dài nhạy với hệ số chệch hướng nên nếu profile bị sai lệch nhiều sẽ làm tăng ma sát và giảm độ giãn dài.
- Module đàn hồi hoặc diện tích thực tế của sợi cáp lớn hơn tính toán. Ví dụ module đàn hồi thực tế là 202 GPA nhưng tính toán

đưa vào 197 GPA (lệch 2.5%), diện tích danh định cáp 12.7 mm là 98.7 mm<sup>2</sup>, diện tích thực tế 99.5 mm<sup>2</sup> (0.8%) (Sợi cáp khi sản xuất đáp ứng cả 2 tiêu chuẩn ASTM A416 và BS 5896 thông thường sẽ lớn hơn sợi cáp chỉ đáp ứng ASTM A416)

- Ma sát tăng lớn cục bộ ở vị trí tiếp giáp giữa neo kéo và ống luồn do lắp đặt không cẩn thận. Tạo góc dốc lớn, lệch ống – neo làm sợi cáp tì vào neo, gây đứt và tăng ma sát.
- Sai số đo. Khi đo bằng thước thép ở các vị trí ngoài mép sàn, sai số đo  $\pm 2\text{mm}$  là phổ biến.
- Độ tụt nêo khi kéo sai khác so với tính toán. Thông số tính toán thường dùng là 6mm nhưng độ tụt nêo thực có thể sai khác nhiều.

#### **4.2. Dung sai dương:**

- Độ chệch hướng nhỏ hơn tính toán. Việc này có thể gặp ở các đường cáp 1 phương, chiều dài ngắn, ít xung độ với cốt thép, đường ống, được lắp đặt và cố định tốt.
- Module đàn hồi, diện tích sợi cáp nhỏ hơn tính toán.
- Kéo căng quá lực thiết kế
- Độ tụt nêo nhỏ hơn tính toán.
- Sai số đo.

### **5. Các lưu ý xử lý**

Như vậy độ giãn dài bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố và có khả năng cao sẽ nằm ngoài khoảng dung sai cho phép. Câu hỏi đặt ra là chuyện gì xảy ra nếu độ giãn dài đo nằm ngoài khoảng cho phép? Việc này có thực sự ảnh hưởng tới chất lượng thi công và sự làm việc bình thường

của kết cấu dự ứng lực hay không? Chúng ta cần làm gì khi độ giãn dài vượt quá khoảng dung sai cho phép.

Trước mắt cần phải kiểm tra lại toàn bộ công tác lắp đặt, thí nghiệm, kéo căng tại hiện trường có đúng với qui trình hay không? Nếu tất cả các công tác được xác nhận là tuân thủ quy trình, nhân sự thực hiện phù hợp thì:

Kiểm tra các sai số có tính hệ thống hay không? Ví dụ các đường dài > 30m đều bị âm trong khoảng 15% ~ 20%, các đường ngắn 10m đều bị dương 15% ~ 20%. Không có sai số bất thường như độ giãn dài đo được lớn hơn độ giãn dài giới hạn (khoảng 7.6mm/m như trình bày ở trên). Nếu các sai số mang tính hệ thống cần xác định nguyên nhân gốc gây ra sai hệ thống.

Nếu sai số không mang tính hệ thống, biến động trời sụt nhiều giữa các đường cáp, khả năng có thể vấn đề lỗi lắp đặt hay kéo căng. Nếu độ giãn dài âm nhiều, nghĩa là lực thực tế trong sợi cáp nhỏ hơn yêu cầu, có thể tiến hành:

- Kiểm tra lift – off. Khi làm lift – off, tác dụng lực kéo để ghi nhận lực thực tế trong đường cáp lúc nhô nê.
- Kiểm tra kiểm định kích để loại trừ sai số kích.
- Đo lại độ giãn dài để loại trừ sai số đo.
- Xả nê, đánh dấu và kéo lại đường cáp.

Đối với độ giãn dài dương nhiều, thường gặp ở các đường cáp ngắn, vấn đề quan trọng nhất cần đảm bảo là đường cáp không bị kéo quá lực, sợi cáp tới giới hạn chảy và đầu neo chết không bị tuột (mặc dù

hiếm khi gặp). Dung sai dương không ảnh hưởng tới kết cấu. Một số công tác kiểm tra có thể thực hiện:

- Kéo lại đường cáp (giữ áp) để kiểm tra cáp có ra thêm, neo đầu chết có bị tuột hay không.
- Kiểm tra kiểm định kích
- Chọn một vài đường dương nhiều, xả nê kéo lại để so sánh độ giãn dài giữa hai lần kéo. Nếu không có bất thường vẫn chấp nhận được kết quả dung sai dương.

Lưu ý dung sai dương khá nhạy ở đường cáp ngắn với các thông số đầu vào biến động. Ví dụ dưới đây cho thấy điều này:

Đường cáp dài 10.8m, cáp 12.7mm, độ giãn dài lý thuyết 71 mm, module đàn hồi tính toán 196 GPA, độ tụt nê tính toán 6mm. Thực tế  $E = 192$  GPA,  $A = 98.4$  mm<sup>2</sup>, độ tụt nê 3.9 mm, độ giãn dài lý thuyết 75 mm. Chênh lệch + 5.63%. Như vậy với các thay đổi nhỏ ở thông số đầu vào, sai số độ giãn dài đã hơn 5%, do đó sau khi kéo căng độ giãn dài đường cáp ngắn có thể bị dương hơn 10% thậm chí 15% là có thể hiểu được.

Vấn đề mấu chốt khi xảy ra các sai lệch độ giãn dài là lực trong đường cáp còn như thiết kế không hay nói một cách khác tổn hao ứng suất có tăng quá mức thiết kế dự trù do đó ảnh hưởng tới kết cấu sàn hay không? Khi xảy ra các vấn đề như vậy cần suy xét thấu đáo:

- Có thể xảy ra sai số đo hay không? nhất là ở các vị trí biên sàn, quan sát không tốt sai số vài mm khi đo độ giãn dài là có thể xảy ra.

- Kích kéo đã hiệu chuẩn hay chưa? Có sử dụng đúng số kích & chứng nhận hiệu chuẩn hay không? Đôi khi việc sử dụng sai phương trình hiệu chuẩn kích gây đánh giá sai về độ giãn dài?
- Có kéo quá lực không? Với các đồng hồ đo áp không chuẩn, hiệu chỉnh kích không khớp với kích, sử dụng đồng hồ sai có thể kéo quá lực
- Các sai lệch độ giãn dài có bị trôi sụt hay biến động nhiều hay không? Ví dụ nếu một đường cáp cùng chiều dài, cùng vị trí, cùng loại sản phẩm mà đều tương đồng về độ giãn dài tức là có một nguyên nhân mang tính hệ thống gây nên sai số. Việc cần làm là tìm và loại trừ nguyên nhân này để kết quả kéo căng phù hợp tính toán. Ngược lại nếu độ giãn dài không tương đồng và trôi sụt khác nhau, khả năng lớn do tay nghề và chất lượng thi công.

## 6. **Kết luận**

**Độ giãn dài kéo căng** là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh chất lượng thi công dự ứng lực và khả năng làm việc & chịu lực của kết cấu dự ứng lực như tính toán của thiết kế. Nếu độ giãn dài thực tế sai lệch nhiều so với lý thuyết mà không có một nguyên nhân rõ ràng để giải thích các khác biệt này, khả năng kết cấu dự ứng lực sẽ bị ảnh hưởng. Do vậy kiểm soát độ giãn dài cũng như đánh giá dung sai là một bước quan trọng trong công tác thi công dự ứng lực.

Có nhiều nguyên nhân có thể gây sai lệch độ giãn dài. Việc cần thiết là trước khi kéo căng cần có kế hoạch và hướng dẫn cụ thể để đội kéo căng và giám sát hiện trường chuẩn bị đủ tài liệu, thống nhất trình tự thực hiện nhằm giảm sai sót. Cán bộ kỹ thuật cần được đào tạo và

hướng dẫn, thiết bị cần hiệu chuẩn và hoạt động tốt tránh các sai sót do nguyên nhân chủ quan. Nếu có sai lệch độ giãn dài cần có các phân tích tìm kiếm nguyên nhân; một số thí nghiệm và biện pháp kiểm chứng hiện trường nên được thực hiện như lift off, kéo giữ áp, kéo lại để có thông tin đánh giá nguyên nhân thực.

Không nhất thiết tất cả các sợi cáp đều phải đạt dung sai độ giãn dài lý thuyết. Trong một bó cáp nếu có 1 sợi có dung sai vượt cho phép nhưng tính cả bó vẫn ổn thì đường cáp vẫn đạt yêu cầu thiết kế. Trường hợp nếu có sai lệch hệ thống, cả bó cáp vẫn có thể bị lệch khỏi dung sai lý thuyết mà không ảnh hưởng tới dự ứng lực trong kết cấu. Tuy nhiên cần thận trọng nếu thực tế kết quả độ giãn dài trời sụt ở một khoảng dung sai lớn hơn nhiều so với lý thuyết hoặc độ biến động giữa các đường cáp tương đồng là quá rộng.

Công tác kéo căng, độ giãn dài phản ánh chất lượng của cả công tác lắp đặt và kéo căng. Rất nhiều nguyên nhân ở chất lượng lắp đặt đã ảnh hưởng tăng tổn hao ma sát qua đó gây biến động dung sai độ giãn dài. Vì vậy cần kiểm soát chặt công tác lắp đặt cũng như thực hiện kéo căng đúng qui trình nhằm đảm bảo chất lượng kết cấu dự ứng lực.

