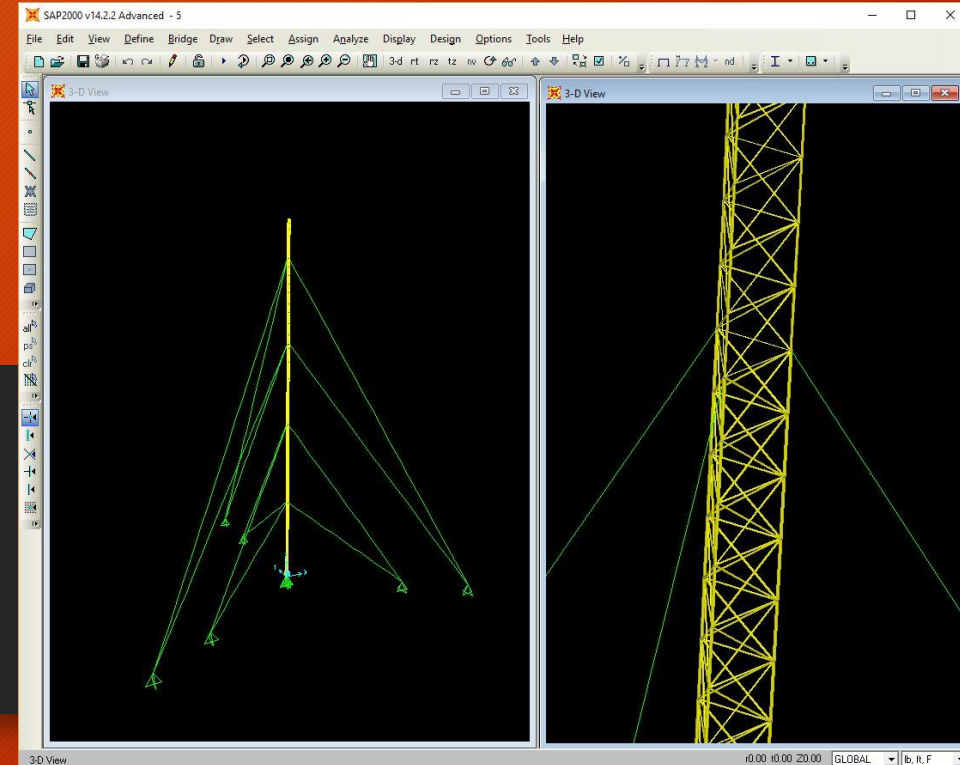


طراحی دکل‌های مهارى

guyed mast tower design



مهندس علیرضا خوبه - کارشناس ارشد مهندسی عمران-زلزله

طراح و مهندس محاسب انواع دکل‌های مهارى و خود ایستا و سازه‌های خرپایی

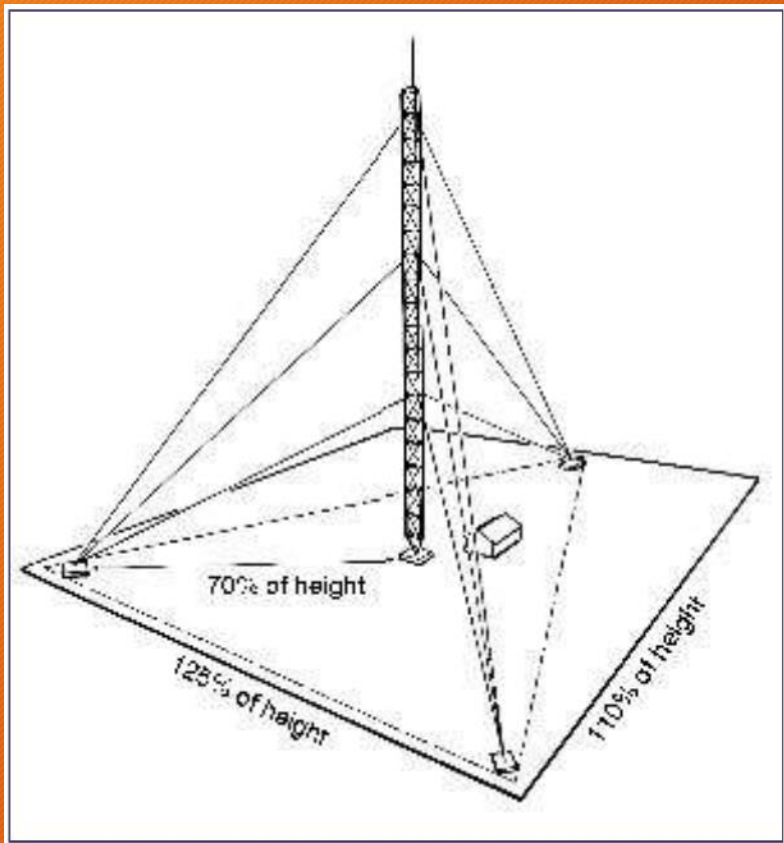
تماس: 09120453389

Etabs-SAP.ir



دکل خودایستا یا مهاری

- دکل خودایستا بهتر است یا دکل مهاری؟
- به جهت تحلیل و طراحی سازه، دکل خود ایستا راحت تر طراحی می شود و برای طراحان مطلوب تر می باشد.
- به جهت اجرایی نیز دکل خود ایستا ساده تر می باشد
- به جهت اقتصادی و فقط دید صرفا متریالی برای ارتفاع های بیش از ۳۵ متر دکل مهاری به صرفه تر خواهد بود.
- دکل مهاری فضای بیشتری را اشغال می کند و به این جهت در برخی مناطق شهری با محدودیت فضا و محدودیت اقتصادی مواجه هستیم



طراحی دکل مهاری

دکل های مهاری

- دکل های مهاری برای بار باد و یخ طراحی می شوند
- بار باد ماهیتی دینامیکی داشته و معادل سازی آن با یک بار استاتیکی همیشه کافی نبوده
- ماهیت بار یخ متفاوت از بار باد می باشد
- اثر همزمان بار یخ و بار باد موجب خرابی های فاجعه آمیزی شده است
- بار یخ از سه جهت موجب تشدید شرایط بارگذاری دکل می شود:
 - ۱- افزایش بار ثقلی بر روی دکل
 - ۲- افزایش سطح تماس برای نیروی باد و در نتیجه جذب بیشتر نیروی باد
 - ۳- افزایش خیز کابل ها در نتیجه یخ زند و قندیل بستن

ترکیبات بارگذاری طراحی

- The load combinations used are
 $D + W_o$
 $D + 0.75W_i + I,$

D is the dead load

W_o is the wind load on the structure without ice

W_i is the wind load on the structure with ice

I is the ice load

با در نظر گرفتن بار یخ سطح مقطع اعضا را می بایست با رابطه ی زیر افزایش داد:

$$A = 2tL$$

ترکیبات بارگذاری طراحی

• مبحث ششم مقررات ملی ساختمان:

- ۱) $1.4D$
- ۲) $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۳) $1.2D + 1.6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0.5(1.4W)]$
- ۴) $1.2D + 1.0(1.4W) + L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۵) $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- ۶) $0.9D + 1.0(1.4W)$
- ۷) $0.9D + 1.0E$
- ۸) $1.2D + 0.5L + 0.5(L_r \text{ یا } S) + 1.2T$
- ۹) $1.2D + 1.6L + 1.6(L_r \text{ یا } S) + 1.0T$

- در صورتی که سازه تحت اثر بار یخ جوی و بار باد وارده بر یخ قرار گیرد، ترکیب بارهای زیر در طراحی سازه باید منظور شود:

۱- عبارت $(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) 0.5$ در ترکیب بار شماره ۲ باید با عبارت $0.5S + 0.2D_i$ جایگزین شود.

۲- عبارت $(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) 0.5 + 1.0(1.4W)$ در ترکیب بار شماره ۴ باید با عبارت $D_i + 1.0(1.4W_i) + 0.5S$ جایگزین شود.

۳- عبارت $(1.4W) 1.0$ در ترکیب بار شماره ۶ باید با عبارت $D_i + 1.0(1.4W_i)$ جایگزین شود.

۴- عبارت $(1.4W) 1.0$ در ترکیب بار شماره ۸ باید با عبارت $D_i + 1.0(1.4W_i) + 0.5S$ جایگزین شود.

- د) $1.2D + 1.6\Gamma + 1.6(\Gamma^L \bar{r} Z) + 1.0L$
- و) $1.2D + 1.6\Gamma + 1.6(\Gamma^L \bar{r} Z) + 1.2L$
- ز) $0.9D + 1.0E$

اثر همزمان بار باد و یخ

- در محاسبه نیروی باد در حالت وجود یخ، اثر افزایش ابعاد به اندازه ضخامت طراحی یخ باید در نظر گرفته شود

۶-۱۰-۷-۵ بار باد افزایش یافته در اثر یخ زدگی





در مکان‌هایی که بادهای قوی می‌وزد و یخ زدگی بطور همزمان وجود دارد، نیروهای موثر بر اعضای سازه‌ای، کابل‌ها و طناب‌ها باید با فرض یک پوشش یخی براساس آب و هوا و تجربه محلی تعیین شود. برای شرایط یخ‌زدگی، مقادیر معلوم C_f در شکل‌های ۶-۱۰-۹ برای کابل‌های سیمی ضخیم با سطح ناهموار باید استفاده شود.

$$\frac{l}{d} > 100$$

$$F = C_f \cdot q \cdot C_g \cdot C_e \cdot A \cdot l_w$$

C_f ضریب فشار

$$A = d \cdot l$$

		$d\sqrt{qC_e}$	
		< 0.167	> 0.167
سیم‌ها، میله‌ها و لوله‌های صاف		۱٫۲	۰٫۵
سیم‌ها، میله‌ها با زبری متوسط		۱٫۲	۰٫۷
کابل سیمی نازک		۱٫۲	۰٫۹
کابل سیمی کلفت		۱٫۳	۱٫۱

شکل ۶-۱۰-۹ تیر برق، میله‌ها و سیم‌ها و کابل‌ها

شکل ۶-۱۰-۸ تیر برق، میله‌ها و سیم‌ها و کابل‌ها

کابل سیمی کلفت		۱٫۳	۱٫۱
----------------	---	-----	-----

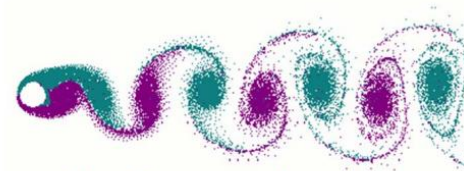
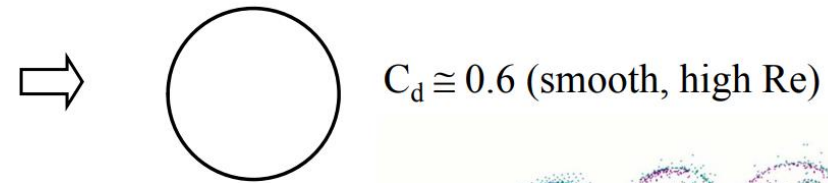
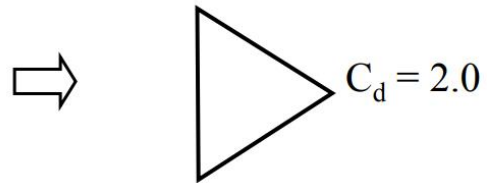
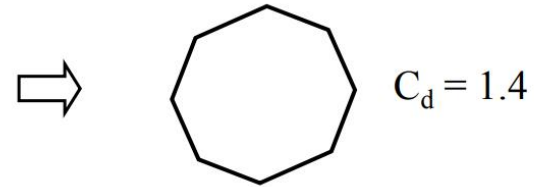
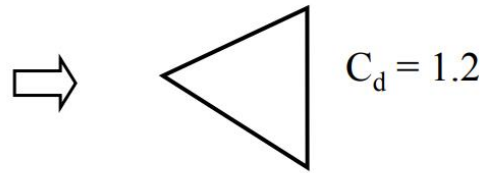
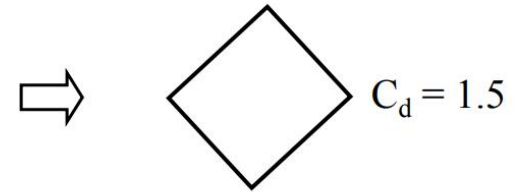
$$V = 4.1$$

$$C_e = 1.0$$

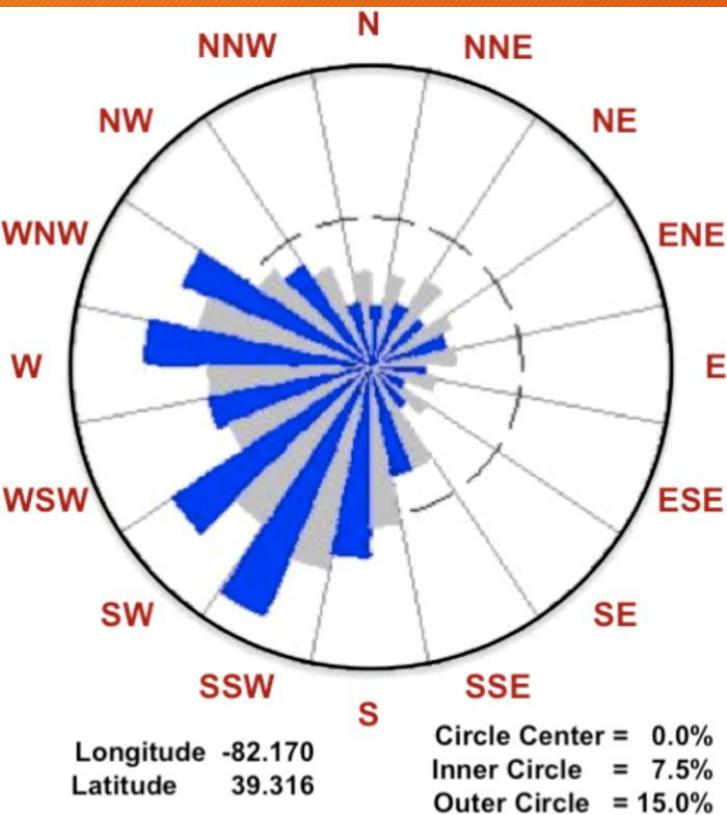
$$F = C_f \cdot q \cdot C_g \cdot C_e \cdot A \cdot l_w$$

$$F = 1.0$$

Drag coefficients for tower cross-sections



A vortex around a cylinder





- بار یخ بر اساس دوره بازگشت متوسط پنجاه سال تعیین میشود
- در محاسبه وزن یخ جوی میتوان وزن مخصوص متوسط یخ را نه دهم وزن مخصوص آب در نظر گرفت
- سطح مقطع یخ احاطه کننده عضو از رابطه زیر حاصل می شود:

$$A_i = \pi t_d (D_c + t_d)$$

t_d : ضخامت طراحی یخ بر اثر یخزدگی باران طبق بخش ۶-۹-۳

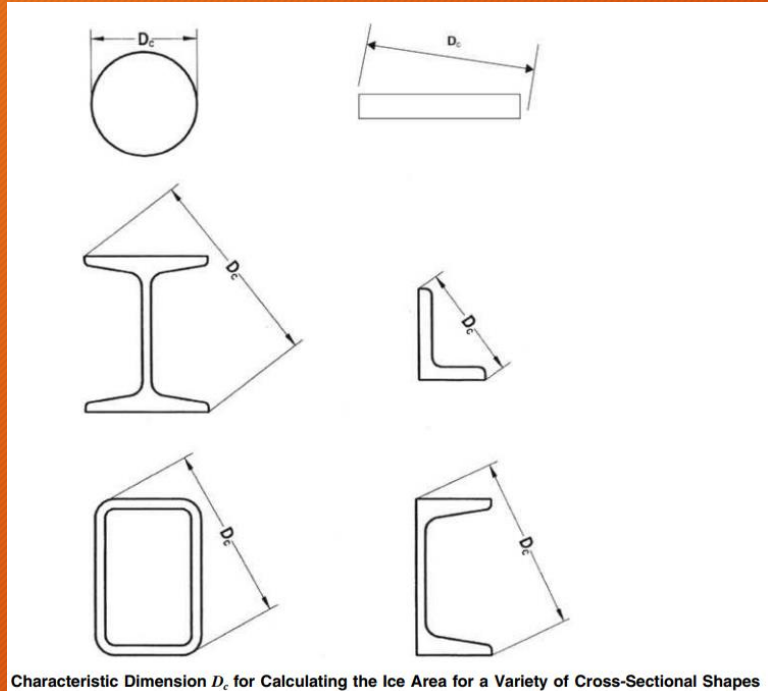
A_s : مساحت یک طرف ورق برای ورقهای مستوی و مساحت بزرگترین مقطع جزء سه بعدی نظیر گنبد و کره

D_c : قطر استوانه محیط بر مقطع سازه‌ای و یا جزء منشوری

برای ورقهای قائم مقدار حجم یخ را بیست درصد و برای ورقهای افقی مقدار حجم یخ را چهل درصد می توان کاهش داد.

در صورت یخزدگی در سقف

نمای ورقهای قائم مقدار حجم یخ را بیست درصد و برای ورقهای افقی مقدار حجم یخ را چهل



Characteristic Dimension D_c for Calculating the Ice Area for a Variety of Cross-Sectional Shapes

Characteristic Dimension D_c for Calculating the Ice Area for a Variety of Cross-Sectional Shapes

۳-۹-۶ ضخامت طراحی یخ ناشی از یخزدگی باران

مقدار ضخامت طراحی یخ، از رابطه ۳-۹-۶ بدست می‌آید:

$$(3-9-6)$$

$$t_d = \gamma t I_i F_z$$

که در آن:

t : ضخامت اسمی یخ ناشی از یخزدگی باران در ارتفاع ده متر، طبق بخش ۵-۹-۶

I_i : ضریب اهمیت طبق جدول ۲-۱-۶

F_z : ضریب ارتفاع طبق بخش ۴-۹-۶

۴-۹-۶ ضریب ارتفاع

ضریب ارتفاع برای ارتفاع Z، بر حسب متر، از سطح زمین از رابطه ۴-۹-۶ بدست می‌آید:

$$(4-9-6)$$

$$F_z = \left(\frac{z}{10} \right)^{1.4}$$

لازم نیست مقدار F_z را از ۱٫۴ بیشتر در نظر گرفت.

۵-۹-۶ ضخامت اسمی یخ

ضخامت اسمی یخ بر اساس دوره بازگشت متوسط پنجاه سال با استفاده از مطالعات محلی و یا اطلاعات سازمان هواشناسی کشور تعیین می‌شود. در غیاب مطالعات دقیق‌تر، ضخامت اسمی یخ را برای مناطق مختلف برف فصل هفتم این مبحث بصورت زیر می‌توان تعیین نمود:

- مناطق ۱ و ۲- برف کم و نادر t = ۰
- منطقه ۳- برف متوسط t = ۵ mm
- منطقه ۴- برف زیاد t = ۷/۵ mm
- منطقه ۵- برف سنگین t = ۱۲/۵ mm
- منطقه ۶- برف فوق سنگین t = ۱۵ mm

- منطقه ۸- برف متوسط

$$t = 10 \text{ mm}$$

- منطقه ۹- برف سنگین

$$t = 12.5 \text{ mm}$$

- منطقه ۱۰- برف فوق سنگین

$$t = 15 \text{ mm}$$

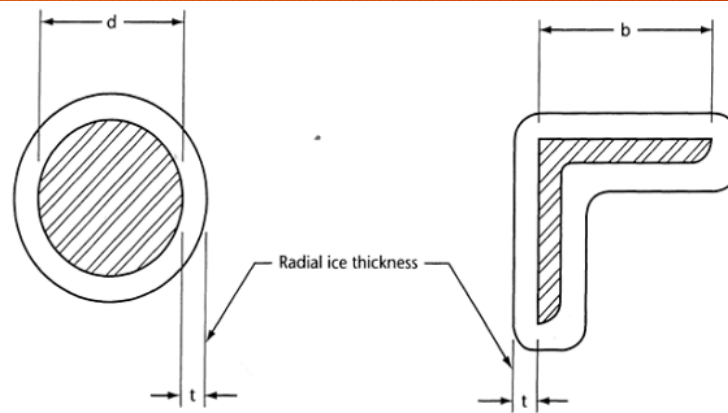
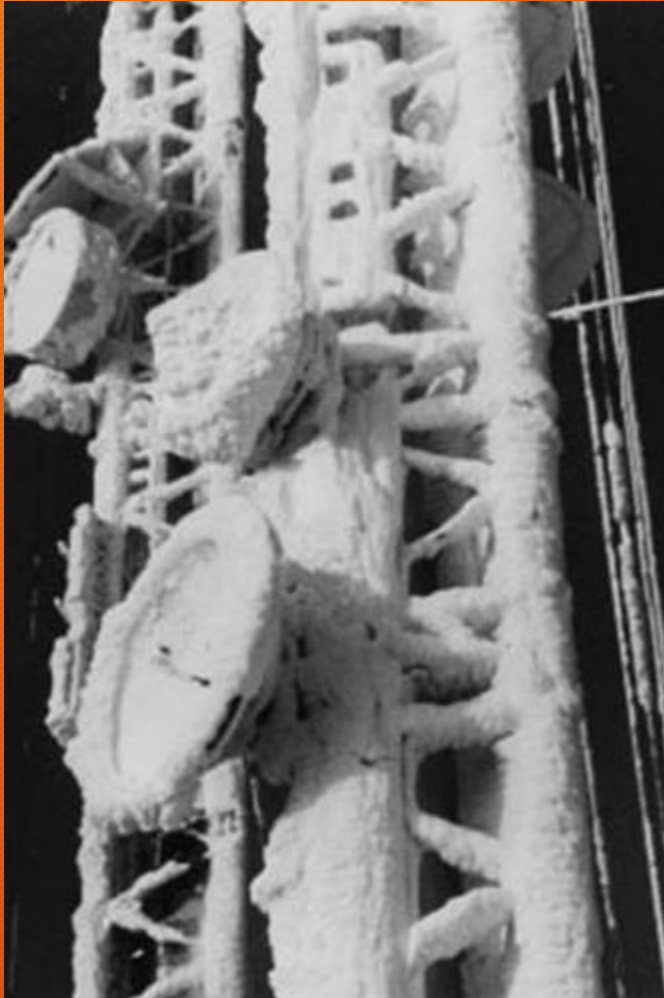


Figure 2.1: Face area of radial ice (CSA, 2001)

Table 2.1: Minimum design ice thickness (CSA, 2001)

Class*	Minimum design ice thickness, mm
I	10
II	25
III	40
IV	50

*Refer to Figure 2.2

رفتار کابل ها

- کابل ها رفتار غیرخطی دارند به خصوص در کشش های کم
- افزایش کشش کابل ها موجب کاهش رفتار غیرخطی آنها و افزایش سختی جانبی سازه می شود
- افزایش کشش کابل ها باعث افزایش نیروی محوری بر سازه شده و احتما کمانش اعضا بیشتر می شود.



معادلات عمومی کابل ها

$$l_t = \frac{HL_0}{EA} + \frac{HL_0}{W} \left\{ \sinh^{-1} \left(\frac{V}{H} \right) - \sinh^{-1} \left(\frac{V-W}{H} \right) \right\}$$

$$h = \frac{WL_0}{EA} \left(\frac{V}{W} - \frac{1}{2} \right) + \frac{HL_0}{W} \left\{ \left\{ 1 + \left(\frac{V}{H} \right)^2 \right\}^{1/2} - \sinh^{-1} \left(\frac{V-W}{H} \right) \right\}$$

- این دو معادله همزمان می بایست حل شود تا مولفه ی عمودی عکس العمل تکیه گاهی و نیروی افقی کشش کابل ها (H) به دست آید
- می توان با استفاده از تابع Fsolve در برنامه ی MATLAB این دو معادله را سادگی حل نمود
- where L_t is the total cable length
- h is the vertical difference in elevation between the cable ends.
- EA is the axial rigidity of the elastic cable
- W is the total weight
- L_0 is the unstrained cable length.

$$S = \frac{H L_{us}}{E_G a_G} + \frac{H}{w_G} \left[\sinh^{-1} \left(\frac{V_T}{H} \right) - \sinh^{-1} \left(\frac{V_T - w_G L_{us}}{H} \right) \right]$$

$$h = \frac{w_G L_{us}^2}{E_G a_G} \left(\frac{V_T}{w_G L_{us}} - \frac{1}{2} \right) + \frac{H L_{us}}{w_G L_{us}} \left[\left\{ 1 + \left(\frac{V_T}{H} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} - \left\{ 1 + \left(\frac{V_T - w_G L_{us}}{H} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]$$

where :

S = the horizontal cable span;

H = the horizontal component of tension;

L_{us} = the unstressed length of the guy cable;

E_G = the elastic modulus of the cable;

a_G = unstrained cross-sectional area of the cable;

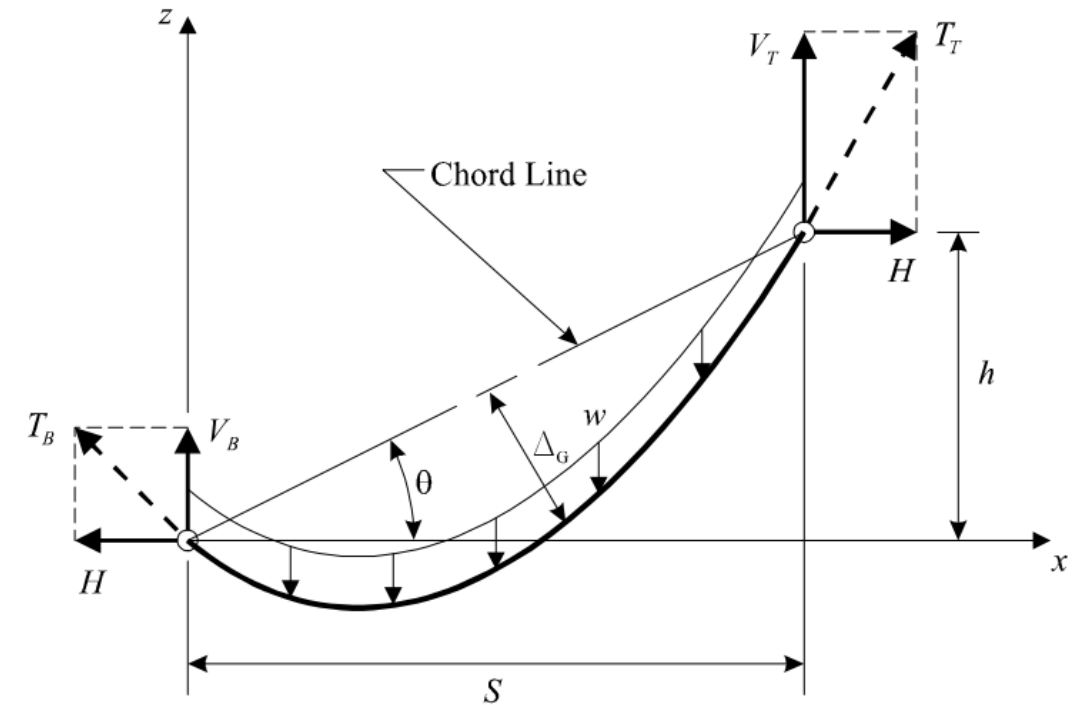
w_G = weight of cable per unit length;

h = the vertical cable span between the two ends of a guy;

T_B = the cable tension at the bottom end;

V_B = the vertical component of the tension at the bottom end; and

V_T = the vertical component of the tension at the top end.



Schematic of suspended guy cable defining the important variables (from Sparling 1995).

$$d = -0.8736 B' D'^{-1/3} + 0.3816 A'^{-1} D'^{1/3}$$

where the coefficients are

$$A' = \frac{64 EA}{3 l^2}$$

$$B' = 8F_i$$

$$C' = -m (g \cos \theta) l^2$$

$$D' = -9 A'^2 C' + 1.7321 \sqrt{A'^3 (4 B'^3 + 27 A' C'^2)}$$

$$H = \frac{m (g \cos \theta) l^2}{8 d}$$

- All the variables used in these equations have compatible SI units.
- EA is the axial stiffness of the cable
- l is the chord length
- Fi is the initial pretension force
- m is the mass per unit length (mg is the weight)
- θ is the inclination angle of the chord in the initial configuration.
- H1 the horizontal tension associated with initial sag d1.
- A new value of static tension H2 (associated with sag d2) can be calculated for a displaced cable configuration defined as $l_2=l_1+\Delta l$ and the equivalent static stiffness is $(H_2-H_1)/\Delta l$.

محاسبات کابل در SAP2000

Cable Geometry
File Edit

Line Object Parameters

Line Object Type: Cable
 Cable Type: Cable - Undeformed Length
 Section Property: Cable - Minimum Tension At J-End
 Start: [Empty]
 End: Cable - Undeformed Length
 Model Cable Using Straight Frame Objects

Line Object Meshing

Keep as Single Object
 Break into Multiple Equal Length Objects
 Break into Multiple Objects with Equal Projected Length on Chord

Computed Point Coordinates for Linear Segments (Undeformed Cable Geometry)

Use Undeformed Geometry for Cable Object
 Use Deformed Geometry for Cable Object

Pt.	X	Y	Z	Sag	Distance	Rel. Dist.
0	0.	-236.2205	-4.4291	0.	0.	0.
1	73.8189	-232.5295	-48.9072	2.172E-06	86.2621	0.0625
2	147.6378	-228.8386	-93.3854	3.540E-05	172.5243	0.125
3	221.4567	-225.1476	-137.8635	9.147E-05	258.7864	0.1875
4	295.2756	-221.4567	-182.345	3.441E-03	345.0503	0.25
5	369.0945	-217.7657	-226.8201	4.346E-04	431.3108	0.3125
6	442.9134	-214.0748	-271.2953	-2.435E-03	517.5715	0.375
7	516.7323	-210.3839	-315.8335	0.0577	603.8646	0.4375
8	590.5512	-206.6929	-360.249	-4.967E-03	690.0945	0.5
9	664.3701	-203.002	-404.7625	0.0304	776.3748	0.5625
10	738.189	-199.311	-449.235	0.0046	862.621	0.625

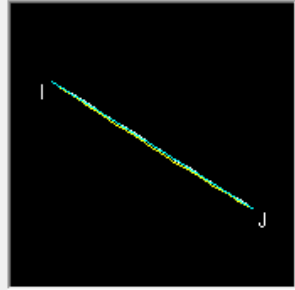
Cable Parameters

Number of Cable Segments: 1
 Added Weight Per Unit Length: 0.
 Projected Uniform Gravity Load: 0.
 Tension At I-End: 5.246
 Tension At J-End: 5.0442
 Horizontal Tension Component: 4.4055

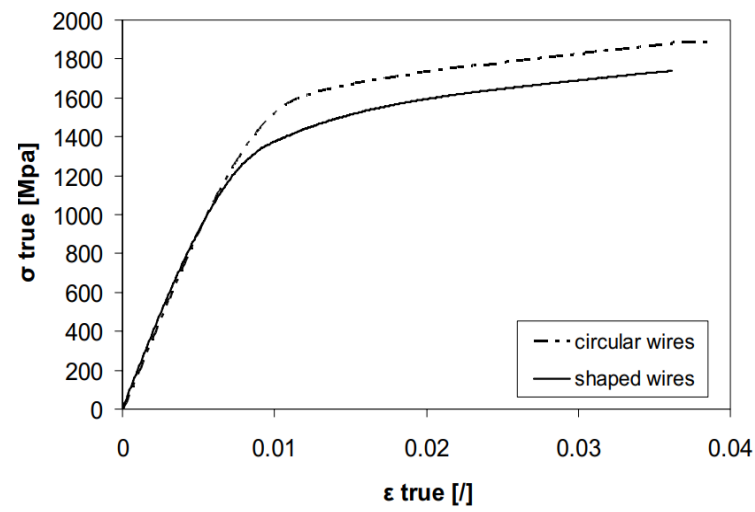
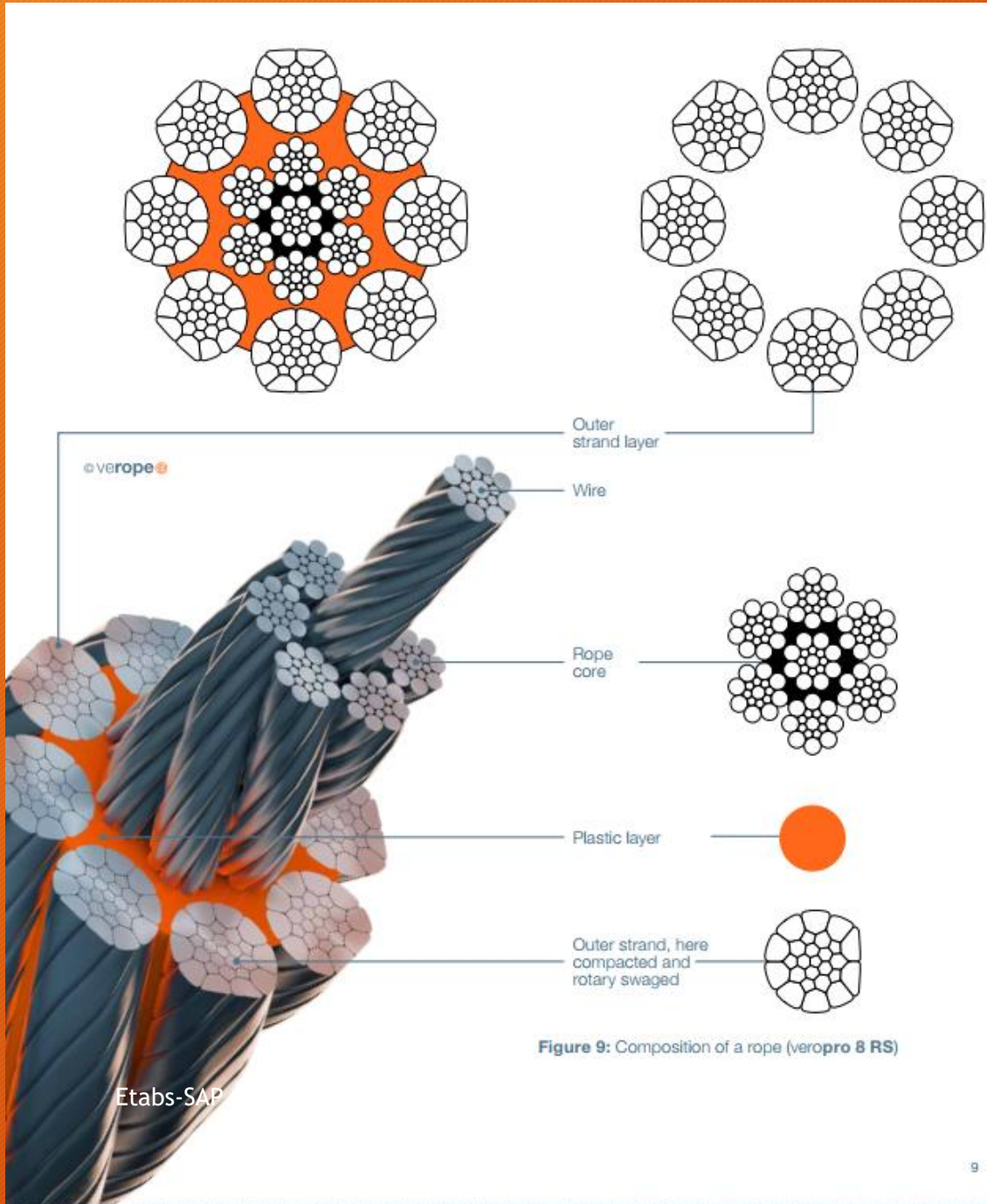
	Deformed	Undeformed
Maximum Vertical Sag	13.1353	-1.234E-11
Low-Point Vertical Sag	0.	0.
Length	1380.4387	1380.194
Relative Length	1.0002	1.

Coordinate System: GLOBAL
 Units: Kip, in, F

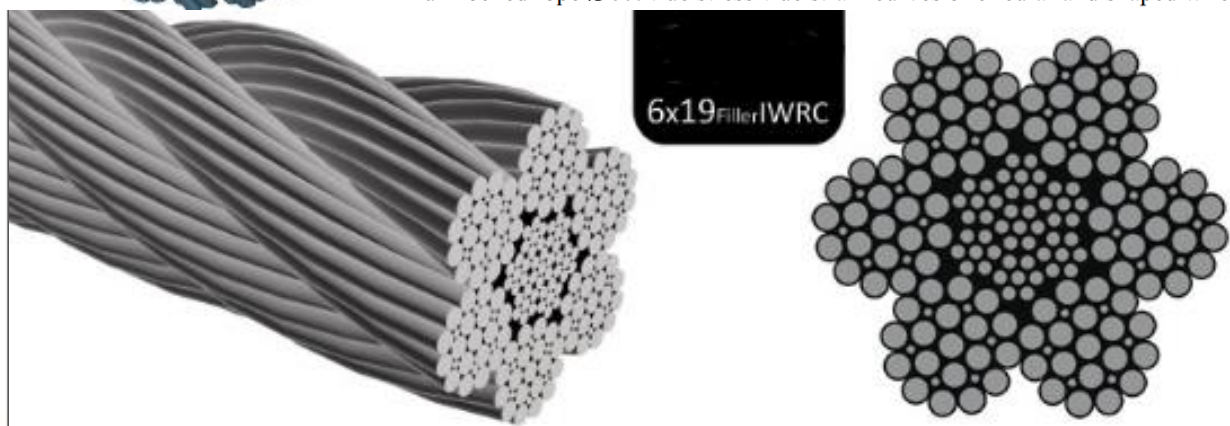
Planar View



OK Cancel



Full-locked rope Ø60: true stress-true strain curves of circular and shaped wires.



مهار کابل ها

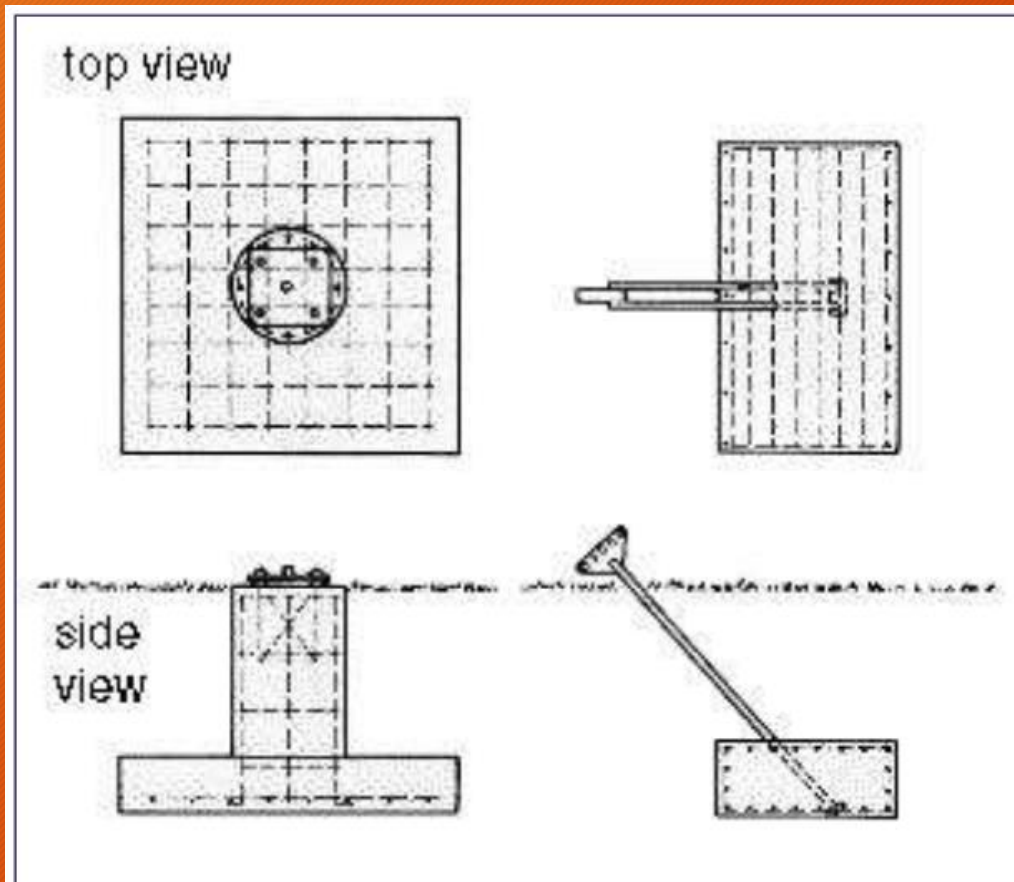




Fig. 15: Guy attachment to foundation with tension system

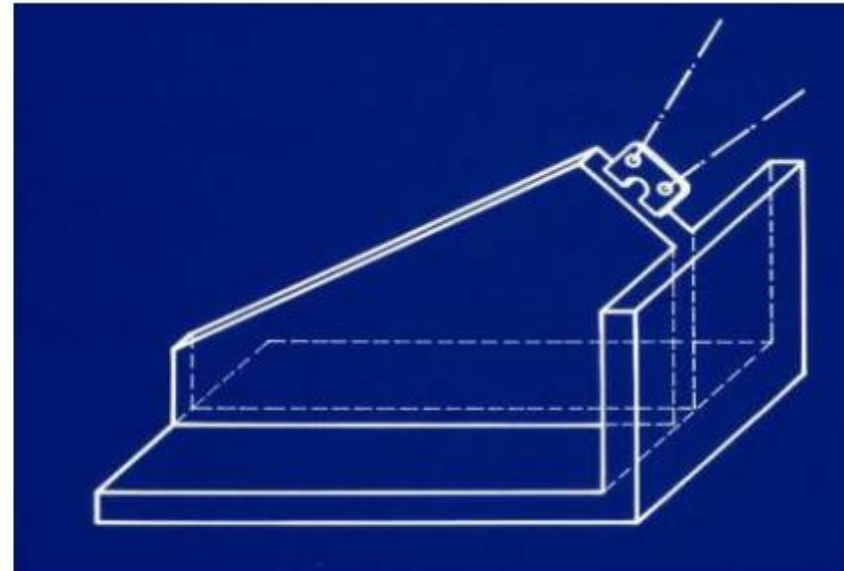


Fig. 16: Guy foundation

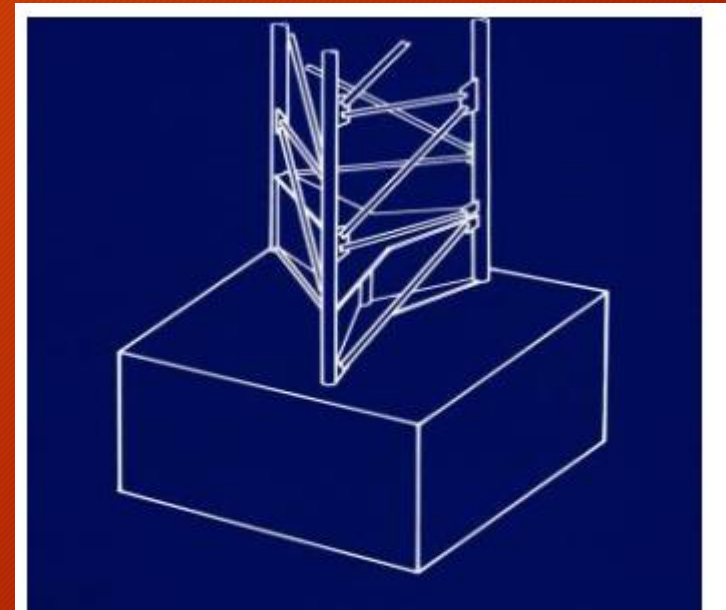
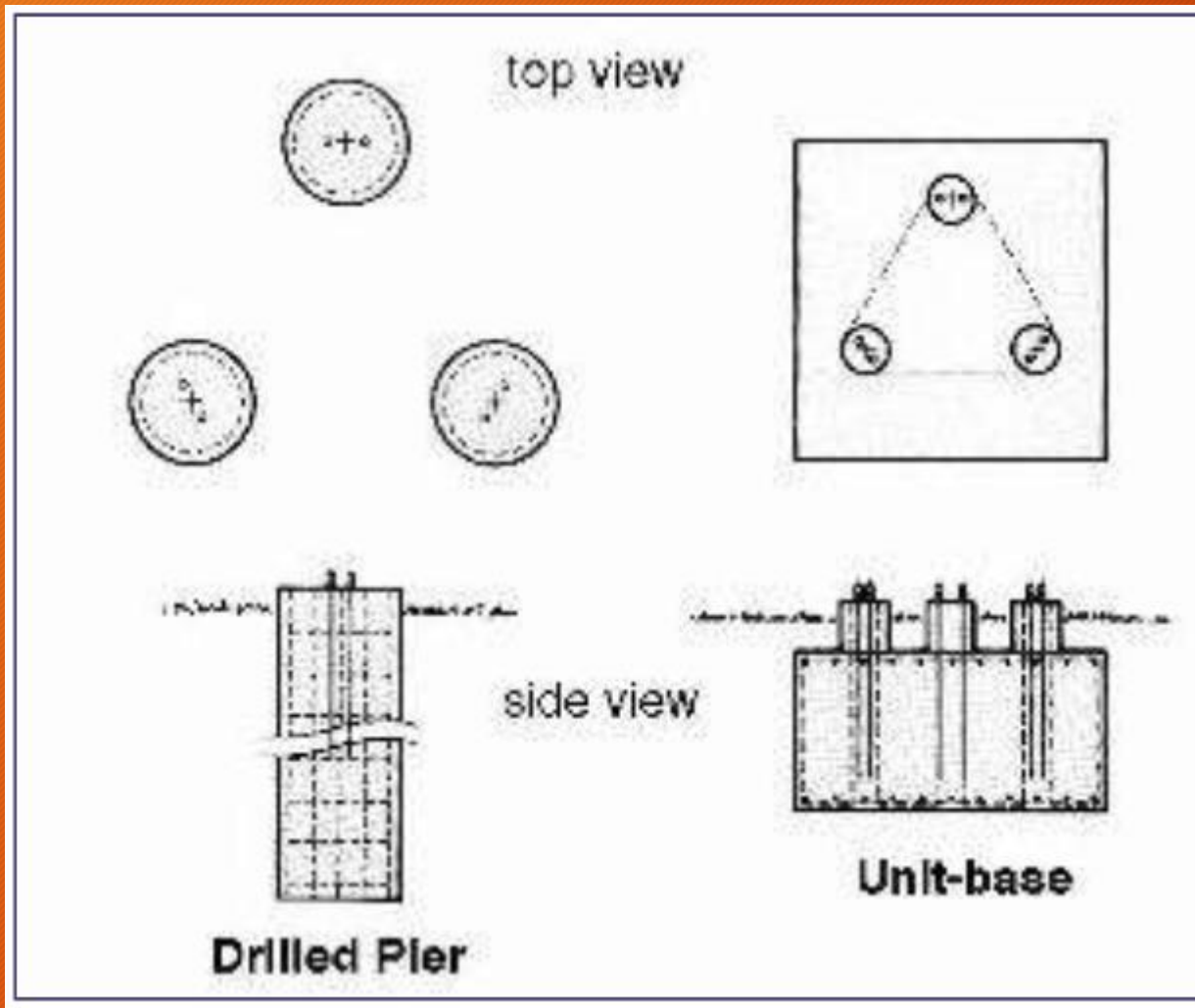


Fig 17: Mast base foundation with pinned mast bearing



Figure 10: Traditional joint between diagonal and legs, both circular tubes. Connect-Austria



Figure 11: New joint between diagonal and leg, both circular tubes. KPN-Orange in Belgium

Series of standard antenna towers for UMTS Network in Sweden



طراحی تقریبی سازه

• سطح مقطع سیم بکسل

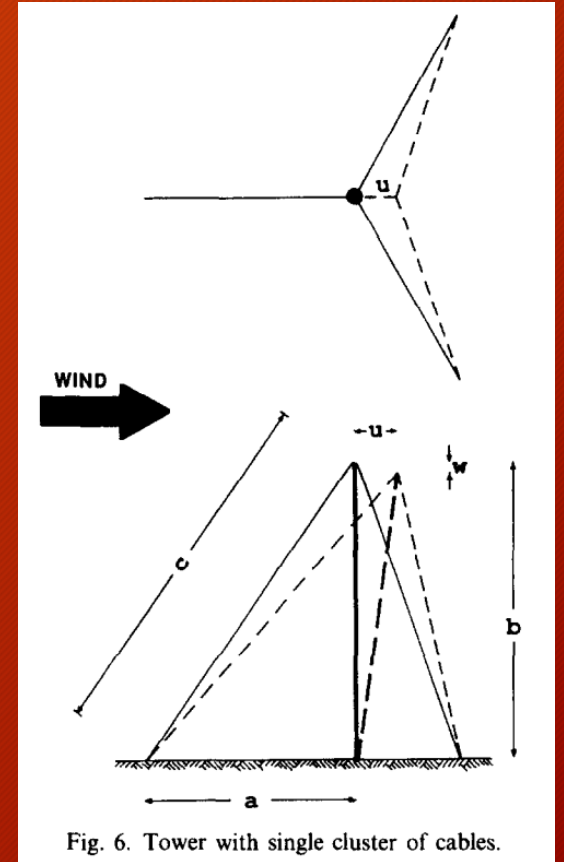
• N تعداد کابل ها

• γ is the density of the material of the cable as the maximum allowable rotation θ is specified

$$A_{gi} = \frac{c_i k_i}{N \left[\sigma_{pi} + \frac{\frac{1}{2} E \left(\frac{a_i}{c_i} \right)^2}{1 + \frac{\gamma^2 a_i^2 E}{12 \sigma_{pi}^3}} \right]}$$

$$k_i = k_n \frac{b_n}{b_i}$$

$$k_{eq} = N \left\{ T_p + \frac{\frac{1}{2} EA_g \left(\frac{a}{c} \right)^2}{1 + \left(\frac{mga}{T_p} \right)^2 \frac{EA_g}{12T_p}} \right\} \left(\frac{1}{c} \right)$$



طراحی تقریبی سازه

- سطح مقطع خرپا
- d را انتخاب می کنیم

Knowing the guy reactions, equilibrium considerations at any desired mast level can provide the axial force F and the bending moment M for the corresponding cross-section.

$$A = \left(\frac{F}{3} + \frac{2M}{\sqrt{3}d} \right) \frac{1}{\sigma_{\text{all}}^{\text{col}}}$$

$$I_{eq1} = A \left(\frac{2x}{3} \right)^2 + 2A \left(\frac{x}{3} \right)^2 = \frac{1}{2} Ad^2$$

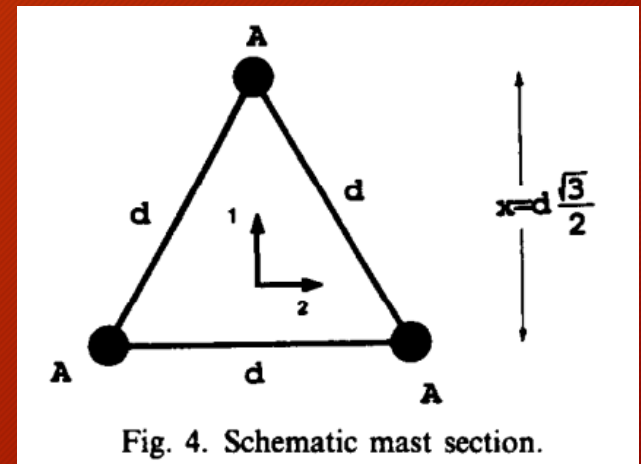




Fig. 1: The tallest mast in the World, the 648 m high long wave mast in Konstantynow, Poland collapsed in 1991

Torque-Arm



Technical and economical Guyed

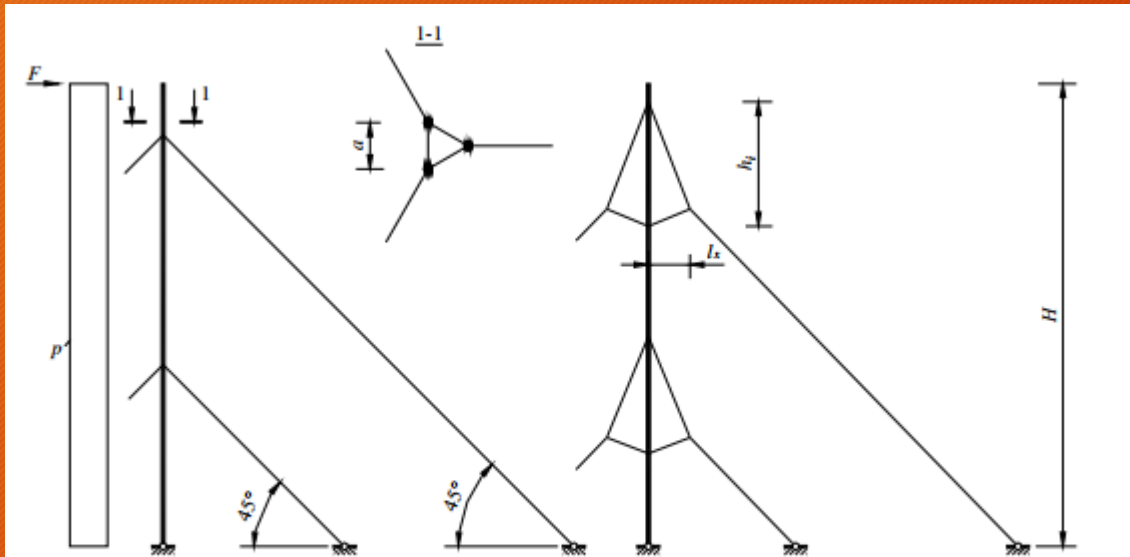


Fig 7. Typical guyed mast (a), guyed mast with combined guys (b).

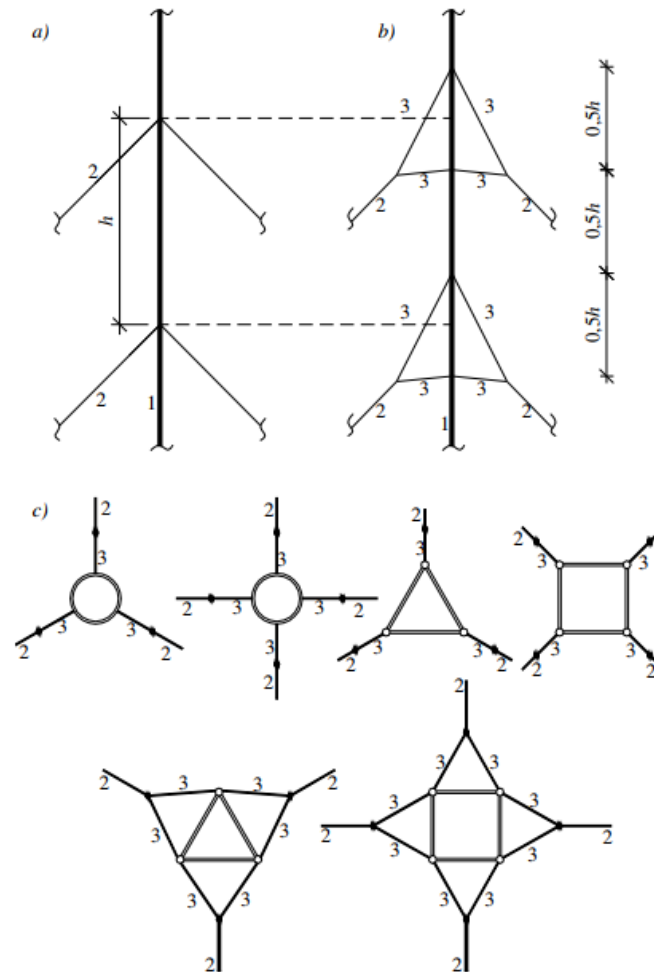


Fig 1. Guyed mast: a - typical system; b - system with combined guys; c - cross-sections: 1 - central mast; 2 - main guy; 3 - additional secondary guy

Technical and economical Guyed

Table 2. Material quantities of typical guyed masts and guyed masts with combined guys

H, m	Shaft weight				Guys weight				Total			
	Typical guyed mast		Guyed mast with combined guys		Typical guyed mast		Guyed mast with combined guys		Typical guyed mast		Guyed mast with combined guys	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
30	0,08	100	0,04	54,0	0,001	100	0,002	118,5	0,1	100	0,06	63,5
60	0,7	100	0,3	46,0	0,06	100	0,07	116,7	0,7	100	0,4	51,3
120	7,7	100	3,4	43,4	0,4	100	0,46	114,5	8,1	100	3,8	46,9
180	31,3	100	13,4	42,7	1,5	100	1,65	113,3	32,8	100	15,0	45,9

مراحل کار در SAP2000

Define Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
WIND	WIND	0	None
DEAD	DEAD	1	
TARGET	OTHER	0	
WIND	WIND	0	None

Click To:

- Add New Load Pattern
- Modify Load Pattern
- Modify Lateral Load Pattern...
- Delete Load Pattern

Assign Analyze Display Design Options Tools

- Joint
- Frame
- Cable
- Tendon
- Area
- Solid
- Link/Support
- Joint Loads
- Frame Loads
- Cable Loads**
 - Gravity...
 - Distributed...
 - Temperature...
 - Strain...
 - Deformation...
 - Target Force...**
- Tendon Loads
- Area Loads
- Solid Loads
- Link/Support Loads
- Joint Patterns...
- Assign to Group... Ctrl+Shift+G
- Update All Generated Hinge Properties
- Clear Display of Assigns
- Copy Assigns
- Paste Assigns

Cable Target Force

Load Pattern Name: + TARGET Units: Kip, in, F

Target Force

Axial Force, P Target Force: 8.5 Relative Location: 0

Options

Replace Existing Loads Delete Existing Loads

OK Cancel

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: TARGET Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	TARGET	1.
Load Pattern	DEAD	1.

Other Parameters:

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Nonlinear Parameters: Default

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: WIND Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	WIND	1.
Load Pattern	WIND	1.

Other Parameters:

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Nonlinear Parameters: Default