تعتبر أبراج وصواري الإتصالات أبنيّة ً مرتفعةً تصمم خصيصاً لحمل هوائيّات الإتصالات اللاسلكية. تتضمّن هذه الإتصالات اللاسلكية البث التلفزيوني، الراديو، الهواتف النقّالة GSM والإنترنت.

تستخدم الأبراج والصواري في الكثير من تطبيقات الشبكات اللاسلكية، بدءاً من وصلات الشبكات السريعة بين نقطتين Point-to-Point وانتهاءً بشبكات LMR[1]. تحتاج الشبكات اللاسلكية إلى الأبراج والصواري لرفع الهوائيات عن مستوى الأشجار والمباني لتحقيق وصلات خط النظر.

تعتبر هذه الوحدة دليلاً عامّاً يركّز على النواحي العملية لبناء أبراج أو صواري الإتصالات. يمكن تطبيق الأفكار الواردة في هذه الوحدة على كلٍّ من الأبراج المدعومة ذاتيّاً Self-Supporting Towers و الصواري المرشدة Guyed Masts.

4. المعيار Standard

نشرت جمعيّة صناعة الإتصالات Telecommunications Industry Association (TIA) في آذار من العام 1996 "المعيار الهيكلي لأبراج الهوائيّات الفولاذيّة والهياكل الداعمة للهوائيّات ANSI/TIA 222-F-1996). تهدف هذه الوثيقة إلى توفير مجموعةٍ من المعايير الدنيا لتوصيف وتصميم أبراج الهوائيّات الفولاذيّة والهياكل الداعمة للهوائيّات.

تتضمّن الوثيقة مواضيع تتعلّق بحمل الرياح، الدهان، الحوامل، القواعد، الربط والتحزيم، التسلّق والصيانة. هذه الوثيقة غير مجانيّةٍ (تكلّف حوالي 100 دولار أمريكي) لكننا ننصحك بشدةٍ بالحصول على نسخةٍ منها عند التخطيط لبناء برجٍ أو صاريةٍ للإتصالات.

5. تعاريف: الأبراج والصواري Towers and Masts

في العرف الهندسي يعتبر **البرج** هيكلاً **مدعوماً ذاتيّاً** في حين تحتاج **الصارية** إلى **دعمٍ بواسطة مساند أو مشدّات**.

يستخدم المصطلحان "برج" و "صارية" عادةً للدلالة على نفس النوع من الهياكل، مما قد يتسبب في بعض اللغط. يختلف أيضاً تعريف الأبراج والصواري بين اللغة الإنكليزيّة المستخدمة في الولايات المتحدة وتلك المستخدمة في إنكلترا. يدعى النوعين من الهياكل في الولايات المتحدة "أبراجاً Towers" في حين يشيع استخدام تسمية "صارية Mast" عوضاً عنها في إنكلترا.

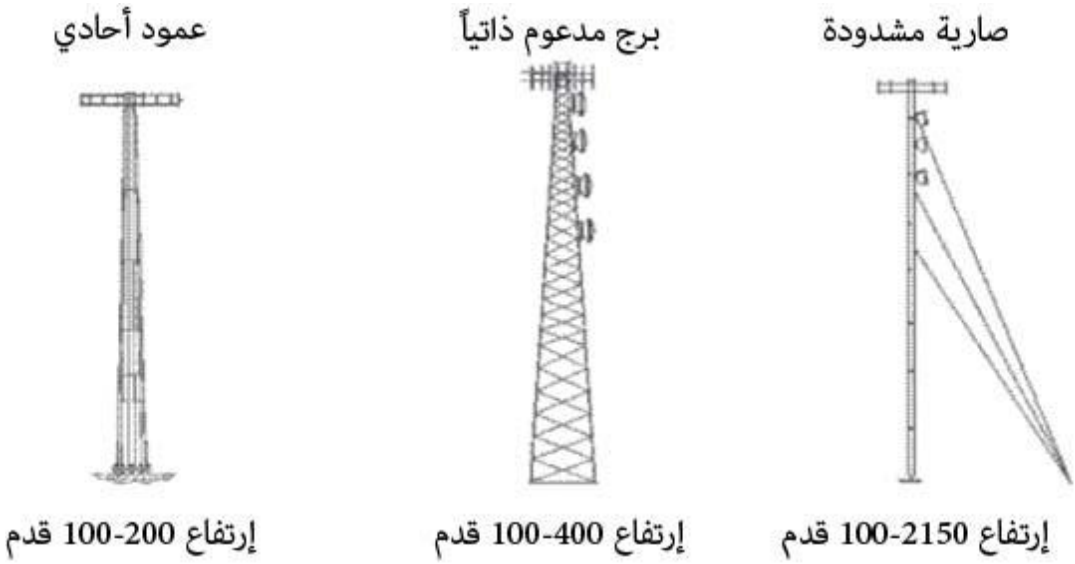
سنستخدم في هذه الوحدة المصطلحات الهندسيّة لتجنّب سوء الفهم:

[1] LMR: Land Mobile Radio – شبكة لاسلكية للتطبيقات الخاصة مثل سيارات الأجرة (التاكسي)، الشرطة أو خدمات الطوارئ.

- برج Tower: مدعومٌ ذاتيّاً.
- صارية Mast: مدعومةٌ باستخدام مساند أو مشدّات.

6. أنواع الأبراج والصواري Types of Towers and Masts

تقدّم هذه الفقرة الأنواع الثلاث الأكثر شيوعاً للأبراج والصواري والمستخدمة حاليّاً في بناء الشبكات اللاسلكية: البرج المدعوم ذاتيّاً Self-Supporting Tower، الأحادي Monopole والصواري المشدودة Guyed Masts[1].



شكل 1: الأنواع الثلاث الأكثر شيوعاً لأبراج وصواري الإتصالات

المصدر: مركز تجنّب الأمراض والتحكّم بها (http://www.cdc.gov).

[1] لاحظ بأنّ صور الصواري المشدودة تظهر جزءاً واحداً فقط من المشدّات (وذلك لأسباب تتعلق بالصور فقط)

1.6. العمود الأحادي Monopole

شكل 2: عمودٌ أحادي

المصدر:
http://commons.wikimedia.org

الأعمدة الأحاديّة هي أعمدةٌ مفرّغةٌ تصنع من الفولاذ المغلفنة. يتم تجميع هذه الأعمدة من أنابيب ملحومةٍ وقد يصل طولها حتى 200 قدم (60 متراً). تعتبر هذه الأبراج مرتفعة الثمن نتيجةً لطريقة تصنيع هذه الأعمدة إلا أنّها سهلة التركيب.

تستخدم الأعمدة الأحاديّة بشكلٍ رئيسيٍّ في البيئات الحضرية حيث لا تتزفّر مساحاتٌ كافيةٌ لقاعدة البرج Footprint[1]. تصل مساحة قاعدة عمودٍ أحاديٍّ بطول 200 قدم إلى حدٍ أقصاه 6x6 قدم (2x2 متر).

2.6. البرج المدعوم ذاتيّاً Self Supporting Tower

شكل 2: برج مدعوم ذاتيّاً

المصدر: http://commons.wikimedia.org

يبنى البرج المدعوم ذاتيّاً (Free-Standing Tower) دون أيّة أسلاك شادّة. تملك الأبراج المدعومة ذاتيّاً قاعدةً أرضيّةً أكبر من الأعمدة الأحاديّة، لكنّها تتطلّب مساحةً أرضيّةً أصغر من الصواري المشدودة.

تستخدم هذه الأبراج (نظراً لصغر قاعدتها الأرضيّة) بشكلٍ عامٍّ في المدن أو المناطق الأخرى ذات المساحات الضيّقة.

3.6. الصارية المشدودة Guyed Mast

[1] المساحة الفيزيائيّة المطلوبة لتركيب البرج.

شكل 4: صارية مشدودة تملك مستويين من الشدّادات كلٌ منها مربوطٍ بثلاثة نقاط

المصدر: http://commons.wikimedia.org

يتم تثبيت الصارية المشدودة باستخدام أسلاك شدٍ مثبّتةٍ على الأرض ضمن مجموعة من القواعد البيتونية.

تتألّف الصارية المشدودة من عدّة أجزاءٍ متماثلة ثلاثيّة الأطراف (يبلغ طول كلٍّ منها حوالي 10 أقدام (3 أمتار)) مركّبةٍ فوق بعضها البعض. لا يضيق مقطع الصواري المشدودة مع الإرتفاع (على عكس الأعمدة الأحاديّة) لأنّ جميع الأجزاء تملك نفس المقطع العرضي.

تملك هذه الصواري نتيجة وجود الشدّادات قاعدةً أرضيّةً كبيرةً، إلا أنّها قادرةٌ على بلوغ ارتفاعاتٍ أعلى من الأبراج غير المشدودة بالإضافة إلى قدرتها على حمل هوائيّاتٍ بأوزانٍ أكبر.

تعتبر الصواري المشدودة حلاً مثاليّاً لجميع متطلبات الإرسال اللاسلكي، بما في ذلك الشبكات اللاسلكية، الهواتف النقّالة وأبراج البث الإذاعي.

7. كيف تختار نوع البرج الملائم؟

ينبغي عليك الإنتباه إلى أربعة نقاطٍ رئيسيّة عند اختيار نوع البرج الملائم لمشروعك:

1. حمل الهوائيّات Antenna Load
2. القاعدة الأرضيّة للبرج Tower Footprint
3. إرتفاع البرج Height of Tower
4. الميزانيّة Budget

1.7. حمل الهوائي Antenna Load

تعتمد قدرة حمل البرج للهوائيّات على هيكليّة هذا البرج. كلّما ازدادت مساحة سطح الهوائيّات، الأسلاك المحوريّة، القواعد والتجهيزات الأخرى المركّبة على البرج والمعرّضة للرياح كلّما ازدادت متطلّبات ثبات البرج.

يتوجّب عليك تخمين قدرة البرج الفعّالة على تحمّل الرياح لكي تتأكّد من أنّ الحمل الناتج عن التجهيزات المستخدمة أصغر من الحمل الأعظمي للبرج.

يتناسب حمل الرياح طرداً مع مساحة الهيكل المعرضّة للريح وارتفاع مسافة تثبيتها عن سطح الأرض. تقاوم الأشكال المقوّسة والمثقّبة (كالشبكات Grids مثلاً) الرياح بشكلٍ أقل، في حين تبدي الأطباق المصمتة مقاومةً كبيرةً للرياح وبالتالي ينبغي تجنّبها في بيئات الرياح الشديدة.

ينبغي عليك أيضاً أخذ سرعات الرياح الوسطيّة في الموقع بعين الإعتبار أثناء اختبار أبراج الهوائيّات. تعتمد سرعة الرياح الوسطيّة على الوقع الجغرافي للمشروع، الإرتفاع عن سطح البحر وطبيعة البيئة المحيطة (ريفيّة أو مدنيّة). تتوفّر بعض المعلومات الإحصائيّة عبر الإنترنت من مواقع معاهد الأرصاد الجويّة.

هناك عدة أساليب لحساب حمل الرياح تتمايز فيما بينها من حيث جودة النتائج. تعتبر مواصفات المعيار IEA-222 أحدث هذه الأساليب وربّما أدقّها على الإطلاق.

2.7. القاعدة الأرضيّة للبرج Tower Footprint

القاعدة الأرضيّة للبرج هي المساحة الأرضيّة المطلوبة لتركيب البرج. يعتمد صغر أو كبر هذه المساحة على نوع وهيكليّة البرج.

تحتاج الصواري المشدودة (والتي يزيد ارتفاعها عن 100 قدم أو 30 متراً) إلى مسافةٍ قدرها 10–15 متر عن قاعدة الصارية لكل شدّاد، وبالتالي فإنّ صاريةً تحتوي على ثلاثة شدّاداتٍ في كل مستوى ستحتاج إلى قاعدةٍ أرضيّةٍ مساحتها 90–200 متراً مربّعاً.

3.7. إرتفاع البرج Height of Tower

يمكنك توفير نفقات وأعمال تركيب الشدّادات في حال لم يتجاوز ارتفاع الهيكل المطلوب 40 قدماً. من الممكن عوضاً عن ذلك في هذه الحالة تثبيت البرج على سطح مبنى أو حتى كراج.

تؤدّي إضافة الشدّادات إلى هيكلٍ ما كما ذكرنا سابقاً إلى إتاحة بناء أبراجٍ بارتفاعاتٍ أكبر.

4.7. الميزانيّة Budget

القاعدة الأساسيّة العامّة في حساب الميزانيّة:

"كلّما صغرت مساحة قاعدة البرج كلّما ازدادت تكاليف شراء وتركيب هذا البرج".

تملك الأعمدة الأحاديّة مساحة القاعدة الصغرى من بين أنواع الأبراج المختلفة، مما يجعلها أكثر هذه الأنواع كلفةً، تليها الأبراج المدعومة ذاتيّاً ومن ثمّ الصواري المشدودة والتي تتطلّب المساحة القصوى.

ستحتاج أيضاً تبعاً لنوع البرج الذي ستختاره إلى أدواتٍ ورافعاتٍ معيّنةٍ لبناء البرج والتي يجب أخذها بعين الإعتبار أثناء حساب الميزانيّة.

8. موقع البرج

ينبغي عليك الإنتباه إلى بعض الأمور الهامّة لدى اختيارك للموقع الفيزيائي للبرج / الصارية. عليك بدايةً التأكّد من توفر المساحة الأرضيّة الكافية لتركيب البرج، راجع مواصفات البرج أو الصارية التي تريد شراءها للتأكّد من مساحة قاعدة البرج / الصارية.

تعتبر الأراضي المستوية والمسطّحة أكثر المواقع ملاءمةً لتركيب الأبراج أو الصواري. يمكنك على أيّة حالٍ استخدام أيّ أرضٍ مستويةٍ نسبيّاً توفّر مساحةً كافيةً لتركيب قواعد البرج / الصارية. ينبغي أن لا تحتوي الأرض على أيّة عوائق كالأشجار والأبنية مثلاً. لا يكفي تحقق هذا الشرط ضمن البقعة التي سيتم تركيب الهوائي ضمنها وحسب، بل ينبغي أن يتحقق أيضاً في المساحة المحيطة بهذه البقعة لأنّك ستحتاج إلى بعض المساحة الإضافيّة أثناء تركيب البرج / الصارية.

تذكّر بأنّ للأشجار جذورٌ مخفيّةٌ تحت الأرض. وحفر منطقة مكتظّةٍ بجذور الأشجار ليس بالأمر السهل على الإطلاق.

تتطلّب الأبراج والصواري العالية ومتوسطة الطول عادةً حفراً كبيرةً لبناء أساساتها البيتونيّة. تأكد على الدوام من القيام بمسحٍ للخدمات المركّبة تحت الأرض للتأكد من عدم وجود أيّة تمديداتٍ للبنيّة التحتيّة تحت الأرض في موقع تركيب البرج أو الصارية.

تأكّد أيضاً في حال كون البرج الذي تريد تركيبه مرتفعاً من التحقق من القوانين النافذة في الدولة المعنيّة فيما إذا كان من الضروري الحصول على ترخيص لبناء البرج أو / و تسجيل هذا البرج لدى السلطات المختصّة. يتوجّب عادةً اتبّاع قوانين خاصّة إذا كان موقع البرج قريباً من مطارٍ ما.

9. قاعدة البرج

تحتاج جميع الأبراج إلى الإعتماد على قاعدةٍ ثابتةٍ. يهدف بناء القاعدة تحت البرج إلى تجنّب غرق البرج تحت تأثير وزنه الذاتي بالإضافة إلى ضغط أسلاك الشد (في حال استخدامها).

تبنى غالبيّة الأبراج والصواري فوق قواعد بيتونيّة Concrete Bases والتي تحتوي على نتوءٍ أو برغيٍّ للتثبيت. من الحلول الأقل استخداماً أيضاً تثبيت أحد أجزاء البرج ضمن القاعدة البيتونيّة. يتميز الحل الأول باستخدام النتوء أو برغي التثبيت بما يلي:

1. لا يتطلّب تعديل الجزء الأسفل من البرج.
2. لا يستدعي القلق من تجمّع المياه ضمن أسفل البرج (ستسيل المياه باتجاه أسفل البرج وتفرّغ عبر ثقوبٍ مخصصةٍ في قاعدة البرج).

3. يعطي البرج بعض المرونة للدوران من اتجاهٍ إلى آخر لامتصاص تأثير الرياح الشديدة (مما يؤدّي إلى تخفيض الإجهاد على الجزء السفلي من البرج).
4. لا يستدعي القلق من كيفيّة تركيب الجزء السفلي من البرج مع الجزء المركّب ضمن القاعدة البيتونيّة.

تحتاج الأبراج المدعومة ذاتيّاً (وليس الصواري المشدودة) إلى أساسٍ بيتونيٍّ واحدٍ يحتوي على نقاط تثبيتٍ بعدد أطراف هيكل البرج. أي أنّ برجاً مدعوماً ذاتياً ذو ثلاثة أطرافٍ سيحتاج إلى ثلاثة نقاط تثبيتٍ في القاعدة البيتونيّة.

تحتاج الصارية المشدودة إلى قاعدةٍ بيتونيّةٍ لكل شدادٍ بالإضافة إلى قاعدةٍ مركزيّةٍ للصارية ذاتها.

تشرح الفقرات التالية (10–11) بالتفصيل عمليّة بناء قاعدةٍ بيتونيّةٍ لبرجٍ مدعومٍ ذاتيّاً. يشابه هذا الأسلوب أيضاً الأسلوب المتبّع في بناء القواعد البيتونيّة للصواري المشدودة باستثناء عدد القواعد وأحجامها إضافةً إلى نقاط التثبيت.

تركّز الفقرة 14 على أسلاك شد الصواري (والتي لن تحتاجها في الأبراج المدعومة ذاتيّاً).

10. حفرة الأساسات

يمكن حفر أساس القاعدة يدويّاً إذا كان حجم البرج صغيراً للغاية. كلّما ازداد حجم البرج كلّما ازدادت كميّة التربة التي ينبغي إزالتها. ننصحك باستئجار آليّةٍ مخصصةٍ للحفر (مع عاملٍ خبيرٍ بتشغيلها) لحفر أساسات الأبراج الكبيرة.

عليك الإنتباه إلى النواحي التالية قبل البدء بحفر الأساس:

التربة غير الملموسة (المتماسكة)
يتوجّب عليك التأكّد من أنّ القاعدة محاطةٍ بتربةٍ "متماسكةٍ" لتجنّب تحرّكها في المستقبل. لذلك تأكّد من عدم إزالة كميّاتٍ من التربة حول أطراف الأساس أكثر من اللازم.

إطلب من عامل آليّة الحفر إذا دعت الحاجة أن يقوم بحفر حفرةً ذات حجمٍ تقريبيٍّ ومن ثمّ قم ببناء جدران الحفرة يدويّاً.

حجمُ أكبر من المتوقع
توقّع دائماً بأنّ حجم الحفرة النهائي سيفوق تخميناتك الأوليّة. سيؤدّي استخدام آليّات الحفر غير الدقيقة إلى حفرٍ ذات أبعادٍ أكبر من تلك التي تحتاجها، مما يعني بأنّك ستحتاج إلى المزيد من البيتون لملء الحفرة.

عادةّ ما تنهار التربة من الجوانب إلى داخل الحفرة، مما يؤدّي إلى تشكيل حفرةٍ على شكل جرس عقب الإنتهاء من عمليات إزالة الأتربة الرخوة، مما قد يعني حاجتك إلى ما يقارب 25 % من كمية البيتون المتوقّعة لملء الحفرة.

تشكيل الحفرة

تجنّب استخدام العوارض الخشبيّة لتشكيل الحفرة لأنّ هذه العوارض ستتعفّن مع مروم الوقت مما قد يؤدّي إلى تشكّل فراغٍ حول البيتون قد يضعف ثباته.

في حال اضطررت إلى استخدام القوالب لتشكيل الحفرة في مواقع التربة الرخوة جدّاً (الجافّة أو الرمليّة) تأكّد من إزالة هذه القوالب بعد تصلّب البيتون. تأكّد أيضاً من ملء الفراغ بين البيتون والتربة بشكلٍ جيّدٍ، وذلك لإعادة بعض الثبات إلى القاعدة.

يتوجّب عليك في النهاية تشكيل الحفرة بشكلٍ دقيقٍ جدّاً وإزالة أيّة موادٍ متروكةٍ ضمنها قبل ملء الحفرة بالبيتون.

شكل 5: أ) الحفرة عقب الإنتهاء وتظهر جوانبها المستوية ب) عمليّة حفر أساسٍ باستخدام آليّة الحفر

المصدر: http://www.do-it-yourself-tower.com

11. بناء قفص قضبان التسليح

ينبغي بناء قفصٍ من قصبان فولاذ التسليح "قفص قضبان التسليح" لإعطاء البيتون مقاومة الإجهاد المطلوبة لتحمل وزن البرج.

يجب تركيب طبقتين من القضبان الفولاذيّة ضمن الحفرة: شبكة سفليّة وشبكة علويّة مربوطتان مع بعضهما البعض باستخدام روافع Standees.

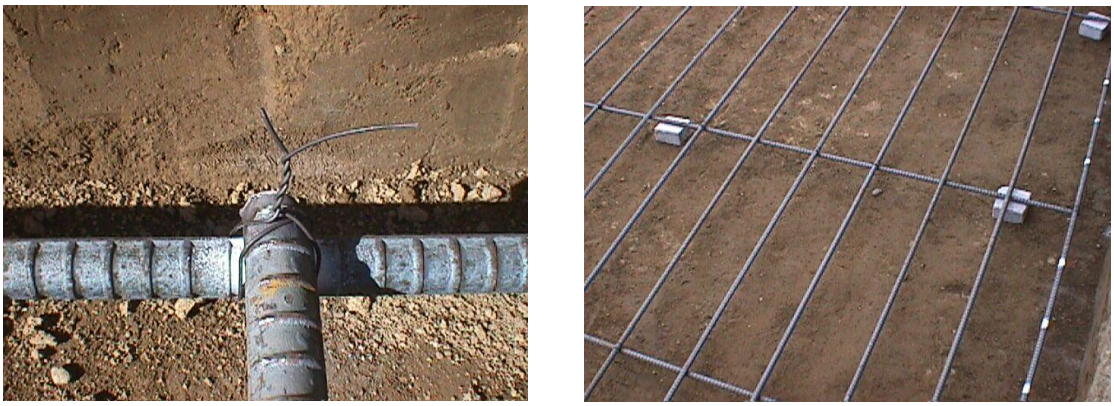
يتوجّب تركيب الطبقة الأولى من القضبان الفولاذيّة على ارتفاعٍ لا يقل عن 3 إنش عن مستوى التربة لأنّها يجب أن تغطّى بطبقةٍ بيتونيّة سماكتها 3 إنشاً على الأقل. ينبغي تغطية القضبان الفولاذيّة بالبيتون لحمايتها من الصدأ (راجع الفقرة 17). يؤدّي الصدأ إلى تمدد القضبان الفولاذيّة وبالتالي تشكّل شقوقٍ في البيتون.

يجب حماية القضبان الفولاذيّة بتغطيتها بالبيتون في جميع الحالات التي قد تتعرّض فيها القضبان للتماس المباشر مع التربة، كقاعدة الأساس، الأطراف وأعلى الأساس.

تستخدم بعض القطع الصغيرة من البيتون (والتي تسمى Dobies) لرفع القضبان الفولاذيّة عن سطح التربة في أرضيّة الحفرة.

بعد ترتيب الحوامل البيتونيّة Dobies قم ببناء شبكةٍ من قضبان التسليح الفولاذيّة واربطها مع بعضها البعض باستخدام أسلاكٍ أو ربّاطاتٍ بلاستيكيّةٍ.

لا تقم بلحام القضبان لأنّ ذلك سيضعف من مقاومتها.



شكل 6: أ) إستخدام القواعد البيتونيّة لرفع القضبات الفولاذيّة عن سطح التربة ب)إستخدام الأسلاك لتربيط القضبات الفولاذيّة على شكل شبكة

المصدر: http://www.do-it-yourself.tower.com/

يتم قياس أقطار قضبان التسليح الفولاذيّة بالنسبة إلى الوحدة المرجعيّة 1/8 إنش، أي أنّ قطر قضيب التسليح رقم 4 يعادل 1/2 إنشاً (4 x 1/8) وقطر قضيب التسليح رقم 6 يعادل 3/4 إنشاً (6 x 1/8). ينبغي عليك كقاعدةٍ عامّة عدم استخدام قضبان التسليح الأصغر من الرقم 5 (ذات القطر 5/8 إنش).

بعد الإنتهاء من تركيب الطبقة السفليّة من قضبان التسليح يجب تثبيت الروافع Standees. سيتم ربط هذه الروافع بالشبكة السفليّة لدعم الشبكة العلويّة. يجب تجهيز الروافع تبعاً للمتطلبات الخاصّة بالمشروع وغالباً ما يتم الحصول عليها من منتج قضبان التسليح نفسه.

قم بتثبيت قواعد التثبيت المثنيّة على شكل حرف J باستخدام بعض القطع البيتونيّة الصغيرة Dobies ضمن قفص قضبان التسليح. سيتم تثبيت البرج بهذه القواعد. سيطمر الجزء السفلي من هذه القواعد بالبيتون ويبقى الطرف العلوي بارزاً عن مستوى الأساس.

سيتم بعد تثبيت الروافع Standees بشكلٍ متينٍ تركيب الشبكة العلويّة من قضبان التسليح الفولاذيّة بنفس أسلوب تركيب الشبكة السفليّة.

شكل 7: أ) طبقتين من قضبان التسليح المربوطة مع الروافع ب) قواعد التثبيت التي ستربط قاعدة البرج بالأساس لبيتوني

المصدر : http://www.do-it-yourself.tower.com/

يتم تشكيل هيكلٍ هرميٍّ فوق شبكة قضبان التسليح العلويّة لتثبيت قاعدة البرج.

تملء الحفرة بالبيتون بعد تركيب قفص قضبان التسليح.

محاذير قضبان التسليح الفولاذيّة

1. تجنّب تعريض قضبان التسليح الفولاذيّة للتماس المباشر مع التربة.
2. تجنّب لحام قضبان التسليح الفولاذيّة واستعض عن ذلك باستخدام أسلاك التربيط.

12. الأساس البيتوني

يتألّف البيتون من خليطٍ من **الحصويّات ومادةٍ عجينيّةٍ**. تغطّي المادة العجينيّة المؤلّفة من الإسمنت والماء سطح الحصويّات الناعمة والخشنة. يعتبر **الإسمنت البورتلاندي Portland Cement** أكثر أنواع الإسمنت إنتشاراً ويتألّف من خليطٍ من أوكسيدات الكالسيوم Calcium Oxides، السيليكون Silicon والألومنيوم Aluminium.

تتصلّب العجينة الإسمنتيّة نتيجة تفاعلٍ كيميائيٍّ يدعى الترطيب Hydration لتشكّل كتلةً تشبه الصخر تدعى بالبيتون Concrete. يعتبر الترطيب عامل النجاح الأساسي للبيتون نظراً لكونه لدناً وقابلاً للتشكيل بعد خلطه مباشرةً وقاسيّاً وقويّاً بعد التصلّب.

1.12. تركيبة البيتون Concrete Composition

تتألّف الخلطة البيتونيّة عادةً من حوالي 10–12 % إسمنت، 60– 75 % حصويّات و 15–20 % ماء. يتوجّب اختيار جميع المكونات بعنايّةٍ للحصول على نتيجةٍ جيّدةٍ.

يمكن استخدام الماء الطبيعي القابل للشرب وعديم اللون والرائحة لصنع البيتون. يمكن أيضاً استخدام بعض أنواع الماء غير القابلة للشرب في صنع البيتون. إنّ وجود نسبةٍ كبيرةٍ من الشوائب في الماء المستخدم لصنع البيتون سيؤثّر على زمن التصلّب، قوة البيتون الناتج إضافةً إلى تلويث البيتون. كما أنّ عدم نقاوة الماء المستخدم قد يتسبب في صدأ قضبان التسليح الفولاذيّة مما قد يؤدّي بدوره إلى عدم ثبات حجم الكتلة البيتونيّة وتخفيض متانتها.

تحدد مواصفات البيتون عادةً القيم العظمى لمستويات الكلوريدات Chlorides، الكبريتات Sulphates، القلويّات Alkalis، والمواد الصلبة Solids في الماء المستخدم.

يتوجّب أيضاً إختيار الحصويّات المستخدمة بعناية. يؤثّر حجم ونوع الحصويّات على سماكة البيتون الناتج. الحصويّات هي موادّ حبيبيّةٌ خاملةٌ مثل الرمل Sand، الحصى Gravel أو الأحجار المكسّرة Crushed Stones.

2.12. مزج البيتون Mixing Concrete

يمكن مزج البيتون (تماماً كما في حالة حفر الأساس) يدويّاً أو آليّاً. من السهل مزج البيتون يدويّاً عند صب قاعدةٍ بيتونيّةٍ صغيرةٍ في حين تتطلّب القواعد الكبيرة استخدام بعض الآليّات المساعدة.

على سبيل المثال ينتج كيسٌ واحدٌ من بيتون Quickrete (36 كيلوغرام) كتلةً بيتونيّةً حجمها 2/3 قدم مكعب (0.02 متر مكعب). يستغرق مزج هذا الكيس في عربةٍ وصب البيتون الناتج في الحفرة حوالي 10 دقائق. تحتاج قاعدة برجٍ أبعادها '3x'3x'3 (قدم) (يارد مكعب واحد) ما لا يقل عن 40 كيساً، مما قد يستغرق حوالي 10 ساعاتٍ من المزج اليدوي.

من الأسهل في حالة القواعد متوسطة الحجم طلب شاحنةٍ من البيتون واستخدام العربات لصب هذا البيتون الجاهز في الموقع. يمكن أيضاً استئجار آلةٍ لخلط البيتون واستخدامها في الموقع.

إذا تعذّر إيصال الشاحنة إلى موقع الصب يمكنك جمع أصدقائك وتشكيل رتلٍ من العربات لنقل البيتون إلى الحفرة. يمكنك أيضاً استئجار عربةٍ آليةٍ لتسهيل العمليّة.

3.12. صب البيتون Pouring the Concrete

ستحتاج إذا ما قررت صب البيتون يدويّاً إلى عربةٍ كبيرةٍ Wheelbarrow ورفش. من الضروري أيضاً توفّر أداةٍ للرج والحشو Tamping/Vibrating tool لتسهيل سيلان البيتون ضمن الشكل المطلوب وحول قفص قضبان التسليح.

إذا كانت القاعدة البيتونيّة كبيرةً يتوجّب عليك استئجار أنبوبٍ رجّاجٍ مرنٍ لتسهيل عمليّة صب البيتون.

يظهر الشكل 8أ شخصاً (يسار) يحمل محرّكاً في حين يقوم شخصٌ آخر (يمين) بتشغيل إبرةٍ رجّاجةٍ. تؤدّي هذه العمليّة إلى التخلّص من العيوب المحتملة في البيتون مثل الفراغات الهوائيّة.

ينبغي أن تكون المنطقة المحاطة بقواعد تثبيت البرج (على شكل حرف J) مسطحةً وناعمة، في حين يجب أن تكون المنطقة الواقعة خارج هذه القواعد مائلةً قليلاً.

شكل 8: أ) إستخدام رجّاج في البيتون الرطب للتخلّص من العيوب المحتملة كالفجوات الهوائيّة ب) ينبغي أن تكون المنطقة المحاطة بقواعد تثبيت البرج مسطحةً وناعمة، في حين يجب أن تكون المنطقة الواقعة خارج هذه القواعد مائلةً قليلاً باتجاه.

المصدر: http://www.do-it-yourself.tower.com/

4.12. عمليّة الترطيب Hydration

على عكس الإعتقاد السائد لدى كثيرٍ من الناس فإنّ البيتون لا يجف بل يترطب Hydrate. الترطيب هو تفاعلٌ كيميائيٌّ بين العجينة الإسمنتيّة والحصويّات ويحتاج إلى **الزمن والماء**.

يستمر البيتون في التصلّب مادام رطباً. تتوقّف عمليّة الترطيب بعد نفاذ الماء المتوفّر (جفاف البيتون) مباشرةً ليتوقّف عندها البيتون عن التصلب واكتساب المزيد من المتانة.

تزداد متانة البيتون مع تضاؤل النشاط، أي أنّ القسط الأكبر من المتانة يتم اكتسابه في المراحل الأولى لعمليّة التصلّب. يكتسب البيتون الممزوج جيّداً غالبيّة متانته في خلال الأيام العشر الأولى، لذلك يتوجّب عليك تجنّب تعريض البيتون لأيّ إجهادٍ خلال الأيام العشر الأولى.

5.12. المعالجة Curing

المعالجة هي عمليّةٌ مساعدةٌ لعمليّة ترطيب البيتون. ينبغي الحفاظ على رطوبة البيتون بعد صبّه ضمن الحفرة بدرجة حرارةٍ تتراوح بين 50–75 درجة فهرنهايت (10–24 درجة مئويّة). تعتبر المعالجة السليمة عنصراً أساسيّاً للحصول على بيتون ذي نوعيّةٍ جيّدةٍ. تعني المعالجة الجيّدة تجنّب أو تقليل تبخّر الماء من الخلطة البيتونيّة.

محاذير البيتون

1. أشعة الشمس على البيتون المصبوب حديثاً.
   - حافظ على البيتون بتغطيته بحصيرةٍ أو سجّادةٍ قديمةٍ رطبةٍ بالإضافة إلى الورق البلاستيكي أو ورق القطران.
2. الحرارة الزائدة.
   - تجنّب صب البيتون عندما تكون درجة الحرارة مرتفعةً جدّاً.
3. صب البيتون في حفرةٍ جافّةٍ.
   - قم بترطيب أسفل وجوانب الحفرة قبل صب البيتون وإلا فإنّ التربة الجافّة ستمتص جميع الماء الموجود في البيتون مما قد يؤدّي إلى ضعف البيتون الناتج بعد التصلّب.
4. إجهاد البيتون الجديد.
   - حاذر من تطبيق أيّ إجهادٍ على قاعدة البرج أثناء ترطيب البيتون. لا تحاول الإسراع في تركيب البرج دون مبرر.
5. جفاف سطح البيتون أثناء المعالجة.
   - رش سطح البيتون بالماء قدر المستطاع للحفاظ على رطوبته.

6.12. متانة البيتون Concrete Strength

يعتبر البيتون مادةً متينةً جدّاً أثناء تعرّضه للضغط، أي أنها قادرةٌ على تحمل الأوزان الثقيلة. لكنّها أيضاً ضعيفٌ جدّاً أثناء تعرّضه للشد. لذلك نحتاج إلى استخدام التسليح في الهياكل البيتونيّة المعرّضة للإجهاد.

المادة	إجهاد الشد (PSI)	الضغط (PSI)
الطوب الأحمر الخفيف Brick	40	1000
الإسمنت البورتلاندي بعمر شهر واحد	400	2000

الإسمنت البورتلاندي بعمر سنة واحدة	500	3000
البيتون البورتلاندي بعمر شهر واحد	200	1000
البيتون البورتلاندي بعمر سنة واحدة	400	2000
الغرانيب Granite	700	19000

جدول 1: قيم إجهادات الشد والضغط لعدّة أنواعٍ من البيتون

13. المراسي Anchors

المرساة Anchor هي الهيكل المعدني الذي يربط السلك الشدّاد بالأساس البيتوني. تعتبر المراسي من أهم عناصر البنيّة التحتيّة للبرج وهي بجدراة العنصر الوحيد القادر على تثبيت البرج عند هبوب الرياح الشديدة. إذا ما فقدت مرساةً ما ستفقد بالتالي السلك الشدّاد المربوط بها مما قد يؤدّي إلى وقوع البرج بأكمله.

للمراسي توعيم مختلفين: "المرساة الأرضيّة Earth Anchor" و "المرساة البيتونيّة Concrete Anchor". لا تصل قوّة المرساة الأرضيّة إلى نظيرتها البيتونيّة إلا أنّها أرخص ثمناً وأسهل في التركيب. يجب استخدام المراسي الأرضيّة لتثبيت الصواري الصغيرة فقط وبشرط توفّر تربةٍ متماسكة. تعتمد قوّة المرساة الأرضيّة على نوعيّة التربة المركّبة ضمنها، لذلك فإنّ تحديد نوعيّة التربة المتوفّرة سيساعدك على تقدير قدرة تحمّل الشدّاد Pull-Out Rating.

توفّر الترب الطينيّة قدرة تحمّل أكبر للشدّاد في حين توفّر الترب التي تحتوي على نسبٍ عاليةٍ من الرمل والترب الخصبة قدرة تحمّل أقل. تشبع الترب الطريّة أيضاً بالماء أثناء مواسم الهطل المطري مما يتسبب في إضعاف قدرة تحمّل الشدّادات أيضاً. يمكن في بعض الأحيان تثبيت المراسي الأرضيّة ضمن صخورٍ كبيرةٍ.

14. تجميع البرج

تصنّع أبراج وصواري الإتصالات عادةً على شكل أجزاء يتم تجميعها في موقع التركيب، باستثناء بعض النماذج للأبراج الصغيرة والتي تصنّع كقطعةٍ واحدةٍ.

تركّز هذه الفقرة على الأبراج والصواري المؤلّفة من مجموعةٍ من الأجزاء التي يجب تجميعها. يمكن أن تكون هذا الهياكل أبراجاً مدعومةً ذاتيّاً أو صواري مشدودة.

1.14. فحص أجزاء البرج

حاول تفحّص جميع القطع المعدنيّة المشكّلة للبرج قبل القيام بتجميع أجزاء البرج لتجنّب التعامل مع قطعٍ تالفةٍ. يتوجّب القيام بالفحص مباشرةً بعد استلام المواد وقبل التوقيع على الإستلام من المورّد. عليك الإنتباه إلى الأمور التالية:

1. المقاطع الملتوية أو المثنيّة.

2. النهايات المشوّهة أو المثنيّة.
3. أغطية المفاصل المنحرفة عن مواضعها الصحيحة.
4. تشقق اللحام.
5. الفجوات أو التشققات في الغلفنة.
6. النقص في قواعد التثبيت.
7. الحمّالات الملتوية.
8. فتحات التثبيت المثقوبة بشكلٍ خاطئ.
9. العوارض المعدنيّة التي لا يمكنك رؤية الضوء من خلالها بسبب تجمّع الأوساخ.
10. الصدأ الذي يزيد عن كونه مجرّد صدأ سطحي. استخدم ضوءً كاشفاً لتفحص المعدن والتحقق من وجود أيّ صدأ عميق.
11. العوارض المعدنية التي تمّ إصلاحها أو لحامها بحمّالاتٍ أخرى غير تلك المصنّعة في المعمل. يمكن كشف هذا اللحام بسهولةٍ عبر تصدأ السطح.

2.14. التركيب المسبق على الأرض

من الاستراتيجيّات الأساسيّة المتبّعة عند تركيب الأبراج **تجزئة** المهام الكبيرة إلى مجموعةٍ من **المهام الفرعيّة** الأصغر وكتابة **مخططٍ عمليٍ تفصيليٍ** من البداية إلى النهاية قبل البدء بتجميع البرج. لا تبدأ أيّة مهمّةٍ ما لم تكن على درايةٍ كافيةٍ بكيفيّة إنهاءها.

ملاحظات عامة عن تجميع الأبراج

عند تركيب مقطعٍ مشدود إسحب الشدّادات كلٌّ على حدة ولا تربطها مع المقطع. يعتبر توصيل الشدّادات إلى مقطع البرج مسبقاً فكرةً جيّدةً شريطة توفّر الخبرة الكافية لأنّ هذه المهمّة معقّدةٌ للغاية ويستحسن تجنّب القيام بها في الهواء.

ثبّت جميع الحمّالات من الجهة الداخليّة للبرج وذلك للتقليل من النتوءات على الأطراف الخارجيّة وتجنّب اشتباك أدوات التسلّق مماقد يؤدّي إلى إلحاق الأذيّة بجلدك وبملابسك.

إليك فيما يلي مجموعةً من التلميحات المفيدة أثناء تركيب الصواري المشدودة:

1. إبدأ بتجميع أجزاء البرج على الأرض بدءاً من أجزاء القاعدة. ركّب نقاط توصيل الشدّادات دون تثبيت الحوامل بإحكام حتى تقوم بتركيب الشدّادات.

2. إحسب الطول اللازم لكل شدّادٍ وأضف إليه 10 أقدام (3 أمتار). قم بقطع الشدّادات وتجهيزها وعلّم كلاً منها بعلامةٍ تشير إلى موقع تركيبه (الشدّاد الأول، الثاني، الثالث وهكذا...).
3. ركّب قبضات الشدّادات في جهةٍ واحدةٍ من كل شدّاد. إترك الجهة الأخرى طليقةً بحيث يمكنك عند رفع الشدّاد إلى حامل الشدّاد تمرير النهاية الطليقة من الشدّاد بسهولةٍ عبر فتحة الحامل لإنهاء اللف بسرعة أثناء تسلقك للبرج.

3.14. عمود الرفع Gin Pole

يستخدم عمود الرفع لرفع أجزاء البرج فوق بعضها البعض، وهو عبارةٌ عن أنبوبٍ معدنيٍّ طويلٍ يحتوي في نهايته على بكرةٍ تلتف عليها مجموعةٌ من الحبال. يحتوي أسفل عمود الرفع على قوسٍ يشبك مع ساق البرج.

يتم تثبيت عمود الرفع في أعلى الجزء الأول من البرج بعد تركيبه في مكانه فوق القاعدة البيتونيّة. يتيح سحب الحبال المربوطة بعمود الرفع (باستخدام القوّة العضليّة) رفع جزءٍ من أجزاء البرج إلى أعلى الجزء المركّب من هذا البرج وتثبيته فوقه. ينبغي توفّر شخصٍ أو شخصين أثناء رفع جزء البرج باستخدام عمود الرفع لوضع هذا الجزء في مكانه الصحيح عند تنزيله.

يستخدم عمود الرفع أيضاً في الحالة المعاكسة أثناء تفكيك البرج.

من المهم الإنتباه إلى نوعيّة الحبال المستخدمة في قطب الجن. ننصحك باستخدام حبلٍ مضفّر (على الرغم من كونه أغلى ثمناً من الحبال المجدولة). لا يتأثّر هذا الحبل بدورات الإلتفاف التي تحدث تحت تأثير الحمل ويسهل لفّه أكثر من الحبل المجدول.

يعتبر النايلون خياراً رخيصاً لكنّه مطاطي ويزداد طوله بشكلٍ ملحوظٍ تحت تأثير الإجهاد مما يقلل من إمكانيّة التحكّم بالمواد المرفوعة.

يجب أن يعادل طول الحبل تقريباً ضعفي إرتفاع البرج بالإضافة إلى بعض الطول الإضافي (50 قدماً على الأقل – 15 متر) مما يمكّن فريق العمل على الأرض من الإحتفاظ بمسافة أمانٍ عن أسفل البرج.

يجب على سبيل المثال أن يكون طول الحبل المستخدم في بناء برجٍ إرتفاعه 100 قدم (30 متر) 250 قدماً على الأقل (75 متراً).

وافقت جمعيّة صناعة الإتصالات Telecommunications Industry Association (TIA) وجمعيّة صناعة الإلكترونيّات Electronics Industry Association (EIA) في العام 2004 على تطبيق معيارٍ لأعمدة الرفع يدعى " المعايير الهيكليّة لتركيب الهوائيّات وهياكل دعم الهوائيّات – أعمدة الرفع Structural Standards for Installation of Antenna and Antenna Supporting Structures (TIA/EIA-PN-4860) Gin Poles. يهدف هذا المعيار إلى زيادة سلامة العاملين في تركيب الأبراج.

4.14. تجميع الأبراج العالية

لا يمكن تركيب أجزاء البرج باستخدام أعمدة الرفع إذا كان البرج شديد الإرتفاع، ولا بدّ عندها من استخدام رافعةٍ Crane لرفع أجزاء البرج إلى موقعها الصحيح. ستحتاج في هذه الحالة أيضاً إلى أشخاصٍ مهرةٍ وذوي خبرةٍ لتثبيت أجزاء البرج مع بعضها البعض.

شكل 9: إستخدام رافعةٍ لتركيب الجزء العلوي من برجٍ مرتفعٍ مدعومٍ ذاتيّاً.

15. أسلاك الشد Guy Cables

أسلاك الشد (أو حبال الشد) هي أسلاكٌ معدنيّةٌ تقوم بتثبيت الهياكل العالية كالصواري. يتم ربط إحدى نهايات الشدّاد بالبرج باستخدام نقاط تثبيتٍ في حين تربط النهاية الأخرى بأساسٍ بيتونيٍّ باستخدام مرساةٍ.

تتصرّف أسلاك الشد كنوابض توصيل extension springs بطريقتين (نمطين) مختلفتين:

النمط الأول

يتم تغيير الطول بشكلٍ سهلٍ نسبيّاً **دون تمددٍ مرنٍ** ملحوظ بسبب سحب الأجزاء المتدلية منها بشكلٍ وثيقٍ، مما ينتج **نسبة ضغطٍ منخفضةٍ Spring Rate**[1] حتى يتم سحب الطول الزائد بالكامل.

النمط الثاني

يمكن تغيير طول الأسلاك بعد إيثاق شدّها (سحب الطول الزائد) عبر **التمدد المرن** مع أنّ ذلك سيترافق مع تغيّراتٍ أكبر بكثيرٍ في الإجهاد **(نسبة ضغطٍ مرتفعةٍ)**.

[1] نسبة الضغط Spring Rate هي قيمة القوة اللازمة لضغط نابض.

1.15. أنواع أسلاك الشد

من أكثر أنواع أسلاك الشد شيوعاً أسلاك EHS الفولاذيّة، أسلاك Phillystran وأسلاك الألياف الضوئيّة Pulturded.

أسلاك الشد الفولاذيّة EHS (Extra High Strength)

وهي أسلاكٌ موّصفةٌ في المعيار ASTM B227-04 من معهد المعايير الوطني الأمريكي American National Standards Institute (ANSI) تحت إسم " Standard Specification for Hard-Drawn Copper-Clad Steel Wire".

شكل 10: سلك شد مغلفن EHS

تصنّع أسلاك EHS من مجموعةٍ من الضفائر الفولاذيّة المغلفنة المجدولة وهي أكثر أنواع أسلاك الشد استخداماً.

Phillystran

وهي مادّةٌ غير ناقلةٍ لأسلاك الشد تصنع من نواة ألياف Kelvar مغطاةٍ بمادّة PVC. يتميز هذا السلك بخفّة وزنه ومتانته.

يستخدم غطاء الـــ PVC من أجل:

1. حماية السلك من الخدش أثناء التركيب.
2. تجنّب تسلل الرطوبة نحو النواة.
3. الأكثر أهميّةً، حماية النواة من التلف بفعل الأشعة فوق البنفسجيّة UV.

Pultruded Fiberglass

وهي مادّةٌ أكثر مرونةً من الفولاذ. ينبغي أن تكون مساحة المقطع العرضي لليف الضوئي أكبر بـــ 4.83 مرة على الأقل من الفولاذ لتحقيق نفس نسبة الضغط Spring Rate الموافقة للشدّادات الفولاذيّة وبالتالي نفس القدرة على تثبيت البرج.

يعادل قطر نواة الليف الضوئي في حالة شدّاد EHS ضعفي مساحة سلك EHS الذي ترغب باستبداله.

2.15. الإجهاد المسبق في أسلاك الشد

ينصح عادةً أن يتم تطبيق إجهادٍ مسبقٍ على أسلاك الشد يعادل 10–15 % تقريباً من حد الشد الأعظمي Ultimate Breaking Strenght[1] وذلك لامتصاص الترهّل في الأسلاك. تعتمد القيمة الدقيقة للإجهاد المسبق على نوع الشدّادات المستخدمة والإرتفاع الذي ستثبّت فيه هذه الشدّادات مع البرج أو الصارية.

[1] حد الشد الأعظمي Breaking Strength: الحمل المقاس واللازم لقطع السلك بفعل الإجهاد.

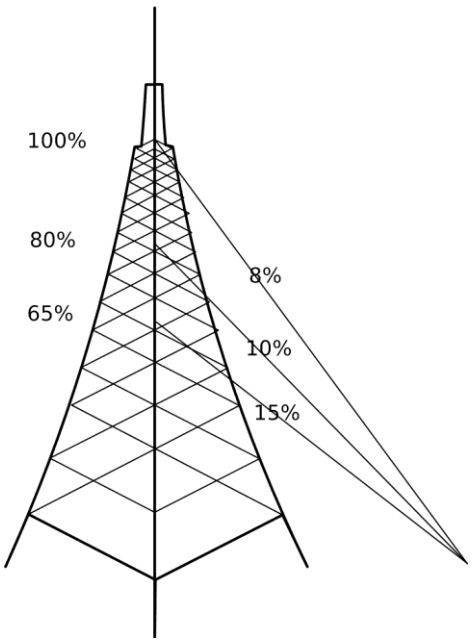
ستؤدي إضافة الإجهاد المسبق إلى الشدّاد إلى تسويته لأنّه لا يكون عادةً مستوياً تماماً بشكلٍ طبيعيٍّ. لكنّ السلك لن يستوي تماماً بأيّ حالٍ من الأحوال نتيجة قوة الجاذبيّة التي ستتسبب في تشكيل تقوسٍ محدّبٍ في السلك حتى عند شدّه بشكلٍ يزيد عن الإجهاد المسبق. سيؤدّي التمدد في لحظةٍ ما إلى تطاول السلك بشكلٍ مرنٍ مما يعني انتقاله من النمط الأول إلى النمط الثاني.

يؤدّي التطبيق المفرط للإجهاد المسبق على السلك إلى تخفيض قدرته على امتصاص الحمولات الإضافيّة (أثناء تحرّك البرج) قبل وصوله إلى حد الإنقطاع.

كلّما ازداد قطر مقطع الشدّاد كلّما ارتفعت قيمة نسبة الضغط Spring Rate مما يعني قدرةً أكبر على مقاومة التغير في الطول (أي تحرّك البرج). لكنّ زيادة قطر مقطع الشدّاد ستؤدّي إلى زيادة وزنه وبالتالي سيحتاج إلى المزيد من الإجهاد المسبق لسحب الترهّل (ما يعادل 10–15 % تقريباً من حد الإنقطاع).

يمكن أن نخلص مما سبق إلى أنّ زيادة سماكة سلك الشدّاد سيتيح ثباتاً أكثر للبرج نظراً لارتفاع نسبة الضغط المقابلة، وبالتالي سيحتاج إلى قوّة أكبر بكثيرٍ لتغيير طوله.

كقاعدةٍ عامّةٍ ينبغي أن يكون الإجهاد في حال ربط الشدّاد بأعلى البرج (100%) 8% من حد الإنقطاع. أمّا في حال ربطه عند 80% من ارتفاع البرج سيكون الإجهاد المطلوب 10% وإذا كانت نقطة الربط على ارتفاع 65% من طول البرج ينبغي تطبيق إجهادٍ قدره 15% نظراً لفقدان الكثير من حمل الرياح في هذه الحالة. سيحسّن ذلك من قدرة تحمّل الشدّاد ويزيد من قدرة التحكم بمرونته دون تخفيض متانة السلك المستخدم.



شكل 11: الإجهاد المسبق المقترح في أسلاك الشدّادات على إرتفاعاتٍ مختلفةٍ للبرج

المصدر: IT +46

يتوجّب اختيار القطر الصحيح لسلك الشدّاد تبعاً لارتفاع البرج لكي يكون قادراً على تحمّل حمل البرج.

على سبيل المثال يحتاج برج Rohn 25 إلى شدادٍ من نوع EHS بقطر 3/16 إنشاً. يبلغ حد انقطاع هذا السلك 4,000 باوند (1800 كيلوغرام) مما يتيح إجهاداً قدره 400 باوند (180 كيلوغرام).

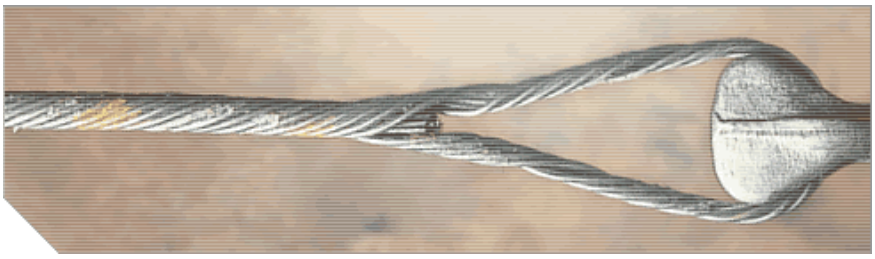
النوع	القطر (إنش)	القطر (مم)	حد الإنقطاع (باوند)	حد الإنقطاع (كيلوغرام)
EHS (7 ضفائر)	3/8	9.5	15,400	6,985
EHS (7 ضفائر)	5/16	7.9	11,200	5,080
EHS (7 ضفائر)	¼	6.5	6,600	2,994
EHS (7 ضفائر)	3/16	4.8	3,990	1,810

جدول 2: حد الإنقطاع لأسلاك الشدّادات من نوع EHS بأقطارٍ مختلفةٍ.

3.15. إنهاء الشدّادات

ينبغي إنهاء أسلاك الشدّادات بطريقةٍ تضمن تثبيتها بشكلٍ آمنٍ بمراسي الشدّادات.

تعتبر "النهايات الميّتة Dead Ends" أو Performs أكثر الأساليب شيوعاً ووثوقيّةً لتثبيت أسلاك الشدّادات من نوع EHS.



شكل 12: سلك شدّادٍ مثبتٍ باستخدام "Dead End".

استخدم الحلقات المعدنيّة لتغطية النهايات على الدوام. تأتي غالبيّة الحلقات المعدنيّة على شكل دمعةٍ ينبغي فتحها أثناء التركيب. تتوفّر أيضاً بعض الحلقات المعدنيّة على شكل حرف U ذات مساحةٍ واسعةٍ عند فوهتها لتسهيل عمليّة التركيب.

شكل 13: أ) حلقة معدنيّة على شكل دمعة ب) سلك شدّاد مثبّتٍ باستخدام "نهايةٍ ميّتةٍ Dead End" مع حلقةٍ معدنيّة.

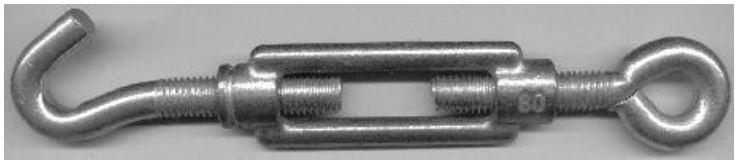
4.15. شد أسلاك الشدّادات

يتوجّب عليك شد أسلاك الشدّادات أثناء تجميع أجزاء الصارية. يحتوي البرج عادةً على 2–3 مستويات من الشدّادات (تبعاً لارتفاع البرج أو الصارية) يحتوي كلٌّ منها على ثلاثة شدّادات.

شكل 14: صارية مشدودة تحتوي على ستة شدّادات (مستويين يحتوي كلٌّ منها على 3 شدّادات).

نبدأ عادةً بالشدّادات القريبة من القاعدة. إبدأ بشد الشدّادات الثلاثة بشكلٍ معتدلٍ ومن ثمّ افحص شاقوليّة البرج باستخدام ميزان البناء.

ننصحك باستخدام المشدّات المعزقلة Turnbuckles كونها تتيح لك إمكانيّة التعديل لاحقاً.



شكل 15: مشد معزقل يستخدم لشد أسلاك الشدّادات.

5.15. قياس الإجهاد

ينبغي عليك أن تسعى لتحقيق إجهادٍ متساوٍ بين جميع الشدّادات ضمن المستوى الواحد على اعتبارأنّ مراسي الشدّادات متساوية البعد عن قاعدة البرج.

يعتبر مقياس LOOS لقياس إجهاد سلك الشدّاد **(LOOS Guy Wire Tension Gauge)** أحد الأساليب الرخيصة، سهلة الإستخدام والدقيقة لقياس الإجهاد في سلك الشدّاد. يتم تصنيع هذا المقياس من الألومنيوم القاسي المطلي بالأوكسيد وهو مقاومٌ للصدأ وبالتالي يملك عمراً طويلاً. يمكن تعديل سلك الشدّاد (شد / إرخاء) أثناء وجود المقياس على السلك.

تلميحات عامة عن إجهاد الشدّادات

مرر سلكاً منفصلاً أو إحدى النهايات الطويلة الحرّة عبر جميع المشدّات المعزقلة لتجنّب انحلالها مستقبلاً.

مرر سلكاً عبر جميع الحلقات المعدنيّة (بشكلٍ دائريٍّ) تحسبّاً لانكسار أحد المشدّات المعزقلة.

يتغير إجهاد الشدّاد تبعاً لدرجة الحرارة بسبب التمدد والتقلّص. مما يعني أنّه في حال تم الإجهاد البدائي في فصل الشتاء فإنها سيخفّ في فصل الصيف نتيجة تمدد الشدّاد تحت تأثير درجة الحرارة المرتفعة.

6.15. قياس شاقوليّة البرج

ينبغي عليك أثناء شد أسلاك الشدّادات وقياس الإجهاد فيها أن تقوم بقياس شاقوليّة البرج لكي لا تحصل في النهاية على برجٍ شبيهٍ ببرج بيزا Piza[1].

من الوسائل البسيطة لقياس الشاقول استخدام ثقل الشاقول. ثقل الشاقول Plumb Bob هو ثقلٌ مربوطٌ بخيط. يتم ربط هذا الخيط بمركز البرج عند نقطة تثبيت الشدّاد الأول. سيشكّل ثقل الشاقول خطاً شاقوليّاً تماماً (بسبب الجاذبيّة الأرضيّة) مما يتيح تعديل الشدّادات بحيث يتوازى البرج مع خط الشاقول.

إذا أثّرت الرياح على ثقل الشاقول (بحسب وزن الثقل وقوّة الريح) يمكنك وضع دلوٍ من الماء عند قاعدة البرج لتخفيف حركة الثقل.
يمكنك بعد التأكد من شاقوليّة الجزء الأول من البرج متابعة العمل مع الجزء التالي.

[1] تبعد قمّة برج بيزا المائل حوالي 5 أمتار (16 قدم) عن الشاقول. مثالٌ ممتازٌ عن برجٍ غير شاقوليّ!

شكل 16: ثقل الشاقول والذي يستخدم لتعديل الشدّادات لضمان شاقوليّة البرج.

7.15. الشدّادات المؤقتة

ستجد أثناء تركيب بعض الأبراج بأنّ بعض أجزائها (غالبيتها) لا تحتوي على شدّادات لأنّ معظم الأبراج تحتوي على مستويين فقط من الشدّادات. هذا يعني أنّك قد تضطر للعمل مع أجزاءٍ من البرج ترتفع جزئين أو ثلاثة أجزاء عن آخر شدّاد. لا يجد أغلبيّة الناس صعوبةً في تسلّق جزئين (6 أمتار تقريباً) فوق مستوى آخر شدّاد، في حين قد يتمكّن المتسلّقون المهرة من التعامل مع 3–4 أجزاء فوق مستوى آخر شدّادٍ قبل أن تصبح السيطرة على العمليّة صعبةً للغاية. يمكن تجاوز هذه المشكلة باستخدام شدّاداتٍ مؤقتةٍ إلى أجزاء البرج المركّبة بين مستويات الشدّادات. تتم إزالة الشدّادات المؤقتة بعد الإنتهاء من تركيب الشدّادات الدائمة.

ينبغي عليك كقاعدةٍ عامّةٍ استخدام الشدّادات المؤقتة عند التعامل مع جزئين (20 قدم = 6 متر) أو أكثر فوق مستوى آخر شدّاد.

لا ينبغي بالشدّادات المؤقتة تحمّل نفس الإجهادات التي يجب أن تتحمّلها الشدّادات الدائمة. يمكنك السماح باستخدام شدّاداتٍ مؤقتةٍ خفيفةٍ في حال أردت الإنتهاء من تركيب جميع الشدّادات الدائمة في نفس اليوم (وفي حال كانت الأحوال الجويّة ملائمة). أمّا إذا تعذّر عليك إتمام تركيب الشدّادات الدائمة في اليوم نفسه يتوجّب عليك حينها استخدام شدّاداتٍ مؤقتةٍ أكثر قوّةً.

يجب أن تملك المادة المستخدمة في الشدّادات المؤقتة نسبة تمددٍ منخفضةٍ جدّاً (أي صلبة) كالأسلاك الفولاذيّة الخفيفة أو البوليستر المجدول.

16. التسلّق Climbing

من الطبيعي اعتبار تسلّق برجٍ بطول 150 قدماً مهمّةً خطرةً. يتطلّب تسلّق الهياكل المرتفعة **تدريباً** جيّداً **وتجهيزاتٍ** ملائمةً.

ينبغي ألا يتسلّق الشخص غير المتمرس بالتسلّق برجاً يزيد ارتفاعه عن الحد الذي سينجو منه هذا الشخص في حال سقط على الأرض لا سمح الله.

يعتبر لجام المقعد Seat Harness أكثر أحزمة التسلّق أماناً، راحةً ومرونةً. إذا كنت متسلّق أبراجٍ محترفاً عليك الإلتزام بمتطلّبات OSHA للجام واستخدام النماذج التي تحمي ضد السقوط "Fall Arrest". تأتي هذه النماذج عادةً بشكلٍ يمسك الجسم بأكمله.

شكل 17: أ) لجام المقعد Seat Harness ب) لجامٌ يحمي ضد السقوط

المصدر: http://www.klatterochhogfjall.com (الشكل 17أ)

يتوجّب عليك تركيب حزامٍ يلتف حول خصرك ويحتوي على حلقاتٍ لحمل علب التجهيزات.

تلميحات عامة عن تجهيزات التسلّق

إبتعد قدر الإمكان عن الأحزمة الجلديّة التي لم تعد مقبولةً من قبل OSHA، لأنّ الجلد قد يجف ويضعف بشدةٍ.

تأكّد من أنّ ملابس التسلّق التي ستستخدمها مريحةٌ عند الإستخدام لفتراتٍ طويلةٍ لأنّك قد تحتاج إلى العمل فوق البرج لساعاتٍ عدّة.

لا تحاول التوفير عند شراء تجهيزات التسلّق، فالخطأ هنا قد يكون فادحاً، كما أنّك لا تملك سوى حياةٍ واحدةً في هذه اللعبة. عدا عن أنّك ستنجز العمل بشكلٍ أفضل عندما تشعر بالأمان وستستمتع بالوقت الذي ستمضيه في أعلى البرج.

حاول الحصول على تجهيزاتٍ خفيفةٍ قدر المستطاع.

من تجهيزات التسلق الأخرى أيضاً:

- الحبال القصيرة
- Carabiners
- حبال التسلّق

ستحتاج أخيراً إلى ملابس ملائمةٍ للمهمّة كالخوذة الواقية، الأحذية والقفّازات (ولا تنسى الماء أيضاً!).

17. الحماية من الصواعق Lightening Protection

تعتبر الحماية من الصواعق مطلباً أساسيّاً لأي هيكلٍ يرتفع عن سطح الأرض. فالصواعق من ألد أعداء الشبكات اللاسلكية المركّبة ضمن هياكل مرتفعةٍ ويجب تجنّبها قدر المستطاع.

يمكن للصواعق أن تتلف تجهيزات الشبكة اللاسلكية بأسلوبين: الضربة المباشرة والضربة غير المباشرة.

1.17. الضربات المباشرة

يتوجّب تجهيز أبراج الإتصالات بقضيب فرانكلين Franklin Rod والمؤرّض بشكلٍ جيّدٍ عند قاعدة البرج. تفرض القوانين في معظم المناطق تأريض البرج فقط، لكننا ننصح أيضاً بتأريض أسلاك الشدّادات أيضاً.

ينبغي وصل قمّة الصارية مع الأرض بوساطة سلكٍ ذي مقاومةٍ منخفضةٍ غالباً ما يكون نحاسيّاً أو من مواد ناقلةٍ مشابهةٍ. ستحتاج أيضاً إلى مشابك تأريض لربط السلك بالصارية وبنظام التأريض. يحتاج هذا السلك إلى ناقليّةٍ كهربائيّةٍ جيّدةٍ لذلك تأكّد من إزالة جميع الدهانات والصدأ من منطقة تثبيت المشابك. استخدم أيضاً الدهان العازل على وصلات المشابك لتجنّب أيّ نشاط تحليلٍ كهربائيٍّ بسبب وجود معادن مختلفة.

أما إذا ضربت الصاعقة هيكل البرج نفسه (أو التجهيزات) فلن تستطيع عمل الكثير لحماية تجهيزاتك.

2.17. الضربات غير المباشرة

قد تتسبّب التيارات التحريضيّة (الضربات غير المباشرة) الناجمة عن الصواعق المجاورة في إتلاف تجهيزات الشبكة اللاسلكية. يمكن تجنّب هذه المشكلة باستخدام أجهزة الحماية من الإرتفاع المفاجئ للتيار الكهربائي واختيار تجهيزاتٍ لاسلكيةٍ ذات قدرةٍ أكبر على تحمّل تغيّرات التيار الكهربائي. لا يمكن حماية الهوائيّات باستخدام أجهزة الحماية من الإرتفاع المفاجئ للتيار الكهربائي والتي توفّر فقط حماية التجهيزات.

18. التأكسد أو الصدأ Corrosion

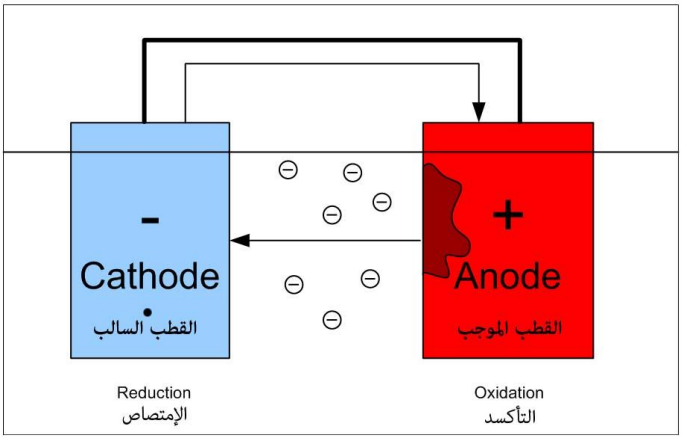
ينتج التأكسد (الصدأ) ضمن مادّةٍ ما بسبب التفاعل الكيميائي مع البيئة المحيطة. لا تقتصر المواد التي تتأثّر بالتأكسد على المعادن بل تشمل أيضاً البلاستيك على سبيل المثال. من البيئات التي قد تسبب التأكسد: الهواء (الأوكسجين)، الماء والمحاليل الكيميائيّة.

يؤدّي التأكسد إلى تدهور مواصفات المادّة وينبغي تجنبّه بأيّ ثمن. من الحالات المعروفة للتأكسد إضعاف الفولاذ نتيجة أكسدة ذرات الحديد.

يمكن اعتبار التأكسد **ميلان المعدن المنقّى للعودة إلى حالته الطبيعيّة**.

يتطلّب نشاط ما يدعى **بخليّة التأكسد Corrosion Cell** توفّر بعض الشروط المعيّنة. تحتاج الخليّة إلى العناصر التالية:

1. قطب موجب Anode (ذو شحنةٍ موجبةٍ).
2. قطب سالب Cathode (ذو شحنةٍ سالبةٍ).
3. مسار للكهرباء (بين القطبين الموجب والسالب).
4. ناقل ينحل بالكهرباء Electrical Conductive Electrolyte.



شكل 18: خليّة تأكسد فعّالة

المصدر: IT +46

يعود سبب تشكّل خليّة التأكسد إلى **فرقٍ محتملٍ** (في الكمون الكهربائي Voltage) بين القطبين الموجب والسالب. تنشأ خليّة التأكسد عند توفّر الشروط الأربعة المذكورة آنفاً (راجع العناصر 1–4 أعلاه).

عند توصيل القطبين الموجب والسالب يكون القطب الموجب مشحوناً بشحنةٍ موجبةٍ والقطب السالب مشحوناً بشحنةٍ سالبةٍ. تتحرك الإلكترونات Electrons أثناء التأكسد من القطب الموجب إلى القطب السالب. يحدث **التأكسد Oxidation** عند القطب الموجب في حين يحدث **الإمتصاص Reduction** عند القطب السالب.

يعني التأكسد انبعاث الإلكترونات مما يضعف المادّة عند القطب الموجب، أمّا الإمتصاص فيعني ضم الإلكترونات إلى المادّة.

تلعب الرطوبة المتشكّلة بنتيجة الأمطار أو الهواء الرطب دور المادّة الناقلة وبالتالي تتسبب في بدء التأكسد. يمكن للأوكسجين أيضاً أن يسهم في عمليّة التأكسد.

قد يتسبب تأكسد مراسي الشدّادات أو القواعد بأخطارٍ جمّةٍ لا تنحصر بالخسائر الماديّة بل تتعدّاها إلى الحوادث المؤلمة التي قد تؤذي بعض الأشخاص. يمكن التخلّص من مشكلة التأكسد أو تقليصها على الأقل بالإنتباه إلى هذه المخاطر أثناء بناء البرج واستخدام أساليب ملائمة لتجنّب التأكسد.

من الضروري أيضاً صيانة البرج بعنايةٍ وبشكلٍ دوريٍّ.

1.18. تجنّب التأكسد

تتطلّب عمليّة التأكسد في هياكل الأبراج توفّر العنصرين التاليين:

- الأوكسجين (أو المعادن غير المتماثلة).
- المادّة الناقلة (سائلٌ يحتوي على أيونات Ions حرّة مثل المياه المعدنيّة).

تستهدف آليّات تجنّب التأكسد المستخدمة حاليّاً هذين العنصرين.

1.1.18. مركّب مقاومة التأكسد Antioxidant Joint Compound

يمكن تجنّب التأكسد باستخدام مركّبٍ مقاومٍ للتأكسد Antioxidant Joint Compound لحماية المعادن من الرطوبة.

يحتوي مركّب مقاومة التأكسد الجيّد على مكونين:

- جزيئات معدنيّة دقيقة (زنك أو نحاس).
- دهان جيّد (ذو أساسٍ سيليكونيٍّ أو بتروليٍّ).

سيقوم الدهان بتجميع الجزئيات المعدنيّة ولصقها بسطح المعدن لمنع تسلل الأوكسجين والرطوبة.

2.1.18. حماية القطب السالب Cathodic Protection

يمكن أيضاً تجنّب التأكسد باستخدام "حماية القطب السالب" والتي تستثمر عمليّةً معروفةً تحدث في خليّة التأكسد لتجنّب آثاره السلبية.

تعتبر حماية القطب الكهربائي الموجب إحدى أساليب حماية القطب السالب اعتماداً على فكرة **التضحية بالقطب الموجب Sacrificial Anode**. يتم لتجنّب التأكسد في مراسي البرج لصق القطب الموجب الضحيّة بدعائم المرساة.

ينبغي أن تكون المادّة المستخدمة في القطب الموجب الضحيّة ذات ترتيبٍ أعلى في سلم الناقليّة الكهربائيّة Galvanic Series[1] من ترتيب المعدن المراد حمايته. هكذا سيتأكسد القطب الموجب (من هنا أتت تسمية الضحيّة) عوضاً عن المرساة أو أجزاء البرج. تصنع هذه الأقطاب عادةً من الماغنيزيوم Magnesium أو الزنك Zinc.

لا تتأثّر عمليّة التأكسد بالمواد المستخدمة لتصنيع الأقطاب الموجبة والسالبة وحسب، بل تتأثّر أيضاً وبشدّةٍ بالعلاقة بين أحجام هذين القطبين.

- ستكون **خليّة التأكسد** عندما تكون مساحة **القطب السالب كبيرةً** جدّاً بالنسبة إلى مساحة القطب الموجب **أكثر حدّةً** وبالتالي ستتدهور خصائص القطب الموجب بسرعةٍ أكبر.
- ستقل تأثيرات التأكسد بشكلٍ كبيرٍ إذا كان حجم **القطب الموجب أكبر** بكثيرٍ بالنسبة للقطب السالب وبالتالي سيتباطئ تدهور خصائص القطب الموجب.

بما أنّ القطب الموجب الضحيّة مصممّ أساساً لكي يتأكسد لا بدّ من تبديله بشكلٍ دوريٍّ.

راجع الوثيقة "استيعاب وتجنّب فشل الأبراج المشدودة نتيجة تأكسد أعمدة التثبيت Understanding and Preventing Guyed Tower Failure Due to Anchor Shaft Corrosion" للمزيد من المعلومات عن التأكسد في الأبراج.

19. الصيانة Maintenance

ينبغي تفقّد حالة البرج مرتين على الأقل سنويّاً. يجب أن يشمل الفحص على الأقل ما يلي:

- التأكّد من أنّ جميع التجهيزات مثبّتةٌ بشكلٍ جيّد.
- التأكّد من قيمة الإجهاد في أسلاك الشدّادات.
- البحث عن الصدأ. في حال اكتشاف أماكن متصدئة أزل هذه الأجزاء وادهن مواقعها بشكلٍ جيّدٍ.

[1] يتم ترتيب المعادن في سلّم الناقليّة الكهربائيّة (ترقيمها) تبعاً لنسبة ناقليتها بالنسبة للمعادن الأخرى.

20. الخلاصة

يتطلّب بناء برجٍ للإتصالات الكثير من التخطيط، توفّر أشخاصٍ ذوي خبرةٍ في هذا المجال بالإضافة إلى توفّر الأدوات الملائمة. إنّ إهمال أيٍّ من هذه العناصر سيؤثّؤ سلباً على جودة البرج.

لإطالة عمر البرج أو الصارية لا بدّ من بناء "قاعدةٍ" عالية الجودة. قد يؤدّي عدم إيلاء العناية المطلوبة لمرحلة بناء القاعدة إلى حوادث كارثيّة قج لا تقتصر نتائجها على الخسائر الماديّة بل قد تعرض أرواح الناس للخطر.

لقد وضعت جمعيّة صناعة الإتصالات Telecommunications Industry Association (TIA) مجموعةً من المعايير تتعلّق ببناء الأبراج:

- معيار " المعيار الهيكلي لأبراج الهوائيّات الفولاذيّة والهياكل الداعمة للهوائيّات Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures (ANSI/TIA 222-F-1996)" والذي يحدد المتطلّبات الدنيا لتوصيف وتصميم أبراج الهوائيّات الفولاذيّة والهياكل الداعمة للهوائيّات.
- معيار "المعيار الهيكلي لتركيب الهوائيّات والهياكل الداعمة للهوائيّات Structural Standards for Installation of Antenna and Antenna Supporting Structures (TIA/EIA-PN-4860-Gin Poles)" وهو معيارٌ آخر يهدف إلى تحسين سلامة العاملين في بناء الأبراج.

ننصحك بشدّةٍ أن تحصل على نسخةٍ من هذه المعايير عند التخطيط لبناء هيكل برجٍ أو صاريةٍ ما.

يمكن تلخيص الأمور الخمس الرئيسية التي ينبغي عليك تذكرها من هذه الوحدة بما يلي:

1. إختر نوع البرج إعتماداً على حمل الهوائي، مساحة القاعدة، الإرتفاع المطلوب والميزانيّة الماليّة.
2. تعتبر القاعدة عالية الجودة أساسيّةً لضمان سلامة الأبراج ذات العمر الطويل.
3. يترافق العمل في الأماكن المرتفعة مع الكثير من المخاطر. حاذر من محاولة التوفير عند شراء التجهيزات المتعلّقة بالسلامة. استخدم التجهيزات الجيّدة لتبقى في جهة الأمان.
4. تأكّد من توفّر الوقت الذي ستحتاجه، لأنّ الضغط والإجهاد قد يفضيان بك إلى ارتكاب أخطاءٍ باهظة التكاليف.
5. تذكّر على الدوام مخاطر التأكسد وحاول تجنّبها قدر المستطاع. حاول أيضاً القيام بفحوصاتٍ دوريّةٍ بحثاً عن التأكسد أو أيّة عيوبٍ أخرى.