المقدمة

لاقى نظام البلاطات اللاحقة الشد إقبالا واسعا السنوات الفائتة واصبح خيارا مثاليا للعديد من المطورين العقاريين والجهات الحكومية وذلك لتوفيره الوقت والمال ولتوفيره حلولا معمارية تعطي المهندسين المعماريين مرونة أكبر في تصميم مساحات واسعة بدون أعمدة.

النظام الانشائي للعناصر اللاحقة الشد من السهولة كأي نظام انشائي اذا ما استطعت استيعاب كيفية عمل كل جزء وما هي الحدود التي تقيده وماهي علاقة كل جزء بالاجزاء المحيطة به والمواد المتداخله معه وفي تكوينه والاعتبارات التي يجب أن تستوعبها أثناء التصميم والتنفيذ ، وبهذا تستطيع أن تنفذ النظام بكل اريحيه وتستنتج ايضا الطريقة الصحيحة لحل اي مشكلة تستجد أمامك ، فالمهندس الحقيقي هو الذي يستطيع استنباط الحقائق ودراسة الظروف وفهم الفكرة الهندسية لعمل أي نظام ، فما يميز المهندس الكفؤ هو قدرته على حل أي مشكلة قد تواجهه اثناء التنفيذ وتلافي حدوثها أثناء التصميم ، فلا تخلو المنشآت من المشاكل الهندسية ، فهدفنا ليس فقط معرفة طريقة تطبيق النظام ولكن الهدف الاسمى هو استيعابه وتخيل طريقة عمله والإحساس به حتى تتغلب على التحديات التي قد تواجهك أثناء التنفيذ والتصميم.

سيكون تركيزنا في هذا الكتيب على فهم واستيعاب طريقة عمل نظام البلاطات اللاحقة الشد المحقونة (Bonded post tension slabs) ، وسنسرد تفصيليا اجزاء النظام ومهمة كل جزء وطريقة عمله والاختبارات التي تجرى عليه ، وبالطبع سنذكر جميع خطوات التنفيذ الصحيحة والتي تضمن الحصول على أعلى جودة مرجوة والحيود التي لايمكن تجاوزها ، واخيرا وليس اخرا سنتطرق للمشاكل الموقعية التي من الممكن أن تحدث ونحلل كل مشكلة لفهم متعمق اكبر للنظام والطريقة المثلى لحلها ، وفي النهاية سنوضح طريقة عمل أي فتحات مستجدة في البلاطات اللاحقة الشد بالطريقة الآمنة السليمة التي تضمن سلامة المنشأ . هذا والله الموفق,,,

م / محمد حسنين محمود

الفصل الأول : النظرية الهندسية واساسيات تصميم البلاطات اللاحقة الشد :

❖ تعريف عام بنظام العناصر اللاحقة الشد ومميزاتها والنظرية الهندسية للنظام :

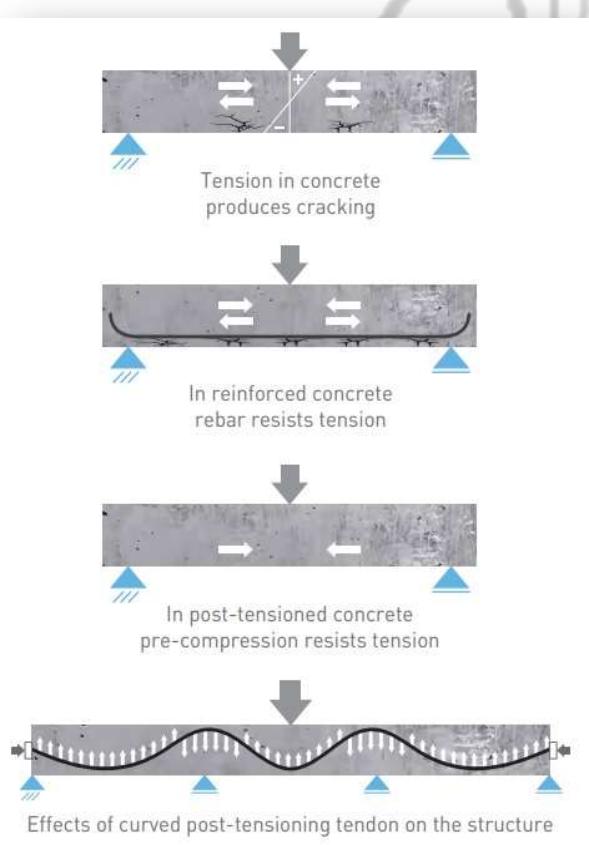
فوائد نظام العناصر اللاحقة الشد

- يقلل التشققات الداخلية بالخرسانة وبالتالي يقلل من عمل الفواصل الإنشائية بالمبنى حيث يمكن أن يتم عمل السقف بمسافات تصل إلى 75 متر طولي أو أكثر في كلا الاتجاهيين دون الحاجة إلى فواصل إنشائية ، ومن ناحية أخرى قلة التشققات الداخلية تزيد من العمر الإجمالي للمنشأ ، حيث إن من العوامل الأساسية لتصدع المنشآت والتي تتحكم في عمرها الافتراضي هو التشققات الداخلية للخرسانة على المدى الطويل مع مرور الزمن وهذا ما تعالجة وتقلل منه الانظمة التي تعتمد على شد العناصر الانشائية.
- يقلل من سمك العناصر الإنشائية للمبنى مقارنة بما إذا تم تصميمها بالأنظمة الاخرى لتتحمل نفس الأحمال التشغيلية المطلوبة ، وبالتالي يقلل من حجم الخرسانة والمواد المستخدمة في المنشأ بصفة عامة.
- تزيد السماحية لزيادة المسافة بين الأعمدة والكمرات بدون الحاجة لزيادة حجم الخرسانات بالمنشأ.
- يقلل من نسبة الحديد الصلب المستخدم في العناصر الانشائية مما يقلل من التكلفة النهائية للمنشأ.

نظرة عامة لفائدة النظام على البيئة

مما سبق نستنتج أن الأنظمة التي تعتمد على شد العنصر الانشائي بصفة عامة تقلل من استخدام المواد والخامات وبالتالي يقلل من استخدام العمالة فتقل بذلك الانتقالات من وإلى المشروع لنقل الأفراد والمواد والخامات المستخدمة وإذا نظرنا إلى النظرة الشمولية فإنه يقلل من التلوث العام للنظام البيئي فتقليل الخامات يقلل من المواد التي تستهلك مع الزمن وتقليل الانتقالات يقلل من الانبعاثات الضارة بالبيئة ، وبالطبع هذه النظرية ستتحقق وتأتي بثمارها إذا ما استخدم هذا النظام على نطاق واسع ومع عدد كبير من المنشآت وستظهر نتائجها على المدى الطويل .

❖ النظرية الهندسية للنظام



في نظام الخرسانة المسلحة المعتاد يعتمد النظام على أن القطاع الخرساني يتحمل قوى الضغط ويتم وضع حديد التسليح في القطاع لتحمل قوى الشد الناتجه عن الاحمال على المنشأ الخرساني حيث انه من المعروف ان مادة الخرسانة ذات كفاءة عالية لتحمل احمال الضغط ، و مادة حديد التسليح ذات كفاءة عالية في تحمل قوى الشد .

في نظام الخرسانة اللاحقة الشد يعتمد النظام على تعريض العنصر الخرساني لقوى جانبيه موازية لمحور القطاع ، وذلك عن طريق وضع **(Strands)*** في قلب العنصر الخرساني والقيام بشدها بعد عملية صب الخرسانة وبعد عملية الشد تتولد قوى ضغط أفقية نتيجة الضغط من الجانبين وقوى رأسية داخل الـ(Strands) تعاكس الاحمال المعرض لها العنصر فيحدث الاتزان ، وتتولد هذه القوى الرأسية نتيجة لأن الـ(Strands) تحت قوى الشد تحاول أن تعود الى وضعها الاصلي وهو محور الشد على جانبي العنصر ، فأكثر نقطة انخفاضا في المنحنى تحاول الصعود لأعلى وأعلى نقطة تحاول النزول لأسفل وبسبب أن منحنى الـ(Strands) مغلف بالخرسانة لاتتحرك ايا من النقاط من مكانها ولكنها تولد قوى معاكسة لاتجاهها ومن هنا تتولد القوى الداخلية بالخرسانة ، ويتم تركيب الـ(Strands) على شكل منحنى (Parabolic) حيث يعطي هذا الشكل أكفأ توزيع للاحمال المعاكسة للأحمال التشغيلية المعرض لها العنصر ، وبهذا تزيد قوى التحمل للخرسانة وتقل الشروخ الداخلية للعنصر الخرساني .

*(**Strand**) عبارة عن جديلة من الحديد المقوى تمثل لب النظام وسيتم شرحها لاحقا.

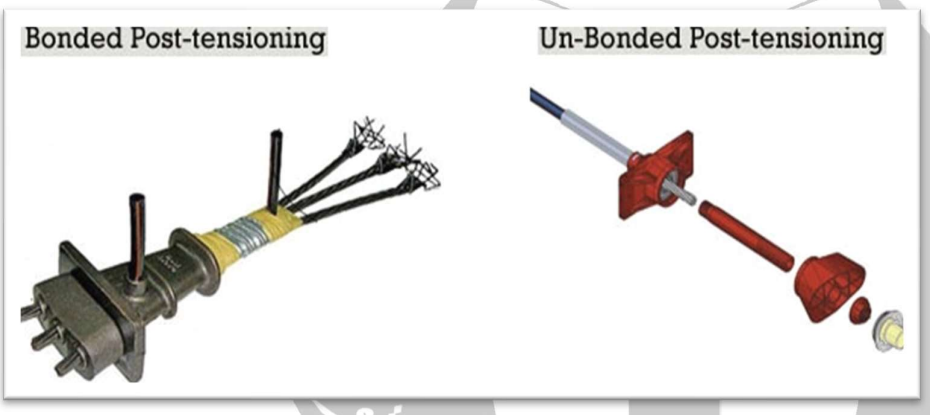
❖ انواع انظمة الشد اللاحق (Post tension systems):

تتلخص انظمة بلاطات الشد اللاحق في ثلاث انظمة طبقا لمكان وضع الـ(Tendons) و هل سيتم حقن النظام باستخدام الـ(Grout) ام لا وهي كالاتي :

- **نظام البلاطات اللاحقة الشد الغير محقونة (Unbonded post tensioning system):**

في هذا النظام يتم اجراء عملية الشد للـ(Strand) بعد صب الخرسانة وتكون مغلفة بمادة تحمي الـ(Strand) من عملية التآكل ، ولايتم حقن الـ(**Duct**)** الذي يغطي الـ(Strand) في هذا النظام ، وفي الغالب يحتوي الـ(Duct) على (Strand) واحد فقط .

- **نظام البلاطات اللاحقة الشد المحقونة(Bonded post tensioning system):**



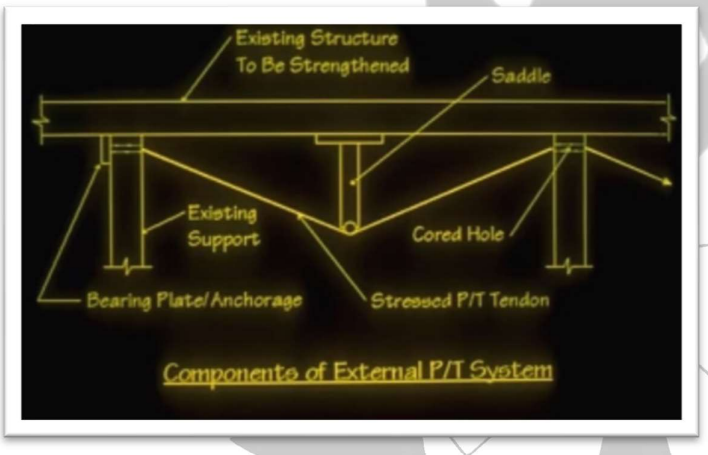
في هـذا النظـام يتم اجراء عملية الشـد بعد صـب الخرســـانـة ويتم حقن الـ(Ducts) باستخدام مونة مخصـــصـــة لهذا الغرض ســيتم شــرحها لاحقا و التي تضمن نقل قوى الشد بالـــ(Strands) الى العنصر الخرساني بأعلى كفائة وتوفر حماية للـ(Strands) من عوامل التآكل .

(Duct**) عبارة عن غلاف خارجي يغطي الـ(**Strand**) وسيتم شرحه لاحقا.

- **نظام البلاطات اللاحقة الشـــد الخارجية (External post tensioning system):**

External post tensioning system

يستخدم هذا النظام عادة في صيانة المنشأت أو اعادة دعم المنشآت التي تحتاج الى تغيير في حجم الاحمال التشغيلية ، كأن نزيد الطاقة الاستيعابية لموقف سيارات متعدد الطوابق ليتحمل عدد اكبر من السيارات او لتغيير استخدام منشأ ما ليتحمل احمال اكثر مما هو مصمم عليها ، وفي هذا النظام يتم تركيب الـ(Strands) خارج جسم المنشأ الخرساني لتدعيم المنشأ في المناطق الحرجة كما هو موضح بالصور.



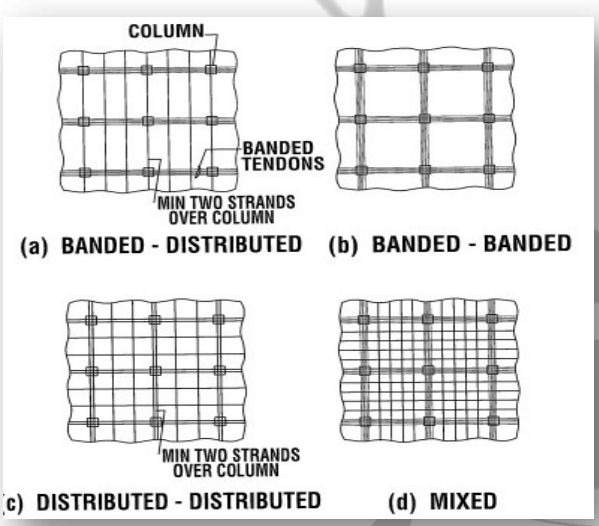
وسنسترسل في فهم نظام البلاطات اللاحقة الشد المحقونة (Bonded post tensioning slab) وطريقة تنفيذ النظام كاملا .

❖ **الطرق المختلفة لتوزيع الـ(Tendons)* في البلاطات اللاحقة الشد :**

تتنوع طرق توزيع الـ(Tendons) في البلاطات اللاحقة الشد وتتلخص في الاتي :

*(**Tendon**)هو مصطلح يطلق على الوحدة الكاملة المكونة من الـ(**Strand**) والـ(**Duct**) والاطراف الحية والميتة للمسار وسيتم شرحها لاحقا.

- (Banded tendons in both directions)
- (Distributed tendons in both directions)
- (Banded in direction and distributed in the other direction)
- (Mixed banded and distributed in both directions)



هناك العديد من الاسباب التي تحدد طريقة التصميم واستخدام أحد هذه الانظمة الاربعة ، أسباب تصميمية واقتصادية وتنفيذية ، الاحمال التشغيلية للمبنى والمسافة بين الاعمدة وعامل الوقت وطريقة التنفيذ التي تتناسب مع المقاول المسؤول عن أعمال التنفيذ التي تضمن كفاءة النظام مع الاخذ في الاعتبار التكلفة لكل نظام ، لايوجد نظام توزيع اكفأ من الاخر ولكل مبنى حالته وظروفه التي صمم على اساسها ، ولكن في الكود الامريكي (ACI-318,1995) نظام الـ(Banded tendons in both directions) غير مصرح به وذلك بسبب مشاكل تنفيذية حيث تتلاقى اعلى واقل نقطة للـ(Tendons) مع بعضها البعض في الاتجاهين ، واكثر نظام مفضل من هو (Banded in direction and distributed in the other direction) ، وذلك بسبب ان النقاط لاتتلاقى في معظم السقف الا في اماكن الركائز (Supports) فوق الاعمدة ، وفي المجمل تعطي الاربعة انظمة وعن طريق توزيع الـ(Tendons) بطريقة تغطي الاجهادات الناتجة عن الاحمال التشغيلية للمنشأ نفس التصميم الآمن الذي يضمن بقاء المنشأ لاطول فترة ممكنة.

هناك بعض الشروط لابد أن تتواجد اثناء التصميم بهذه الانظمة ، اقصى مسافة بين الـ(Tendons) هو 8 مرات سمك البلاطة او 1.5 م ايهما اقل ،ولا يشترط هذا في نظام (Banded system)

، واقل مسافة بين الـ(Tendons) تكون أكبر من مجموع عرض الـ(Tendon) الواحد ومجموع عروض الاسياخ بين كل (Tendon) والاخر كما هو موضح بالشكل ، من الشروط الاخرى هو الا يقل عدد الـ(Tendons) فوق الـ(Supports) عن 2 وبحيث يحتوى كل (Tendon) عدد 1 (Strand) على الاقل وذلك في كلا الاتجاهين للمبنى وذلك طبقا لاشتراطات الكود الامريكي (ACI-318) .

الفصل الثاني:مكونات نظام البلاطات اللاحقة الشد المحقونة (Components of bonded post tension slabs) :

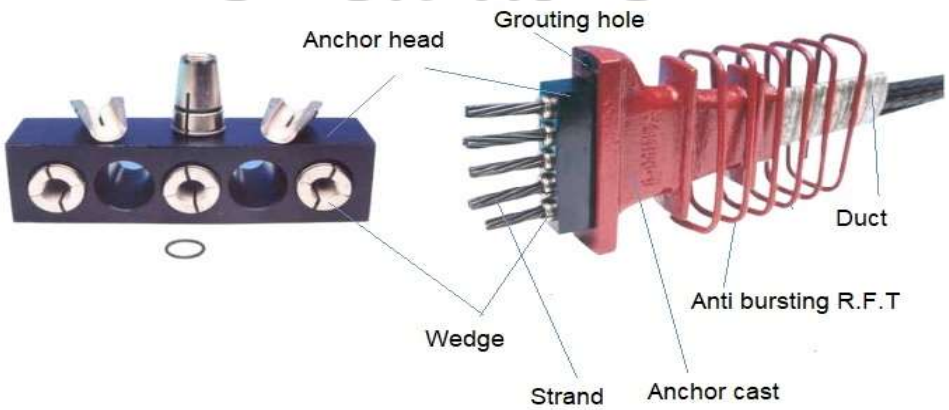
❖ **العناصر المكونة للنظام والاختبارات الخاصة بها:**

- **(Anchor head or anchor block)**

وهو جزء يتكون من الحديد الزهر ومهمته الاساسية هي نقل الاحمال نتيجة لاعمال الشد الى الخرسانة ويصنع من الحديد الزهر العالي المقاومة ومصمم ليتحمل اجهادات تصل الى 95 % من الاجهاد الحقيقي للخضوع مع أننا في عملية الشد لانصل الى هذه القيم الى انه يصمم ليتحمل هذه الاجهادات كمعامل امان فقط .

- **(Anchor cast)**

ينقل الاحمال من الـ(Anchor head) الى الخرسانة ويصنع من الحديد الزهر وينقل الاحمال الى المنطقة المحلية (local zone) ويتم تسليح هذه المنطقة بحديد اضافي ليضمن تحمل القوى القادمة من الـ (Anchor head) .



➢ الاختبارات التي يتم اجراؤها على الـ(Anchor head & Anchor cast) طبقا لـ(ASTM E 1999)

يتم اجراء هذه الاختبارات للتأكد من أن المادة المصنوعة منها هي الحديد الزهر وهناك ثلاثة اختبارات يجب تقديمها عند اعتمادها وهي :

- **(اختبار التحليل الكيميائي Chemical composition)**

وفيه تحدد نسبة كل المكونات الداخلة في تركيب العينة ويتم مطابقتها بالنسب القياسية للحديد الزهر.

- **(اختبار الصلادة Hardness measurements)**

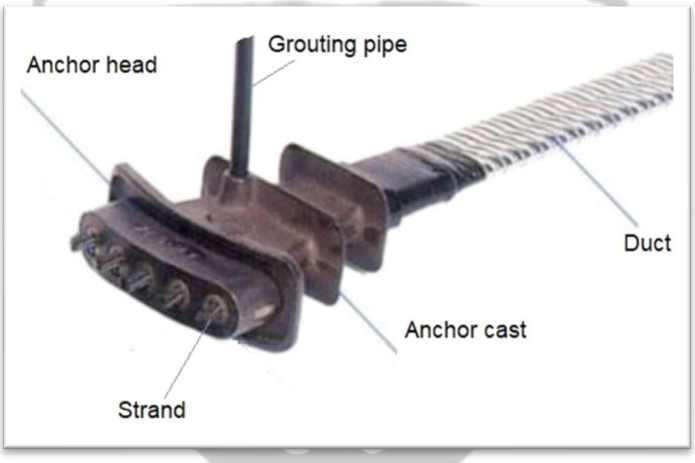
وفيه يتم قياس مدى صلادة العينة ويتم مقارنتها بقيم الصلادة الدنيا التي يجب أن يتحملها الحديد الزهر.

- **(اختبار البنية المجهرية Micro structure investigation)**

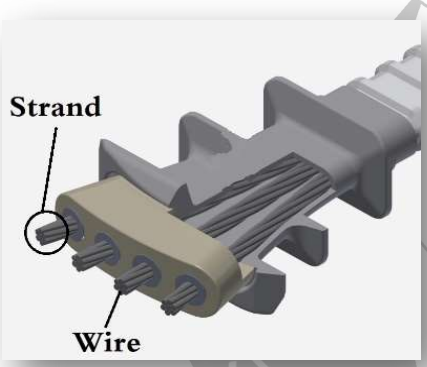
وفيه يتم وضع العينة تحت المجهر لمعرفة نمط البنية التركيبية لها والشكل الفيزيائي للجزيئات تحت المجهر ومقارنتها بما يجب أن تكون عليه في حالة الحديد الزهر .

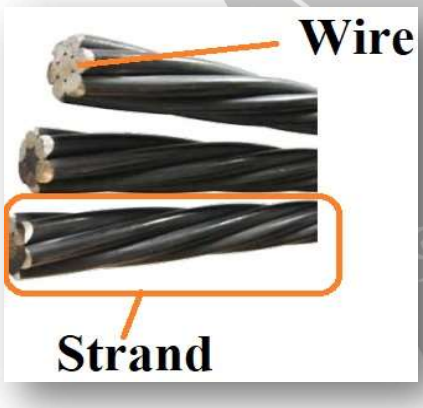
يتم ادراج نتائج هذه الاختبارات مرة واحدة فقط عند تقديم النظام للاعتماد ويتم عمل هذه الاختبارات دوريا حسب ما تقتضيه الحاجة وما تم التعاقد عليه وطلبات المهندس المشرف .

ملحوظة : يطلق على الـ(Anchor head & Anchor cast) معا النهاية الحية (Live end) وهي التي نقوم بشد الـ(Strands) منها ويتم تصميم كلا منهم تحمل قوى تصل الى 95 % من الإجهاد الحقيقي للخضوع وذلك كمعامل أمان .



- **(Strands, wires, tendon)**





فلنتعرف بداية على الفرق بين الـ(Wires) و الـ(Strands) والـ(Tendons)

الـ(Wire) هو السيخ الحديدي الذي يمثل لب النظام باكمله ويختلف قطره من نظام لاخر والحزمة منه تعطي جديلة من الحديد والتي يطلق عليها الـــــ(Strand) وتتكون الحزمة مابين 3 وحتى 7 من(Wires)، يوضـــع هذا الـــــ(Strand) في داخل الـ(Duct) ويتصل الـ (Duct) في نهايته بالـ (Anchor cast) ، ويطلق على المجموعة كاملة والتي تتكون من الـــ (Wire) و الـــ(Strand) والـــــ(Duct) والـــــ(Anchor) بمصـــطلح الـ (Tendon).وتأتي الـ(Strands)في شكل (Coils) وهي

البكرة أو اللفة من الـــــــ(Strands) ، حيث أنها تأتي في شـــكل لفات بأطوال تصـــل الى 100 متر طولي أو أكثر حسب المورد للـــ(Strands) ، اكثر الحالات شيوعا في الاستخدام في هذا النظام هو الـ(7 wire strand) اي ان يكون الـــ(Strand) حزمة مكونة من 7 (Wires) ويأتي بأقطار وخصـائص مختلفة ولكن كلها يجب أن تحقق المواصفات القياسية طبقا لـ(ASTM A 416) وأكثر الانواع شـــيوعا في الاســـتخدام خصـــائصـــة كالاتي : ASTM – A 416 Grade 270- low) relaxation steel with minimum ultimate strength 270 ksi (1860Mpa)) ، أي انه يجب ان يكون من الحديد الصـــلب المعالج الذي يحقق حد ادنى من المقاومة القصوى 1860 ميجا باسكال ، و الحديد يحقق فقد في الاستطالة بما لايزيد عن 2.5 % عند 70% من قوة الشـــد النهائية و 3.5 % عند 80 % من قوة الشـــد النهائية طبقا لاشتراطات الـــ(ASTM A416) للحديد الـــ(Low relaxation steel) والذي اصبح هو الحديد الشائع المستخدم بدلا من الـ(Normal relaxation steel) والذي اصبح من النادر استخدامه في نظام البلاطات اللاحقة الشد ، وفائدة استخدام هذا الحديد انه يقلل من النسبة الاجمالية للفاقد في استطالة الـ(Strand) نتيجة محاولة الحديد العودة الى شكله الاصلي ، وعند اجراء عملية الشد على الـ(Strands) يتم الشد حتى 80 % من اجمالي الـــ(MUTS- minimum ultimate tensile strength).

➢ الاختبارات التي تجرى على الـ(Strands) طبقالـ(European assessment document –EAD–160004–00–301(Annex c))

- (Yield strength)
- (Tensile strength)

Strand Type	Standard	Strand Size	F_{pk}	Nominal ø	Cross Section	Weight	Min. Breaking Load F_{pk}	Relaxation 1000h at 70% of F_{pk}	% Proof Force
		mm	Mpa	mm	mm²	kg/m	kN	%	kN
12.7mm (0.5")	AS 4672	12.7	1870 MPa	12.7	98.6	0.774	184	2.50%	156*
	BS 5896:1980	12.9	1860 MPa	12.9	100	0.785	186	2.50%	158*
	prEN 10138-3	12.9	1860 MPa	12.9	100	0.781	186	2.50%	164*
15.2mm and 15.7mm (0.6")	AS 4672	15.2	1830 MPa	15.2	143	1.122	261	2.50%	222*
	BS 5896:1980	15.7	1770 MPa	15.7	150	1.180	265	2.50%	225*
	prEN 10138-3	15.7	1860 MPa	15.7	150	1.172	279	2.50%	246*

Types of strands

➢ الاختبارات التي تجرى على الـ(Strands) طبقا لـ((ISO 15630–1:2010(E))

- (Tensile test).
- (Bend test).
- (Rebend test).
- (Axial force fatigue test).
- (Chemical analysis).
- (Measurement of the geometrical characteristics).
- (Determination of the relative rib or indentation area (fR or fP)).
- (Determination of deviation from nominal mass per meter).

جميع الاختبارات تقدم مرة واحدة عند اعتماد المصدر و يتم اجراء اختبار الـ(Tensile test) والـ(Chemical analysis) دوريا على شحنات الـ(Strands) الموردة للموقع بحيث يتم أخذ عينه عشوائية من أي (Coil) بطول متر لكل اختبار لاجراء الاختبارات اللازمة عليها وتكون الاختبارات كل 30 طن أو كما يتم الاتفاق عليه بالتعاقد وكما يرى المهندس المشرف .

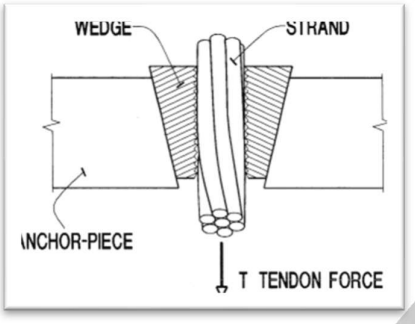
Coils of strands

- **(Wedge)**

وهو عبارة عن مخروط من الحديد الصلب ، سطحه الداخلي مجعد بطريقة معينة لاتسمح بانزلاق الـ(Strands) يكون بقطر الـ(Strand) يستخدم لمسك الـ(Strand) بعد الشد من النهاية الحية (Live end) حتى لايعود لو ضعه الاصلي يعمل كمانع لانزلاق الـ(Strand) لداخل الـ(Duct) ، ويقوم بنقل القوى الجانبية الناتجة عن عملية الشد للـ(Strands) الى الـ(Anchor head) ، وفي النظام المحقون (Bonded ducts) يكون الـ(Wedge) بمثابة الركيزة على وضعية شد الـ(Strands) وذلك حتى نقوم بعملية الحقن ، بعد عملية حقن الكابلات تتماسك الـ(Strands) مع المونة المحقونة بداخل الـ(Duct) ويعتمد نقل القوى الداخلية على الرابط بين المونة المحقونة والـ(Duct) وتنتقل للخرسانة المحيطة بها ، وتقل قوى الشد المعرضة على الـ(Wedge) بنسبة كبيرة .

➢ الاختبارات التي تجرى على الـ(Wedges) طبقا لـ(European assessment document –EAD–160004–00–301(Annex c)):

- (Core hardness)
- (Surface hardness)
- (Hardness distribution)
- (Surface roughness)



يتم ادراج نتائج هذه الاختبارات مرة واحدة فقط عند تقديم النظام للاعتماد ويتم عمل هذه الاختبارات دوريا حسب ما تقتضيه الحاجة وما تم التعاقد عليه وطلبات المهندس المشرف .

▪ (Ducts)

Galvanized duct

عبارة ماسورة قطاعها العرضي يأتي على شكلين الشكل الدائري والشكل المسطح ك ما بالصور ، تأتي بطول 6م من معظم الموردين وقد تختلف من مورد لآخر ، وفي نظام البلاطات اللاحقة الشد يستخدم الشكل المسطح ، ووظيفة الـ(Ducts) الاساسية هي حماية الـ(Strands) من العوامل الخارجية اضافة الى انها تشكل رابطا بيت الخرسانة ومادة الملئ (Grout) التي تحقن بداخلها وتغلف الـ(Strands).

المواد التي تصنع منها الـ(Ducts)

Plastic ducts

تصنع الـ(Ducts) من الحديد المجلفن (Galvanized metal steel) او البلاستك المقوى بنوعيه الـ(HDPE-high Density polyethene) بكثافة لاتقل عن 0.941 جم/سم2 و (pp-polypropylene) ، وتكون ذات سطح مجعد (Corrugated) حتى تزيد مقاومة الاحتكاك ويزيد التماسك مع الخرسانة ، ويراعى عند التنفيذ عدم تعريضها لاي صدمات قد تسبب خرقا للسطح ويراعى الا يتم عمل منحنيات شديدة في المسارات الطويلة والعرضية مما قد تزيد قوى الاحتكاك بين الـ(Strand) والـ (Duct) ، وفي حالة استخدام الـ(Galvanized metal steel) يجب عند صب الخرسانة الا يتم الصب من ارتفاع عالي والا يتم تعريض الـ(Duct) للاهتزاز المباشر اثناء عملية هز الخرسانة بالـ(Vibrator) حتى لاتحدث نتوءات او ثقب بالصاج ، ويتم تثبيتها فوق الكراسي التي تم وضعها مسبقا بمسافة بين الكراسي لاتزيد عن 1.22م (4 قدم) ، وهذه المسافة متغيرة على حسب نوع مادة الـ(duct) المستخدم فتقل المسافة بين الكراسي في حالة استخدام البلاستك المقوى بنوعيه الـ(HDPE-high density polyethene) و (pp-Polypropylene) كما هو موضح بالجدول ، في اماكن وصل الـ(Ducts) يتم تقطيع وصله من جسم الـ(Duct) طولها لايقل عن 20 سم يتم وضعها فوق مكان وصل الـ(Ducts) ببعضها و يراعى عند تركيبها الا تكون الوصلات على استقامة واحدة وتكون بنظام السابق واللاحق

Recommended Maximum Spacing of Duct Supports

Type of Duct	Maximum Support Spacing
Galvanized metal round duct	4 ft (1.22 m)
HDPE round duct (no strands installed in duct prior to placing concrete)	2 ft (0.61 m)
HDPE flat duct (strand installed in duct)	2 ft (0.61 m)
HDPE flat duct (no strands installed)	1 ft (0.305 m)

، والا يتم عمل الوصلات عند اعلى واقل نقطة في الـ(Tendons) ، ويجب ان تركب بطريقة سليمة حيث ان وظيفتها الاساسية هي منع تسرب مادة الحقن من الداخل الى الخارج وايضا منع تسرب المياه المخلوطة بالاسمنت من الخلطة الخرسانية الى داخل الـ(Duct) اثناء عملية الصب حيث ان تسربها يزيد من الاحتكاك الداخلي بين الـ (Strands) وبالتالي تقل كفائة الشد وقد لاتصل الى الاستطالة المطلوبة عند عملية الشد وكلما اهتممنا بطريقة تركيب هذه الوصلات زادت كفائة الشد وبالتالي تزيد من كفائةالنظام كاملا ليدوم المنشأ لفترات اطول ، ويختلف مقاسه الداخلي حسب احتياجات التصميم فياتي بقاسات ((20x50) مم ، (20x70) مم ، (20x90) مم) .

Recommended Tolerances for Ducts

Position	Location	Tolerance
Vertical	Slabs; longitudinal draped superstructure tendons over supports; superstructure tendons in top or bottom of member	¼ in. (6 mm)
	Draped superstructure ducts in middle half of web depth; vertical ducts in webs	1 in. (25 mm)
	Horizontal ducts in foundations; vertical tendons in pier shafts	½ in. (13 mm)
Lateral	Ducts in slabs or foundations	½ in. (13 mm)
	All other conditions	¼ in. (6 mm)

واقصى ازاحات مقبوله قد تحيد عن المكان التصميمي المفترض للـ(Duct) والذي يمثل المسار و جسم الـ(Tendon) هو ازاحه رأسية قدرها ¼ in (6 مم) ، وازاحه افقية قدرها ½ in (13مم) ، وبالنسبة لاقصى مسافة مسموحة بين الـ(Tendons) هي طبقا للكود المصري هي الاصغر من (6 ts) اي ستة مرات سمك البلاطة او 1.5 م ، واقصى مسافة مسموحة بين الـ(Tendons) طبقا للكود الامريكي هي الاصغر من (8ts) اي ثمانية مرات سمك البلاطة او 1.5 م ، ويجب ألاتقل المسافة بين مسارين متتاليين من الـ(Tendons) عن عرض الـ(Anchor cast) أي لايقل عن 30 سم.

➢ الاختبارات التي تجرى على الـ(Galvanized ducts) :

- **تقييم الاداء عند التعرض للعزوم (Determination of flexural behavior) طبقا لـ(BS–EN 524–2)**

وفي هذا الاختبار توضع العينة تحت تأثير قوى تسبب العزوم على العينة وحدود القبول والرفض تحدد بالاتي :

Fpi / di > 6 n/mm when (Fpi = force at plastic limit, di = duct diameter)

- **مقاومة العينة لحدوث التسـريب (Determination of leak tightness) طبقا لـ(BS EN 524–6) وفيه يتم ضـخ المياه بداخل العينة لمدة 5 دقائق وحدود القبول والرفض تحدد بالاتي :**

Water loss < 1.5 % after 5 minutes

- **المقاومة ضـد الاحمال الجانبية (Determination of lateral load resistance) طبقا لـ(BS EN 524–4)**

وفيه يتم تعريض العينة لقوى جانبية متغيرة حتى نصل لاقصى قيمة تحميل جانبي وهي (1050N) طبقا للـ(BS)

- **اختبار الانحناء (Bending test) طبقا لـ(BS EN 524–3)**

وفيه يتم عمل انحناء في الـ(Duct) بقطر معين حتى يتم تحديد القطر الفعلي بعد عملية الانحناء وحدود القبول والرفض تحدد بالاتي :

Bending radius 750mm,acceptance when reduction in) (diameter is less than 5%

- **اختبار تعيين الشـكل والابعاد(Determine shape and dimension) طبقا لـ(BS EN 524–5)**

وفي هذا الاختبار يتم قياس ابعاد العينة وتحديد نسـبة الزنك (المادة المقاومة للصـدأ) المغطى به العينة وحدود القبول والرفض تحدد بالاتي :

(Wall thickness > 0.4mm , relative volume > 0.08)

- **الاختبارات التي تجرى على الـ(HDPE and PP ducts)**
  - **الكثافة (density) طبقا لـ(DIN 53479).**
  - **معدل انسـياب مصـهور البلاسـتك (MFR) (Melt mass–Flow rate) طبقا لـ(ISO 1133).**
  - **قوة الصـــدمة البندولية بطريقة شـــاربي على عينات ذات حز (Charpy impact strength on notched specimens) طبقا لـ(ISO 179 /1 eA).**
  - **قوة الشد عند الخضوع (Tensile stress at yield) طبقا لـ(DIN 53455).**
  - **الاستطاله عند الخضوع (elongation at yield) طبقا لـ(DIN 53455).**
  - **درجة حرارة التلين (Vicat VST B50) طبقا لـ(ISO 306).**

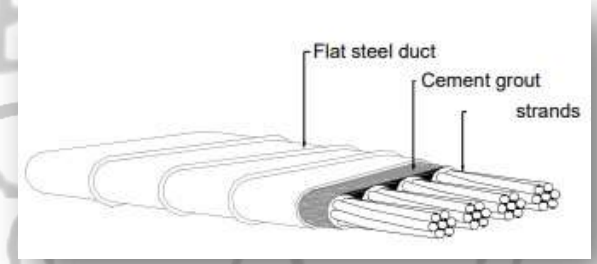
- **وهناك اختبارات اخرى يجب أن تحققها العينة طبقا لـ(The International Federation for Structural Concrete (fib)) وهي كالاتي :**
  - **اختبارات لقياس الابعاد الداخلية والخارجية للعينة (dimensional requirements) طبقا لـ(Fib bulletin 75– annex A1).**
  - **اختبارات قياس جساءة العينة (stiffness of duct) طبقا لـ(Fib bulletin 75– annex A2).**
  - **اختبارات قياس الاستطالة للعينة (longitudinal load resistance of duct system) طبقا لـ(Fib bulletin 75– annex A3).**

- اختبارات مدى مقاومة العينة للقوى الجانبية (**lateral load resistance of duct**) طبقا لـ(**Fib bulletin 75– annex A4**).
- اختبار قياس مدى ليونة العينة (**flexibility of duct system**) طبقا لـ(**Fib bulletin 75– annex A5**).
- اختبار قياس مستوى التسريب للسوائل في العينة (**leak tightness of duct system**) طبقا لـ(**Fib bulletin 75– annex A6**).
- اختبار قياس مدى تحمل العينة للضغط تحت ضغط الخرسانة (**concrete pressure on duct**) طبقا لـ(**Fib bulletin 75– annex A7**).
- لقياس قدرة العينة على البقاء اطول فترة ممكنة دون أن يقل قطاع العينة تحت تأثير عوامل البري (**wear resistance of duct**.) طبقا لـ(**Fib bulletin 75– annex A8**).
- اختبار لقياس قدرة العينة على البقاء اطول فترة ممكنة دون أن يقل قطاع العينة تحت تأثير عوامل البري تحت وجود قوى شد داخلية (**wear resistance of duct under sustained load**) طبقا لـ(**Fib bulletin 75– annex A9**).

Section in duct with grouted tendons

- اختبار سلوك العينة بعد عملية الحقن وقدرة التماسك (**bond behavior of duct**.) طبقا لـ(**Fib bulletin 75– annex A10**).

○ قياس مدى مقاومة العينة للكسر (. **fracture resistance of duct**) طبقا لـ (**Fib bulletin 75– annex A11**).

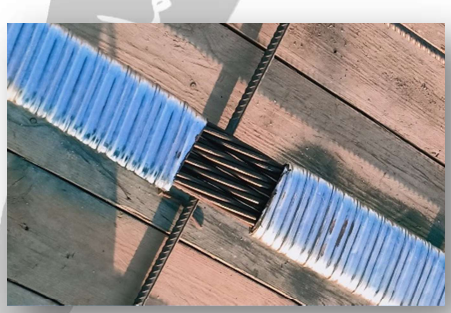


يتم عمل هذه الاختبارات على العينات عند اعتماد المصدر مرة واحدة فقط في بداية المشروع ، ويتم اجراءها عند تغيير المصدر وطبقا لتوصيات المهندس المشرف وحسب بنود التعاقد .

- **(couplers)**

هي وصلات تاخذ من نفس جسم الـ(Duct) ويتم تركيبها عند الوصلات بين الـ(Ducts) ولفها باستخدام الشريط اللاصق جيدا حتى تمنع دخول الخرسانة لداخل الـ(Tendon) وتمنع خروج مادة الحقن خارج الـ(Tendon) ، وكما سبق وذكر أثناء شرح الـ(Ducts) فإنه من الهام الاهتمام بطريقة غلق هذه الوصلات حتى لايحدث تسريب لمادة الحقن ويراعى أن يتم تنفيذ هذه الوصلات بنظام السابق واللاحق وألا تنفذ عند أعلى نقطة وأقل نقطة للـ(Profile) حيث تكون عند هذه النقاط القيمة الاكبر لمجموع القوى الداخلية للشد .

بعد عمل الوصلة



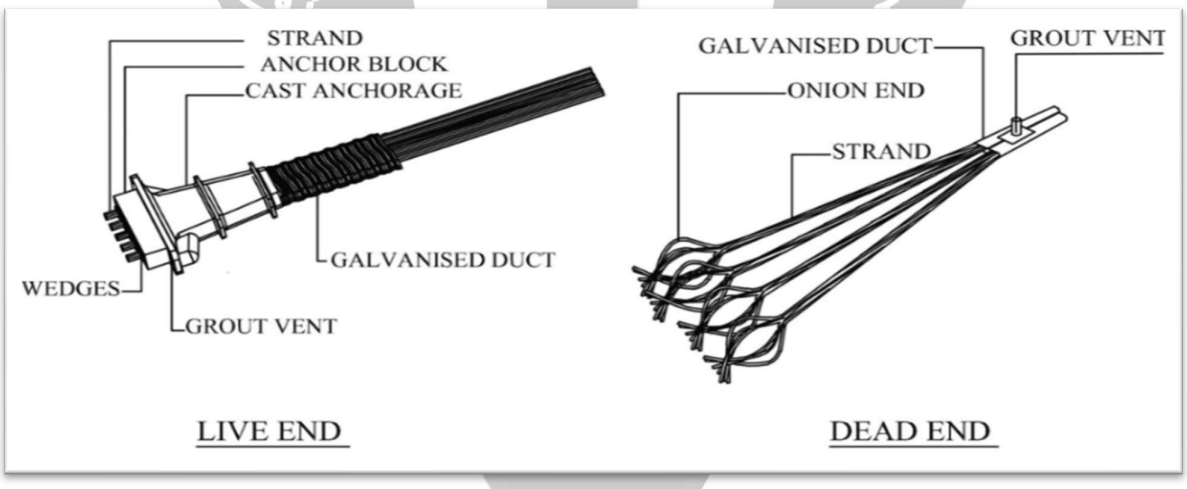
قبل عمل الوصلة

- **(Grouting pipes)**

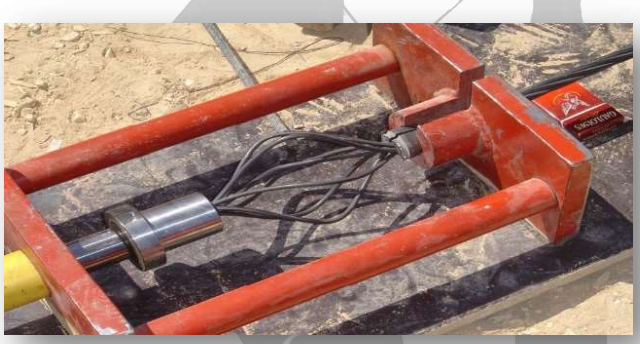
هي مواسير من الـ (P.V.C) بقطر لايقل عن 2 سم سم في بداية ونهاية الـ (Tendon) عند الـ (Live end) و الـ (Dead end) ويتم وضعها ايضا بحيث لاتتعدى المسافة بين كل ماسورة والاخرى 15 م حتى تسمح بخروج مونة الحقن (Grout) في الـ (Tendons) للتأكد من ملئه بالكامل .

- **النهايات الميتة أو البصلة (Dead end or onion end)**

لكل (Tendon) بداية ونهاية ، والـ(Tendons) إما أن يكون الشد منها من الجهتين إذا ما لزم الامر للوصول الى الاستطالة المطلوبة وفي حالة اذا لم يستدعي الامر الشد من الجهتين يكون الشد من اتجاه واحد وهي النهاية الحية (Live end) والجهة المقابلة تكون النهاية الميتة (Dead end) او (Onion end) لانها تكون على شكل البصل ، ووظيفة هذا الجزء هو تثبيت الـ(Tendon) من الجهة المقابلة حتى لاتتحرك نهايته ويتم تسليح هذه المنطقة بنفس تسليح النهاية الحية لانها تتعرض



الى اجهادات شد ولكنها تكون اقل من الاجهادات التي تتعرض لها النهاية الحية وطول النهاية الميتة أي الجزئ من الـ(Strands) الذي يخرج من الـ(Duct) حتى نهاية الجزء الذي يشبه البصلة يختلف من مصنع (Manufacturer) لآخر وتتراوح من 90 الى 120 سم ويتم تنفيذ هذا الشكل باستخدام جهاز مخصص لهذا الغرض يقوم بفصل الـ(Strands) ولفها بالشكل المطلوب ويسمى (Onion jack) ، ويجب الا يزيد طول البصلة ولايقل عن الاطوال المسموحة لان قصر مسافة النهاية الميتة قد يسبب عدم تماسك نهاية الـ(Tendon) fبالصورة السليمة مما يؤدي الى عد الحصول على الاستطالة المطلوبة ، وزيادة طول النهاية الميتة عن الحدود المدروسة يسبب قصر الطول الفعال الذي يتم شده بالفعل (هو الجزء الحر بداخل الـ(Duct)) وبالتالي اذا كان الطول المطلوب شدة والمصمم عليه الـ(Tendon) يساوي 20 م مثلا وقمنا بتنفيذ 18 متر فقط بسبب زيادة النهاية الميتة أو لاي سبب آخر ستكون النتيجة الظاهرة لنا بعد الشد أعلى من النتيجة المتوقعة وذلك لأن الاستطالة القياسية المحسوبة والمستخرجة من البرامج الهندسية تتناسب طرديا مع طول الـ(Tendon) اي انه كلما زاد طولالـ(Tendon) زادت الاستطالة القياسية المطلوب الوصول اليها ، لذلك يعتبر تنفيذ الـ(Tendon) بطوله التصميمي بدقة من العوامل الهامة التي تساعد على تحقيق النتائج المرجوة.

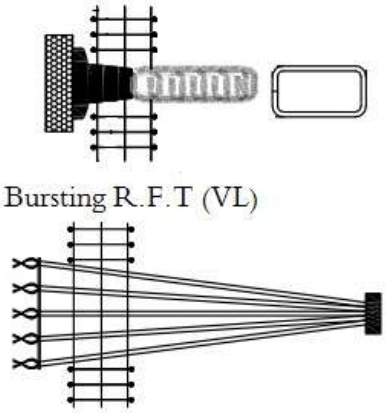


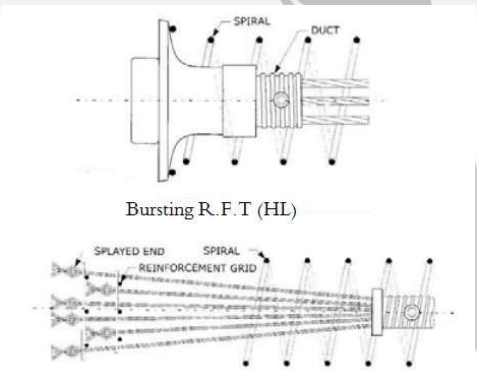
Onion jack

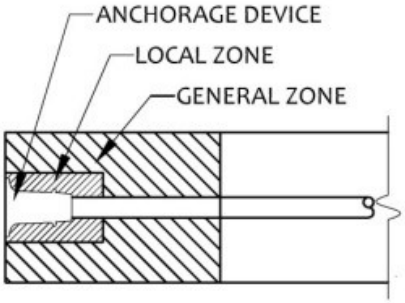
- **التسليح المقاوم لانفجار الخرسانة نتيجة عملية الشد (Bursting reinforcement)**

وهو التسليح الذي يوضع عند منطقة الشد (Live end) ويوضع عند الـ(Dead end) ووظيفته مقاومة الاحمال الناتجة عن قوى الشد الداخلية للـ(Strands) ويتم وضعه عموديا على الـ(Tendon) أو موازيا له وقد يتم تصميمه بحيث تكون الكانات حلزونية أو كانة مقفلة عادية وفي كلا الحالتين يجب أن يصمم على أن يغطي الاحمال في المنطقة المحلية (Local zone) والـ(General zone) وهو ما سيتم شرحة لاحقا .

Bursting of Tendon



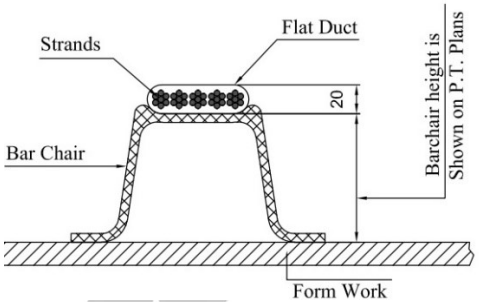




▪ Chairs

كراسي للتثبيت وتحقيق شكل المنحنى

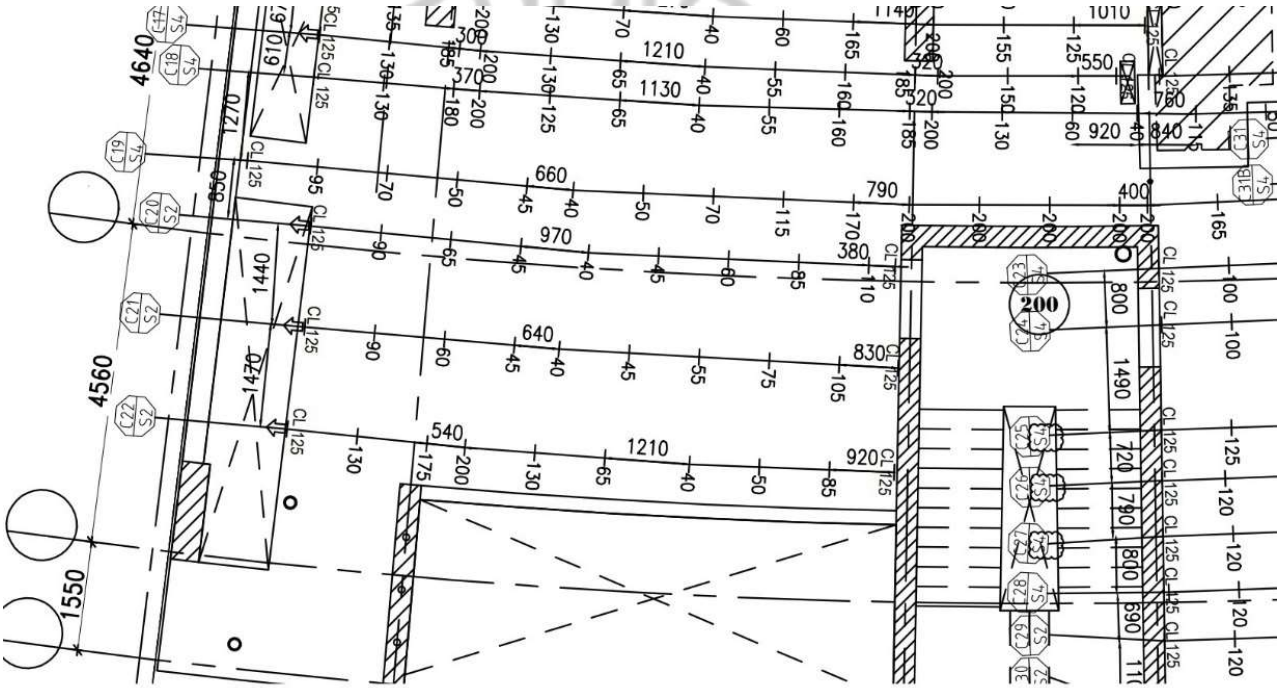
هي كراسي من الحديد يتم تشكيلها من الحديد الصلب تثبت بمسامير لمنع تحريكها عن المسار ، ويتم تغليف الجزء الملتصق بالنجارة من الكراسي بقطعة بلاستيكية لأنه وبعد فك اعمال النجارة يظهر لنا الجزء الملاصق للنجارة من الكراسي في الاسفل وتكون معرضة للعوامل الجوية وبالتالي الصدأ فيتم تغطيتها ، وتمثل الكراسي الـ(Support) للـ(Duct) وبوضعها بالارتفاعات والاماكن المحددة طبقا للوحات التنفيذية يتم تشكيل الـ(Profile) المطلوب للـ(Tendon) وعادة ما تكون المسافات بين الكراسي 1 متر وقد تختلف هذه المسافة حسب نوع المادة المتكون منها الـ(Duct) اما الحديد المجلفن او البلاستك المعالج كما أشرنا اليه سابقا في شرح الـ(Ducts) .



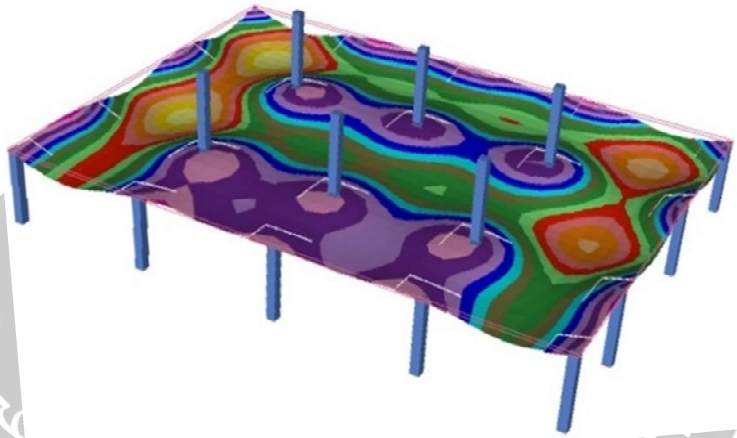
❖ **طريقة البدء في تصميم البلاطات اللاحقة الشد :**

فيما يلي نستعرض نبذه سريعة بالخطوات طريقة تصميم البلاطات اللاحقة الشد

1. يتم تحديد الاحمال المطلوبة على المبنى طبقا للوحات المعمارية واستخدام المبنى وتخصيص كل جزء من المبنى بالاحمال الحية والميتة طبقا للكود
2. توضع هذه الاحمال على البرامج الهندسية التي تقوم بحساب الاجهادات المختلفة على العناصر الانشائية لتعطي مخططا كنتوريا يوضح توزيع العزوم والاجهادات على المنشأ كاملا.
3. عن طريق هذا المخطط الكنتوري وباستخدام احد البرامج الهندسية التي تقوم بتصميم البلاطات اللاحقة الشد نقوم بوضع الـ (Tendons)طبقا للعزوم الموضحة .
4. بعد التأكد من أن الـ (Tendons) المرسومة تحقق المقاومة المطلوبة لجميع القوى المؤثرة على المبنى وبعد وضع حديد التسليح المطلوب لتغطية كافة الاحمال المعرض لها المنشأ يتم طباعة اللوحات التصميمية موضحا عليها الـ (Control points) الخاصة بالـ(Tendons)والمقصود بها اعلى واقل ارتفاع للـ(Tendon) وتكون اعلى نقطة عند الاعمدة واقل نقطة في منتصف البحر بين الاعمدة في اغلب الحالات وقد تختلف حسب توزيع الاحمال والمسافة بين الركائز .
5. يتم اخراج اللوحات التنفيذية والتي يكون فيها ارتفاع جميع الكراسي التي تحدد شكل الـ(Profile) لكل (Tendon) ويوضح عليها أماكن الشد لكل (Tendon) إذا ما كان سيتم شده من ناحية واحدة أو من الناحيتين ، ويوضح عليها المسافات بين الـ(Tendons) وعدد الـ(Strands) في كل (Tendon) .



نموذج من اللوحات التنفيذية



❖اساسيات وعوامل يجب اعتبارها اثناء التصميم

بعيدا عن الدخول في اعماق التصميم ومعادلاته المتعددة نود فقط ان نوضح بعض العوامل التي تأخذ في الحسبان قبل البدء في عملية التصميم والتي قد تساعدك في فهم الفكرة واساسيات النظرية في البلاطات اللاحقة الشد ومنها :

- **(Pouring strips)**

هي عبارة عن منطقة يتم استقطاعها من السقف ولا تصمم بنظام (Post tension) وتسلح بحديد التسليح الطري (Mild steel) ، وذلك لاجراء عملية شد الـ(Strands) منها ، ولتقليل تأثير تغييرات الحجم على الهيكل الخرساني وتترك بعد صب البلاطة اللاحقة الشد لمدة لاتقل عن اسبوعين وذلك للسماح للبلاطة اللاحقة الشد بالانكماش نتيجة للعوامل التي توثر عليها مثل الـ(Temperature) والـ(Creep) والـ(Shortening Slab) و الـ(Shrinkage) .

ويراعي ان يتم تصميم الشدة المعدنية اسفل هذه المنطقة لتتحمل ثلاثة ادوار على الاقل او اكثر حسب ظروف الموقع لانه ومع سرعة نظام تنفيذ البلاطات اللاحقة الشد قد تحقن البلاطة بعد الانتهاء من اعمال الشد لعدة ادوار في مدة زمنية قصيرة وقد لاتنتهي الفترة الزمنية المطلوبة لاغلاق الـ(Pouring strips) .

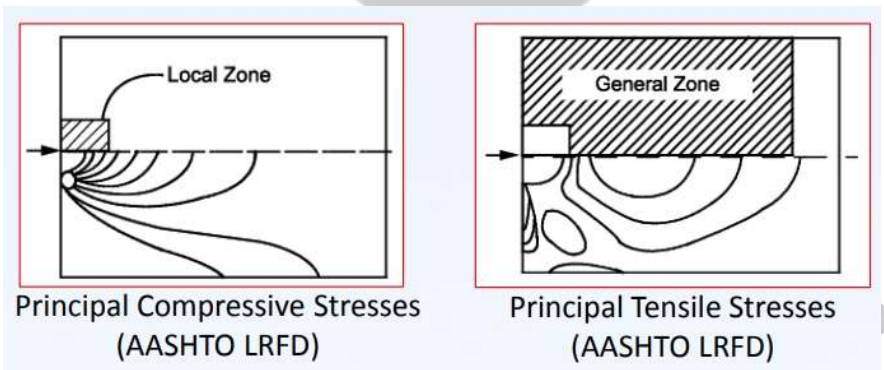
- **(Anchorage zone)**

وتقسم الى منطقتين الاولى (Local zone) والثانية (General zone) الـ(Local zone) هي المنطقة الملاصقة مباشرة لطرف البلاطة والتي يثبت بها الـ(Anchor cast) والتي تتعرض مباشرة للاحمال الناتجة عن قوى الضغط اثناء عملية شد الكابلات ويتم تسليحها بحديد يقاوم هذه القوى ويضمن عدم انتشار الشروخ بالخرسانة .

في حالة تقارب المسارات من بعضها يتم التسليح طوليا وعرضيا لأن قوى الشد الداخلية تتداخل بين المسارات وتولد قوى اضافية تسبب انفجار النقاط

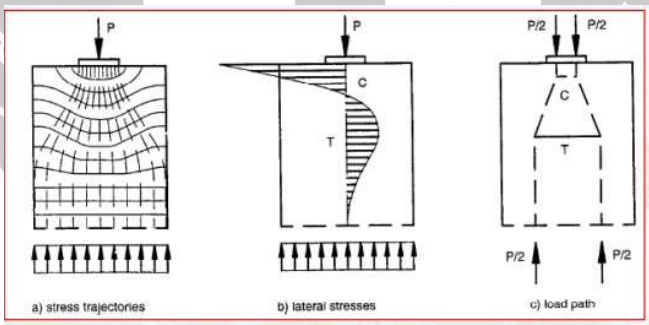
الـ(General zone) وهي المنطقة التالية بعد الـ (Local zone) والتي يبدأ الحمل فيها بالتوزع حتى يتلاشى تدريجيا داخل الخرسانة ويتم مراعاة هذه الاحمال عند التصميم حيث انها من اكثر المناطق المعرضة لاحمال على الخرسانة وتأتي معظم الانهيارات عند الشد بسبب عدم وضع الكمية المناسبة من الحديد عند هذه المنطقة او نتيجة لعدم تركيب الحديد في هذه المنطقة بالطريقة السليمة .

ملحوظة هامة : عند تركيب الـ(Tendons) بجانب بعضهم البعض بمسافات صغيرة لاتزيد عن عرض الـ(Anchor) تتلاقى منطقتين من الـ(General zone) مع بعضهم البعض مما يسبب اجهادات اضافية على كليهما ويزيد احتمالية انفجار الخرسانة في هذه المنطقة ، لذلك يجب مراعاة تصميم حديد الـ(Bursting) في حالة الـ(Tendons) المتقاربة لتتحمل هذه الاجهادات ونوليها اهتمام خاص عند التنفيذ .



Principal Compressive Stresses (AASHTO LRFD)

Principal Tensile Stresses (AASHTO LRFD)



Flow of Stresses (PTI Anchorage Design)

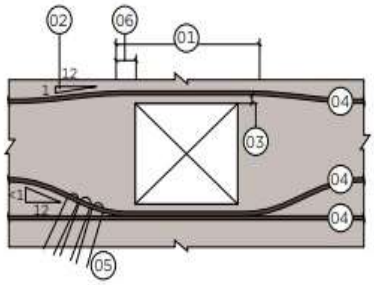
▪ الفتحات في السقف (openings)

في حالات عدة قد تعترض مسارات الـ(Tendons) فتحات معمارية بالسقف لايمكن تغيير اماكنها ولا يمكن تغيير مسار الـ(Tendon) ولكن يمكننا وبشروط معينة أن نقوم بتحويل المسار عند الفتحة كما بالشكل المرفق .

يلزم توافر تسليح إضافي غير مشدود حيث لا تكون الكابلات في حدود 0.5 من سمك البلاطة الخرسانية (h) من العمود. يجب مراعاة الآتي في هذا التسليح:

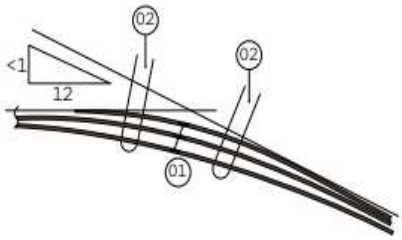
a) وضعه تحت كابلات الإجهاد المسبق؛
b) أن يتضمن مساحة كافية لنقل المكون العمودي من الإجهاد المسبق من الكابل إلى العمود؛
c) أن يمتد طول تماسك كامل إلى ما بعد الكابل؛ و
d) أن يقع في حدود 0.5 من سمك البلاطة الخرسانية (h) من العمود ويجب أن يمر سيخ واحد على الأقل فوق العمود.

ويجب توافر تسليح إضافي في مناطق الفتحات في الخرسانة، انظر الشكل F.9 والشكل F.10 والشكل F.11 فيما يتعلق بالكابلات المنحنية والكابلات بالقرب من الفتحات.



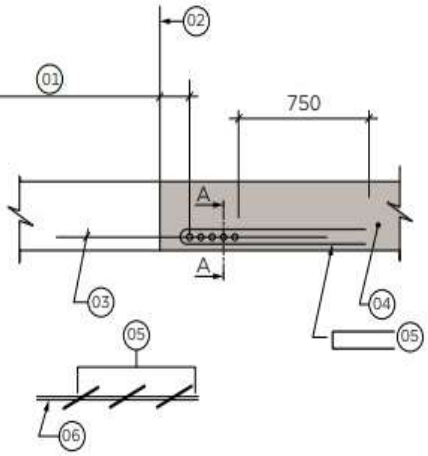
مفتاح الشكل
01: 900 mm كحد أدنى مستقيم
02: أقصى انحناء نموذجي
03: 75 mm الحد الأدنى للغطاء
04: كابل
05: دبوس
06: 300 mm كحد أدنى

الشكل F.10 موضع الكابلات على المنعطفات <1:12



مفتاح الشكل
01: عندما يكون دوران الكابل أكبر من 1:12:
- ضع الكابلات على مسافة لا تقل عن 50 mm عند دوران الكابلات غير المتماسكة؛
- ضع دبوسا.
02: دبوس

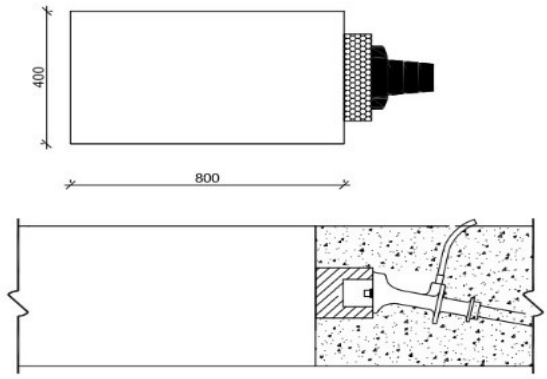
الشكل F.11 دبوس نموذجي عند دوران الكابل



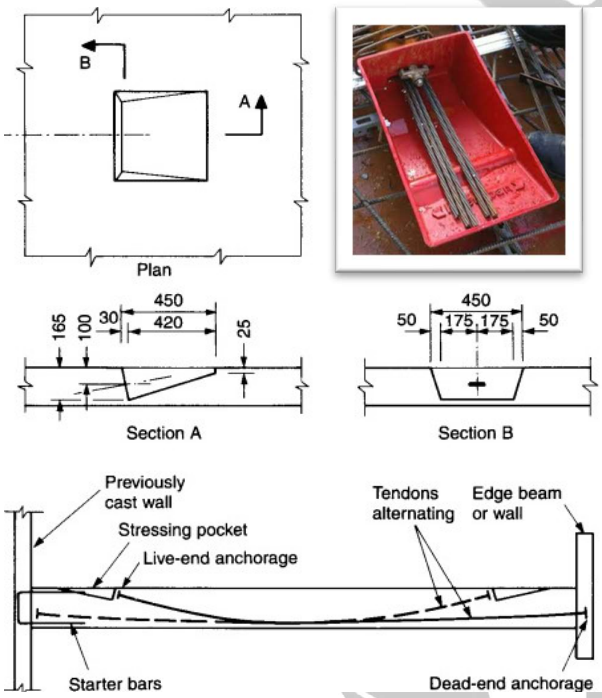
مفتاح الشكل
01: فتحة أو مركز دوران الكابل
02: حافة الفتحة أينما وقعت
03: كابل لاحق الشد
04: بلاطة لاحقة الشد
05: دبوس 12 mm يوضع بشكل قطري لتثبيت الكابلات في مستوى البلاطة. يتم وضعه على طول الكابل المنحني عند mm (2,000 mm/عدد الجدائل) في المنتصف ولكن لا تزيد المسافة بينها على 450 mm
06: المقطع A-A

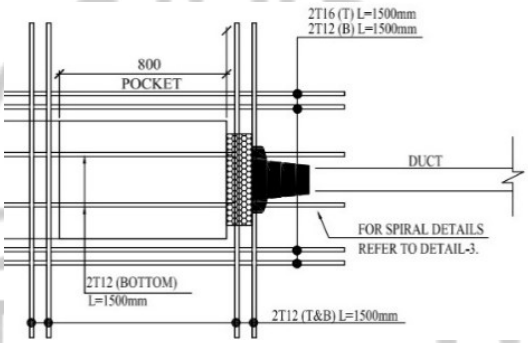
▪ صندوق الشد (Pan box or stress box)

هو صندوق يتم صنعه من الخشب وفي بعض المشاريع يكون من مواد اخرى كالحديد المقاوم للصدأ أو البلاستيك و يكون بابعاد متباينه تختلف حسب عرض الـ(Anchor cast) وطول جهاز الشد المستخدم ، يأتي جاهزا للتركيب له العديد من الاشكال ومهما اختلف شكله فإن طريقة عمله ووظيفته واحدة وهي تركيب النهايات الحية به



(Live ends) لاجراء الشد منها لانه في احيان كثيرة لانقوم بشد الـ(Live ends) من اطراف البلاطة أو من الـ(Pouring strip) فقط بل يكون الـ(Tendon) في مكان ما في منتصف البلاطة ويستوجب الشد منه وتأتي هنا وظيفة الـ(Pan box) وكأي عنصر نستخدمه في النظام هناك بالطبع شروط يجب اتباعها عند تركيب وتنفيذ الـ(Pan box) وشروط يجب اتباعها عند غلقه ، فيجب تسليح اطرافه مثل أي فتحه بالسقف وبعد الانتهاء من عملية الشد والحقن والاعتماد النهائي للبلاطة نقوم بغلقه باستخدام خرسانة من نفس اجهاد الخرسانة للسقف أو باستخدام الـ(Grout) والذي يعطي اجهادات اعلى ويتميز بانه لاينكمش مع مراعاة تجهيز السطح ووضع مادة رابطة بين الخرسانة القديمة والجديدة او بين الخرسانة القديمة والـ(Grout) واتباع كافة المتطلبات اللازمة للصب مع الخرسانة قديمة، وقد ينفذ الـ(Pan box) بكامل سمك البلاطة كفتحة كامله بالسقف ، والذي يحدد ابعاد وشكل الفتحات هو نوع جهاز الشد المستخدم حيث أن بعض الاجهزة تحتاج الى مساحة أكبر من الاخرى أثناء الشد فقد تحتاج بعض الاجهزة الى 60 سم فقط لاتمام شد الـ(Strands) بكفاءة والبعض الاخر يحتاج الى 80 سم ، او تنفذ في الجزء العلوي للبلاطة كما هو موضح بالشكل ، ولكل طريقة احتياطات يجب اتباعها عند التنفيذ.



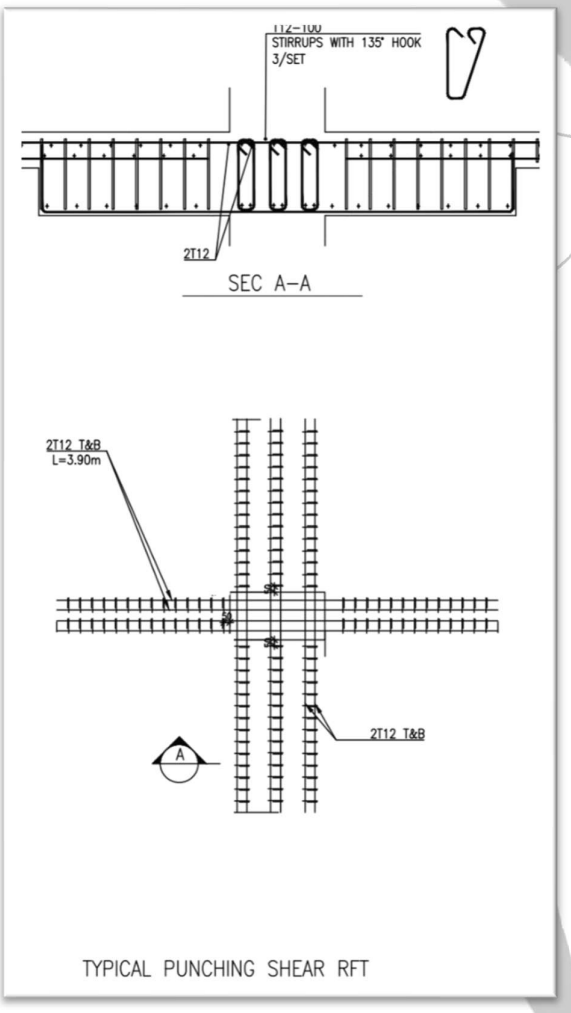


- **شبكة الحديد بالبلاطة**

يتم تسليح السقف بالحديد الطري (Tensile steel) بجانب نظام ال(Tendons) اللاحق الشد ، ويتم وضعه في البلاطة للوصول الى الـــ(Strength capacity) المنصوص عليها بالكود ، والتحكم في التشـــققـات الـداخليـة النـاتجـة عن تأثيرات درجـة الحرارة(Temperature) والانكماش(Shrinkage) وقوى الانثناء (Flexure force) ، ويكون بكميات تقل كثيرا عن التسليح مع أي نظام آخر .

- **ال(Drop panels)** .

وهو زيادة سمك الخرسانة عند الاعمدة عن سمك خرسانة الســـقف بحيث يقاوم قوى الثقب (punching shear) ويقلل من نسبة حديد التسليح الادنى الذي يحتـاجـه الســـقف ليقـاوم تأثيرات درجـة الحرارة (temperature) والانكمـاش (shrinkage) وقوى الانثنـاء (flexure force) المعرض لهـا السـقف وقد يسـتلزم التصـميم وضـع حديد اضـافي ليقاوم قوى الثقب المؤثرة عند هذه المنطقة ويتم وضـعه كما هو موضح بالشكل .



الفصل الثالث : خطوات تنفيذ البلاطات اللاحقة الشد ذات الكابلات المحقونة (Bonded post tensioning slab) :

❖ **طريقة التركيب والتنفيذ للنظام**

- **اعداد مكان تخزين المواد بالموقع.**

تجهيز منطقة الـ (Coils) والصناديق التي تحتوي على الـ (Anchor casts) والـ (Anchor heads) و الـ (Wedges) والـ (Ducts) ، ويراعى أن تكون المنطقة جافة وبعيدة عن أي مصدر للمياه أو اي عوامل قد تحدث تلف بالخامات مع تغطية المواد المعرضة للعوامل الجوية.

- **تخطيط أماكن الـ (Tendons) .**

بعد الانتهاء من أعمال النجارة الخاصة بالسقف يتم وضع علامات باستخدام رذاذ ملون (Spray)توضح أماكن (Tendons)واماكن الكراسي(Chairs) ويتم ذلك باستخدام شريط القياس(Measuring tape) ، وطبقا للوحات التنفيذية.

- **تركيب عناصر النظام .**

عند الـ (Live end) الذي سنقوم بشد الـ(Strands) منه ، يتم تثبيت الـ (Anchor cast) على حدود السقف بثقب الالواح الخشبية لتثبيت حامل الـ (Anchor cast) ، ثم تثبيت قطعة الفوم بالشريط اللاصق مع الـ (Anchor cast) في الحامل المثبت على الالواح الخشبية ويتم وضع كرسي اسفل الـ(Anchor cast) بالارتفاع المطلوب عند النهاية الحية (Live end) ولتأكيد تثبيت الـ(Anchor cast) بالالواح الخشبية .

- **تثبيت الكراسي (Chairs)**

يتم تثبيت الكراسي طبقا للوحات التنفيذية وبالارتفاعات المطلوبة وفي اماكنها الصحيحة وتثبيتها باستخدام المسامير حتى لاتتحرك من اماكنها ، مع ضرورة الاهتمام بوضع قطعة بلاستيكية في الكرسي في الجزء المرتكز على السقف كما سبق وذكرنا عند شرح الكراسي .

- **تثبيت الـ(Ducts)**

يتم وضع الـ (Ducts)على المسارات الخاصة بها والتي تم تحديدها سابقا باستخدام الـ (Spray) ، ثم ربط نهايات الـ (Ducts) بالشريط اللاثق مع الـ (Anchors) ، وحيث الـ (Ducts) تأتي باطوال 6 م يتم وصلها مع بعضها البعض بعمل وصله (Coupler) بينهم ولفها جيدا باستخدام الشريط اللاصق كما سبق وشرحنا ذلك تفصيليا.

- **تركيب الـ(Strands)**

تبدأ عملية دفع الـ (Strands) التي تم تقطيعها طبقا لأطوال كل (Tendon)داخل الـ (Ducts) باستخدام العماله حتى تخرج الـ (Strands) من الطرف الاخر مع الاخذ في الاعتبار ترك طول زائد عند الـ (Live end) لاجراء عملية الشد منه بطول تقريبي 40 سم .

- **عمل النهايات الميتة**

يتم عمل النهايات الميتة باستخدام معدة خاصة (Onion Jack) كما سبق وتم شرحها ، تقوم بعمل النهايات الميتة (Dead ends) او ماتسمى بالـ (البصلة) ويتم غلق نهاية الـ (Duct) من ناحية الـ(Dead end) باستخدام الـ(Silicon) أو الصلصال (Clay) حتى لايمنع خروج مادة الحقن من نهاية الـ(Duct) ثم لفها جيدا باستخدام الشريط اللاصق ، يتم التأكد من غلق جميع الفتحات والوصلات بالـ (Ducts) في اماكن الوصلات باستخدام الـ(Couplers) كما سبق وتم شرحها .

- **تركيب مواسير الحقن**

المرحلة الاخيرة تكون بوضع مواسير من الـ (P.V.C) (Grouting pipes)بقطر لايقل عن 2 سم سم في بداية ونهاية الـ (Tendon) عند الـ (Live end) و الـ (Dead end) ويتم وضعها ايضا بحيث لاتتعدى المسافة بين كل ماسورة والاخرى 15 م وذلك طبقا للكود المصري (ECP – 2020- 203) حتى تسمح بخروج مونة الحقن (Grout) من الـ (Tendons) للتأكد من ملئ الـ (Tendon) بالكامل .

❖ مرحلة صب السقف (Casting concrete)

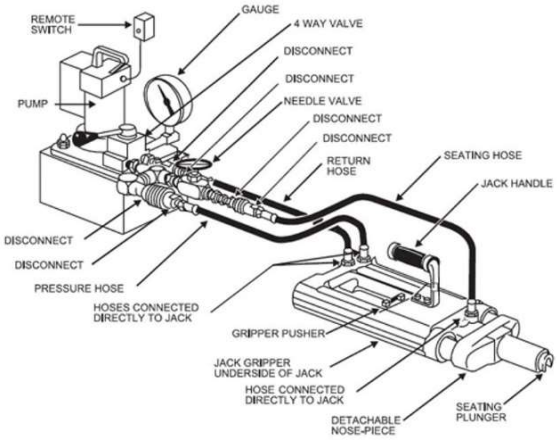
يراعى اثناء الصب أخذ الاحتياطات الآتية والتي تعتبر من اهم الاجراءات الوقائية والتي تحدد بنسبة كبيرة نجاح النظام كاملا وعملية الشد لل (Tendons) خصوصا .

- الحفاظ على اماكن الـ (Tendons) وعدم اتلاف او تحريك الكراسي من اماكنها او الـ(Anchor casts) ويتم هذا باسناد عملية صب الخرسانة الى عماله ماهره ذات خبرة في تنفيذ البلاطات اللاحقة الشد والتي تهتم بالاعمال المنفذة ولا تتلفها اثناء عملية الصب .
- عملية الهز الميكانيكي باستخدام الهزاز(Vibrators) ، وهذه العملية من اهم العمليات حيث ان الدمك الجيد للخرسانة وخصوصا عند الـ (Anchor casts) يقلل فرضية انفجار الخرسانة عند اجراء عملية الشد لل (Strands) .

❖ مرحلة الشد

عملية الشد

ويتم اختبار مقاومة الضغط للخرسانة قبل البدء في شد الكابلات ويجب ألا تقل نتيجة أي اختبار عن 85% من مقاومة الضغط المطلوبة ، وعادة وحتى نصل لاقصى استفادة من نظام البلاطات اللاحقة الشد في اغلب المشاريع باستغلال عامل الوقت يتم تكسير المكعبات بعد الصب بثلاثة او اربعة ايام وإذا لم تتحقق المقاومة المطلوبة يجب الانتظار لحين اختبار مقاومة الضغط في وقت لاحق .



Stressing equipment for single strands

❖ مراحل واعتبارات لعملية الشد

يجب أن تكون الاجهزة الخاصة بعملية الشد معايرة من جهة رسمية معتمدة ، يجب ان يتم معايرة كلامن الـ(Jack) والـ(Gauge) ، ويتم معايرتهما معا وليس منفصلين ، الـ(Jack) هو الجهاز الذي يقوم بشد الـ(Strands) والـ(Gauge) هو العداد الذي يقوم بقراءة مقدار القوة التي نعرضها للـ(Strand) ، في شهادة المعايرة توضع القيم التي يتم الشد عليها بالـ(Bar) وما يكافئها من من قوة الشد المطلوبة وغالبا ما تكون قيم الـ(Bar) الموجودة بالشهادة في الاساس عند 75% و80% من قوى الشد المطلوبة للانهيار(Maximum) tensile strength(Fpu)) وايضا تكون القيم عند قراءات اخرى كما هو موضح بالشكل ، وتكون كل شهادة معايرة تخص فقط الـ(Jack) والـ(Gauge) الذي تمت عليهم المعايرة ويجب أن تكون المعايرة دورية حسب توصيات جهة المعايرة

وغالبا ما تكون كل 6 أشهر وايضا تتم المعايرة في حالة ملاحظة أي تلف بالـ(Jack) أو حدوث تسريب بالزيت أو تعرض أيا من الـ(Jack) أو الـ(Gauge) للصدمات .

CERTIFICATE OF CALIBRATION
شهادة معايرة

Certificate No.		Readout S/N	
Jack Manufacturer		Jack S/N	
Resolution		Visible Resolution	
Calibration mode	Compression		

• Calibration Results

Device reading		Relative Error		Relative Expanded Uncertainty
Device Reading	Actual Load	Repeatability	Resolution	
bar	kN	%	%	± %
240	107.57	0.25	2.083	1.228
345	154.86	0.06	1.449	0.860
440	196.84	0.13	1.136	0.689
470	210.17	0.00	1.064	0.645
500	223.24	0.04	1.000	0.610

Note: Hydraulic jack system initial reading = 0 bar

نموذج من شهادة المعايرة

Contractor name Cosultant name Owner name

TENDON STRESSING REPORT

Project :				Project ID:		Date:	
Zone:				Sheet No.:	6	Recorded By:	
Level:		Part:		Strand Area:	15.24 mm	Jacking Force Per Tendon:	195.5 KN
Jack No.				Gauge No.			

STRESSING RESULTS

Tendon Number	Strand Number	Theoretical Elongation (mm)	Actual Elongation(mm) 75% END 1	END 2	Total	Average Actual Elongation (mm)	Difference (mm)	%	Remarks
Y-87	1	184	165		165	175.5	-8.50	-4.62%	
	2		186		186				
Y-88	1	242	195	45	240	231.0	-11.00	-4.55%	80%
	2		195	52	247				
	3		160	45	205				
	4		192	40	232				
Y-89	1	242	200	55	255	227.3	-14.75	-6.10%	
	2		200	50	250				
	3		183	39	222				
	4		152	30	182				
Y-90	1	66	61		61	63.3	-2.75	-4.17%	
	2		65		65				
	3		66		66				
	4		61		61				

نموذج من قراءات الاستطالات

يتم تنظيف الفوم وتركيب الـ(Anchor head) ووضع الـ(Wedges) في اماكنها ثم نقوم بعمل علامات على الـ(Strands) باستخدام الـ(Spray) ويتم ذلك باستخدام مسطرة توضع على حافة الخرسانة ثم الرش بالـ(Spray) ، ويمكن ايضا استخدام خرطوم من البلاستيك بنفس قطر الـ(Strand) يتم وضعه بحيث يلاصق الـ(Wedge) ثم الرش لوضع العلام على كل (Strand) كما بالصورة المرفقة وذلك قبل البدء في عملية الشد ، ويتم حساب الاستطالة بحساب الفرق بين العلام الموضوع قبل الشد وحافة الجزء المستخدم لوضع العلام الذي قمنا بوضع العلام به سواءا كان المسطرة أو الانبوب البلاستيكي ويجب أن يتم استخدام نفس الاداة التي تم وضع العلام بها .

- يراعى عند شد البلاطة الا نقوم بالشد من منطقة واحدة بالتسلسل بل نقوم بالشد من طرف استكمال الشد من الطرف الاخر ثم العودة للجهة التي بدأنا منها وهكذا دواليك ، وذلك حتى لا نقوم بتركيز أحمال الشد على البلاطة من جهة واحدة فتزيد من الشروخ الداخلية وكلما صغر حجم العنصر الذي نقوم بشده كلما كان لزاما أن نتبع هذه الخطوات اثناء الشد .

- يراعى ايضا الا نقوم بشد الـ(Strands) بالترتيب في الـ(Duct) الذي يحوي على عدد 4 (Strands) بل نقوم بالبدء بأول (Strand) ثم الثالث يليه الثاني ثم الرابع حتى لانركز الاحمال على الـ(Anchor head) و الـ(Anchor cast) من جهة واحدة وقد يسبب هذا انهيارا في الخرسانة اثناء عملية الشد ، بل والاسوء قد يحدث انهيار وكسر للـ(Anchor cast) او للـ(Anchor head) ، وكما سبق وذكرنا فإنه يتم تصميم كلا من الـ(Anchor cast) والـ(Anchor head) على أن يتحملوا قوى تزيد عن القوى التي يتم الشد عليها تصل الى 95 % من الانهيار النهائي (Fpu) وذلك كمعامل أمان وأنه من المفترض في حالة لم يتم الالتزام بطريقة الشد المثلى وترتيب الشد للـ(Strands) أن تتحمل مكونات الـ(Live end) أي احمال غير زائدة أو أي احمال غير مركزة قد تسبب الانهيار وأنه في حالة الانهيار يكون بسبب عيب في مكونات الـ(Live end) وقد

يعطي مؤشرا على ضرورة أخذ عينه منهم وإعادة اختبارها ، وفي العموم يجب الالتزام بطريقة الشد السليمة حتى نتجنب أي انهيارات مفاجئة سواءا في الخرسانة أو في مكونات الـ(Live end).

- نبدأ اولا بشد الـ(Strands) على 75% من الانهيار النهائي (Ultimate strength of the prestressing strand (Fpu)) ، وذلك عن طريق الجدول المعطى من جهة المعايرة لجهاز الشد والذي يوضح قيمة القوة المطلوبة بالبار (Bar) ومايكافؤها من قوة الشد المطلوبة ، وبعد رفع القراءات ومقارنتها بالاستطالات القياسية من قبل المصمم ، قد يقوم المصمم بطلب رفع قوة الشد حتى 80% من الـ(Ultimate strength of the prestressing strand (Fpu)) اذا ما رأى أنها تستدعي ذلك لتكافئ الاحمال التشغيلية المطلوبة ، وذلك بعد مقارنتها بالاستطالات القياسية ، ويجب ألا نتعدى قوة الشد عن الـ(80%) في اي حال من الاحوال حيث انه يجب الا نقترب من الحدود التي تضع الـ(Strands) قريبة من وضع الانهيار .
- بعد الانتهاء من عملية الشد لجميع الـ(Tendons) نقوم برفع القراءات من العلامات التي سبق ووضعناها وباستخدام نفس المسطرة أو الخرطوم البلاستيكي الذي سبق ووضعنا العلامات بها قبل الشد .
- يجب الا تقل دقة القراءة عن 2 مم طبقا للكود المصري(ECP-203-2020) ولذلك يجب الاهتمام بعملية رفع القراءات وتكون على يد عماله مدربه سبق وله الخبرة في هذا المجال ، حيث أن القراءات هي التي تحدد قيمة الاستطالات في الـ(Strands) وتحدد مقدار القوة الداخلية في كل (Tendon) والتي على اساسها يقوم المصمم بتقييم السقف وأخذ الاجراءات اللازمة لتحقيق أعلى كفاءة للنظام .
- القراءات التي نقرؤها تمثل الاستطالة الفعلية (Actual elongation) للـ(Strands) ، حيث نقوم بمقارنة الاستطالة الفعلية بالاستطالة النظرية (Theoretical elongation) والتي يعطيها لنا المصمم من خلال برنامج التصميم وهذه الاستطالة النظرية هي الاستطالة المثالية للـ(Strand) والتي وبتحقيقها نحصل على افضل اداء للـ(Strands) وبالطبع وبسبب عوامل تنفيذية بالموقع والفقد في قوة الشد نتيجة العديد من العوامل التي سيتم مناقشتها لاحقا بالتفصيل

، في اغلب الاحيان لانصل الى الـ(Theoretical elongation) بدقة عالية ، ولكن وطبقا للـ(AASHTO – LRFD-section 10.10.1.4) فإنه إذا زاد الفرق بين الاستطالة الفعلية المقروءة والاستطالة القياسية عن(5 %) للـ(Tendons) التي يزيد طولها عن 15 متر طولي وزاد الفرق عن (7%) للـ(Tendons) التي يقل طولها عن 15 متر طولي يجب الرجوع للمصمم للبت في امكانيه إعادة شد بعض الـ(Tendons) الى 80 % من الـ(Ultimate strength of the prestressing strand (Fpu)) ، وطبقا للكود الامريكي (ACI 318-11 SECTION 18.20.1) وبغض النظر عن طول الـ(Tendon) فإنه يجب الا يقل الفرق بين الاستطالة الفعلية والاستطالة القياسية عن (7%) وفي الكود المصري يجب ألا يزيد الفرق عن (10%) ، ويجب الرجوع للمصمم ليضع هذه القراءات على البرنامج التصميمي ومن ثم يحدد ما إذا كانت هذه القراءات كافية لتحمل الاحمال التشغيلية للمبنى أم لا .

- في حالة إذا ما كانت القراءات ليست كافية لتحمل الاحمال القياسية يحدد المصمم بعض الـ(Strands) التي يحتاج شدها لتصل الى 80% من الـ(Ultimate strength of the prestressing strand (Fpu)) والتي فرق الاستطالة فيها يقل عن (7%) أو (10%) من الاستطالة القياسية ولكي نحكم على جودة القراءات فإنه من الافضل أن تكون القراءات تساوي أو تزيد قليلا عن الاستطالات القياسية وذلك أفضل من أن تكون أقل منها ، وذلك وبسبب عوامل الفقد التي تحدث على المدى الطويل والقصير(Losses in post tension members) –والتي سيتم ذكرها تفصيليا– تقل هذه القراءات وتقل القوى الداخلية التي بداخل الـ(Strands) لذلك يفضل أن تزيد قليلا عوضاً على أن تقل قراءات الاستطالات .
- بعد شد الـ(80%) من (Ultimate strength of the prestressing strand (Fpu)) للـ(Strands) طبقا لتوصيات المصمم نقوم برفع القراءات بنفس الطريقة السابقة وتقديمها للمصمم لاعتماد القراءات النهائية للاستطالات والتصريح بفك الشدة المعدنية اسفل السقف .

ملحوظة هامة : في بعض المشاريع وللإستفادة المثلى من نظام البلاطات اللاحقة الشد وبعد الانتهاء من رفع القراءات بعد الشد بقيمة الـ(75%) من الـ(Ultimate strength of the prestressing strand (Fpu)) يتم وضع هذه القراءات على برنامج التصميم ويقوم المصمم على البرنامج بتحميل السقف بالاحمال المؤقته للمشروع مثل الاحمال الحية والميته اثناء اعمال الانشاء وأحمال الشدة المعدنية ، وفي حالة استيفاء قراءات الاستطالات عند الـ(75%) للاحمال المؤقته بالمشروع يقوم المصمم بالتصريح لفك الشدة المعدنية للسقف وذلك قبل القيام بشد الـ(80%) من الـ((Ultimate strength of the prestressing strand (Fpu)) للـ(Strands) التي تحتاج لذلك لتحمل قيمة الاحمال النهائية التشغيلية للسقف .

❖الفقد في قوى الشد (Losses in post tension members)

وهي العوامل التي تؤثر على قوى الشد للعنصر وتقلل من القوى النهائية للشد بداخل الـ(strands) ويمثل الفقد في القوى من 10-15 % تقريبا وتنقسم لجزئين :

- **عوامل فقد قصيرة المدى (Short term losses or initial losses)** :

  - **انضغاط الخرسانة (Elastic shortening in concrete)**

وهي ان تقوم الخرسانة بالانكماش تحت تأثير القوى الهائلة المعرضة لها من الطرفين مما يسبب فقد في قوة الشد بداخل الـ(Strands) ونظريا يمكن ان يساوي هذا الفقد الصفر اذا قمنا بشد الـ(Tendons) كلها دفعة واحدة وهذا ما لايمكن ان يحدث لان هذا الفقد يختلف من (Tendon) لاخر حسب ترتيب شد الـ(Tendons) فاول (Tendon) قمنا بشدة يحصل على اكبر معدل فقد نتيجة انضغاط الخرسانة .

- **(Slippage of end anchor)**

وهو انضغاط الـ(Wedge) المستخدم في تثبيت الـ(Strands) ، أي أنه بعد انتهاء شد الـ(Strand) واثناء ترك الـ(Stressing equipment) للـ(Strand) ينزلق الـ(Wedge) للداخل حتى يمنع انزلاق الـ(Strand) ، فتقل الاستطالة الفعلية وقوى الشد الداخلية للـ(Strand) ، يكون هذا الفقد في اغلب الاحيان = 6مم ، وقد يختلف من تصميم لاخر وحسب المورد والمصَنِع (Manufacturer) للـ(Wedge) والنظام كاملا .

- **الاحتكاك الداخلي (Wobble & curvature friction)**

وهو الاحتكاك المتولد نتيجة لعملية شد الـ(Strands) واحتكاكة مع جدار الـ(Duct) عند اعلى واقل منطقة في الـ(Profile) الخاص بالـ(Tendon) ، وتزيد وتقل هذه القيمة حسب كثرة هذه الانحناءات وقلتها طبقا للتصميم ، وايضا تنتج اذا قمنا بعمل انحناءات افقية في الـ(Tendons) عند محاولة تفادي الفتحات بالسقف كما سبق ووضحنا مسبقا ، وتتراوح هذه القيم في الكود الامريكي في حالة البلاطات اللاحقة الشد المحقونة بـ(wobble friction =K(0.0016 – 0.0066) curvature coefficient =μp(0.15 -0.25)) .

لتعميق مفهوم الفقد في القوى الداخلية القصيرة المدى (Short term losses) ومدى تأثيره على طول الـ(Tendons) ومدى تأثيره على طريقة الشد إذا ماكنا سنقوم بالشد من اتجاه واحد أو من الاتجاهين فلنفهم بعض المفاهيم الاساسية :

- كلما زاد سمك البلاطة زاد الـ(Wobble & curvature friction) لأنه كلما زادت المسافة بين أعلى نقطة على السطح العلوي للبلاطة والسطح السفلي للبلاطة زاد انثناء الـ(Tendon) وبالتالي يزيد الاحتكاك بين الـ(Strands) والجدار الداخلي للـ(Duct) .

- كلما زاد عدد الـ(Strands) بداخل الـ(Duct) زادت قوى الاحتكاك الداخلية(Friction) بين الـ(Strands) وبعضها البعض والذي يحدد عدد الـ(Strands) المطلوبة هو الاحمال التشغيلية التي تصمم عليها البلاطة.

وبناءا على ما سبق فإنه لايوجد طول محدد صريح نستطيع أن نحدد به اقصى طول للـ(Tendons) لشده من ناحية واحدة أو من الناحيتين بحيث يحقق نتائج الشد المرجوة والاعتماد الكلي يرجع الى المصمم ونسب الفقد والاحمال التشغيلية المعرض لها العنصر .

- **عومل فقد طويلة المدى (Long term losses or final losses)** .

- **انكماش الخرسانة (Shrinkage of concrete)**

تنكمش الخرسانة بطبيعتها كمادة مع الوقت والذي يحدد مدى شدة الانكماش الحاصل بالخرسانة هو درجة الحرارة واسلوب المعالجة الامثل والمحتوى المائي للخلطة الخرسانية وكلما اهتممنا بطرق المعالجة كما قل الانكماش بالخرسانة وعادة ما يتراوح هذا الفقد في البلاطات اللاحقة الشد عند (5%) ، طبقا للكود يحدث حوالى 80% من الفقد نتيجة الانكماش بعد سنة من صب المنشأ وحدد الكود قيما للانكماش الحاصل في البلاطات اللاحقة الشد من (7-14) يوم بعد الصب بـ(Shrinkage strain €sh =200x10-6) ولهذا غير مسموح بغلق الـ(Pouring strip) قبل 14 يوما على الاقل من الصب .

- **الفقد نتيجة زحف الخرسانة (Creep losses)**

يحدث تشوه في الخرسانة مع الزمن ومع وضع حمل ثابت عليها لمدة طويلة بان تزحف وتسبب تشققات بسطح الخرسانة اذا لم يتم تلافي حدوثها وتحدث نتيجة لعدة عوامل وهو نسبة المحتوى الاسمنتي والمائي وكثافة الخرسانة بالخلطة الخرسانية وايضا بسبب الحرارة والرطوبة وحسب مدة تأثير الحمل على العنصر مع الوقت ، وحدد الكود المصري الـ(Creep coefficient) للبلاطات اللاحقة الشد بـ(1.6).

- **نقص الاجهادات الداخلية مع الزمن (Relaxation of steel)**

يحدث هذا الفقد نتيجة لان الحديد مادة (Ductile) أي أنها وعند شدها يحاول الحديد العالي المقاومة الرجوع لطوله الأصلي وبالطبع لايعود بكامل طوله ولكن بنسبة صغيرة .

وتلخيصا لعوامل الفقد يمكن ان نشرح العملية باختصار اننا نقوم بحساب جميع العوامل التي تؤثر في القوة الداخلية التي عرضنا لها الـ(Tendon) والتي سبق وقلنا انها مجتمعة تمثل من (10%-15%) من اجمالي القوة النهائية التي نعرضها للـ(Strands) ثم نقوم بخصم هذه القوة م القوة المطلوب تحقيقها على الـ(Strands) .

❖ ملاحظات عامة لعملية الشد وعوامل الفقد المؤثرة على الاستطالة:

- في حالة شد الـ(Strands) من الطرفين يمكن الشد من طرف واحد اولا وبكامل القوة المطلوبة ثم الانتقال الى الطرف الاخر والشد منه منه بنفس القوة المطلوبة لانه عند الشد من الطرف الاول لاتصل القوى الداخلية للقيمة المطلوبة من جهة واحدة وعند الشد من الطرف الاخر يتم شد باقي قوة الشد المطلوبة ولفهم ذلك فلنوضح بمثال :

اذا كانت الاستطالة المثالية المطلوبة = 20 سم فانه عند الشد من الطرف الاول ستحقق استطالة قدرها مثلا 15 سم ، وعند الانتقال للطرف الاخر والشد سنحقق باقي الـ5 سم المطلوبة ، وفي بعض الاحيان اذا كان طول الـ(Tendon) لا يستدعي شده من الطرفين وتم تنفيذه ليتم شدة من الطرفين ستجد انك وعند الشد من الطرف الاخر لاتحقق اي استطالة ويتم تحقيق الاستطالة المطلوبة بالشد من الطرف الاول فقط .

- وجد من خلال تنفيذ العديد من المشاريع أن اقصى طول للـ(Tendon) يمكن شده من ناحية واحدة ونستطيع تحقيق الاستطالة المطلوبة فقط هو (125 ft) اي حوالي 38 متر طولي ، ووجد انه اقصى طول للـ(Tendons) ويمكن شدها من الاتجاهين ونستطيع تحقيق الاستطالة المطلوبة هو (250 ft) اي حوالي 76 متر طولي ، وقد تختلف هذه القيم من مشروع لاخر ومن نظام لاخر ويتم تحديد هذه الاطوال عن طريق المصمم في بداية المشروع والتي تعتمد في معظم الحالات

على العوامل التي تؤثر في قيم فقد القوى الداخلية (Losses in prestressed members) والتي سيلي شرحها تفصيليا .

- لايفضل عمل (Tendons) بطول اقل من (35 ft) حوالي 10متر طولي وذلك لانه على الاغلب لن يحقق اي استطاله تذكر حيث ان معدلات الفقد التالي ذكرها تؤثر بصورة كبيرة على الكابلات القصيرة ، وبدلا من هذا يتم تعويض هذه المنطقة بحديد التسليح وتصميم الحديد بحيث يتلافى الاحمال في هذه المنطقة ، ولكن اذا قلت هذه العوامل التي تقلل من قوة الشد النهائية قد يحقق النتائج المرجوة واكثر ثلاثة عوامل مؤثرة هي الـ(Friction) و الـ(Wobble) والـ(Wedge losses) كما سيلي ذكره تفصيليا .

❖ عملية الحقن (Grouting)

تعتبر عملية الحقن من اهم العمليات في نظام البلاطات اللاحقة الشد المحقونة (Bonded post tension slabs) حيث أن عملية الحقن لها ثلاث فوائد اولا حماية الـ(Strands) من العوامل التي تسبب التآكل بتغليف الـ(Strands) وايضا لان الوسط القلوي الذي يحتويه الـ(Grout) يقلل من عملية الصدأ للـ(Strands) ، والسبب الثالث والاهم والذي يعتمد عليه النظام هو نقل القوى الناتجة عن قوى الشد من الـ(Tendons) الى الخرسانةالمحيطة لتعادل القوى المؤثرة على العنصر (Serviceability loads) ، تبدأ هذه العمليه بعد الحصول على موافقة المصمم على نتائج الشد ، بعد التأكد من تقطيع الجزء البارز من الـ(Tendons) مع ترك 2 سم بروز عن الـ(Wedge) كمعامل امان في حالة انزلاق الـ(Strands) عن الـ(Wedge) وتنظيف التجويف ، ويتم ملء التجويف بمونه غير قابله للانكماش ، فى حالة وجود صندوق للشد (Stress box) يتم صب خرسانه من نفس اجهاد الخرسانة للسقف أو مونه غير قابله لالنكماش(Grout) ، يتم دفع الهواء عن طريق الـ(Compressor) في الخراطيم الخاصة بمسار الحقن (Grouting pipes) لضمان عدم وجود أى انسداد فى الـ(Ducts) ، يتم تجهيز المواد المستخدمة في عملية الحقن وهي الاسمنت والماء والواح من الثلج واالإضافات التي

تساعد على زيادة الـ(Workability) إذا لزم الامر ، و حتى يصل الـ(Grout) لاقصى اجهاد له وبتشغيلية عالية يجب أن تكون درجة حرارة الخلطة لاتزيد عن 32 درجة مئويه ولاتقل عن صفر درجة مئوية حيث أن درجة الحرارة المرتفعة تعمل على تسريع معدل الشك وتقليل التشغيلية ودرجة الحرارة المنخفضة جدا تعمل على عدم وصول الخلطة الى الاجهاد المطلوب ويزيد النزيف والتسريب للخلطة لذا يجب اتباع توصيات المصنِع(Manufacturer) للوصول لدرجة الحرارة المثالية التي تعطي اعلى اجهاد وافضل تشغيلية للخلطة ، ثم يتم خلط الاسمنت بالماء والـ(Grout) طبقا للنشرة الفنية الخاصة بالـ(Grout) ثم البدء بعملية الحقن اما باستخدام ماكينة الحقن الكهربيه أو ماكينة الحقن التى تعمل بضغط الهواء ويراعى وضع الثلج في الخلطة حتى تزيد التشغيلية ويقل معدل الاماهه (Hydration) للخلطة ، يتم الحقن من خالل وضع الخرطوم فى ناحيه وخروج مادة الحقن من الناحيه الاخرى ، فى حالة انسداد أى مسار يتم عمل ثقب خفيف فى منتصف المسافه بجسم الـ(Tendon) ليسمح بخروج المونة .

- **هناك عدة عوامل تحدد اختيار المادة المستخدمة في الحقن (Grouting material) وهي :**
  - **معدل فقد المياه في الخلطة (الاماهه) (Cement hydration)**

    حيث تؤثر في تشغيلية الخلطة الاسمنتية وزمن الشك للخلطة.
  - **معدل الانسيابية في الخلطة (Grout fluidity)**

    حيث يتحكم في هذا المعدل الوقت اثناء عملية الحقن ودرجة حرارة الخلطة .
  - **معدل النفاذية المسموح به طبقا للتصميم (Grout permeability)** .
  - **مقاومة الضغط المطلوبة للخلطة طبقا للتصميم (Grout strength)** .
  - **معدل النزيف المسموح به للخلطة وخصائصة (Bleeding characteristics)** .
  - **معدل الفقد في حجم الخلطة وطريقة التحكم فيها (Volume control)** .

○ **المستوى المطلوب من الحماية ضد البري للـ(Strands) طبقا للتصميم (Required corrosion protection).**

يجب أن تحقق مقاومة ضغط المونة المحقونة مقاومة بحيث لا تقل نتيجة أي اختبار عن 85% من المقاومة المطلوبة ، وتعتمد الفترة الزمنية القصوى التي نستطيع أن تبقى الـ(Tendons) بدون حقن على مدى قسوة العوامل الجوية التي من الممكن أن تسرع من عملية الصدأ للـ(Strands) ، وعلى مدى مستوى الحماية المطلوب للـ(Strands) ، فكلما زادت درجة الرطوبة والعوامل التي من الممكن أن تسرع من عملية انتشار الصدأ في الـ(Strands) كلما كان لزاما أن نقوم بعملية الحقن في اقرب وقت كما بالجدول الاتي الذي يحدد اقصى مدة يمكن أن تظل الـ(Strands) معرضه للعوامل الجوية وذلك منذ بداية عملية تركيب النظام في البلاطة ، وذلك لأنه لا يتم استخدام مواد حماية ضد الصدأ على الـ(Strands) حيث يتم استخدام هذه المواد في النظام الذي لا يتم حقنه فقط ، هناك العديد من الطرق التي يمكن عن طريقها التحقق من جودة عملية الحقن ، وتستخدم هذه الطرق في حالة ملاحظة مشاكل جدية وشروخ أو هبوط حاد بالسقف ونود التأكد من جودة عملية الحقن ونذكر بعضها كالاتي :

Exposure	Permissible Intervals Between Tendon Installation and Grouting Without use of a Corrosion Protection
Very Damp Atmosphere or over salt water (Humidity > 70%)	7 days
Moderate Atmosphere (Humidity < 70% > 40%)	20 days
Very Dry Atmosphere (Humidity < 40%)	40 days

أقصى مدد مسموحة بعد البدء في التركيب وحتى الحقن

○ **(Visual inspection)**

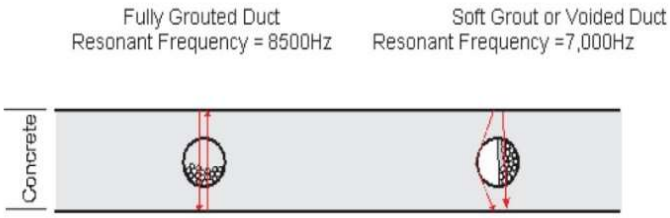
وهو ملاحظة شروخ واضحة وصريحة بالبلاطة وتكون في مسار الـ(Tendon) وتكون ظاهره وسطحية وتكون هذه من العلامات القوية التي تدل على صدأ الـ(Strands) نتيجة لعدم حقن الـ(Duct) .

- **Locating tendons with ground–penetrating radar ((GPR))**

ويتم باستخدام جهاز يكشف عن شكل الـ(Strands) بداخل الـ(Duct) ونستطيع أن نرى عن طريق شاشة موصله به شكل مكونات الـ(Tendon) داخل الخرسانة والحكم على جودتها ويعتبر من أفضل الانظمة الغير مدمرة للكشف عن جودة الـ(Tendons) .

- **(Sonic/ultrasonic impact echo to detect grout void)**

تعتبر هذه الطريقة من اكثر الطرق كفاءة للكشف عن جودة الحقن وتتم عن طريق جهاز يقوم بتسليط أشعة على الـ(Tendons) وعن طريق حساب معامل الارتداد بين الاشعة الصادرة والواردة الى الجهاز نستطيع معرفة جودة الحقن كما بالشكل .



Sonic/ultrasonic impact echo to detect grout void.

وهناك طرق اخرى تعتمد على قياس نسب الرطوبة بداخل الـ(Tendon) وطرق اخرى معملية تعتمد على قياس نسبة الكلوريدات والكبريتات وهي لقياس مدى كفائة التركيب الكيميائي لمادة الحقن أو مدى جودة التغليف الكامل للـ(Strands) .

ملئ التجويف بمونة غير قابلة للانكماش بعد الانتهاء من الحقن

الفصل الرابع : بعض المشاكل الموقعية اسبابها وطريقة الحل:

❖ انفلات الـ(Strands)

في بعض الحالات يحدث انفلات لل(Strands) لتدخل داخل البلاطة ويظهر الـ(Strand) المنفلت من الطرف الاخر في حالة الشد من الناحيتين ، يحدث هذا الامر نتيجة عوامل مختلفة مثل عدم تنظيف الفوم جيدا وعدم جعل الـ(Wedge) ملتصقا كفاية بالـ(bearing plate) ، السبب الثاني هو ان تكون جودة الـ(Wedges) سيئة مما تسمح بانفلات الـ(Strands) ، اذا فالسبب الاول بسبب سوء التنفيذ والسبب الثاني بسبب قلة جودة الـ(Wedge) ، قد يكون الانفلات لحظة الشد مباشرة وقد ينفلت الـ(Strand) بعد مدة لذا يتم التوصية عند اجراء عملية الشد الابتعاد عن منطقة الشد بمسافة امنه وعم الاقتراب من مخرج الـ(Strand) مالم يتم حقنها لانه وبعد الحقن ووصول اجهاد المونة للحقن الى القيم المطلوبة تتماسك الـ(Strands) بداخل الـ(Duct) ولايعتمد تماسكها بعد هذه المرحلة على الـ(Wedges) .

طريقة المعالجة :

في حالة دخول الـ(Strand) داخل البلاطة لمسافة قريبة 50 سم او اقل يتم محاولة دفع الـ(Strand) من الجهة المقابلة حتى وصوله لمكانه الطبيعي ثم تركيب (Wedge) جديد وتعتمد قدرتنا على العودة بالـ(Strand) لمكانه الاصلي بمدى صعوبة الـ(Profile) وكثرة او قلة الانحناءات بالـ(Tendon) ، وفي حالة عدم القدرة على ارجاع الـ(Strand) لمكانه يتم ارسال النتائج الى المصمم مع الوضع في الاعتبار اننا فقدنا كامل قوة الشد بداخل هذا الـ(Strand) اي انه في حالة ان الـ(Tendon) يحوي عدد 4 (Strands) مثلا وانفلت (Strand) واحد فقط يبقى الثلاثة (Strands) في اماكنهم وبهم قوى شد وبذلك يكون الـ(Tendon) فقد ربع قوى الشد به ،يقوم المصمم بمراجعة النتائج بناءا على الوضع الحالي ووضع توصياته .

❖ انهيار الخرسانة عند منطة الشد .

وهذا هو اكثر المشاكل الموقعية شيوعا والتي تحدث باستمرار ونلخص اسبابها في الاتي :

- عدم دمك الخرسانة باستخدام الـ(Vibrator) جيدا اثناء الصب.
- عدم الاهتمام بتسليح الـ(Anchorage zone) بطريقة جيدة او عدم تنفيذ الـ(Bursting R.F.T) بطريقة سليمة.
- عدم صب البلاطة بالسمك المطلوب حيث ان اقل سمك للبلاطات اللاحقة الشد والذي يكون امنا اثناء الشد هو 25 سم ، وقد يحدث ولسوء اعمال الصب ان يقل هذا السمك عند مناطق الشد .

- اقتراب الـ(Tendons) من بعضها فتتداخل منطة الاحمال الخاصة بالـ(General zone) بين كل (Tendon) والاخر ويجب اعطاء هذه الـ(Tendons) اهمية اكبر اثناء تصميم الـ(Bursting R.F.T) واثناء تنفيذها .

طريقة المعالجة :

تتمثل طريقة المعالجة هنا ان نقوم بتكسير الخرسانة في منطقة الانهيار حتى الوصول واعادة تركيب الـ (Live end) من جديد ، ثم اعادة صب المنطقة المتضررة باستخدام الـ(Grout) الغير قابل للانكماش والذي يكون مخصصا لمعالجة الاحجام الكبيرة من الفتحات بحيث تكون مقاومته تساوي أو اعلى من اجهاد خرسانة السقف نفسة ، ثم الانتظار حتى يتم تكسير مكعبات الـ(Grout) الذي تم اعادة الصب به ، واخيرا يتم شد الـ(Strands) لهذه النقطة ومقارنتها بالنتائج القياسية للاستطالة ، ويجب في حالة اعتماد باقي نتائج الشد لجميع الـ(Tendons) ماعدا هذا الـ(Tendon) الذي نقوم بإعادة تركيبة وصبة وفي حالة فك الشدة للسقف يجب مراعاة عدم فك الشدة أسفل هذا الـ(Tendon) حتى الانتهاء من أعمال ترميم الـ(Tendon) المتضرر واستيفاء قيم الاستطالة المطلوبة ومن ثم اعتمادها من المصمم واخيرا ازالة الشدة .

الفصل الخامس :اعتبارات عامة اثناء التصميم و التنفيذ :

❖اعتبارات عامة اثناء تصميم البلاطات اللاحقة الشد :

- يفضل الا يتم شد النهايات الحية (Live ends) للـ(Tendons) من الاعمدة او الحوائط الخرسانية الداخلية او الحوائط الخرسانية الخارجية لان هذا يسبب احمال جانبية اضافية على العناصر الرأسية ، ويفضل ان يتم عمل (stress box) امام الاعمدة والحوائط والشد منها ، وفي بعض الحالات التي تستلزم الشد من هذه العناصر لابد من المصمم ان يقوم بتامين هذه الاحمال الاضافية نتيجة عملية الشد وتقديم الحسابات اللازمة التي تؤكد سلامة الشد من هذه العناصر .
- كما سبق وتم شرحه فائدة الـ(Pouring strips) هو فصل السقف الى عدة اجزاء اثناء مرحلة التنفيذ حيث يتم شد النهايات الحية (Live ends) منه ، وعند تحديد اماكن الـ(Pouring

strips) هناك شرطان يتحكمان في انسب مكان لوضعه ، الاتزيد اكبر مسافة للـ(Tendon) الذي يتم شدة من الطرفين (Both ends live ends) الا تزيد عن (250 ft) اي حوالي (76 m) وذلك لانه وبعد تجاوز هذه القيمة يصعب الوصول للاستطاله المطلوبه بسبب عوامل فقد القوى التي تم شرحها سابقا بالتفصيل ، وهذا يعني ان المسافة بين الـ(Pouring strip) والتي تليها يجب الا تتجاوز الـ76 م ، وكذلك المسافة بين الـ(Pouring strip) وحافة البلاطة او الحائط الساند الذي يليه يجب الا تتجاوز الـ76 م ، واذا قام المصمم بالزيادة عن هذه القيم يجب أن يقوم بعمل جميع الاحتياطات التصميمية التي تؤكد الوصول للقيم المطلوبة والتي غالبا ما تعتمد على نسبة الفقد في قوى الشد (Stresses losses) ، ومدى ثقل الاحمال على السقف المطلوب تصميمه .

❖ مشاكل موقعية اثناء التنفيذ :

قد تواجهنا بعض المشـــاكل الموقعية اثناء التنفيذ والتي تســـتوجب حلا لحظيا ولمعرفة طريقة حل هذه المشـــاكل علينا بداية أن نفهم طريقة عمل النظام وما ســـيترتب عليه عند وضـــع الحلول ، ومن هذه المشاكل الاتي :

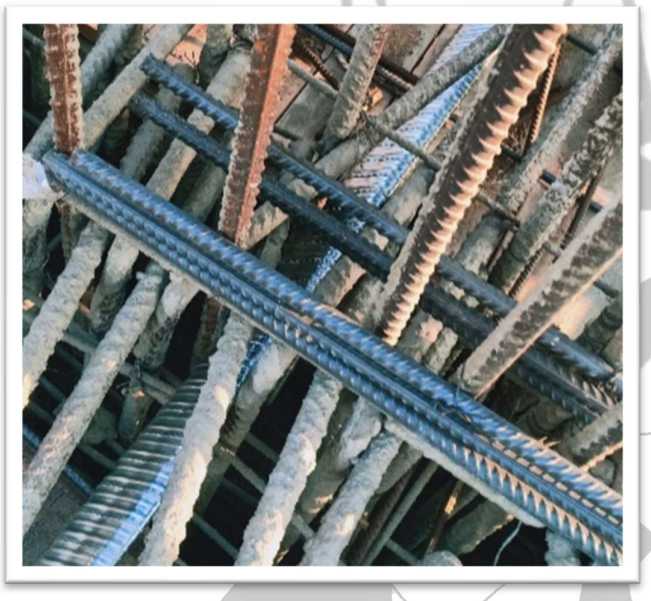
- **تعامد نقطتين للشد (Live ends) فوق بعضهم البعض**

قد يحدث أن تجد نقطتين في اتجاهين مختلفين تتلاقى فيها نقاط الشد في نقطة واحدة لكلا الاتجاهين طبقا للوحات التصميمية والتنفيذية ، ومع ضرورة التنبيه أنه من المفترض الا نجد مثل هذه المشكلة في اللوحات لانه لابد أن يتم التنسيق بين الاتجاهين حتى لاتتعارض النقاط مع بعضها البعض الا ان حل هذه المشكلة ليس بالصعوبة اذا ما فهما طبيعتها فعند تلاقي نقطتين شد وكلا الـ(Tendons) نهاية حية (Live end) والاخرى ميته (Dead end) .

يتم عكس اتجاه الشد لاحدى الـ(Tendons) فعكس اتجاه الشد لايؤثر على نتائج الشد طالما ظللنا محافظين على شكل الـ(Profile) ، أما في حالة كان الشد من الاتجاهين فلابد من الرجوع الى المصمم

والذي بدوره يقوم بتقصير طول الـ(Tendon) لاحدهما وتعويض هذا القِصَر بحديد تسليح يقاوم الإجهادات في هذه المنطقة .

- **تعارض مسار الـ(Tendon) مع أشاير الاعمدة أو مع أي حديد آخر بالسقف**



في أحيان كثيرة تتعارض مسارات الـ(Tendons) مع أشاير الاعمدة ومع حديد الكمرات أو مع حديد الـ(Punching) في جميع الحالات يجب إعطاء الاولوية لمسار الـ(Tendons) ، بأن نقوم بثني أي حديد يعارض المسار أو ازالته وذلك حسب نوع الحديد المتعارض مع المسار وتأثيره على الاعمال ، ويجب ألا يتم الضغط على جسم الـ(Duct) أو عصره أو لفه بأي حال من الاحوال لأنه قد ينتج عن ذلك احتكاك داخلي زائد غير محسوب بين الـ(Strands) وقد ينتج عن هذا عدم وصول الـ(Strands) لقيم الاستطالة المرجوة والادعى قد يؤدي هذا إلى قطع في الـ(Strands).

الفصل السادس : طريقة عمل فتحات في البلاطات اللاحقة الشد ذات الكابلات المحقونة (Bonded):

قد نضطر بعد الانتهاء من صب البلاطة الى عمل فتحات بالسقف بسبب بعض التعديلات المعمارية المستجدة ، وقد تأتي هذه الفتحات في أماكن (Tendons) قد تم تنفيذها وحقنها بالفعل ولا يوجد ما يمنع من عمل فتحات وقطع الـ(Tendons) ولكن باشتراطات واجراءات فنية معينة حيث أن الـ(Strands) بعد حقنها تنتقل القوى الداخلية بها الى الـ(Grout) المحيط بها ومن ثم الى جسم الـ(Duct) ثم الى الخرسانة لتكون اشبه بوحدة واحدة حيث تعمل كل وحدة طولية من الـ(Tendon) على توليد قوى معاكسة للاحمال المعرض لها هذا الجزء بفعل قوى التماسك بين الـ(Strands) والـ(Grout) وجسم الـ(Duct) ونستطيع أن نعرف نظريا اقل طول للـ(Tendon) المقطوع الذي يمكن أن يعمل منفردا بعد الانتهاء من حقنه اذا ما اجرينا عليه الحسابات الخاصة بقوى الاحتكاك الداخلية والتماسك بين مكونات الـ(Tendon) مع الخرسانة المحيطة ، وعمليا يفضل الا يتم القطع في عدة مناطق في الـ(Tendon) الواحد لانه لايمكن ضمان جودة النظام المنفذ مئة بالمئة ولذلك وجب أخذ الاحتياطات عند عمل الفتحات وهي ألا نقوم بعمل فتحات عند أقصى ارتفاع أو انخفاض في الـ(Profile) ونحاول بقدر المستطاع البعد عن هذه المناطق ، وعند تنفيذ الفتحة يجب التأكد أن الـ(Tendon) محقون بالكامل باجراء ايا من اختبارات الكشف عن الحقن التي سبق وذكرناها ، بعدها نقوم بعمل الفتحة طبقا للخطوات المعتمدة والاماكن المعتمدة التي سبق واعتمدها المصمم ، وبعد الانتهاء من عمل الفتحة يتم عمل النهاية عند القطع (Dead end) حيث يتم عملها باستخدام الـ(Onion jack) لمنع حدوث أي انزلاقات داخلية مستقبلية للـ(Strands) إذا ما قلت كفائة مادة الحقن مع الزمن ، ثم يتم صب النهايات الميتة واطراف الفتحة باستخدام الخرسانة من نفس الاجهاد المستخدم للسقف أو باستخدام الـ(Grout) وذلك بعد الانتهاء من عمل وتحديد الفتحات ووضع أي حديد إضافي مطلوب من قبل المصمم حول هذه الفتحات

❖ نظرة عامة وتلخيص لفكرة المعايير والحدود في البلاطات اللاحقة الشد

هناك معايير تم وضعها من جهات موثوقة عدة بناءا على حسابات دقيقة وخبرات متراكمة على مدار سنوات ، هذه المعايير تخص المواد المستخدمة في نظام البلاطات اللاحقة الشد وتخص طريقة التنفيذ وحدود القبول والرفض اثناء التنفيذ وبعد عملية الشد وعملية الحقن ، المعايير التي لايمكن تجاوزها والتي لن تجد جهة تختلف عليها هي المعايير الخاصة بالمواد التي تكون النظام مثل المواد المكونة لكلا من (Anchor head) و (Anchor cast) و (Duct) و(Strands) و (Grout) والخرسانة واي مواد اخرى تدخل في نظام البلاطات اللاحقة الشد ، أما المعايير التي قد تختلف من مشروع واخر ومن مرجع لاخر هي المعايير التي تعتمد على طريقة التنفيذ ومدى التجاوز المسموح به مثل :

- الحيود الرأسي لارتفاع الكرسي الذي يمثل الداعم للـ(Duct) والذي يعطينا شكل الـ(Profile) المطلوب.
- الحيود الافقي للـ(Tendon) عن مكانه الاصلي كما بالمخطط التصميمي .
- قيم الفقد المختلفة التي تؤثر على القيم النهائية للشد.
- اقصى طول للـ(Tendon) الواحد عند شده من طرف واحد واقصى طول له عند شده من الطرفين وأقل طول له.

وهناك معايير اخرى تنفيذية قد تختلف من مصَنِع(Manufacturer) لآخر ، وكل هذه الاختلافات ترجع الى ان كل مشروع ومبنى تختلف ظروفه عن الاخر من حيث الأحمال المعرض لها و والفقد الذي يحدث في البلاطة أثناء وبعد عملية الشد والذي قد يختلف من مشروع لاخر تبعا لجودة التنفيذ فطريقة التصميم ومعايير الققد قد تختلف اثناء تنفيذ المشروع فمع الوقت وبناءا على النتائج الخاصة بالشد يقوم المصمم باعادة تقييم المقاول المنفذ للنظام فاذا كانت النتائج مرضية الى حد كبير قد يقوم بخفض معايير الـ(Factor of safety) وقد يقوم بخفض قوى الفقد الداخلية التي تعتمد على طريقة التنفيذ مثل الـ(Friction) وكلما كان المقاول المنفذ ذا كفاءه عالية في تنفيذ النظام كلما تحسنت النتائج

واقتربت من النتائج المرجوة وكلما قلت معاير الـ(Factor of safety) والفقد كلما قلت اعداد الـ(Tendons) بالبلاطة وبالتالي توفير في التكلفة العامة للمشروع وهو الهدف الاساسي لاستخدام نظام البلاطات اللاحقة الشد .

وفي النهاية أود أن أنوه إلى أن البلاطات اللاحقة الشد (المحقونة) تعتمد على كثير من الخطوات والاجراءات المتلاحقة التي يجب أن نوليها كل الاهتمام ، حيث أن الاهمال أو التقصير في أي خطوة منهم قد تؤدي إالى عواقب وخيمة قد لاتظهر في الوقت القريب ولكن تظهر مشاكلها على المدى الطويل ، ومن المهم أن يكون كلا من المقاول المنفذ للنظام والمهندس المشرف على الاعمال من ذوي الكفاءة العالية ، ومن المهم أن يتم تدريب وتثقيف جميع العاملين والمشرفين على الأعمال الخاصة بالبلاطات اللاحقة الشد وتوعيتهم للخطورة والتوابع الجسيمة التي من الممكن أن تحدث حالة الاهمال أو التقصير في أي مرحلة من مراحل تنفيذ البلاطات اللاحقة الشد .

ادعو القُراء إلى الكتابة إليَ مباشرة حول اقتراحاتهم وتعليقاتهم على ما جاء بالكتيب وذلك من خلال المراسلة على البريد الالكتروني التالي

M7mm333@gmail.com

Linked in account: https://www.linkedin.com/in/mohammad-hassanien-mahmoud-025704180

والله ولي التوفيق

(References) المراجع

- ECP-203 -2020
- BS 8110 -1997
- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-19)
- Post -Tensioned Concrete Design for ACI 318-08
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 6892-1 First edition 2009-08-15 Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature
- BRITISH STANDARD BS 8110-1: 1997 Incorporating Amendment No. 1 Structural use of concrete — Part 1: Code of practice for design and construction
- BS EN 10025-2:2019- BSI standards publication- hot rolled products of structural steels -part 2: technical delivery conditions for non-alloy structural steels
- DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES-First Edition-2008- Volume 3-Dr. Mashhour Ghoneim Professor of Concrete Structures Cairo University - Mahmoud El Mihilmy- Associate Professor of Concrete Structures Cairo University.

- Dubai Building Code Arabic Edition 2021.
- INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 9, ISSUE 11, NOVEMBER 2020 ISSN 2277-8616 154 IJSTR©2020 www.ijstr.org- Effect of Openings on Post-Tensioned Flat Slab - M. Shallan, T. Sakr, R. Shaker, H. Abd-El- Mottaleb.
- EN 1992-1-1 (2004) (English): Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
- BRITISH STANDARD - BS EN 447:2007 - Grout for prestressing tendons —Basic requirements.
- EUROPEAN ASSESSMENT DOCUMENT - EAD 160004-00-0301 - September 2016 -POST-TENSIONING KITS FOR PRESTRESSING OF STRUCTURES.
- Post-Tensioning Institute -The Use of Drop Caps to Reduce Flexural Reinforcement in Two-Way Post-Tensioned Slabs Answers from the PTI DC-70 Special Topics Committee - March 2010 - Issue No. 10 - Primary Author: Ken Bondy - Frequently Asked Questions - Mar. 2010 38800 - Web: www.post-tensioning.org.

- Post-Tensioning Institute - Frequently Asked Questions Key Sustainability Benefits of Post-Tensioned Concrete Answers from the PTI DC-100 Sustainability Committee SEPTEMBER 2014 - Issue No. 14 - Primary Author: Andrea Schokker, LEED AP - Frequently Asked Questions - Mar 2010 38800 - Web: www.post-tensioning.org
- Post tensioning manual – sixth edition –5601 N. black canyon HWY, suite 103 -phoenix, AZ 85021 telephone: (602) 870-7540 - www.post-tensioning.org
- The International Federation for Structural Concrete (fib) - Fib bulletin 75 -https://www.fib-international.org
- PTI Committee M55, "Specification for Grouting of Post-Tensioned Structures (PTI M55.1-12)," Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2012, 60 pp.
- EUROPEAN ASSESSMENT DOCUMENT - EAD 160027-00-0301- September 2016 - SPECIAL FILLING PRODUCTS FOR POST-TENSIONING KITS.
- Post-Tensioning Institute - PTI Journal Technical Session Papers GROUTED POST-TENSIONING TENDON EVALUATION By LIAO HAIXUE - Web: www.post-tensioning.org.
- BRITISH STANDARD - BS EN 446:2007 - Grout for prestressing tendons - Grouting procedures.

- AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications 9th Edition - 2020-LRFDBDS-9 - American Association of State Highway and Transportation Officials - www.transportation.org .
- STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION DIVISION OF ENGINEERING SERVICES - PRESTRESS MANUAL - A GUIDE FOR FIELD INSPECTION OF CAST-IN-PLACE POST-TENSIONED STRUCTURES - January 2005 - Revision 2 February 2014.
- https://www.youtube.com/@dirkbondy4231 –
- INFOKARA RESEARCH Volume 8 Issue 10 2019 ISSN NO: 1021-9056 - WORKING PROCEDURE OF CUT-OUT OPENING IN EXISTINGPOSTTENSIONING SLAB.
- Post-tensioned Concrete Floors - Sami Khan - Martin Williams - Director, Bunyan Meyer and Partners - Lecturer, University of Oxford, Department of Engineering Science and Fellow of New College, Oxford.
- PTI journal – December 2017 23 (Grouted post tensioning tendon evaluation) - Web: www.post-tensioning.org.