



Renforcement d'ouvrage innovant

avec les bandes
précontraintes
PRFC

Documentation technique



StressHead AG
Leumattstrasse33
CH-6002 Luzern
Tel +41 (0)41 210 40 30
Fax +41 (0)41 210 40 32
info@stresshead.ch
www.stresshead.ch

Table des matières

1	Généralités	3
	1.1 introduction	3
	1.2 domaines d'utilisation	4
2	Type de lamelles, force de précontrainte, données spécifiques	5
3	Ancrages	6
	3.1 ancrage mobile / ancrage fixe type I	6
	3.2 ancrage mobile / ancrage fixe type II	7
	3.3 ancrage mobile / ancrage fixe type III	8
4	Critères de mise en œuvre et exigences du système de précontrainte	9
	4.1 critères de mise en œuvre	9
	4.2 exigences du système de précontrainte	9
5	Projet	10
6	projet et calculs	11
7	confection et application du système	12
8	assurance de qualité	14
9	différence de tenue des matériaux PRFC – acier	15
10	Autres utilisations	17
	10.1 système de précontrainte avec liaison	17
	10.2 renforcements de silos	18
	Annexe	19

1 Généralités

1.1 Introduction

Depuis plus de trente ans, des bandes en acier sont collées ultérieurement afin de renforcer certaines parties de constructions. L'inconvénient de cette méthode réside dans le poids de ces bandes, leur longueur est limitée, leur application en est ainsi fortement alourdie. En outre, l'utilisation de ces bandes en acier induit des problèmes de corrosion d'où, l'obligation d'appliquer une protection assez conséquente contre cette dernière.

Durant les dix dernières années, la mise en œuvre des bandes PRFC a trouvé un très fort développement. Ces bandes sont légères, livrables sur le chantier en grandes longueurs. Sans problème, elles sont simples à appliquer, extrêmement stables et ne montrent aucun problème de fatigue.

La combinaison du comportement d'un matériau purement élastique sans capacité de déformation plastique, avec la localisation de déformation lors de fissures, conduit malheureusement souvent à une défaillance sèche du renforcement, déjà avec une déformation minime. La haute résistance à la traction directe des bandes PRFC ne peut être ainsi diminuée.

Par exemple, avec des mesures comme la précontrainte des bandes PRFC, une défaillance prématurée peut être donc évitée et les propriétés supérieures du matériel de renforcement PRFC jamais épuisées.

Arguments en faveur de l'utilisation de bandes PRFC

- faible poids propre (1.6 g/cm^3)
- faciles d'adaptation
- faible encombrement
- transport en rouleaux
- croisements de bandes sans problème
- très haute résistance
- excellente tenue à la fatigue
- résistantes aux alcalis
- aucune corrosion
- bords propres sans fibres mises à nu
- application économique

Arguments en faveur du système de précontrainte StressHead

- applicable même pendant le fonctionnement (sous effort dynamique)
- applicable même en présence de la mauvaise qualité du support (béton : min. 10 N/mm^2)
- exploitation des bonnes caractéristiques des bandes en PRFC
- ancrage final des bandes court (plus petit que 12 cm)
- transmission de la force concentrée au bout des bandes
- application simple, économique sans matériel de levage ou installations de presse
- bande et ancrage n'occupent que peu d'espace
- application rapide sur le chantier
- maniement simple même en circonstances étroites
- peut être employé comme ancrage d'extrémité en cas de longueur d'ancrage insuffisante de bandes détendues
- application indépendante du climat et de la température (sans raccordement)

1.2 Domaines d'utilisation

Augmentations des charges

- augmentation des charges d'exploitation
- trafic plus intense
- installation de machines lourdes dans l'industrie productrice
- changements de destination

Changements de normes

- tremblements de terre
- adaptation à des philosophies de dimensionnement changées

Endommagements d'éléments porteurs

- dégradation de matériaux
- corrosion de fers d'armature
- collision
- incendie
- tremblements de terre

Amélioration de l'aptitude au service

- réduction des déformations
- réduction des contraintes dans l'armature d'acier
- diminution des largeurs de fissures

Modification du système statique

- élimination de murs et piliers
- ouvertures pratiquées dans des dalles

Erreurs ou insuffisances du projet ou de l'exécution

- diamètres d'armature trop faibles
- hauteur de section insuffisante

2 Type de bandes, forces de précontrainte et données spécifiques

Le système de précontrainte StressHead est basé sur le principe d'une précontrainte externe, se composant de têtes de contrainte en PRFC, avec transmission de force concentrée aux terminaisons des bandes. Le système peut également être utilisé en système combinée (voir page 17). La force de précontrainte du système actuel se situe à $P_{o,max} = 220$ kN par membre de contrainte.

La pièce maîtresse du système de précontrainte StressHead est formée d'une bande en PRFC et de deux têtes de contrainte en PRFC. Ce système comprend les éléments suivants:

Le membre de contrainte en PRFC se compose de:

- bande en PRFC: Sika CarboDur S624 (60 mm x 2,4 mm = 144 mm²)
- tête de contrainte en PRFC fixée des 2 côtés « StressHead 220 »



III. 1: tête de contrainte „StressHead 220“

Le dispositif d'ancrage mobile se compose de:

- étayage avec goujon de cisaillement
- traverse
- 2 tiges filetées M24
- 2 écrous M24
- semelle de renvoi



III. 2: ancrage mobile type III

Le dispositif d'ancrage fixe est composé de:

- transmission de force par un goujon de cisaillement
- calotte fendue
- tôle de sécurité
- 2 vis M8



III. 3: ancrage fixe type III

Propriétés du système de précontrainte StressHead

Les propriétés du système de précontrainte s'alignent selon la qualité du système de précontrainte choisie et seront confirmées dans les essais d'agrément.

StressHead 220

matériel PRFC
poids 550 g
dimensions 60/80 x 110 mm

Bande PRFC

type Sika CarboDur S624
résistance à la traction directe $\geq 2'800$ N/mm²
dimensions 60 x 2,4 mm

Système précontraint StressHead

force de contrainte $P_{o,max}$ 220 kN
force ancrée $P_{u,min}$ 300 kN
rayons minimaux de déviation possibles
possibilité de placer une enveloppe tubulaire comme protection (avantageux pour des ensembles de contrainte à l'air libre)
précontrainte $\sigma_{Po} = 1540$ N/mm²
prédilatation $\epsilon_{Po} = 0.95$ %

3 Ancrages

L'ancrage des bandes précontraintes PRFC est adaptable sur les lieux de l'objet. La résistance à la charge a été prouvée lors d'essais sur des pièces de béton.

3.1 Ancrages fixes et mobiles type I

Avec l'ancrage du type I, le membre de précontrainte peut être ancré et tendu sur la plus courte distance, derrière un appui. Là, la modification de la structure est minimale et suppose simplement un carottage de 90 mm de diamètre. La plaque d'ancrage a une dimension de 170 x 170 mm et la force de précontrainte $P_{o, max} = 220$ kN, peut être alors absorbée par une résistance minimale de béton de 10 N/mm².



ill. 4: ancrage mobile type I

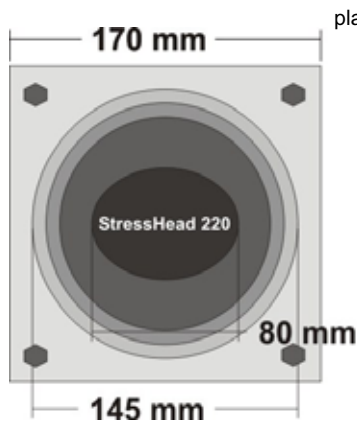


figure 1: plan de base

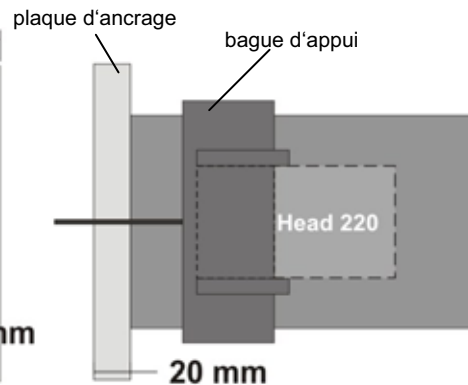


figure 2: coupe longitudinale



ill. 5: ancrage fixe type I

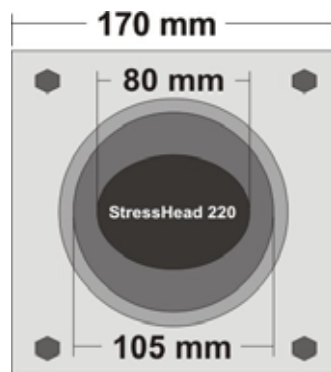


figure 3: plan de base

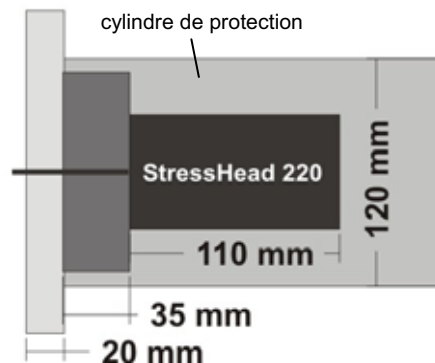
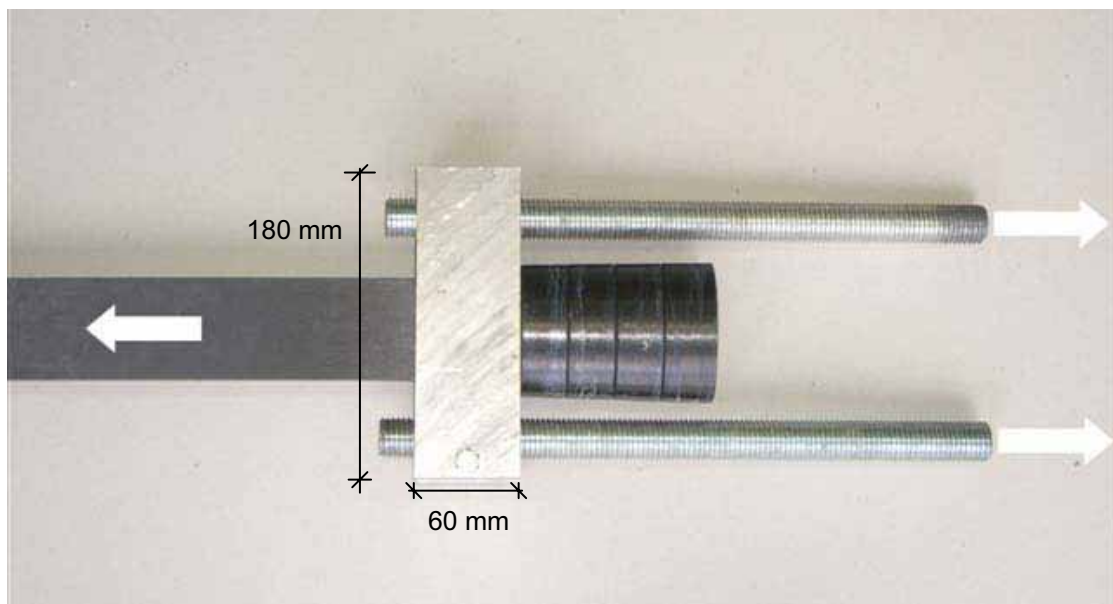


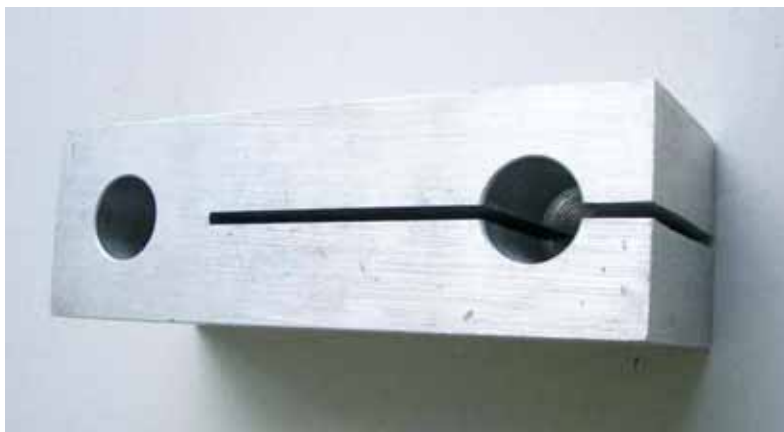
figure 4: coupe longitudinale

3.2 Ancrage fixe et mobile type II

Ce type d'ancrage peut être utilisé comme ancrage fixe et mobile. La tête de contrainte est tenue au moyen d'une traverse fendue (ill. 7) et fixée dans la partie finale par 2 tiges filetées M24.



ill. 6: ancrage fixe et mobile type II



ill. 7: traverse (60 x 60 x 180 mm)

3.3 ancrage fixe et mobile type III

Ancrage mobile type III

La force de transmission de l'ancrage mobile type III se répercute directement dans l'ouvrage au travers du goujon de cisaillement. Les parties saillantes du système de contrainte à la surface du béton, sont limitées à environ 5 mm des bandes et il reste un espace de 14 cm par rapport à l'ancrage mobile.



ill. 8: ancrage mobile type III



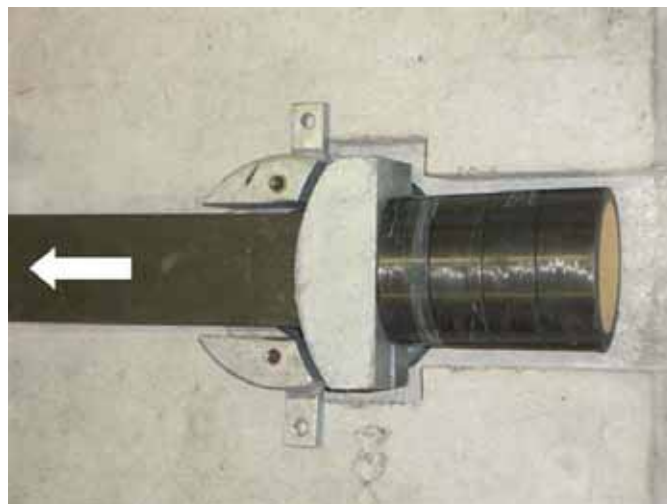
ill. 9 : renforcement d'un pont en Corée

Ancrage fixe type III

Selon la position de l'armature la plus extérieure, une partie de l'ancrage sera verticalement fixée à l'ouvrage. Ainsi, les parties saillantes du système de contrainte peuvent être réduites de 3 cm à la surface du béton.



ill. 10: goujon fixe de renforcement de 120 mm de dia., type III



ill. 11: ancrage fixe type III

4 Critères de mise en œuvre et exigences du système de précontrainte

4.1 Critères de mise en œuvre

Une mise en œuvre du système de précontrainte StressHead est intéressante économiquement dans plusieurs cas. De nombreux critères sont ainsi souvent remplis.

Transmission de la force concentrée

La transmission de la force concentrée s'impose lors de:

- transmissions de charges lourdes, coûteuses ou impossibles à réaliser sur des adhérences
- utilisations statiques qui nécessitent un flux de force clair, sûr et contrôlable
- utilisations statiques qui nécessitent un ancrage derrière un appui
- au cas où la preuve d'un ancrage détendu final des bandes mesurées ne peut être faite sans ancrage final mécanique

Avec une transmission de charge concentrée, le système de précontrainte est indépendant des propriétés des matériaux régionaux et superficiels utilisés pour la structure renforcée (surface de béton, laitance de ciment etc...).

Forces importantes de renforcement, même en circonstances étroites sur des distances libres

Grâce à la très haute exploitation de la résistance mécanique des bandes PRFC par la précontrainte, ainsi que par l'épaisseur de 2,4 mm des bandes, il est possible d'utiliser moins d'ensembles de contrainte, ce qui rend possible la pose de forces de renforcement élevées en un minimum de place (jusqu'à 220 kN par bande).

Limitation de la déformation de la structure à renforcer

Lors de déformations importantes ou naissantes sous des charges constantes, ou lors de déformations en raison de charges supplémentaires, il faut souvent réduire le fléchissement, voire l'empêcher. Grâce à une force extérieure de précontrainte, une telle structure peut être renforcée de façon efficace. Les problèmes liés aux fissures et à la fatigue sont ainsi désamorçés.

Interventions minimales à la structure à renforcer

Grâce à la flexibilité de la mise en place de la tête de précontrainte, le perçage nécessaire à un ancrage peut être déterminé à l'avance sur la structure (en particulier sur l'armature). Ainsi, la structure n'est affaiblie que d'une manière très minimale et l'armature existante n'est pas endommagée.

Application simple et rapide

Le système de précontrainte StressHead présente l'avantage de pouvoir être mis en place dans des conditions limites très étroites, d'où économie de temps, accessibilité, rapports de place pour le montage, même dans des conditions climatiques très dures. Les travaux préparatoires à la structure sont très minimes.

Protection contre la corrosion

De hautes exigences en matière de protection contre la corrosion concernant un système de précontrainte extérieur peuvent être tenues sans problème, grâce à l'utilisation de bandes PRFC dont la résistance à la corrosion est excellente.

4.2 Exigences pour le système de précontrainte

Jusqu'à présent, il n'existe pas de normes techniques spécifiques aux exigences du système de précontrainte PRFC. C'est pourquoi, ce système se base sur les données de l'EOTA, European Organisation for Technical Approvals. Cette directive élaborée pour le système de précontrainte en acier, peut être appliquée conformément au sens du système des bandes de précontraintes PRFC. D'un point de vue technique, des exigences et tests seront prescrits dans les domaines suivants:

- | | |
|--|---|
| - résistance statique | - résistance à la fatigue |
| - transmission de force dans le substratum | - coefficient de friction et pertes de friction |
| - déviation et coude | - assemblage, montage et procédé de contrainte |

5 Étude de projets

La phase d'étude du projet s'étend de la réception de celui-ci en passant par la détermination des mesures à prendre, de l'évaluation du système jusqu'aux plans détaillés de l'exécution avec toutes les spécifications. L'étude du projet avec l'utilisation du système de précontrainte StressHead peut être développé dans le cadre des démarches habituelles d'un projet.

Réception de la situation

La base de départ pour l'étude de projet prend naissance à la réception de la situation de l'élément porteur. De là, ressortent tous les problèmes relatifs aux réserves de force et/ou aux déformations de cet élément.

Définition des mesures d'assainissement et d'évaluation du système

Après l'établissement du but de l'assainissement, des critères seront déterminés afin de mettre en place un système de précontrainte StressHead économique et ingénieux.

Calcul du système

Sur une partie statique essentielle du système, il faut déterminer l'effet d'une force extérieure supplémentaire de précontrainte pour les calculs basés sur la structure existante non renforcée. Il faut en particulier, tester la sécurité de portance et la répartition de contrainte dans les coupes transversales et avant tout, dans tous les cas de charge déterminants, y compris une défaillance du système de renforcement.

Le calcul est basé sur les normes générales en vigueur pour une précontrainte externe seule et sur les données techniques pour le calcul du système de précontrainte StressHead.

Lors du calcul, les exigences suivantes sont à prendre en compte:

1. L'élément porteur renforcé doit être conforme aux normes valables relatives à la capacité d'utilisation et à la sécurité porteuse
2. La capacité de déformation existante sera limitée aussi peu que possible ; la défaillance aura lieu durant l'allongement plastique de l'acier
3. La défaillance du renforcement se produira dans l'ensemble de contrainte et non pas dans l'ancrage

Exécution de la préparation

Les membres de contrainte seront mis en place et les constructions d'ancrages seront déterminées en tenant compte des exigences de montage et de contrainte. Toutes les mesures nécessaires à la structure seront spécifiées dans la planification de l'exécution.

6 Plan et calcul

Les directives relatives au calcul seront tirées des règles connues pour des systèmes de contrainte conventionnels. Quelques particularités du matériel PRFC devront être prises en compte et pourront servir aux directives de calcul des bandes en PRFC collées. Dans le tableau 1, les règles les plus importantes sont résumées:

	système de contrainte acier seul	bande PRFC collée	bande PRFC contrainte seule
capacité porteuse capacité d'utilisation	$\sigma = \sigma_{P,\infty}$	$\sigma = \sigma$ {fixation de la charge du système histoire de contrainte}	$\sigma = \sigma_{P,\infty}$
cas d'incendie	$\sigma = \sigma(T)$ (perte)	$\sigma = 0$ (défaut)	$\sigma = 0$ (défaut)

Tableau 1: données de base d'un système seul

L'hypothèse $\sigma = \sigma_{P,\infty}$ pour des bandes contraintes seules est une réduction relative "du côté sûr". Sur des poutres sollicitées en flexion, une dilatation supplémentaire en état de rupture pourrait être prise en considération. Comme le Module d'élasticité de la bande est bas et la surface de la coupe transversale en général très petite, l'influence sur le comportement à la limite de charge reste faible. Pour d'autres utilisations (comme par exemple, renforcements au cisaillement ou précontrainte verticale de maçonnerie), la dilatation supplémentaire en état de rupture est très petite.

7 Fabrication et application du système

L'exécution jusqu'au montage final du système de précontrainte StressHead, se fait en 4 étapes (voir la dernière page).

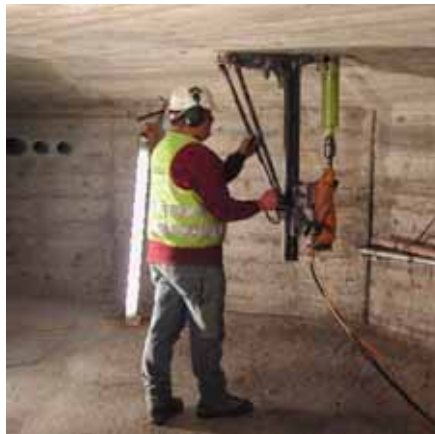
1 Préparation, mesure, perçage et fabrication du système de précontrainte StressHead

À compter du moment où la position de l'armature placée intérieurement est déterminée, les carottages pour les ancrages seront définitivement établis (ill. 12) et percés (ill. 13). Par la suite, les trous de perçage seront mesurés et ainsi, la longueur exacte du membre de précontrainte sera définie.

La fabrication du système de précontrainte StressHead comprend le jointolement de la bande et de la tête de précontrainte, pendant que les travaux préparatoires (déplacement des ancrages) se font de manière parallèle sur le chantier. Le membre de précontrainte peut être sur demande, commandé avec une précontrainte en atelier de ($P_o + 10\%$) d'où, assurance de la qualité.



ill. 12: détermination de la position définitive des carottages (en raison de la disposition de l'armature)



ill. 13: carottages pour les ancrages

2 Déplacement des ancrages

Pendant ce temps, les ancrages fixe et mobile sont déplacés. L'adhérence des ancrages (ill. 14 et 15) sera assurée au moyen d'injection. Normalement, il y a très peu d'interventions nécessaires à la surface du béton, sur la partie libre séparant l'ancrage fixe de l'ancrage mobile. Les angles aigus et les bavures du béton doivent être éliminés.



ill. 14: déplacement de l'ancrage mobile (type III)



ill. 15: déplacement de l'ancrage fixe (type III)

3 Montage et mise sous tension du système de précontrainte StressHead

Chaque membre de contrainte PRFC sera accroché avec les têtes de contrainte dans l'ancrage fixe (ill. 16) et dans l'ancrage mobile (ill. 17). Une presse de précontrainte est mise en place sur la partie mobile (ill. 18), afin de tendre jusqu'à la tension exigée, la tête de contrainte accrochée.



ill. 16: mise en place de l'ensemble de précontrainte dans l'ancrage fixe (type III)



ill. 17: mise en place de l'ensemble de précontrainte dans l'ancrage mobile (type III)



ill. 18: contrainte de l'ensemble de précontrainte

4 Fixation finale

Après avoir atteint la force de précontrainte $P_{o, max} = 220 \text{ kN}$, la tête de précontrainte est fixée à l'ancrage mobile par des écrous, la presse démontée et les tiges filetées superflues, coupées. Ainsi, le montage du système est terminé.



ill. 19: ancrage mobile définitif



ill. 20: ancrage fixe définitif

8 Assurance de qualité

Le but de l'assurance qualité est d'atteindre de façon sûre toutes les propriétés définies et garanties décrites du système, décrites dans les documentations techniques.

L'assurance qualité pour le système de précontrainte StressHead se base sur un plan de procédé et de contrôle très élaborés. Dans ce dernier, toutes les étapes de fabrication des composants, jusqu'au système contraint, sont exécutées de façon très détaillée, y compris les points de contrôle. Le trajet de chaque composant peut être remonté à l'envers depuis le système monté jusqu'à la fabrication, et ceci sans aucune faille. Des contrôles d'entrée et de sortie rigoureux rendent possible l'assurance de qualité à chaque phase des trois degrés de cette assurance:

1. assurance de qualité à la production des pièces détachées du système
2. assurance de qualité à la confection du système
3. assurance de qualité lors de l'application du système

Les deux premiers degrés de ces plans se basent sur des processus de production standardisés en atelier. Toutes les interfaces sont bien définies. Comme pièce maîtresse de l'assurance de qualité, la précontrainte en atelier de chaque membre de contrainte peut être augmentée de 10%, par rapport au niveau de précontrainte prévu ($P_{o, \max} + 10\%$).

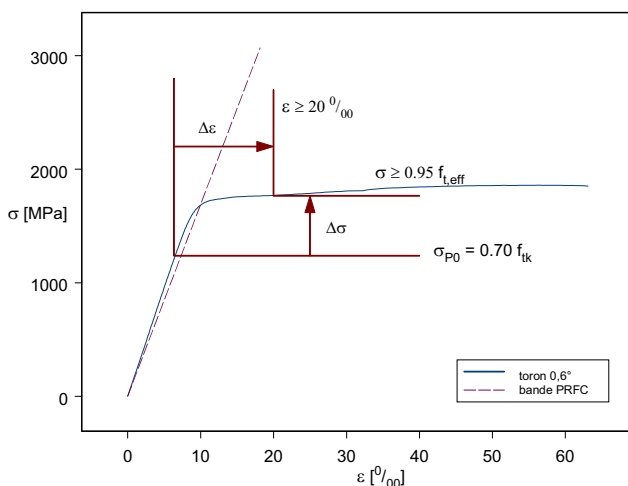
En ce qui concerne le 3^{ème} degré le processus, les contrôles au montage et le procédé de mise sous tension sont décrits de façon détaillée. Sur cette base, l'entrepreneur établit un plan de tests avec formulaires de protocole sur lesquels le procédé d'application est parfaitement détaillé. Dans cette phase, on différencie:

1. préparations sur le chantier pour assurer la fabrication finale
2. assurance du déplacement juste des ancrages selon les spécifications décrites dans le plan d'exécution
3. assurance de la phase du montage et de la mise sous tension du système

9 Différence de comportement du matériel, PRFC – acier

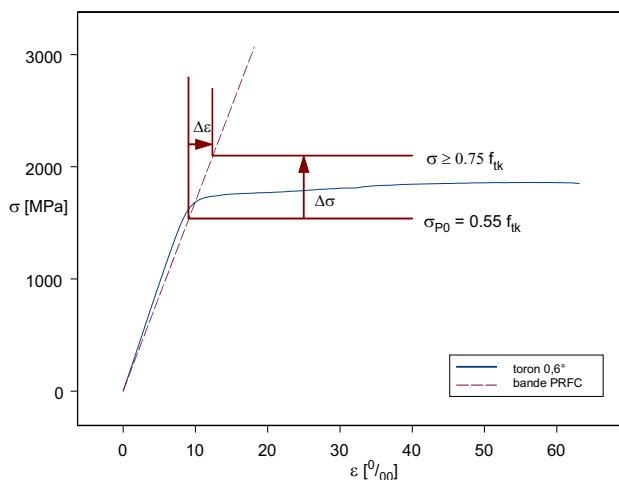
L'exigence de l'efficacité d'un ancrage sera pris en considération pour déterminer la différence de comportement de matériel entre l'acier et le PRFC. Pour des systèmes conventionnels de contrainte avec des ensembles de contrainte en acier, il est exigé que la charge d'essai du membre de contrainte atteigne au minimum 95 % de la résistance effective à la traction $A_{p,eff} f_{p,eff}$ du membre tendu. Dans la même optique, l'allongement du membre tendu doit être, sur une partie libre, de 20 % minimum. Sur l'illustration 21, ces deux conditions sont représentées sur le diagramme montrant la dilatation et la tension d'un acier tendu. Il est évident que les exigences sont bien accordées au comportement de l'acier contraint. Ensemble, il en résulte un écart suffisant de l'état de rupture de la précontrainte initiale introduite σ_{p0} , en rapport avec l'allongement $\Delta\varepsilon$ ainsi qu'avec l'augmentation de la tension $\Delta\sigma$.

Afin d'atteindre 95 % de l'efficacité exigée de l'ancrage lors d'utilisation de systèmes de contrainte conventionnels, il arrive que le membre tendu subisse un fluage et présente alors une grosse déformation avant la rupture.



ill. 21 : diagramme de dilatation et de tension d'un acier tendu en comparaison avec le PRFC

Pour des bandes en PRFC, en vertu d'un comportement purement élastique du matériel, et ce jusqu'au point de rupture, il n'y a pas de raison d'exiger une très haute efficacité d'un ancrage. La différence nécessaire garantissant une sécurité suffisante entre une précontrainte initiale et une tension de rupture, reste la même dans chaque segment du diagramme de dilatation et de tension.



ill. 22 : diagramme de dilatation et de tension du PRFC en comparaison avec un acier tendu

L'efficacité de l'ancrage peut ainsi, sur une base de donnée optimale économique être choisie. Il en résulte une précontrainte admissible.

L'importance d'une juste mise en œuvre de bandes tendues en PRFC consiste en une comparaison systématique de toutes les possibilités de solution et de tous les systèmes de contrainte. Etant donné que le système de contrainte en PRFC est aujourd'hui bien établi dans le domaine de force, ce dernier est à inclure dans la décision d'un choix. Dans le tableau 2, vous trouverez la comparaison de ces systèmes.

Propriétés		système de renforcement			système de précontrainte			
		armature collée			acier		PRFC seul	PRFC combiné
		bande acier	tissu PRFC	bandes PRFC	mono câble	câble de tension interne en acier	système de précontrainte PRFC seul	système de précontrainte PRFC combiné
Robustesse	▶ ancrage final éprouvé				✓	✓	✓	✓
Efficacité	▶ propriétés de matériel utilisé	✓			✓	✓	✓	✓
Adhérence dur.	▶ résistance à la corrosion		✓	✓	(✓)	(✓)	✓	✓
	▶ haute résistance aux alcalis		✓	✓			✓	✓
	▶ amélioration de la capacité d'utilisation de l'élément porteur	(✓)			✓	✓	✓	✓
	▶ comportement exceptionnel à la fatigue		✓	✓			✓	✓
Ductilité	▶ aucune combinaison localisation de déformations et rupture de fragilité				✓	✓	✓	(✓)
Capacités	▶ dimensions réduites	✓	✓	✓			(✓)	(✓)
d'adaptation	▶ petits rayons de déviation		✓	✓	(✓)	(✓)	✓	✓
	▶ croisements de bandes très faciles		✓	✓			✓	✓
	▶ membre de traction court				(✓)		✓	✓
Facilités	▶ application rapide, indépendante des conditions climatiques				✓		✓	
d'exécution	▶ qualité d'exécution garantie (responsabilité)				✓	✓	✓	✓
	▶ poids minime		✓	✓			✓	✓
	▶ peut être rallongé sur le chantier	✓	✓	✓	(✓)	(✓)		
	▶ aucune matière nuisible à la santé et à l'environnement				✓	✓	✓	

Tableau 2 : comparatif acier-PRFC

Cette comparaison apporte la preuve qu'il y a des différents domaines d'utilisation. Les bandes en PRFC montrent des avantages certains par rapport à d'autres systèmes de contrainte comme par exemple: haut degré de précontrainte et ancrage final concentré.

10 Autres utilisations

10.1 Système de précontrainte combiné

L'application combinée peut, sous certaines conditions, présenter quelques avantages. La coupe transversale de la bande permet de rajouter localement des forces supplémentaires. Ceci garantit une séparation de contrainte locale, en présence de charges irrégulières. Avec une coupe transversale de la bande en PRFC (60 x 2,4 mm), on peut admettre au total, une force de traction de 440 kN, avec une force de précontrainte établie de $P_{o, max} = 220$ kN et ainsi, rajouter localement 180 kN jusqu'à ce que la limite de sécurité de portance soit atteinte. L'utilisation de cette limite permet d'obtenir une qualité suffisante du béton et, en particulier, une très bonne combinaison entre le béton et la bande en PRFC.

L'inconvénient de l'utilisation d'un système combiné réside dans sa dépendance avec les conditions climatiques et l'influence de la température maximale d'environ 50 - 80° C (dépendante de la résine époxy utilisée).

	système de contrainte acier, seul	bande en PRFC collée	bande en PRFC contrainte combinée	bande en PRFC contrainte, seule
capacité porteuse et d'utilisation	$\sigma = \sigma_{P,\infty}$	$\sigma = \sigma$ (fixation de la charge du système, histoire de contrainte)	$\sigma = \sigma \{S_{P,0}, \text{ fixation de la charge du système, histoire de contrainte, ...}\}$	$\sigma = \sigma_{P,\infty}$
cas d'incendie	$\sigma = \sigma(T)$ (perte)	$\sigma = 0$ (défaut)	$\sigma = 0$ (défaut)	$\sigma = 0$ (défaut)

Tableau 3 : données basiques de calcul du système combiné

Les directives pour le calcul seront tirées des règles connues pour des systèmes conventionnels de contrainte. Quelques particularités du produit PRFC doivent être prises en considération et pourront être empruntées aux directives de calcul pour des bandes en PRFC collées. Dans le tableau 3, les règles les plus importantes sont récapitulées.

10.2 Renforcements de silos

Dans les années 1970 et 1980, des constructions de silos ont été étudiées puis construites, souvent en méconnaissance et sans aucune prise en considération des cas de charges dynamiques complexes. Il s'est également avéré que lors du «boom» de la construction, des erreurs élémentaires de technique de construction et d'exécution ont été commises. En conséquence, on se trouve à l'heure actuelle en présence de silos en béton armé sous dimensionnés et défectueux du point de vue statique. Ils requièrent une remise en état et des renforcements.

Des mesures appropriées doivent ainsi être trouvées et utilisées afin de pouvoir garantir une durée de vie correcte de ces silos, jadis planifiée. Jusqu'à aujourd'hui, ces silos ont été provisoirement renforcés par des harnais en acier. Malheureusement, ceux-ci ont des certains inconvénients comme leur comportement à la corrosion. Ce dernier est difficilement contrôlable et la maintenance régulière et nécessaire, chère.

StressHead AG a développé en collaboration avec les entreprises Sika AG et VSL (Schweiz) AG, un ancrage spécial afin de renforcer les silos ultérieurement au moyen de bandes contraintes en PRFC.

Ancrage

Ce dernier reste dans l'ouvrage et se compose de deux traverses englobant la tête de contrainte ainsi qu'une tôle de base et de deux tiges filetées. À l'aide d'un coussinet spécial de tension, les deux traverses vont être pressées ensemble à la force souhaitée et, finalement, fixées définitivement avec les deux tiges filetées (semblable à l'ancrage type II).



ill. 23: ancrage de silo en position de tension



ill. 24: ancrage de silo terminé

Base

La bande peut être appliquée directement sur la surface du béton (les angles vifs du béton doivent être supprimés), collée ensuite à l'aide de la colle à base de résine époxy SikaDur 30 (ou autre), afin d'obtenir un glissement optimum de la bande en PRFC à la surface du béton et, d'assurer une liaison parfaite.

Calcul

Lors d'une application à la résine époxy, le système est calculé de façon combinée. La force venant s'appliquer des deux côtés opposés du silo peut être acceptée avec 60 % de force sur les points de contrainte. Si chaque point d'ancrage est déplacé de $\frac{1}{4}$ de la circonférence, on peut envisager une valeur moyenne de 80 % de la force de précontrainte mise en place. Cela correspond à une précontrainte $P_{0,max} = 220$ kN d'une précontrainte moyenne de 180 kN.

