

Kraft Curing Systems GmbH, 49699 Lindern, Allemagne

Système de cure du béton à la vapeur pour le projet des «green tunnels»

■ Daniel Rafter, Kraft Curing Systems GmbH, Allemagne

Après avoir remporté le contrat pour la construction de trois tunnels en tranchée couverte, dont le plus long comporte plus de 5 000 éléments en béton distincts, l'entreprise Sateba UK, basée dans le Derbyshire, a fait appel à l'Allemand Kraft Curing Systems pour lui livrer une solution de cure conçue sur mesure. Le but est de réduire les temps de cycles de production par un durcissement accéléré des voussoirs de tunnel en béton de différentes géométries. Un cycle de cure en deux étapes a permis la réutilisation immédiate des moules de production, tout en garantissant un développement contrôlé des résistances dans les éléments en béton, de sorte qu'ils atteignent les caractéristiques de résistance et de qualité voulues par le projet.

Les délais d'exécution des travaux étant particulièrement serrés, Sateba ne pouvait pas attendre l'achèvement de la construction de son hall de production, un bâtiment d'une longueur de 150 m, avant de commencer les opérations de coulage du béton. C'est pourquoi, jusqu'à la fin de l'année 2021, une zone de production provisoire a été aménagée en extérieur, comportant dix moules de préfabrication alignés

en une rangée. L'hiver approchant, il a fallu mettre en place un système capable de réduire les temps de cycle, de façon à maintenir le rythme des opérations de coulage sans compromettre la qualité des éléments finis. Kraft a suggéré que la meilleure méthode en termes d'efficacité et de coût en capital était d'utiliser de la vapeur générée par combustion directe, comme celle produite par le Vapor Generator de Kraft, qui s'est désormais fait un nom dans l'industrie. La vapeur est constituée de vapeur d'eau, de produits de combustion et d'air chaud, un mélange idéal pour le durcissement rapide du béton. Sans conduite d'échappement des gaz, pratiquement toute l'énergie thermique produite lors du processus de combustion du générateur de vapeur peut être utilisée pour la cure thermique des produits. C'est de la vapeur verte pour des tunnels verts.

Aperçu du projet

Une fois que les moules de préfabrication ont été installés dans la zone provisoire, l'équipe de Kraft a pu se mettre au travail et réaliser les installations mécaniques et électriques.



Une fois que les «tunnels verts» seront construits, des travaux de remblai seront réalisés pour combler les zones excavées, et de nouveaux arbres et haies seront plantés pour se fondre dans la campagne environnante et favoriser la réhabilitation des habitats fauniques le long du parcours des tunnels.

Dans un délai très court, Kraft a été en mesure de livrer une solution complète de cure du béton, comprenant un générateur de vapeur conteneurisé, un réseau de tuyaux de distribution de la vapeur installés sous les moules, des enceintes de cure pliables, le tout géré par le logiciel AutoCure. Pour satisfaire les attentes du client, il a fallu diviser le cycle de durcissement en deux étapes: un cycle de cure primaire qui assure un démoulage rapide des éléments et un cycle secondaire qui permet de contrôler la maturation du béton grâce à un environnement climatique stable pendant 48 heures, ainsi qu'une phase de refroidissement contrôlée. Le cycle de cure primaire a pu être effectué à l'aide de bâches spéciales de Kraft, c.-à-d. que l'élément se trouvant toujours à l'intérieur du moule était chauffé indirectement par la chaleur de condensation latente à travers le métal. Les spécifications pour le cycle primaire prévoyaient une température de 50-55° C pendant environ 12 heures, avec une augmentation de température de l'ordre de 10-15° C par heure.

Une fois le premier cycle terminé, la bâche était retirée, le moule ouvert en deux parties et l'élément pouvait être démoulé. L'élément en béton encore très chaud était transporté vers la zone de cure secondaire pour la seconde phase de traitement. Ici, l'apport de vapeur se faisait à l'intérieur des enceintes de cure repliables de Kraft. Ces structures, similaires à des tentes, sont repliables de manière à ne plus mesurer que 30% de leur longueur totale et permettre la mise en place des éléments en béton par le pont roulant.

Le cycle de cure secondaire durait de 40 à 48 heures, à une température de 50 à 55° C. Au terme de ces 48 heures, une phase de refroidissement contrôlée est utilisée pour faire descendre progressivement la température de l'élément jusqu'à la température ambiante, sans risquer un choc thermique. Une fois le cycle de secondaire terminé, l'élément en béton durci était transporté vers l'entrepôt.

Au printemps 2022, la nouvelle usine de Sateba était sur le point d'être achevée et les nouveaux moules étaient déjà en cours d'installation dans le hall. Lors d'un arrêt temporaire des opérations de coulage, l'équipe de Kraft est retournée sur le site pour effectuer le démantèlement de l'installation en extérieur et transporter tout l'équipement sur une courte distance jusque dans le nouveau bâtiment. La tuyauterie pour la distribution de vapeur avait été conçue de telle sorte que chaque section de tuyau avait un emplacement dédié dans le nouveau bâtiment. Une partie des enceintes de cure a également été démontée et déplacée à l'intérieur. Au cours de cette phase 2, une extension de la configuration du système de cure s'est avérée nécessaire. Dix autres enceintes pliables, ainsi que des vannes de régulation de vapeur, des tuyaux et des capteurs supplémentaires ont été livrés pour en complément. Le contrat prévoyait également l'installation des composants par Kraft, si bien qu'une équipe complète comprenant un superviseur, environ 10 mécaniciens et deux électriciens, a été envoyée sur place afin de garantir une transition rapide.

COMBiLiFT
LIFTING INNOVATION

SÉCURITÉ
STOCKAGE
EFFICACITÉ

Gérez vos produits en béton de manière plus sûre et plus productive dans un espace réduit avec des solutions de manutention de Combilift.

- Manipulation plus sûre des produits
- Espace de production optimisé
- Capacité de stockage améliorée
- Productivité et rendement accrus
- Bénéfices améliorés



La zone de production provisoire extérieure a permis au client de tenir les délais de livraison du projet, en attendant que le hall de production définitif soit terminé.

Distribution et régulation contrôlée de la vapeur

Que ce soit dans un environnement extérieur ou intérieur, un facteur crucial dans tout système de cure contrôlé est une température constante. Les ingénieurs de Kraft ont dû travailler main dans la main avec les fabricants de moules et le client pour garantir une configuration optimale des tuyaux de distribution de vapeur. Etant donné que la vapeur est très chaude et qu'elle a tendance à monter, elle doit être introduite dans l'enceinte de cure aussi près que possible du niveau du sol, afin d'utiliser au mieux l'énergie thermique. Dans la première zone de coulage, plusieurs moules étaient utilisés et une solution individuelle a dû être fournie dans chaque



L'une des cinq enceintes de cure repliables initialement livrées pour la zone de production extérieure. Similaires à des tentes, elles ont pu être rapidement démontées et déplacées vers le hall de production définitif. Dix enceintes supplémentaires ont été livrées à la phase 2 du projet.

cas. Mais d'une façon générale, le concept prévoyait d'utiliser plusieurs tuyaux plus petits afin de diffuser la vapeur dans tout le moule, directement sous celui-ci. Bien entendu, il fallait également veiller à ce que les tuyaux ne gênent pas les opérations de bétonnage.

A l'intérieur des enceintes de cure, l'apport de vapeur est assuré par trois tuyaux flexibles de 2,5 pouces (6,35 cm) chacun, qui peuvent être placés dans n'importe quelle position à l'intérieur de l'enceinte. Des diffuseurs cylindriques spéciaux assurent la distribution horizontale de la vapeur le long du sol dans le sens radial depuis la sortie du tuyau.

Malgré la grande quantité de tuyaux nécessaires pour assurer l'apport de vapeur dans une zone de production aussi vaste (plus de 40 points d'alimentation), le réseau de tuyaux ne constitue pas l'élément dominant dans l'usine. De par la conception du hall de production, la ligne médiane était presque entièrement occupée par des poteaux en treillis. Cet «zone morte» s'est avérée idéale pour accueillir le tuyau collecteur principal avec sa gaine d'isolation, d'un diamètre de 8 pouces (20,32 cm). Plusieurs passe-câbles pour véhicules et des ponts ont été intégrés dans le réseau de tuyaux pour permettre au personnel de circuler librement d'une moitié du bâtiment à l'autre. Toutes les vannes de régulation de vapeur ont été installées sur le tuyau principal, à l'écart de la zone de travail et de toute activité de levage. Les tuyaux de dérivation de 6 pouces (15,24 cm) qui alimentent chaque zone de cure (enceinte ou moule) en vapeur ont été placés dans des tranchées munies de couvercles robustes pouvant supporter de lourdes charges. En bref, le système complet de distribution de vapeur a été conçu pour avoir le moins d'impact possible sur les opérations journalières de coulage et de démoulage des éléments en béton. D'autres considérations importantes concernaient l'isolation des tuyaux, essentielle pour éviter les pertes thermiques susceptibles d'engendrer la formation de



Cycle de cure primaire dans le hall de production; des tranchées ont été aménagées pour les tuyaux, permettant une circulation sans encombre dans l'usine. La vapeur est délivrée au niveau du sol, directement sous le moule, afin d'assurer une température homogène sur tout l'élément en béton.



Les images illustrent comment la disposition bien pensée des tuyaux distributeurs de vapeur s'intègre dans la zone de production en évitant toute interférence avec les opérations de bétonnage.

condensation et des pertes de vapeur. Tous les tuyaux ont été équipés d'une isolation en laine minérale de 80 mm et d'un revêtement galvanisé. Les purgeurs automatiques éliminent tout condensat dans les tuyaux de distribution de vapeur.

En plus d'une configuration optimale des tuyaux, il fallait également veiller à une distribution contrôlée de la vapeur. Pour ce faire, Kraft a mis à la disposition de Sateba UK le logiciel

AutoCure, un système très complet destiné à gérer les conditions climatiques de cure avec précision. Le logiciel AutoCure et le système de commande PLC mesurent la température du béton à l'aide d'un capteur de température à thermocouple PT100 monté directement dans le moule. Le capteur dépasse suffisamment à l'intérieur du moule pour pouvoir mesurer la température directement à la surface du béton. La valeur réelle de la température est lue directement par le système

MADE IN JAPAN

Moules et équipement de préfabrication

- 53 ans d'expérience
- Exportation vers 20 pays
- Âme souple dotée d'un système direct
- Design entièrement personnalisé
- Étanchéité à l'eau



TOYOTA FORMS

Molds for Precast Concrete





Quelques-unes des enceintes pliables situées dans la zone de cure secondaire. Chaque enceinte peut contenir deux éléments en béton.



Les tentes réduisent les besoins en main d'œuvre, permettant de recouvrir rapidement deux éléments pour le cycle de cure secondaire.

de commande PLC, qui à son tour envoie un signal de commande aux vannes de régulation de vapeur. Ces vannes automatiques permettent d'ouvrir ou de fermer l'alimentation en vapeur dans le moule, régulant ainsi la température du béton.

Le programme AutoCure est conçu pour suivre une courbe de durcissement prédéterminée. Les paramètres de durée et de température peuvent être préenregistrés par le client pour créer la courbe souhaitée. Généralement, la courbe de cure est composée des phases suivantes: préreglage, réchauffement, apport de chaleur continu et refroidissement. Cette méthode contrôlée garantit les meilleurs résultats sans compromettre la qualité du produit fini. Le VaporWare est un outil conçu par Kraft, très utile pour assurer un contrôle Qualité continu. Il s'agit d'un appareil d'enregistrement de données qui enregistre chaque cycle de cure séparément au format PDF. Deux copies du graphique sont créées, une au format PDF infalsifiable, destinée généralement au client final, et un fichier modifiable destiné à un usage interne par le fabricant.

Enceintes de cure pliables

Les enceintes de cure pliables (tentes) se sont révélées être la solution idéale, puisqu'elles sont adaptées à une utilisation en intérieur comme en extérieur et qu'elles peuvent être démontées et déplacées facilement. Hormis une surface en béton plane, ces structures ne nécessitent aucune fondation particulière. Elles constituent une option flexible pour le client, qui peut les utiliser dans diverses configurations de production pour des projets différents. Leur conception astucieuse permet de recouvrir rapidement deux éléments en moins de cinq minutes, en préparation du cycle de cure à la vapeur. Leur structure en acier galvanisé et le revêtement en

polychlorure de vinyle leur garantissent une longue durée de vie dans l'environnement de cure chaud et humide.

Générateur de vapeur conteneurisé

Le cœur du système de cure était constitué d'un générateur de vapeur basse pression du type KC 80-VS. Le générateur



Le générateur de vapeur conteneurisé est équipé d'une unité de traitement de l'eau.

de vapeur à vitesse variable de 2 400 kWh, alimenté au gaz naturel, a été livré préinstallé dans un conteneur maritime de 20 pieds. Bien que le gaz naturel ait été le combustible choisi pour ce projet, l'utilisation de propane est également possible. Le conteneur sert en même temps de local technique pour le générateur et les composants annexes, qui sont ainsi à l'abri d'éventuels dommages et protégés de la poussière. Le conteneur est équipé d'une isolation phonique en laine minérale, d'un système d'éclairage, de prises de courant, d'une ventilation, d'une unité de traitement de l'eau, et enfin d'un chauffage électrique avec thermostat pour la protection contre le gel. Dans le cas du projet de Sateba, le conteneur a été placé hors de la zone de production principale, tandis que certains clients choisissent de le placer à l'intérieur. Le conteneur comporte des ouvertures pour permettre le branchement immédiat des tuyaux d'alimentation en gaz et en eau, des tuyaux de distribution de vapeur et du câble d'alimentation électrique. Chaque dispositif fait l'objet de tests approfondis et complets réalisés à l'usine de Kraft avant d'être expédié au client. ■



Grâce à **Kraft Curing**, tous les lecteurs de PBI ont la possibilité de télécharger cet article en version pdf. Veuillez consulter le site internet www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing ou scanner le code QR avec votre smartphone pour accéder directement à ce site internet.



AUTRES INFORMATIONS

SATEBA UK

Sateba UK
Littlewell Lane
Stanton-by-Dale, Ilkeston
Derbyshire, DE7 4QW, Grande-Bretagne
www.sateba.uk

KRAFT CURING

CONCRETE CURING SOLUTIONS - MADE IN GERMANY

Kraft Curing Systems GmbH
Mühlenberg 2
49699 Lindern, Allemagne
T +49 5957 96120
info@kraftcuring.com
www.kraftcuring.com

KAPPEMA
Technical Solution

La vague parfaite

KAP-Steel-Wave | KAP-Thermo-Wave
KAP-ISO-Wave | KAP-ZiLO | KAP-SYS

office@kappema.com | www.kappema.com