

# Nghiên cứu công nghệ bê tông siêu tính năng - UHPC, để áp dụng vào thực tế sản xuất tại Việt Nam

Research on technology of ultra high-performance concrete-UHPC, to apply in production in Vietnam

> TS TRẦN BÁ VIỆT<sup>1</sup>; KS. LƯƠNG TIẾN HÙNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PCT kiêm Tổng thư ký hội Bê tông Việt Nam;  
ĐT: 090340650; E-mail [vietch57@yahoo.com](mailto:vietch57@yahoo.com)

<sup>2</sup>Công ty Sáng tạo và chuyển giao công nghệ Việt Nam

## TÓM TẮT:

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép, chế độ dưỡng hộ đến các tính chất của UHPC. Và phân tích các ưu nhược điểm của các loại máy trộn tăng cường hiện có trên thế giới để là cơ sở lựa chọn thiết bị, chế độ bảo dưỡng cũng như cấp phối định hướng phục vụ đầu tư để chế tạo UHPC trong thực tiễn Việt Nam.

**Từ khóa:** UHPC, bê tông siêu tính năng, dẻo dai, đường cong ứng suất biến dạng khi uốn, đường cong biến dạng khi kéo, co khô, mô đun đàn hồi, máy trộn tăng cường, máy trộn conic, máy trộn thùng nghiêng.

## ABSTRACT:

This paper presents the results of research on the influence of steel fiber content and curing method on the properties of UHPC. And analyze the advantages and disadvantages of existing concrete intensive mixers on the world to have a basis for equipment selection, curing method as well as oriented composition for investment to manufacture UHPC in construction in Vietnam.

**Keyword:** UHPC - Ultra high performance concrete, toughness, stress - strain curve in bending, strain curve in tension, dry shrinkage, elastic modulus, intensive mixer, conic mixer, inclined drum mixer.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay bê tông siêu tính năng - UHPC, đã được nghiên cứu áp dụng tương đối phổ biến tại các nước phát triển trên thế giới, như Bắc Mỹ, Châu Âu, Hàn Quốc, Trung Quốc, Malaysia và Nhật Bản. Việt Nam cũng đã bước đầu có một số ứng dụng trong thực tiễn như xây dựng 26 cầu với dầm UHPC tại 13 tỉnh thành trong cả nước, chế tạo facade kiến trúc và một số ứng dụng khác. Tuy nhiên, trở ngại nhất là lựa chọn công nghệ để chế tạo UHPC trong thực tiễn, nó liên quan đến chất lượng UHPC, cơ cấu sản phẩm, sản lượng và tổng mức đầu tư ban đầu. Vì vậy, nghiên cứu lựa chọn các giải pháp công nghệ phù hợp với Việt Nam là cần thiết, nhằm sớm nhân rộng các mô hình và dây chuyền sản xuất UHPC cho các tỉnh thành trong cả nước, đưa ra một thể hệ sản phẩm UHPC mang tính cách mạng so với bê tông truyền thống, với hiệu quả đầu tư cao.

## 2. TỔNG QUAN

Trong lịch sử phát triển, UHPC vẫn còn là một vật liệu rất non trẻ, mặc dù đã được nghiên cứu hơn 30 năm và đang trong quá trình phát triển khoảng 20 năm. Sự chấp nhận đối với UHPC đang tăng với tốc độ vừa phải, với các xu hướng gần đây cho thấy sự phổ biến ngày càng tăng của các kiến trúc sư và kỹ sư cầu, chủ yếu là vì tính thẩm mỹ và độ bền, tuổi thọ của nó. Bê tông hiệu suất siêu cao (UHPC) lần đầu tiên được giới thiệu vào thị trường xây dựng toàn cầu. Đáng chú ý nhất, UHPC được cấu tạo từ một ma trận kết dính rất đặc với cấu trúc lỗ rỗng không liên tục dẫn đến độ thấm rất thấp và cường độ nén cao.

Định nghĩa UHPC do Cục Quản lý Đường cao tốc Liên bang Hoa Kỳ (FHWA) phát triển như sau:

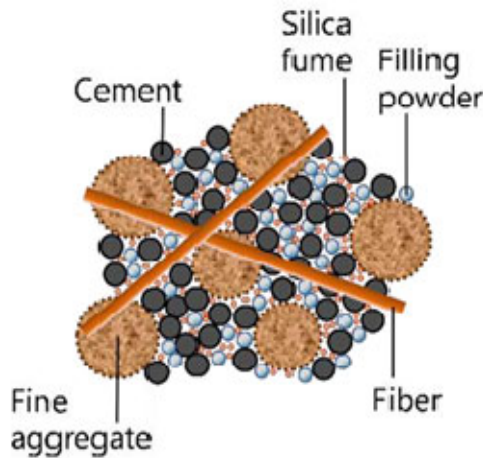
UHPC là vật liệu composite gốc xi măng bao gồm cấp phối tối ưu của các thành phần dạng hạt, tỷ lệ vật liệu gốc xi măng nước nhỏ hơn 0,25 và tỷ lệ cốt sợi dạng không liên tục, phân tán cao trong cấu trúc. Các đặc tính cơ học của UHPC bao gồm cường độ nén lớn hơn 150 MPa và độ bền kéo bền sau nứt lớn hơn 5 MPa. UHPC có cấu trúc lỗ rỗng không liên tục giúp giảm sự xâm nhập của chất lỏng, tăng cường độ bền đáng kể so với bê tông thông thường.

Dòng bê tông tương đối mới UHPC này đã được cải thiện độ bền, độ dẻo và độ bền lâu so với các loại bê tông thông thường và bê tông hiệu suất cao. Vào năm 2015, Ban kỹ thuật ACI 239 đã định nghĩa UHPC là bê tông có cường độ nén quy định ít nhất là 150 MPa với các yêu cầu về độ bền, độ dẻo và độ dẻo dai được chỉ định; sợi thường được bao gồm để đạt được các yêu cầu xác định.

Nghiên cứu của UHPC bắt đầu ở Châu Âu vào những năm 1970 và cuối những năm 1980. Vào đầu những năm 1990 đã được công nhận là một loại vật liệu “cách mạng” mới đầy tiềm năng cho ngành Xây dựng.

Bằng cách sử dụng sự kết hợp độc đáo của vật liệu UHPC với các đặc tính cơ học được cải thiện bao gồm cường độ cao, độ bền lâu, độ dẻo và khả năng làm việc, việc xây dựng cơ sở hạ tầng và hiệu suất được tăng tốc, cải thiện và nâng cao. Các lợi ích bao gồm: đơn giản hóa kỹ thuật xây dựng, tốc độ xây dựng, cải thiện độ bền, giảm bảo trì, giảm thời gian không sử dụng, giảm kích thước và độ phức tạp của phần tử, kéo dài tuổi thọ khả năng sử dụng và cải thiện khả năng phục hồi.

Với cấu trúc như hình 1, cho thấy lý do của việc nâng cao chất lượng UHPC so với bê tông thường.



Hình 1. Cấu trúc của bê tông siêu tính năng, rất đặc chắc và có cốt sợi thép phân tán đều

Sau nhiều năm liên tục thử nghiệm, nghiên cứu và xây dựng thành công các dự án trình diễn, dự kiến sẽ có sự tăng tốc trong việc áp dụng công nghệ này. Tuy nhiên, việc thiếu các mã và tiêu chuẩn đã tạo ra một thách thức do cả chủ sở hữu và nhà thiết kế đều không muốn trách nhiệm của việc sử dụng UHPC mà không có tiêu chuẩn thiết kế áp dụng.

Bê tông hiệu suất siêu cao (UHPC) là vật liệu xây dựng tiên tiến có thể ảnh hưởng tích cực đến tương lai của cơ sở hạ tầng đường cao tốc.

Kể từ năm 2001, Cục Quản lý Đường cao tốc Liên bang Hoa Kỳ đã đi đầu trong việc phát triển các giải pháp dựa trên UHPC cho những thách thức cấp bách. Việc sử dụng ngày càng tăng của UHPC trên cơ sở hạ tầng đường cao tốc của Hoa Kỳ đã tập trung sự chú ý vào nhu cầu đánh giá chung về các biện pháp hoạt động cơ bản thường liên quan đến UHPC.

UHPC được chọn để xây dựng cầu tại Sherbrooke, Quebec, Canada vào năm 1997 (Blais và Couture 1999). Đây là một cầu đi bộ giàn không gian mở ứng suất trước, đúc sẵn, có chứa cốt thép không chịu ứng suất (thụ động). FHWA bắt đầu nghiên cứu việc sử dụng UHPC cho cơ sở hạ tầng đường cao tốc vào năm 2001 và đã làm việc với các sở giao thông vận tải của các Bang để triển khai công nghệ này từ năm 2002.

Tại Hoa Kỳ và Canada kể từ năm 2006 tính đến cuối năm 2016, đã có hơn 180 cây cầu được xây dựng bằng UHPC.

Việc định danh và phân loại UHPC là cần thiết cho thương mại, kỹ thuật và ứng dụng. Tỷ lệ hỗn hợp được trình bày trong các phần phụ sau đây là tỷ lệ do các nhà cung cấp UHPC khuyến nghị.

Nghiên cứu cũng đã khảo sát hỗn hợp UHPC với các hàm lượng sợi khác nhau. Nhưng thường phổ biến là hỗn hợp có 2% sợi theo thể tích, đây cũng là cấp phối thường được sử dụng với các dự án cầu đường cao tốc ở Hoa Kỳ.

Bảng 1. Danh pháp được sử dụng để xác định sáu vật liệu cấp UHPC.

Nhận dạng văn bản	Nhận dạng màu sắc	Nhận dạng hình học
UA	Đen	●
UB	Màu tím	■
UC	Màu xanh lá	▲
UD	Màu đỏ	◆
UE	Màu xanh dương	⬢
UF	quả cam	○

Mỗi nhà sản xuất có quy trình trộn riêng cho UHPC. Mặc dù mỗi quy trình trộn là duy nhất, nhưng nhìn chung, có một số bước chính cho mỗi quy trình trộn dạng sệt (tức là nhớt), giống như chất lỏng. Khi hỗn hợp đã “chuyển sang dạng lỏng”, các sợi được thêm vào từ từ trong khoảng thời gian từ 1 đến 2 phút. Sau khi các sợi được thêm vào, cần quay máy trộn trong một khoảng thời gian ngắn, để đảm bảo rằng các sợi được phân bố đồng đều theo matrix - 3D.

Vi vậy nghiên cứu các thông số hỗn hợp UHPC và tính chất của UHPC để xác định thiết bị và công nghệ trộn để UHPC được trộn với chất lượng cao nhất, thời gian ngắn nhất là rất cần thiết để quản lý chất lượng UHPC trong thực tế.

### 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ TIÊU CHUẨN VIỆN DẪN

#### 3.1 Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến các tính chất của UHPC

Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ bảo dưỡng nhiệt ẩm đến các tính chất của UHPC theo thời gian

So sánh tính năng các loại thiết bị trộn trên cơ sở số liệu và kết quả ứng dụng thực tiễn trong thời gian qua.

#### 3.2 Tiêu chuẩn viện dẫn

TCVN 2682:2009, Xi măng Poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật

TCVN 8826:2011, Phụ gia hoá học cho bê tông và vữa

TCVN 8827:2011, Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa- Silicafume và Tro trấu nghiền mịn

TCVN 11586:2016, Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa

TCVN 12392-1:2018, Sợi cho bê tông - Phần 1 Sợi thép

TCVN 9036:2011, Nguyên liệu để sản xuất thủy tinh - Cát - Yêu cầu kỹ thuật (Hàm lượng Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3% và hàm lượng TiO<sub>2</sub>2% cho phép thấp hơn mức tiêu chuẩn).

ASTM C1399:18 Four-Point Bending Fixture for Fiber Reinforced Concrete.

ASTM C1437 - 15 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar (mini-cone with no drops)

ASTM C1856/C1856M - 17 - Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete

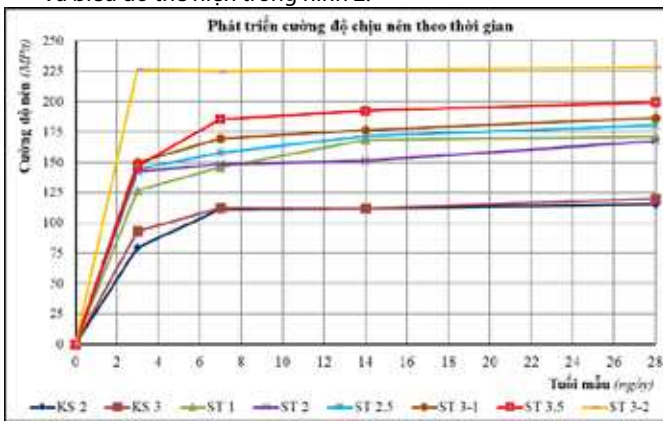
### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1 Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính chất của UHPC theo thời gian

Bảng 2. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ theo thời gian

STT	Kí hiệu mẫu	Loại mẫu (hàm lượng sợi)	Hàm lượng N/CKD	Độ chảy (mm)	Cường độ chịu nén, 4x4x16 cm				Ghi chú
					R3	R7	R14	R28	
1	KS 2	Không sợi loại 2	0,164	200	79.8	111.4	111.9	<b>115.4</b>	Bảo dưỡng ẩm tự nhiên <b>90°C, 72h</b>
2	KS 3	Không sợi loại 3	0,164	290	93.3	112.3	112.0	<b>119.7</b>	
3	ST 1	1% sợi thẳng	0,164	195	126.7	146.1	168.3	<b>171.0</b>	
4	ST 2	2% sợi thẳng	0,164	165	142.4	148.4	151.3	<b>167.6</b>	
5	ST 2.5	2.5% sợi thẳng	0,164	175	144.5	157.9	171.4	<b>180.3</b>	
6	ST 3-1	3% sợi thẳng loại 1	0,164	140	149.9	169.6	176.4	<b>186.7</b>	
7	ST 3.5	3.5% sợi thẳng	0,164	127	146.8	185.5	192.5	<b>199.8</b>	
8	ST 3-2	3% sợi thẳng loại 2	0,164	-	<b>226.6</b>	<b>225.1</b>	<b>226.4</b>	<b>228.0</b>	

Và biểu đồ thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ theo thời gian

Qua số liệu nghiên cứu cường độ nén sẽ tăng nhanh trong 3 đến 7 ngày đầu. Hàm lượng sợi thép tăng thì cường độ chịu nén tăng. Cường độ chịu nén lớn nhất đạt 228 MPa với 3% sợi thép và bảo dưỡng nhiệt ẩm 90 độ C trong 72h.

Tuy nhiên để phân tán 3% sợi thép với tỷ lệ N/CKD chỉ với 0,164 nhất thiết cần máy trộn tăng cường với khả năng trộn, cắt hỗn hợp UHPC dẻo quánh.

4.2 Ảnh hưởng của chế độ bảo dưỡng đến tính chất của UHPC theo thời gian

Hình 3, cho thấy kết quả mẫu bảo dưỡng nhiệt ẩm cao hơn mẫu bảo dưỡng ẩm tự nhiên tại 3 ngày tuổi là 51.1% và ở tuổi 28 ngày cao hơn là 22,1%. Điều đó cho thấy với chế độ bảo dưỡng nhiệt ẩm quá trình hydrat, đóng rắn được phát huy rất mạnh. Như vậy cần thiết phải thực hiện chế độ bảo dưỡng nhiệt ẩm với cấu kiện UHPC.



Hình 3. Ảnh hưởng của chế độ bảo dưỡng đến phát triển cường độ nén theo thời gian.

4.3 Các loại máy trộn tăng cường để chế tạo UHPC

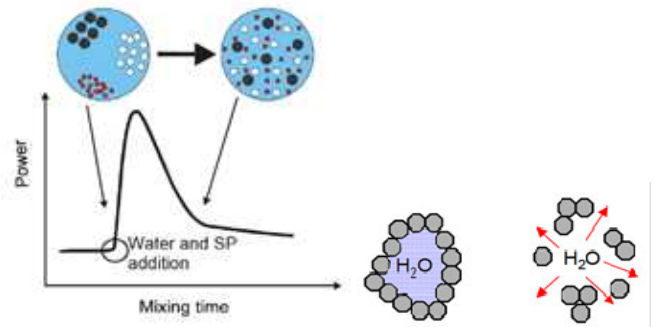
Nghiên cứu ảnh hưởng của công nghệ trộn lên hỗn hợp UHPC là rất cần thiết, điển hình với hỗn hợp sợi có các thông số trộn khác nhau như thời gian, cường độ và trình tự trộn, bao gồm cả thời gian nghỉ đã được nghiên cứu.

Vật liệu, thành phần cấp phối và các điều kiện trước và trong khi trộn được giữ không đổi để chỉ khảo sát ảnh hưởng của sự trộn lẫn. Các kết quả thu được chỉ ra rằng các quá trình trộn có ảnh hưởng đến các thuộc tính của hỗn hợp UHPC cũng như UHPC đã đóng rắn trên các tính chất như độ bền nén, độ uốn, kéo.

Trộn bê tông là một quy trình phức tạp và có thể được chia thành hai phần. Đầu tiên, là trộn phân bố, trạng thái của các hạt hỗn hợp được thay đổi bởi lực và vận tốc cắt thấp. Thứ hai, là trộn phân tán, sự kết tụ của các hạt hỗn hợp được phân tán bởi vận tốc cắt lớn. Trong một thể thống nhất những hiệu ứng này được thể hiện về mặt lý thuyết là UHPC rất dễ chảy (UHPC tự lèn).

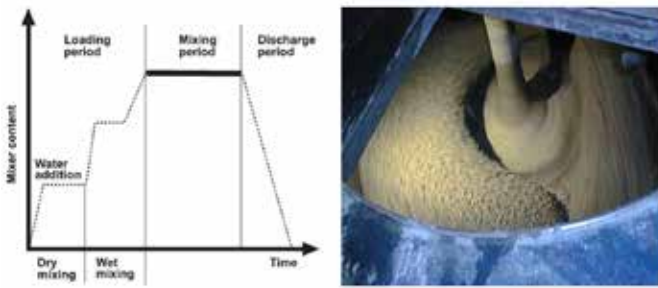
So với bê tông thông thường, UHPC có thể được mô tả như một hệ thống 8 vật liệu bao gồm xi măng, cát thạch anh các loại, phụ gia siêu dẻo và các phụ gia khoáng, nước, bột mịn và sợi. Bởi vì thành phần bê tông, mật độ của UHPC về cơ bản cao hơn so với bê tông thông thường.

Do đó, các thông số trộn như kích thước hạt, phân bố và hình dạng, sự khác biệt trong mật độ cũng như độ nhám bề mặt của chúng có tầm quan trọng chính. Một so sánh hình ảnh là đối với bê tông thông thường sẽ dường như không hợp lý đối với UHPC liên quan đến năng lượng cao và yêu cầu về thời gian. Để các hạt bột trong hỗn hợp có thể thay đổi trạng thái của chúng thì động năng trộn phải được cung cấp đủ lớn. Tùy thuộc vào độ đặc và độ nhớt tương ứng, công suất điện và tiêu thụ điện tăng lên đáng kể.

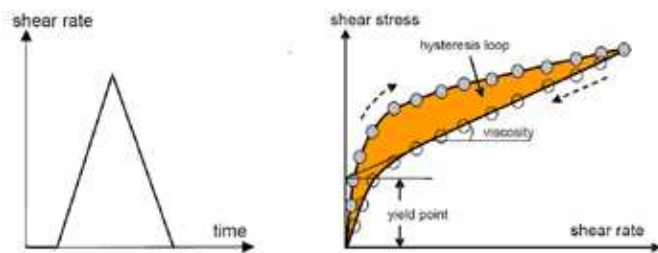


Hình 4. Ảnh hưởng của việc trộn phân tán và phân tán:

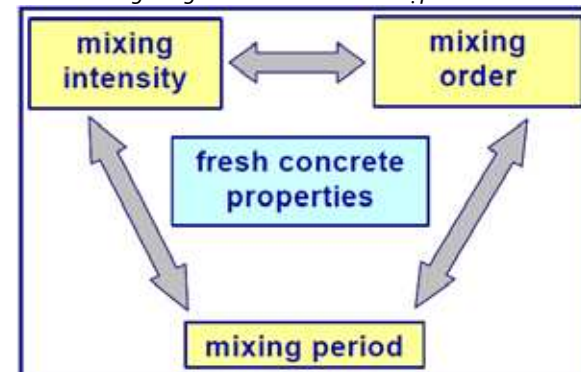
- Lấp đầy khoảng trống giữa các hạt thô hơn và sợi với các hạt mịn hơn
- Lấp đầy khoảng trống giữa tất cả các hạt rắn bằng nước
- Giải phóng nước kèm theo các chất kết tụ
- Sự phân tán và đồng nhất của các sợi



Hình 5. Quy trình trộn



Hình 6. Đường cong lưu biến trễ của hỗn hợp UHPC



Hình 7. Quan hệ giữa trộn và chu trình trộn



Hình 8. Máy trộn trục nghiêng tăng cường EIRICH- Đức

Ưu điểm của quy trình trộn EIRICH là độ đồng nhất của hỗn hợp cao hơn nhiều do dòng chảy vật liệu tốt hơn với máy trộn hành tinh, do sự phân tán hoàn hảo của vật liệu và bột mịn, có thể tiết kiệm xi măng. Thiết bị trộn này là sự kết hợp 3 dòng chảy xoáy tốc độ cao, theo hai chiều của hỗn hợp vật liệu bột, nên thời gian trộn chỉ 4 phút/ mẻ. Tuy nhiên tiêu thụ điện năng cao, mài mòn lớn và dung tích mẻ trộn hiệu quả từ 0,25-0,5 dung tích thùng trộn.

Chất lượng trộn cao đạt được trong thời gian trộn ngắn nhất và năng suất chất lượng cao hơn. Đo độ ẩm vật liệu ổn định nhanh chóng để điều chỉnh lượng nước kịp thời và hiệu quả hơn.

Tiêu thụ chất kết dính, chất màu và hóa chất thường có thể được giảm tới 15%. Chi phí bảo dưỡng và mài mòn thấp hơn đáng kể và do đó tính khả dụng của nhà máy cao hơn. Tỷ lệ sai lệch chất

lượng bị từ chối thấp hơn nhiều, đặc biệt đối với lõi bề mặt cấu UHPC có thể nhìn thấy.

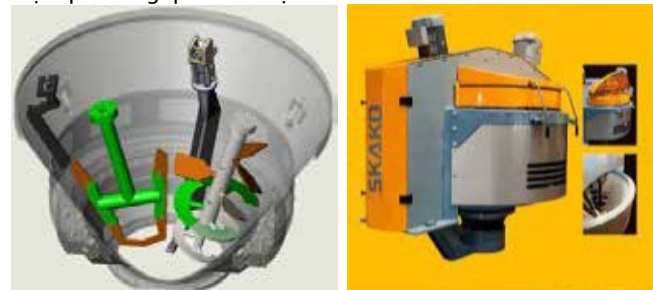
Mê trộn chỉ tối ưu khi chiếm 0,4 % dung tích hữu ích thùng trộn. Điện năng tiêu thụ lớn, và chi phí đầu tư ban đầu có thể là cao nhất.



Hình 9. Máy trộn hành tinh trục đứng tăng cường CO-NELE-Trung Quốc

CO-NELE-UHPC được sản xuất bằng máy trộn hành tinh trục đứng. Nó có thể cải thiện hiệu quả độ bám dính của cốt liệu mịn và vữa xi măng và giảm vết nứt của bê tông. Máy trộn hành tinh UHPC có khả năng truyền động êm ái, hiệu quả trộn cao, chất lượng trộn cao, thiết bị làm kín không có vấn đề rò rỉ bùn, độ bền cao, dễ dàng vệ sinh bên trong (tùy chọn của thiết bị làm sạch áp suất cao) và không gian bảo trì lớn. Máy trộn kiểu này kết hợp hai chuyển động trên cùng một mặt phẳng nên cho hỗn hợp bột có mức độ đồng nhất không cao, thời gian trộn trên 10 phút, mài mòn ít, tiêu thụ điện ít, dung tích mẻ trộn nên từ 0,3-0,5 dung tích nổi trộn.

Máy trộn bê tông hiệu suất trung bình UHPC, tiêu thụ năng lượng thấp, công nghệ hoạt động không phức tạp để tạo thành công suất trộn hỗ trợ nhiều hình thức trộn vật liệu UHPC khác nhau với mức tiêu thụ năng lượng thấp, chuyển hóa năng lượng hiệu quả trong quá trình trộn.



Hình 10. Máy trộn thùng côn tăng cường SKAKO-Đan Mạch và KNEIE-Đức

Dòng ROTOCONIX® thùng trộn hình côn của SKAKO và KNEIE là mới, kết hợp các nguyên tắc trộn khác nhau đồng thời. Nguyên tắc là trộn vật liệu theo mọi chiều, theo chiều dọc và chiều ngang, loại bỏ bất kỳ vùng chết nào có thể xuất hiện trong máy trộn trong quá trình trộn.

Hình dạng hình nón của nổi trộn quay đảm bảo chất lượng trộn đồng đều trên một phạm vi lớn của và nhỏ của mẻ. Máy trộn hiệu quả đối với các mẻ từ 10 đến 100% kích thước danh nghĩa của máy trộn. Tính năng này rất quan trọng vì nó cho phép sản xuất cả hỗn hợp mặt và nền chất lượng cao trong cùng một máy trộn. Máy trộn conic cho phép trộn kết hợp 4 chuyển động theo hai chiều, nên tạo ra hỗn hợp đồng nhất cao, có thể tiết kiệm xi măng, dung tích từ 0,1 đến 0,6 dung tích thùng trộn, tiêu thụ điện năng vừa phải, mài mòn ở mức trung bình, thời gian trộn khoảng 7 phút, tùy biến thay đổi mẻ trộn nhanh, làm sạch máy nhanh và triệt để, để có thể chuyển đổi từ trộn UHPC màu ghi xám sang trộn các loại UHPC màu khác nhau.

Chào trộn quay (đảo chiều) di chuyển bê tông đến máy khuấy tốc độ cao có tốc độ đảm bảo bê tông UHPC được khuấy trộn triệt để, để bất cứ hiện tượng vón cục, kết tụ của cát, mào và xi măng, phụ gia khoáng, bột độn phải được phân tán đồng nhất hoàn toàn. Sự phân bố của vật liệu bột có tầm quan trọng lớn đối với hầu hết các sản phẩm, đặc biệt là đối với UHPC là vật liệu bột, không có cốt liệu lớn. Thiết bị ROTOCONIX® giải quyết vấn đề cụ thể này.

Nhìn chung, các thử nghiệm đã chỉ ra rằng máy trộn ROTOCONIX® có thể đạt được cường độ bê tông cao hơn một cấp với một lượng xi măng nhất định. Vì vậy, SKAKO cung cấp tùy chọn cho mọi loại nguyên liệu của mỗi nhà máy đến cơ sở thử nghiệm để sản xuất so sánh trực tiếp với dây chuyền sản xuất hiện có và do đó thiết lập cơ sở để phân tích tỷ lệ chi phí /lợi ích của quá trình sản xuất.

Dựa trên khả năng tiết kiệm xi măng được đề cập ở trên, máy trộn ROTOCONIX® được khuyến dùng đặc biệt hiệu quả cho UHPC kết cấu và UHPC trang trí.

Máy được đặt hàng sản xuất theo từng yêu cầu cụ thể về cấp, loại và công suất yêu cầu của UHPC.



Hình 11. Máy trộn trục ngang tăng cường BHS - Đức

BHS nghiên cứu hệ máy trộn hai trục ngang tăng cường đặc biệt hiệu suất cao UHPC. Các công thức bê tông UHPC đặt ra những yêu cầu đặc biệt về công nghệ trộn. Máy trộn lô hai trục (loại ĐKX) của BHS có sẵn trong các phiên bản khác nhau với nhiều tùy chọn cấu hình. Nó phục vụ cho hầu hết mọi tình huống ứng dụng: bê tông hiệu suất cao (HPC) cho các nhà máy điện gió; bê tông hiệu suất cực cao (UHPC) cho các kết cấu kiến trúc hoặc chế tạo đặc biệt. Độ đồng nhất của hỗn hợp cao và chu kỳ trộn ngắn, nhất quán và đồng nhất trong mọi chu kỳ trộn, hiệu quả năng lượng tối ưu, hiệu suất trộn tuyệt vời mặc dù tốc độ máy trộn thấp. Máy trộn hai trục ngang cho phép kết hợp 3 chuyển động trong đó 2 chuyển động ở tốc độ cao, cao thể tạo ra hỗn hợp bột có độ đồng nhất, thời gian trộn khoảng 10 phút, dung tích trộn từ 0,3-0,5 dung tích máy, mài mòn tương đối, và khi bị mài mòn cánh và tấm lót thì khả năng vết sạch của cánh không đảm bảo, làm độ đồng nhất của mẻ trộn giảm.

Bảo tồn cấu trúc hạt của các thành phần riêng lẻ của vật liệu thành phần của cấp phối. Tiêu thụ năng lượng cụ thể thấp do thời gian trộn ngắn, cơ chế trộn được tối ưu hóa và truyền động hiệu quả, tấm lót chống mài mòn cao, ít hao mòn hơn đáng kể so với máy trộn chào hoặc máy trộn hành tinh. Thiết kế tối ưu của tất cả các bộ phận có thể bị mài mòn.

Tạo tiềm năng để giảm lượng chất kết dính cần thiết. Phân bố đồng đều và nhanh chóng các chất phụ gia và phụ gia trên toàn bộ thể tích của hỗn hợp. Có thể trộn mẻ nhỏ dung tích 10% so với thùng trộn. Đầu tư an toàn và hiệu quả theo quan điểm của sản xuất bê tông tính theo vòng đời.

Hỗ trợ các chu kỳ trộn hỗn hợp (chậm - nhanh - chậm) để tối ưu mẻ trộn với các cấp phối xác định.

Tất cả các hệ thống máy trộn UHPC phải đi cùng máy xịt nước cao áp từ 130 bar đến 200 bar, với pép phun 360 độ trong máy và 1 đến 2 vòi xịt ngoài, dùng ống áp lực mềm, để rửa sạch hỗn hợp

UHPC cả trong thùng trộn, lẫn bên ngoài và các thiết bị khác như phễu chứa, xe,... ngay khi vừa trộn xong UHPC.



Hiện nay đã chuyển giao công nghệ UHPC cho 3 Công ty bê tông, trong đó 2 Công ty đã đầu tư dây chuyền với 7 thiết bị trộn: 2 thiết bị Skako 1m<sup>3</sup> cho 1 trạm kép, 4 thiết bị Co-nele 1m<sup>3</sup>/thùng trộn cho 2 trạm kép và 1 trạm đơn với thùng trộn Co-nele 2m<sup>3</sup>. Tất cả các thiết bị và trạm đang làm việc ổn định, đây là kinh nghiệm rất giá trị cho việc thiết kế trạm, lựa chọn thiết bị và chế tạo trạm UHPC tại Việt Nam trong thời gian tới.

## 5. KẾT LUẬN

Các nghiên cứu đã cho thấy cần sử dụng phương pháp bảo dưỡng nhiệt ẩm, tại 80 độ C trong 72h hoặc 90 độ C trong 48h, sau khi dưỡng tự nhiên 24h đầu tiên. Với chế độ bảo dưỡng nhiệt ẩm, cường độ chịu nén tăng, và đạt cường độ thiết kế ngay sau bảo dưỡng, đồng thời làm triệt tiêu cơ khô của UHPC.

1. Nghiên cứu cho biết cùng với tăng hàm lượng sợi thép, cường độ UHPC cũng tăng lên. Với 3% sợi thép, cường độ UHPC có thể đạt cao nhất 230MPa.

2. Chế độ bảo dưỡng nhiệt ẩm là cần thiết, cho phép tăng cường độ UHPC cả tuổi sớm lẫn tuổi 28 ngày, với mức tăng tới 22 % so với bảo dưỡng ẩm thông thường.

3. Các phân tích cho thấy để chế tạo bê tông UHPC cần sử dụng máy trộn cưỡng bức tăng cường (intensive), để đảm bảo tính đồng nhất cao của hỗn hợp bê tông với tỷ lệ N/CKD (nước/ chất kết dính) thấp nhất và như vậy cho kết quả là chất lượng UHPC cao nhất và ổn định.

4. Các dạng máy trộn tăng cường có máy trộn hành tinh trực đứng, máy trộn hai trục ngang, máy trộn conic và máy trộn thùng nghiêng và đều phải sử dụng biến tần để điều tốc, cài đặt chế độ tự động. Mỗi loại máy trộn đều có ưu nhược điểm, tùy theo yêu cầu chất lượng, loại sản phẩm, công suất trộn và mức độ đầu tư mà chủ đầu tư sẽ quyết định lựa chọn thiết bị trộn phù hợp.

5. Với việc lựa chọn công nghệ phù hợp, chất lượng UHPC sẽ đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật một cách ổn định, có hiệu quả kinh tế, việc nhân rộng các dây chuyền công nghệ UHPC trong thực tế, cho phép sớm phổ biến được công nghệ UHPC trong các lĩnh vực xây dựng của nước ta.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- FHWA-HRT-14-084-Design and Construction of Field-Cast UHPC Connections
- FHWA-HRT-06-103 Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete
- FHWA-HRT-13-060 Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community
- ACF-120001 - 03/2021 Guidelines for UHPC Structural Design
- ACF-120002 - 02/2021 Guidelines for UHPC Material
- NF P18-470: Concrete - Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPC) - Specifications, performance, production and conformity.
- NFP 18-710: National addition to Eurocode 2-Design of concrete structures: specific rules for Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPC).
- Cataloge Erich, Skako, Kniele, Co-nele, BHS, Lieberher intensive mixer UHPC