

عنوان البحث

تأثير فشل قوالب الخرسانة على تأخر المشاريع الإنشائية: دراسة تحليلية للعوامل المسببة
واستراتيجيات الحد من المخاطر

إعداد الطالب/

اسحاق محمد عابد دهلوي

بمتابعة لجنة الاشراف

العام الدراسي:

2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اهداء

إلى أُمي الغالية، التي كانت دائماً مصدر إلهامي ودعمي. بفضل حبك وتضحياتك، استطعت أن أحقق أحلامي.
لقد علمتني أن العلم هو نور الحياة، وأن العمل الجاد هو السبيل إلى النجاح
إلى والدي العزيز، الذي غرس في قلبي قيم الاجتهاد والمثابرة. شكراً لك على دعمك اللامحدود وتوجيهك الحكيم
في كل مراحل حياتي
إلى أصدقائي وزملائي الذين ارتبطت بهم في هذه الرحلة، كانت أيامنا مليئة بالذكريات الجميلة والتحديات التي
تجاوزناها معاً. شكراً لكم على الصداقة والدعم المستمر
وأخيراً، إلى جميع الأساتذة والمشرفين الذين ساهموا في تنمية معرفتي وتوسيع آفاقي. إن إرشاداتكم ونصائحكم
كانت بمثابة البوصلة التي أرشدتني نحو النجاح

Table of Contents

5	قائمة بالمعادلات والرموز:
8	الفصل الأول
9	مقدمة
10	مشكلة الدراسة:
11	منهجية الدراسة:
13	أهمية الدراسة
14	هدف الدراسة:
15	فرضيات البحث:
16	الفصل الثاني
18	اهمية قوالب الخرسانة:
18	اختبار الهبوط وفنائه: [2]
20	أهمية فئة الهبوط :
21	زمن الشك الابتدائي:
23	المواد المضافة: [3]
25	أهمية الإضافات في الخرسانة: [4]
31	تأثير درجات الحرارة العالية
8	الفصل الثالث
9	الحالات المتعلقة بفشل القوالب الخرسانية التي أدت إلى نتائج كارثية: [6]
11	الفصل الرابع
12	علاقة اختلال القوالب بالجدول الزمني للمشروع [7]
14	الفصل الخامس
15	النتائج
19	المراجع:

قائمة بالمعادلات والرموز:

T	temperature
T_{placing}	placing temperature
$T_{\text{c,Ref}}$	reference temperature
t	time
t_c	end of setting
H	overall height of building part to be poured
h	height of concrete
h_s	hydrostatic pressure head
h_c	height of concrete at end of setting t_c
h_v	depth of penetration of internal vibrator
v	placing rate (pouring rate)
γ	density, partial safety factor
γ_c	fresh concrete density
γ_{H2O}	specific weight of water
σ_h	lateral fresh concrete pressure
σ_{hk}	characteristic value of lateral fresh concrete pressure
$\sigma_{n,cp}$	Perpendicular component of fresh-concrete pressure acting on the formwork
$\sigma_{n,cw}$	Perpendicular component of concrete weight acting on the formwork
σ_v	concrete weight
$\sigma_{v,u}$	uplift
$\sigma_{n,cu}$	Perpendicular component of uplift acting on the inclined formwork
$\sigma_{n,cR}$	Resulting perpendicular component of fresh-concrete pressure acting on the inclined formwork
σ_w	hydraulic pressure
c_p	concrete pressure
c_w	concrete weight
c_u	concrete uplift
c_R	resulting concrete pressure

The concrete pressure equation was adopted from ACI 347-14.

Extract from (ACI 347-14 page 7):

4.2.2.1b SI version— The lateral pressure of concrete, C_{CP} (kPa), can be determined in accordance with the appropriate equation listed in Table 4.2.2.1b.

$$C_{CP} = \rho gh \quad (4.2.2.1b(a))$$

$$C_{CP_{max}} = C_c C_w \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right] \quad (4.2.2.1b(b))$$

with a minimum of $30C_w$ kPa, but in no case greater than ρgh .

$$C_{CP_{max}} = C_c C_w \left[7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8} \right] \quad (4.2.2.1b(c))$$

with a minimum of $30C_w$ kPa, but in no case greater than ρgh , where C_c is defined in Table 4.2.2.1a(b) and C_w is defined in Table 4.2.2.1a(c).

Data Extract from client- trial mix design

Concrete parameters:

Slump =mm

Concrete unit weight = kg/m³

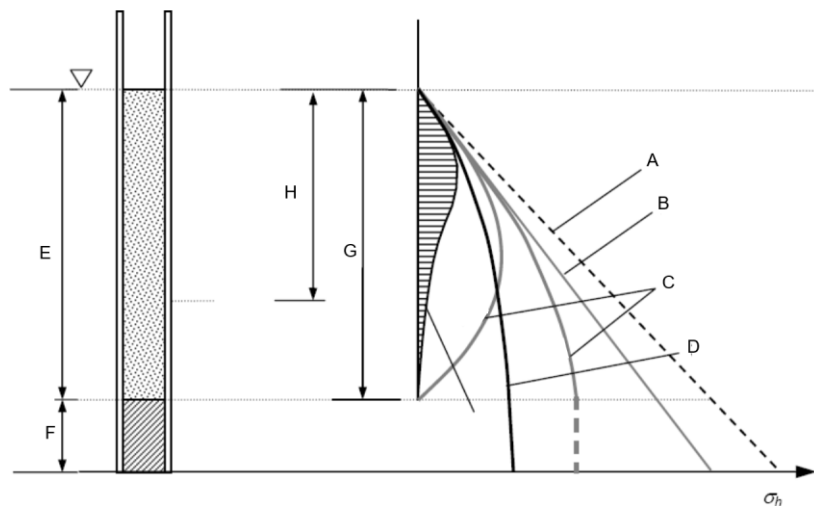
Temperature = °C

= unit weight coefficient per Table 4.2.2.1a(c) C_w

= chemistry coefficient per Table 4.2.2.1a(b) C_c

h = height of placement

R = Rate of Placement



- A Hydrostatic pressure transient
- B Pressure transient according to the theory of soil mechanics without setting
- C Pressure transient according to the theory of soil mechanics with setting
- D Pressure transient with allowance for silo effect
- E Fresh concrete
- F Set concrete (hard concrete)
- G h_E ... end of setting
- H h_A ... start of setting

Extract from (ACI 347-14 page 8):

Table 4.2.2.1a(b)—Chemistry coefficient C_c

Cement type	Slag	Fly ash	Retarders*	C_c
I, II, or III	None	None	None	1.0
			Included	1.2
Any	Less than 70 percent	Less than 40 percent	None	1.2
			Included	1.4
	Greater than or equal to 70 percent	Greater than or equal to 40 percent	None	1.4
			Included	1.5

*Retarders include any admixture, such as a retarder, retarding water reducer, retarding mid-range water-reducing admixture, or high-range water-reducing admixture, that delays setting of concrete.

Table 4.2.2.1a(c)—Unit weight coefficient C_w

Inch-pound version		SI version	
Unit weight of concrete, lb/ft ³	C_w	Density of concrete, kg/m ³	C_w
$w < 140$	$0.5[1 + (w/145 \text{ lb/ft}^3)]$ but not less than 0.80	$\rho < 2240$	$0.5[1 + (w/2320 \text{ kg/m}^3)]$ but not less than 0.80
$140 \leq w \leq 150$	1.0	$2240 \leq \rho \leq 2400$	1.0
$w > 150$	$w/145 \text{ lb/ft}^3$	$\rho > 2400$	$w/2320 \text{ kg/m}^3$

Table 4.2.2.1b—Applicable lateral pressure equations for concrete other than SCC - SI version

Slump*	Internal vibration depth	Element	Rate of placement	Pressure equation
Greater than 175 mm	Any	Any	Any	4.2.2.1b(a)
Less than or equal to 175 mm	Greater than 1.2 m	Any	Any	4.2.2.1b(a)
Less than or equal to 175 mm	Less than or equal to 1.2 m	Column [†]	Any	4.2.2.1b(b)
		Wall [‡] less than or equal to 4.2 m tall	Less than 2.1 m/h	4.2.2.1b(b)
		Wall [‡] greater than 4.2 m tall	Less than 2.1 m/h	4.2.2.1b(c)
		Wall [‡]	2.1 to 4.5 m/h	4.2.2.1b(c)
			Greater than 4.5 m/h	4.2.2.1b(a)

*Slump for determination of lateral pressure shall be measured after the addition of all admixtures.

[†]For the purpose of this document, columns are defined as vertical elements with no plan dimension exceeding 2 m.

[‡]For the purpose of this document, walls are defined as vertical elements with at least one plan dimension exceeding 2 m.

الفصل الأول

مقدمة

تعتبر القوالب الخرسانية عنصراً أساسياً في قطاع البناء، حيث تلعب دوراً مهماً في تشكيل الخرسانة وصبها بالشكل المطلوب لضمان جودة وسلامة الهيكل. ومع زيادة سرعة توسع مشاريع البناء في المملكة العربية السعودية خلال السنوات الأخيرة، ارتفعت المطالب لقوالب خرسانية ذات جودة عالية وكفاءة تصميمية. ومع ذلك، أصبح تأخير المشاريع نتيجة فشل القوالب الخرسانية يمثل مشكلة متزايدة، حيث تتأثر القوالب بعوامل متعددة مثل الضغط الناتج عن الخرسانة، الخصائص الفيزيائية للمواد المستخدمة، وأيضاً تأثير العوامل البيئية ودرجات الحرارة.

يهدف هذا البحث إلى تحليل أسباب تأخير المشاريع الإنشائية بسبب فشل القوالب الخرسانية في المملكة العربية السعودية، مع التركيز على المتغيرات التي تؤدي إلى هذا الفشل وسبل الحد من تأثيرها. ويتضمن ذلك دراسة تأثير ضغط الخرسانة وسرعة الصب، ومدى الالتزام بالمعايير القياسية، بالإضافة إلى العوامل الاقتصادية التي قد تؤثر على نوعية القوالب المستخدمة.

يهدف هذا البحث إلى إتمام تحليل شامل لحالات فشل القوالب الخرسانية وتوضيح أمثلة واقعية من المشاريع المتأخرة، من أجل تحديد الجوانب التي تحتاج إلى تعزيز في تصميم القوالب وتخطيطها. كما سيقتراح استراتيجيات متوسطة وطويلة الأجل لضمان تطوير تصميم القوالب بحيث يتحمل الضغوط التشغيلية ويقلل من احتمالات الفشل والتأخير. ستساهم نتائج هذا البحث في وضع مبادئ توجيهية تهدف إلى تحسين ممارسات التصميم الهندسي في المشاريع الإنشائية بالمملكة، مما يساهم في تقليل التأخيرات والتكاليف الزائدة ويعزز من استدامة وفعالية قطاع البناء السعودي.

مشكلة الدراسة:

على الرغم من التقدم التكنولوجي المستمر في قطاع البناء والإنشاءات في المملكة العربية السعودية، لا تزال هناك تحديات أساسية تواجه تصميم وتخطيط قوالب الخرسانة في المشاريع الإنشائية.

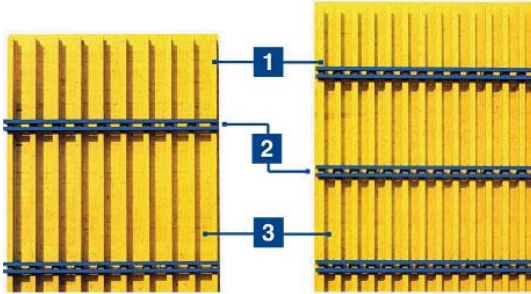
لا تزال العديد من شركات البناء والمقاولين في السعودية تستخدم تصميمات قوالب خرسانية تقليدية قديمة، مما لا يتماشى مع التطورات الحديثة في هذا المجال. وهذا يؤدي إلى انخفاض الكفاءة والجودة في إنجاز المشاريع، بالإضافة إلى غياب المعايير والمواصفات القياسية المحلية، مما يسبب تفاوتًا في الممارسات والمواصفات بين مختلف الجهات والشركات.

من شأن معالجة التحديات المرتبطة بفشل القوالب الخرسانية من خلال إجراء دراسة تحليلية شاملة لتصميم هذه القوالب أن تساهم في تعزيز ممارسات هندسية أكثر كفاءة وجودة في قطاع البناء بالمملكة. عبر فحص الأسباب المحتملة لتأخر المشاريع، بما في ذلك الضغط الناتج عن الخرسانة، وخصائص المواد، والعوامل البيئية، يمكن تحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسينات استراتيجية. وهذه التحسينات لا تعزز فقط فعالية المشاريع، بل تسهم أيضًا في رفع مستوى الجودة والسلامة في جميع جوانب البناء.

منهجية الدراسة:

يتكون قالب الخرسانة من مجموعة من الأجزاء الأساسية التي تعمل بتناغم لتشكيل ودعم الخرسانة أثناء عملية الصب والتصلب. فيما يلي أبرز هذه الأجزاء

الألواح الجانبية (Side Panels)



تشكل هذه الأجزاء الرئيسية للقالب، وتحدد الشكل الخارجي للخرسانة. يمكن أن تُصنع من الخشب أو الفولاذ أو البلاستيك، حيث تعتبر الواجهة التي تتحمل ضغط الخرسانة.

الأجزاء السفلية (Bottom Plates)

تعتبر بمثابة قاعدة للقالب، حيث تُثبت الألواح الجانبية معًا وتدعم وزن الخرسانة أثناء عملية الصب. يجب أن تكون قوية بما يكفي لتحمل هذا الوزن.



الأجزاء العلوية (Top Plates)



الدعائم (Braces)

تُستخدم للدعم والتثبيت للقالب، مما يمنع انزلاقه أو انهياره تحت ضغط الخرسانة. يمكن أن تكون مصنوعة من الفولاذ أو الخشب. وتُستخدم لمقاومة ضغط الهواء وأحمال الاهتزاز، بالإضافة إلى تحقيق توازن القالب.

الأدوات المساعدة (Accessory Tools)

تشمل الأدوات مثل المسامير والبراغي والدعامات، والتي تُستخدم لتثبيت الأجزاء معًا وضمان استقرار القالب. وهي أدوات ناقلة للأحمال المركزية.



أهمية الدراسة

في النقاط التالية:

تعزيز الكفاءة والجودة في تصميم قوالب الخرسانة

ستساعد هذه الدراسة في تحديد أفضل الممارسات والتقنيات الحديثة المتعلقة بتصميم قوالب الخرسانة لتحمل ضغط الخرسانة الطازجة. مما سيسهم في رفع مستوى الجودة والكفاءة في عمليات إنشاء المباني والمشاريع الإنشائية من خلال ضمان استقرار القوالب تحت تأثير الضغط.

اتباع معايير وطنية موحدة

ستسلط الدراسة الضوء على أهمية المعايير الدولية وتقديم توصيات لصياغة معايير وطنية قياسية لتصميم وتصنيع قوالب الخرسانة في السعودية، مع التركيز على كيفية التعامل مع ضغط الخرسانة. وهذا سيساهم في توحيد الممارسات والمواصفات المعتمدة بين مختلف الجهات والشركات، مما يعزز من سلامة المشاريع.

تعزيز الاستدامة والكفاءة البيئية

ستبحث الدراسة في الحلول المبتكرة لتصميم قوالب خرسانية أكثر كفاءة في استهلاك الموارد والطاقة، مع مراعاة تأثير ضغط الخرسانة.

هذا سيساهم في تقليل البصمة البيئية لقطاع البناء والإنشاءات في المملكة من خلال تحسين استخدام المواد وتقليل الفاقد.

هدف الدراسة:

هدفت الدراسة إلى تصميم قوالب خرسانية مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير ضغط الخرسانة.

يتم فحص أفضل الممارسات والأساليب من جميع أنحاء العالم لتصميم قوالب خرسانية تحت الضغط.

فحص الأبحاث والدراسات السابقة حول الابتكارات في تصميم قوالب الخرسانة التي يمكنها تحمل ضغط الخرسانة المختلطة حديثاً.

البحث عن تقنيات فعالة من خلال فحص دراسات الحالة الناجحة من دول أخرى في هذا المجال.

تقييم الواقع المحلي لتصميم قوالب الخرسانة في المملكة العربية السعودية أثناء ممارسة الضغط.

فحص الصعوبات والنواقص في الإنتاج المحلي وتصميم قوالب الخرسانة.

ستساهم هذه الدراسة بشكل كبير في تطوير ممارسات هندسية ذات جودة أعلى وأكثر كفاءة في صناعة البناء والتشييد في المملكة من خلال تحقيق هذه الأهداف.

تصميم القوالب الخرسانية مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير ضغط الخرسانة.

ما هي الاستراتيجيات والتكتيكات الأكثر فعالية المستخدمة عالمياً عند تصميم القوالب الخرسانية تحت الضغط؟

ما هي الابتكارات الجديدة التي ظهرت في هذا المجال مؤخراً؟

كيف يمكن للدول الأخرى تعزيز قدرة قوالبها على تحمل ضغط الخرسانة الطازجة؟

ما مدى مرونة تصميم القوالب الخرسانية في المملكة العربية السعودية عملياً؟

ما هي العمليات والتحديات التي تواجه صناعة تصميم وتصنيع القوالب المحلية حالياً؟

إلى أي مدى يتم استخدام التقنيات الحديثة والمواد المتقدمة محلياً؟

عند تصميم القوالب الخرسانية تحت الضغط، ما هي القواعد والمواصفات الموحدة للمملكة التي يجب الالتزام بها؟

ما هي القواعد واللوائح التي يجب اتباعها فنياً لتطبيق أفضل الممارسات في هذا المجال؟

كيف يمكن أن يصبح تصميم القوالب الخرسانية أكثر توحيداً وتأسيساً على المعايير الوطنية؟

ما هي التقنيات والموارد المتطورة المتاحة لتحسين الاستدامة البيئية في تصميم القوالب الخرسانية الحساسة للضغط؟

ما هي المواد البديلة الآمنة للبيئة والتي يمكن استخدامها لصنع القوالب؟

كيف يمكن جعل تصميمات القوالب أكثر كفاءة في استخدام الطاقة والموارد؟

من أجل مساعدة المملكة العربية السعودية على تطوير ممارسات تصميم القوالب الخرسانية تحت الضغط، تهدف الدراسة إلى معالجة هذه الأسئلة وتقديم اقتراحات وحلول مفيدة.

فرضيات البحث.

1. لا يتوافق تصميم القوالب الخرسانية في المملكة العربية السعودية مع المعايير الدولية الحديثة.
ويُفترض أن مدى توظيف الابتكارات والتقنيات المحلية يختلف عن مدى توظيف التقنيات المستخدمة عالمياً.
ويُعتقد أن المشاكل التقنية والقانونية تعيق تبني السوق المحلية للحلول والتقنيات الحديثة.
2. . لا توجد في المملكة قواعد ومواصفات ثابتة لتصميم القوالب الخرسانية.
ويُعتقد أن الإجراءات والتطبيقات الحالية تقتصر إلى ضوابط وإرشادات تقنية متسقة.
ويُفترض أن إنشاء معايير وطنية شاملة لتصميم القوالب الخرسانية أمر مطلوب.
3. . يتمتع تصميم القوالب الخرسانية بإمكانية تحسين الاستدامة البيئية من خلال استخدام التقنيات والحلول المتطورة.
ويُعتقد أن البدائل الصديقة للبيئة للمواد التقليدية متاحة.
ويُعتقد أن هناك فرصاً لتصميم القوالب التي تستخدم موارد أقل وطاقة أقل.
نظراً لاستخدامها لدعم وتشكيل الخرسانة أثناء مرحلتي الصب والتصلب، فإن قوالب الخرسانة تشكل عنصراً أساسياً في عملية البناء. سواء كان مبنى سكنياً أو منشأة صناعية أو بنية تحتية، فإن هذه القوالب تشكل عنصراً أساسياً في أي مشروع بناء.

الفصل الثاني

تعريف قوالب الخرسانة؟

أثناء صب الخرسانة، يتم استخدام هياكل مؤقتة تسمى قوالب الخرسانة لتحديد شكل الخرسانة. هذه القوالب، التي تتكون عادةً من الفولاذ أو البلاستيك أو الخشب، تهدف إلى دعم الخرسانة حتى تصل إلى القوة المطلوبة.[1]

خلفية

أنواع قوالب الخرسانة:

تُستخدم القوالب الخشبية بشكل متكرر في المشاريع الصغيرة أو المواقع التي تتطلب أشكالًا معقدة. يمكن تشكيلها وتعديلها بسهولة، مما يجعلها خيارًا متعدد الاستخدامات لمشاريع مختلفة.[1]



قوالب الصلب:

تستخدمها المشاريع الكبيرة بسبب قوتها ومتانتها الكبيرة. بالإضافة إلى ذلك، فهي فعالة من حيث التكلفة لأنها يمكن استخدامها بشكل متكرر.



. قوالب البلاستيك: تتميز بخفة وزنها وسهولة تركيبها، وغالبًا ما تُستخدم في الأعمال التي تتطلب دقة عالية في الأبعاد



دقة الأبعاد: يمكن قياس الخرسانة بدقة باستخدام القوالب، مما يضمن جودة المنتج النهائي ويقلل الحاجة إلى إعادة العمل توفير الوقت: من خلال تسهيل عملية الصب وتسريع تقدم المشروع، تعمل القوالب على تحسين كفاءة عملية البناء. السلامة هي تقليل فرصة الانهيار أو التشوه أثناء عملية التصليب من خلال إعطاء الخرسانة الدعم الذي تحتاجه

اهمية قوالب الخرسانة:

تتطلب عملية تصميم القوالب مراعاة عدة عوامل مهمة، بما في ذلك

وزن الخرسانة: يجب أن تكون القوالب قوية بما يكفي لدعم وزن الخرسانة التي تصلب.

نوع الخرسانة: تحدد خصائص الخرسانة المستخدمة تصميم القالب.

تؤثر درجة الحرارة على خصائص الخرسانة والوقت الذي تستغرقه حتى تتصلب، لذلك يجب تعديل تصميم القالب.

نوع الأسمنت: يؤثر على قوة الخرسانة ووقت التصلب، لذلك يجب مراعاة توافقها بعناية.

وقت التثبيت: له تأثير كبير على المدة التي تظل فيها القوالب في مكانها، مما يؤثر على الجدول الزمني للمشروع

المعادلات الأساسية لتصميم القوالب.

Consistency class of the concrete: stated in the delivery information. درجة الخرسانة

End of setting t_E at $T_{C,Ref}$: The manufacturer of the concrete shall provide this information in a suitable form to

the concrete user on request. الزمن الشك الابتدائي

Reference temperature $T_{C,Ref}$ of the concrete at the start of testing of end of setting: Part of the information

درجة الحرارة المرجعية for t_E

Placing temperature of the concrete $T_{C,placing}$: Fresh-concrete temperature of the concrete on site

Pouring height: Height of the section to be poured ارتفاع الصب

Fresh-concrete weight/fresh-concrete density كثافة الخرسانة

اختبار الهبوط وفئاته: [2].

اختبار الهبوط هو اختبار شائع يستخدم لتحديد قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة ومدى اتساقها. يساعد هذا الاختبار في

ضمان سهولة خلط ونقل وصب وتشطيب الخرسانة، مع الحفاظ على قوتها ومتانتها. يتم استخدام مخروط الهبوط في

الاختبار، ويُقاس الهبوط كالمسافة الرأسية التي تهبط بها الخرسانة لتحديد اتساقها.

فئات اختبار الهبوط

بوجه عام، تقع قيم الهبوط ضمن ثلاث فئات رئيسية، كل منها تمثل فئة مختلفة من الاتساق:

هبوط حقيقي :

يدل على خرسانة قابلة للتشغيل وتحافظ على شكلها أثناء الهبوط بشكل موحد.

الاستخدامات :يُستخدم في الإنشاءات العامة، مثل الهياكل الخرسانية المسلحة حيث تكون القابلية للتشغيل والدمك ضرورية.

هبوط قصي:

تنزلق الخرسانة جانبياً، مما قد يشير إلى تماسك منخفض.

قد يدل على عدم اتساق في الخلطة، وقد يتطلب مراجعة المواد أو طرق الخلط. لا يُنصح به للتطبيقات الإنشائية بدون التحقق

هبوط انهيارى :

تنهار الخرسانة بالكامل، مما يشير إلى كمية ماء زائدة أو خليط مائع جداً

يُستخدم عادةً في الخلطات المصممة للتدفق الذاتي، مثل الخرسانة ذاتية الدمك، ولكنه قد يشير أيضاً إلى خليط مفرط الرطوبة في التطبيقات التقليدية .

فئات الهبوط حسب قيم الهبوط المقاسة

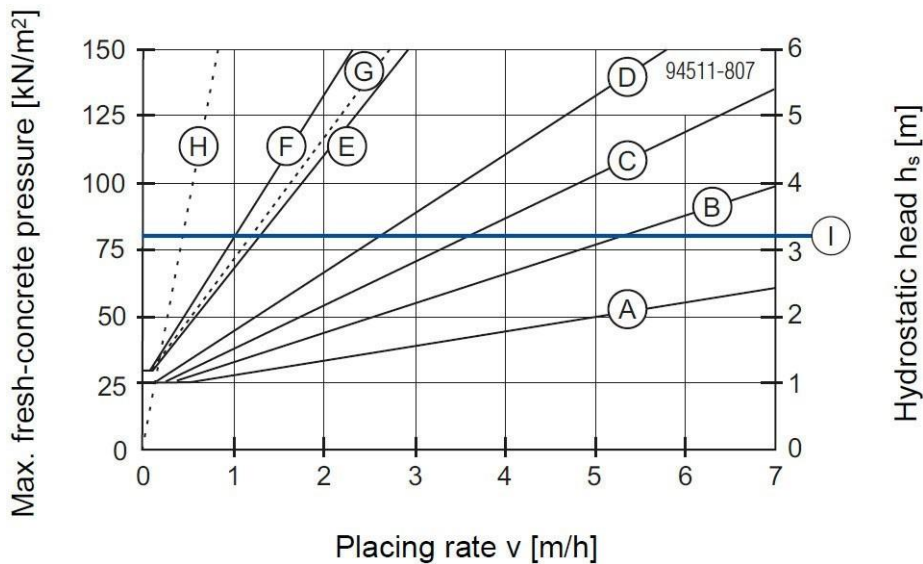
كل نطاق من قيم الهبوط يتوافق مع مستوى معين من قابلية التشغيل ويُصنف عادة ضمن فئات مختلفة

فئة الهبوط	قيمة الهبوط (مم)	قابلية التشغيل	التطبيقات
S1	10 – 40	قابلية تشغيل منخفضة جداً	الأرصعة والأعمال الخرسانية التي تتطلب قابلية تشغيل منخفضة
S2	50 – 90	قابلية تشغيل منخفضة	الأساسات وأعمال الخرسانة الجماعية
S3	100 – 150	قابلية تشغيل متوسطة	الهياكل الخرسانية المسلحة العامة
S4	160 – 210	قابلية تشغيل عالية	الأعمدة، الجدران، والأقسام ذات التسليح الكثيف
S5	>210	قابلية تشغيل عالية جداً	الخرسانة ذاتية الدمك (SCC)

أهمية فئة الهبوط :

اختيار الفئة الصحيحة للهبوط يضمن أن تكون خلطة الخرسانة مناسبة للتطبيق المطلوب، مما يوفر التوازن المناسب بين قابلية التشغيل والاستقرار. حيث أن زيادة فئة الهبوط يؤدي إلى زيادة ضغط الخرسانة، ويوضح الجدول أنواع الخرسانة والضغط المتوقع.

consistency: Concrete consistency is important regarding processability and fresh-concrete pressure. In particular when concrete of consistency class F5 or F6 or SCC is used, the fresh-concrete pressure is likely to be considerably higher than with conventional vibratory-compacted concrete of consistency classes F1 through F4.



A Consistency class F1

Consistency class F2 B

C Consistency class F3

Consistency class F4 D

E ECC, consistency class F5

ECC, consistency class F6 F

hydrostatic up to t_E H

Adapt the formwork to fresh-concrete pressure

وقت تصلب الخرسانة هو مقدار الوقت الذي تستغرقه حتى تتصلب إلى حالة قابلة للتشكيل وطازجة يمكنها تحمل الأحمال. يمكن تصنيف وقت التصلب إلى فئتين رئيسيتين.

زمن الشك الابتدائي:

في هذه المرحلة، تبدأ الخرسانة في فقدان قابليتها للتشكيل حيث يتفاعل الأسمنت والماء، مما يتسبب في تحول الخرسانة تدريجياً من الحالة السائلة إلى الحالة البلاستيكية.

لضمان الاتساق والقوة الهيكلية، يجب صب الخرسانة وضغطها قبل نهاية هذه الفترة.

اعتماداً على نوع الأسمنت ودرجة الحرارة، يختلف وقت التصلب الأولي عادةً من 30 دقيقة إلى عدة ساعات.

زمن الشك النهائي:

في هذه المرحلة، تتصلب الخرسانة بدرجة كافية لتحمل الأحمال الخفيفة وتحافظ على شكلها حتى عند تعرضها لقوى طفيفة..

يتم اعتبار الخرسانة صلبة عند نهاية زمن الشك النهائي، حيث تصبح مقاومة للدمك أو التشوه.

الزمن النهائي للشك يتراوح عادة بين 6 إلى 12 ساعة تقريباً، لكنه قد يتأثر بعوامل عديدة كنوع الإسمنت، ونسبة الماء، ودرجات الحرارة المحيطة.

المتغيرات التي تؤثر على زمن التصلب.

• نسبة الماء إلى الأسمنت: تؤدي نسبة الماء الأعلى إلى زمن تصلب أطول.

• نوع الأسمنت: تُعرف الأسمنتات التي تتصلب بسرعة أكبر بالأسمنتات سريعة التصلب.

يتسارع زمن التصلب بدرجات الحرارة المرتفعة ويتباطأ بدرجات الحرارة المنخفضة.

• إضافات الخرسانة التي تغير زمن التصلب، مثل المسرعات أو المثبطات أو الملدنات.

إن فهم زمن التصلب أمر بالغ الأهمية.

إن معرفة وقت تصلب الخرسانة أمر بالغ الأهمية للتحكم في عمليات الصب وضمان الاستقرار الهيكلي ومعرفة متى يجب إزالة القوالب وعلاج الخرسانة بشكل صحيح للحصول على المنتج النهائي الأقوى والأكثر متانة.

يتم عرض العلاقة بين ضغط الخرسانة وزمن التصلب في الجدول أدناه.

End of setting t_E – setting behaviour of concrete

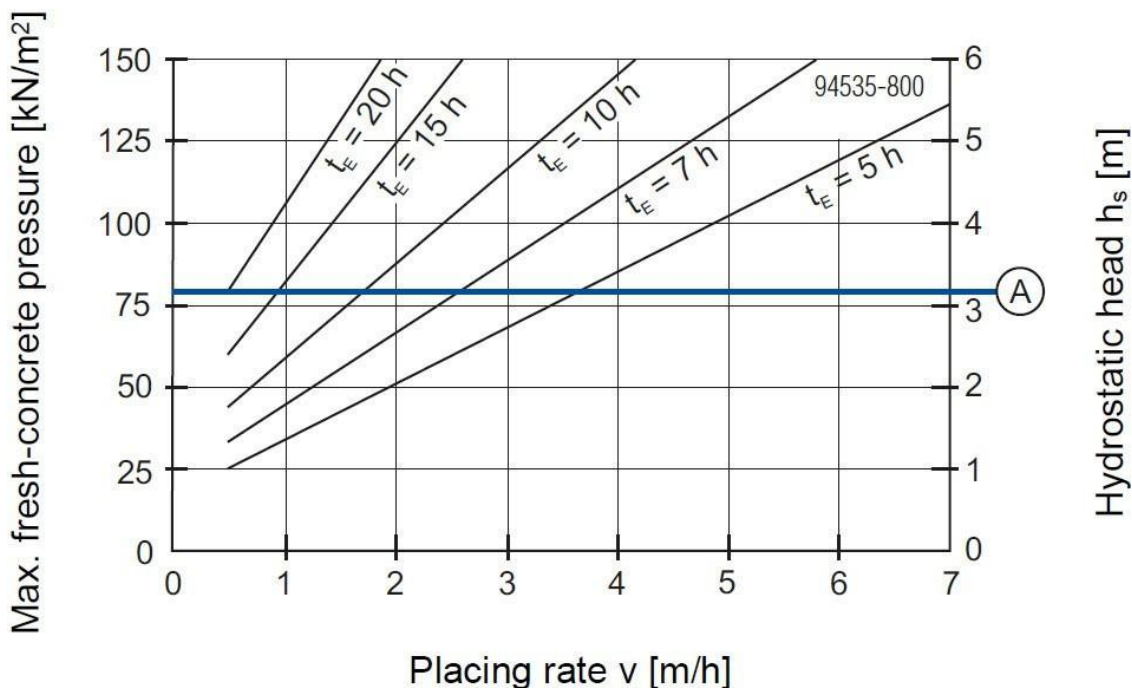
Setting behaviour has big influence on fresh-concrete pressure.

DIN 18218:2010-01 contains formulas for calculating the setting behaviour of concrete. The K1 factor allows for setting behaviour (linear order of magnitude: 1.0 – 4.0).

By way of illustration, Appendix B of the DIN standard includes five diagrams for end of setting over periods of between 5 and 20 hours after first adding of water.

Setting is the phase in the process of hydration in which the viscosity of the concrete increases (transition from liquid to solid state). When setting completes (marked by the end of setting t_E), the concrete begins to develop its strength.

Fresh-concrete pressure for consistency class F4 against times to end of setting t_E of 5, 7, 10, 15 and 20 hours



Example: Postulated placing rate: 2 m/h. Only concretes with an end of setting of less than 9 hours evince a maximum fresh-concrete pressure < 80 kN/m². Maximum fresh-concrete pressure is considerably higher when the time until end of setting is longer.

Example: Permissible load, Framax Xlife (panel width 1.35 m) with anchor system	A
	20.0

Accurately predicting the end of setting t_E of the concrete is difficult. End of setting t_E depends on several factors, all of which interact to a greater or lesser extent.

Definitive influencing factors:

Temperature of the fresh concrete and the ambient temperature

Binder/cement and water/cement ratios

Concrete additives/admixtures

Calculating end of setting:

Vicat process: EN 480-2 process

Knead-bag process: practical process to DIN 18218:2010-01

Alternative methods of calculating the end of setting are permissible if they verifiably produce correct results.

المواد المضافة: [3].

إلى خليط الخرسانة لتعزيز صفاته أو تغيير سلوكه في مواقف معينة تعرف باسم المواد المضافة. تستخدم المواد المضافة لتحقيق أهداف معينة، مثل خفض الانكماش، وتحسين قابلية التشغيل، وتسريع أو تأخير وقت التصلب، أو زيادة القوة. أنواع المواد المضافة الأساسية وتأثيراتها هي كما يلي .
المواد الملينة، أو المواد المضافة التي تقلل الماء .

التأثير: من خلال خفض كمية الماء المطلوبة في الخليط، تصبح الخرسانة أقوى وأكثر مقاومة للنفاذية والانكماش .

التطبيقات: لتعزيز قابلية التشغيل في الخرسانة ذات المحتوى العالي من الأسمنت أو لخفض محتوى الماء دون المساس بتماسك الخرسانة .

المواد المضافة المخفضة للماء ذات الكفاءة العالية (المواد الملينة الفائقة) .

التأثير: لا تؤثر على قوة الخرسانة، فهي تخفض بشكل كبير محتوى الماء وتزيد من قابلية التشغيل .

التطبيقات: الخرسانة ذاتية الضغط والمواقف التي تتطلب تدفقًا خرسانيًا سلسًا وصبًا في مناطق محصورة أو بين تسليح كثيف

إضافات الإبطاء (المثبطات).

التأثير: يؤخر وقت التصلب الأولي للخرسانة، مما يمنحها مزيدًا من الوقت للصب والتصلب قبل أن تتصلب تشمل التطبيقات صب الخرسانة في الطقس الحار، ونقل الخرسانة لمسافات طويلة، والمواقف التي تحتاج فيها المكونات الهيكلية الكبيرة إلى الصب المستمر.

المسرعات، أو إضافات التسارع.

• التأثير: يساعد على تصلب الخرسانة بشكل أسرع من خلال تقليل وقت التصلب الأولي والنهائي.

• التطبيقات: يقصر وقت التصلب في الطقس البارد ويستخدم أيضًا عند الحاجة إلى إزالة القوالب أو البناء بسرعة.

إضافات تعزيز الالتصاق

التأثير: يعزز تماسك الخرسانة ويمنع انفصال أجزائها المكونة

التطبيقات: إذا كان من الضروري تحسين التماسك في الخرسانة المرشوشة (الخرسانة الرشاشة)، أو عند صب الخرسانة على أسطح أفقية أو مائلة.

إضافات تجذب الهواء

التأثير: يضيف فقاعات هواء صغيرة إلى الخرسانة، مما يزيد من مقاومتها للتجمد والذوبان ويقلل من احتمالية حدوث الشقوق المرتبطة بالانكماش.

التطبيقات: في المناخات الباردة حيث الثلج والصقيع أمر شائع.

إضافات لتعزيز مقاومة الخرسانة.

• التأثير: يعزز التفاعل الكيميائي للأسمنت أو يقلل من نفاذية الخرسانة لزيادة القوة الإجمالية للخرسانة.

• التطبيقات: يستخدم في الخرسانة التي تحتاج إلى قدر كبير من المقاومة، مثل الخرسانة المسلحة للجسور والسدود والمباني الشاهقة.

.الالتصاقات التي تمنع الانكماش.

•التأثير: يقلل من انكماش الخرسانة أثناء جفافها، مما يقلل من احتمالية حدوث الشقوق الناتجة عن الانكماش.

•التطبيقات: يتم تطبيقه على مكونات الخرسانة ذات الحركة المحدودة، مثل الأساسات العميقة والأرضيات الواسعة.

أهمية الإضافات في الخرسانة: [4].

استخدام الإضافات في الخرسانة له تأثير كبير على جودة وسلوك الخرسانة، ويساعد على تلبية متطلبات البناء الحديثة، وتحقيق مقاومة عالية، وتقليل التكلفة والوقت

حيث انه زيادة انسابية الخرسانة تؤدي الى زيادة ضغط الخرسانة .

The setting behaviour of concrete depends to a very large extent on the following factors:

Reactivity of the cement, characterised by the following properties:

Fineness of grinding

Proportion and properties of the cement (latently hydraulic, inert)

Intergrinding substances (cinder sand, powdered limestone, fly ash)

Chemical composition of the clinker (C3A-free cements, sulphate carriers)

Depending on the way in which they act (inert, hydraulically active), the concrete aggregates also influence hydration and consequently the way in which the concrete sets.

The hydration of cement is an exothermal process in which heat is released. An increase in ambient temperature or fresh-concrete temperature makes hydration all the faster and more efficient.

Less reactive cements that are not finely ground and have a reduced proportion of clinker:

CEM III/A 32.5

CEM III/B 32.5

CEM II/A 32.5

CEM II/B 42.5

CEM II/B 32.5

In combination with strongly consistency-sustaining plasticisers, the differences in setting as influenced by fresh-concrete temperature and ambient temperature can be considerable.

These differences are less pronounced in the case of more highly reactive cements.

Diagrams 1, 2 and 3 illustrate the effect of cement composition on setting, with and without the addition of plasticisers.

Cements with retarded setting:

Composite cements with high proportions of intergrinding substances (CEM III)

C3A-free cements

C3A-free and CEM III cements (less hydration heat development) are used in massive and high construction parts.

Influence of the seasons:

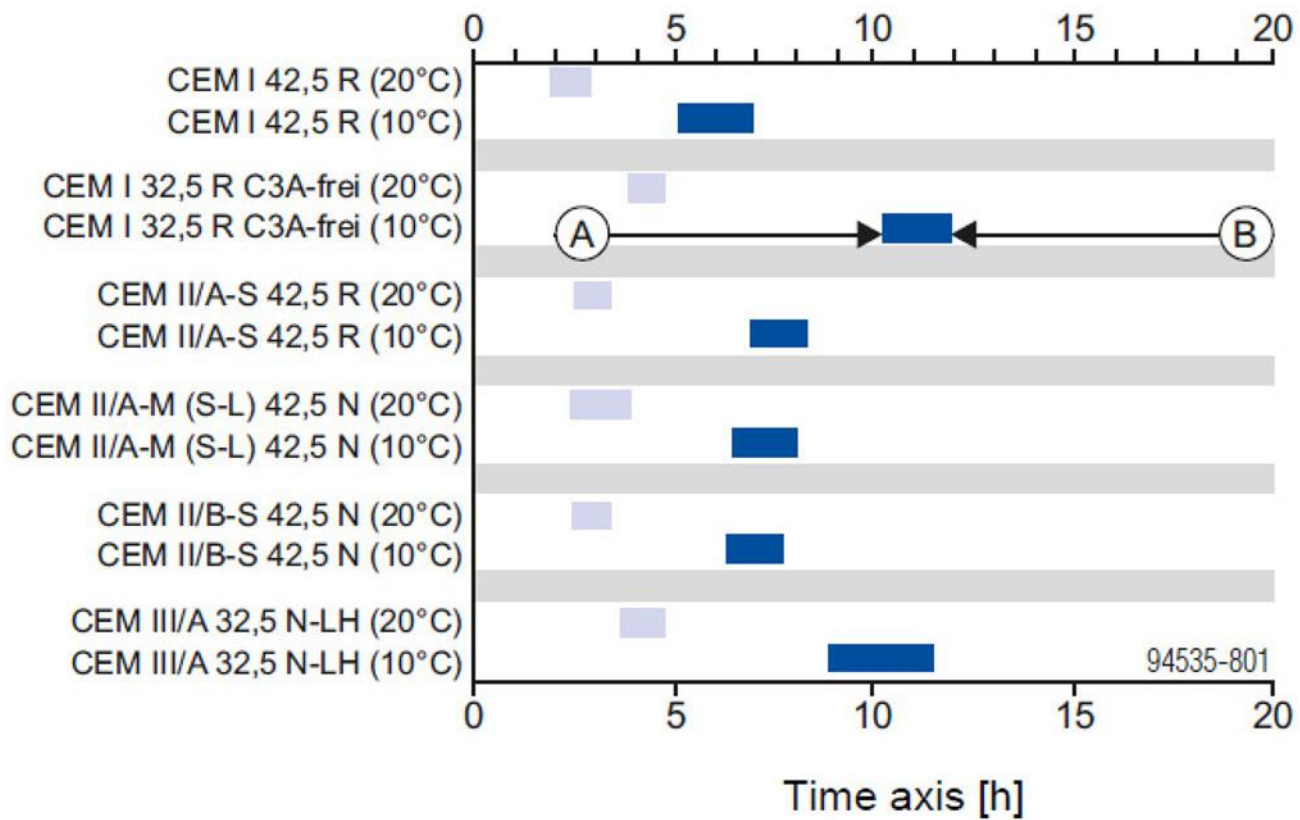
Combinations of binder and additives that are suitable for summer conditions can result in severely retarded setting at winter temperatures (see Diagram 1 without plasticiser, and Diagram 3 with plasticiser).

In projects stretching over long periods it is advisable to adjust the concrete recipe to match setting properties to seasonal conditions.

Match the combination of cement and plasticiser to climatic conditions.

Heating the mixing water or the stone aggregate accelerates hydration of the concrete.

How different cements set at 20 and 10 °C cement–grout and ambient temperatures



End of setting B Start of setting A

Setting times/start – end

	Cement grout + amb. temp. 20 °C
	Cement grout + amb. temp. 10 °C

Nowadays, liquefiers and plasticisers are used in production of all concretes. These concrete additives have a major effect on the end of setting of the concrete, and this applies in particular to plasticisers and retarders.

Benefits of plasticisers on polycarboxylate ether basis:

Minor loss of consistency over time

Extended workability

Ability to maintain consistency over an extended period improves the workability of the concrete in the hot season of the year. Consequently, these plasticisers are frequently used in the ready-mix concrete industry.

The intensity of the effect of consistency-sustaining polymers depends on the following factors:

Cement composition (CEM I, CEM II, CEM III)

Chemical properties

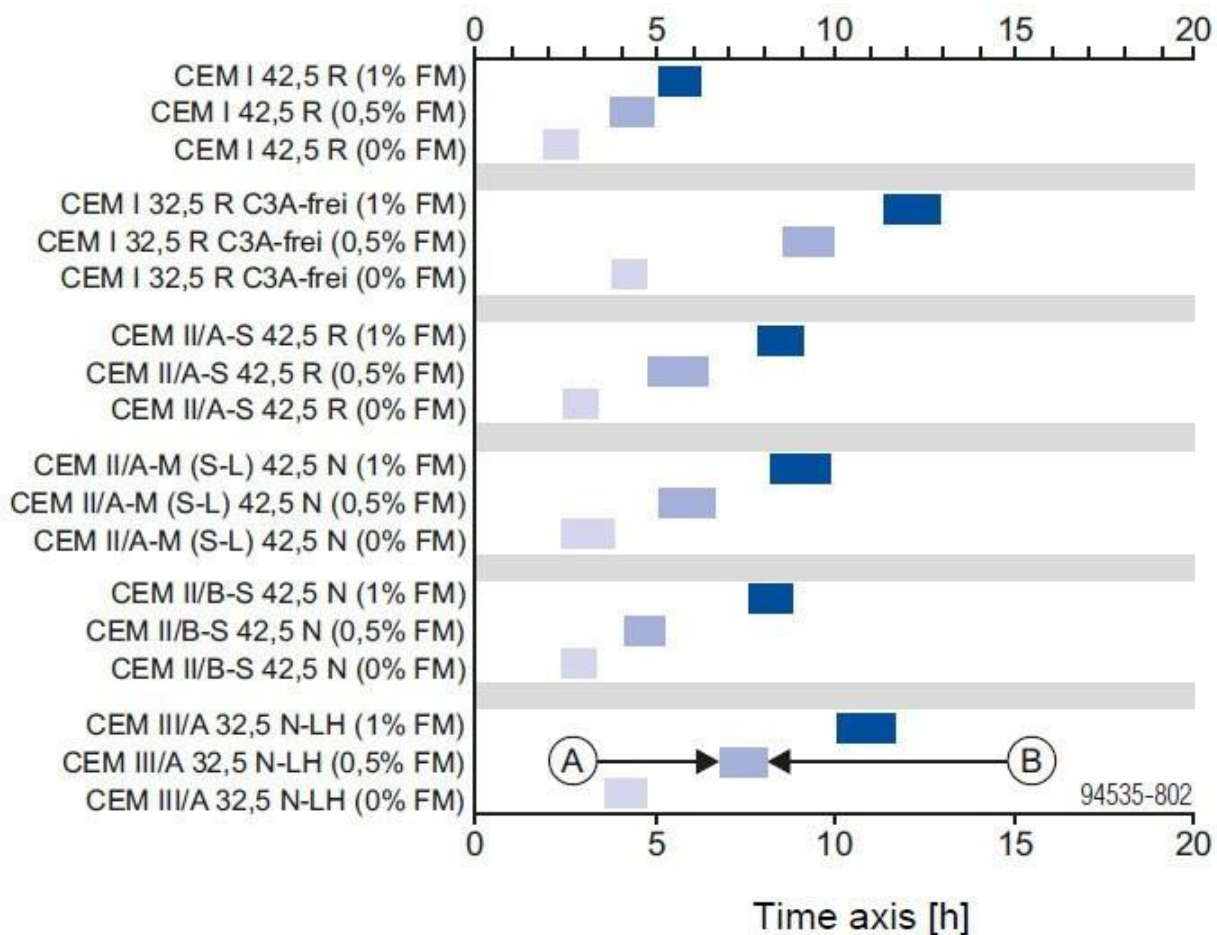
Fineness of grinding

Fresh-concrete temperature

During the cold season of the year in particular, this can retard the end of setting to a very significant degree.

Plasticisers in combination with different cements and temperatures lead to considerable differences in the setting behaviour of the concrete.

How different cements with and without PCE super-plasticiser set at 20 °C cement–grout and ambient temperatures



The plasticiser used significantly affects start and end of setting to an extent that depends on quantity added. In the case of certain cements, moreover, the plasticiser significantly prolongs setting time. The plasticiser's effect in this respect is particularly noticeable when the Portland cement clinker proportion is severely reduced and in the case of C3A-free cements.

A Start of setting

End of setting B

Setting times/start – end

	Cement grout w/o plast.
	Cement grout 0.5 % mass plast.
	Cement grout 1.0 % mass plast.

تأثير درجات الحرارة العالية

زيادة سرعة التفاعل الكيميائي .

تتصلب الخرسانة بسرعة أكبر في درجات الحرارة المرتفعة بسبب تفاعل الترطيب، وهو المعدل الذي يتفاعل به الماء والأسمنت .
نظرًا لأن قوة ربط جزيئات الأسمنت تضعف بسبب هذا المعدل العالي من التفاعل، تفقد الخرسانة بعضًا من قوتها الانضغاطية القصوى .

تقليل وقت التصلب .

تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى تقصير الوقت اللازم لصب الخرسانة وضغطها وتصلبها عن طريق تقليل أوقات التصلب الأولية والنهائية. وقد يتسبب هذا في ضعف بنية الخرسانة وتطور فجوات، مما يقلل من قدرتها على تحمل الضغط .
زيادة احتمالية التشقق .

يمكن أن يؤدي التبخر السريع للمياه من سطح الخرسانة الساخنة إلى حدوث تشققات، خاصة إذا لم يتم تصلبها بشكل كافٍ.
تضعف متانة الخرسانة ومقاومتها للضغط بسبب هذه الشقوق.

زيادة انكماش الخرسانة.

عند ارتفاع درجات الحرارة، يحدث انكماش سريع للخرسانة عند جفافها، مما يؤدي إلى تقليل قوة الضغط بسبب تشكّل الفراغات في الهيكل.

تأثير درجات الحرارة المنخفضة

تقليل معدل تفاعل الترطيب.

يؤدي التفاعل البطيء بين الأسمنت والماء عند درجات الحرارة المنخفضة إلى إطالة وقت التصلب وتحسين بنية الخرسانة، مما يزيد من قوتها الانضغاطية بعد تصلبها.

إطالة فترة المعالجة.

يستغرق الأمر وقتًا أطول حتى تصل الخرسانة منخفضة الحرارة إلى قوة الضغط اللازمة. يمكن إنشاء بنية خرسانية أقوى وأكثر تماسكًا من خلال إطالة فترة المعالجة.

.مخاطر التجمد.:

قد يتجمد الماء في الخرسانة قبل انتهاء تفاعل الترطيب إذا كانت درجة الحرارة قريبة من الصفر أو أقل. سيؤدي هذا إلى زيادة حجم الماء المتجمد وتكوين الشقوق، مما يؤدي إلى انخفاض قوة الضغط.

تتصلب الخرسانة ببطء .

يجب أن تتصلب الخرسانة ببطء وبشكل أكثر شمولاً عند درجات حرارة منخفضة من أجل الحفاظ على التفاعل الكيميائي وبناء قوة الضغط تدريجياً

الخلاصة

درجات الحرارة العالية تسرع تصلب الخرسانة لكنها قد تؤدي إلى ضعف مقاومة الضغط على المدى الطويل إذا لم يتم التحكم فيها ومعالجة الخرسانة بالشكل الملائم.

درجات الحرارة المنخفضة تؤدي إلى زيادة زمن تصلب الخرسانة وتحتاج إلى معالجة مكثفة، لكنها تساعد في بناء خرسانة قوية تتحمل ضغطاً أعلى في النهاية.

اختيار درجة حرارة مناسبة للخلط والمعالجة مهم لضمان الحصول على مقاومة الضغط المثلى في الخرسانة، وتجنب المشاكل الإنشائية المرتبطة بالحرارة.

Fresh-concrete temperature / placing temperature / ambient temperature

Hydration is influenced by the temperature of the fresh concrete and by ambient temperature. DIN 1045-3 limits fresh-concrete temperatures to the range +5 to +30 °C.

A fresh-concrete temperature of at least

+10 °C is necessary in the following cases:

Ambient temperatures from –3 to +5 °C using < 240 kg/m³ LH cement (cement with low hydration heat)

Ambient temperatures < –3 °C

When ordering concrete in winter, make sure that the concrete manufacturer can ensure that the fresh concrete is heated (conversely, in summer the concrete has to be cooled).

Benefits of controlling fresh-concrete temperature:

Compensation of differences in setting behaviour

Continuous progress on the build is ensured

DIN 18218:2010-01 specifies end of setting for concrete assignable to a strength class of at least C20/25. However, these figures apply only in the absence of additives with a retarding effect.

Clarity with regard to the actual end of setting requires direct testing of the concrete.

Notes on empirical values for end of setting as stated in DIN 18218:2010-01

Concrete with strength development	Concrete temperature [°C]	Expected end/ end of setting tE [h]
fast	>15	tE = 5
medium	> 20	
fast	> 10	

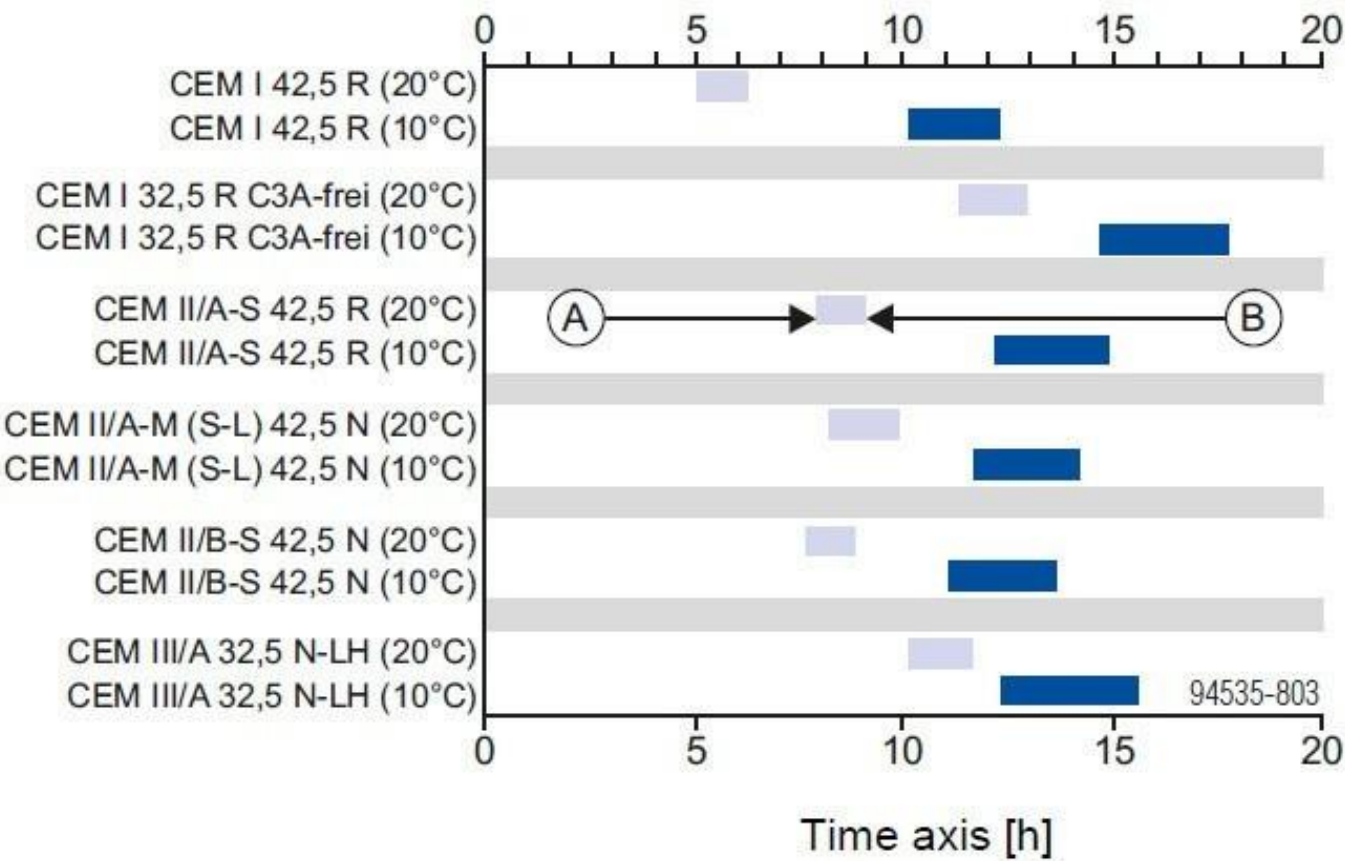
medium	> 15	tE = 7
slow	> 20	

In tests, the PCE super-plasticiser used brought about a significant retardation in setting, and this applied across all the cements tested (see Diagrams 2 and 3). For a temperature range of

+10 °C, the end of setting for C3A-free cement and CE

M III/A was in excess of 15 hours.

How different cements with PCE super-plasticiser set at 20 and 10 °C cement-grout and ambient temperatures



Start of setting A

End of setting B

Setting times/start – end

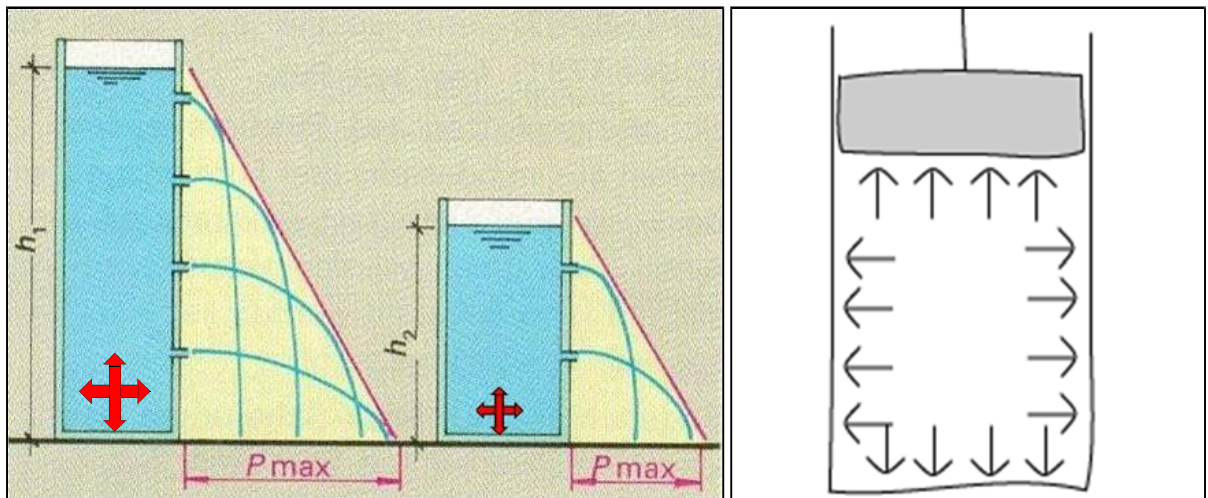
	Cement grout 1 % mass plast. + amb. temp. 20 °C
	Cement grout 1 % mass plast. + amb. temp. 10 °C

$$\sigma_{H20} = \gamma_{H20} \times h \quad \text{The rule is:}$$

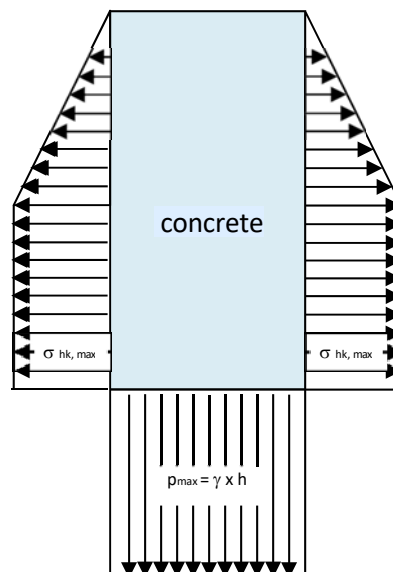
static head [m] h

specific weight of water – 10 kN/m^3 γ_{H20} .

water pressure [kN/m^2] σ_{H20}



. Concrete pressure does not increase further once the maximum concrete pressure has been reached.



T	temperature
T_{placing}	placing temperature
$T_{\text{c,Ref}}$	reference temperature
t	time
t_c	end of setting
H	overall height of building part to be poured
h	height of concrete
h_s	hydrostatic pressure head
h_c	height of concrete at end of setting /E
h_v	depth of penetration of internal vibrator
v	placing rate (pouring rate)
γ	density, partial safety factor
γ_c	fresh concrete density
γ_{H2O}	specific weight of water
σ_h	lateral fresh concrete pressure
σ_{hk}	characteristic value of lateral fresh concrete pressure
$\sigma_{n,cp}$	Perpendicular component of fresh-concrete pressure acting on the formwork
$\sigma_{n,cw}$	Perpendicular component of concrete weight acting on the formwork
σ_v	concrete weight
$\sigma_{v,u}$	uplift
$\sigma_{n,cu}$	Perpendicular component of uplift acting on the inclined formwork
$\sigma_{n,cR}$	Resulting perpendicular component of fresh-concrete pressure acting on the inclined formwork
σ_w	hydraulic pressure
c_p	concrete pressure
c_w	concrete weight
c_u	concrete uplift
c_R	resulting concrete pressure

The concrete pressure equation was adopted from ACI 347-14.

Extract from (ACI 347-14 page 7):

Data Extract from client- trial mix design

Concrete parameters:

Slump =mm

Concrete unit weight = kg/m³

Temperature = °C

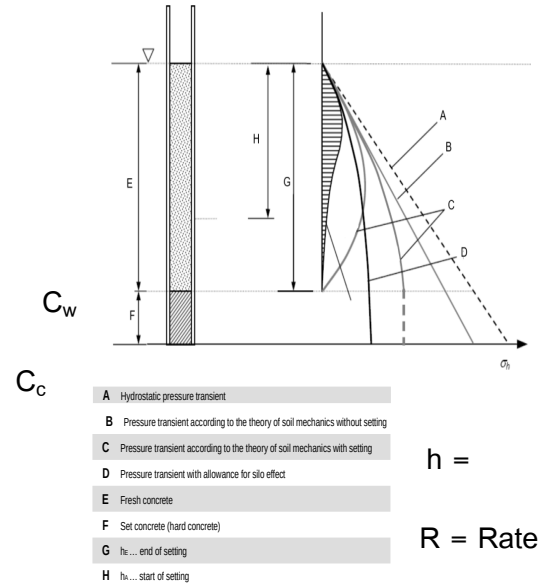
= unit weight coefficient per Table 4.2.2.1a(c)

= chemistry coefficient per Table 4.2.2.1a(b)

height of placement

of Placement

Extract from (ACI 347-14 page 8):



الطقس: هناك عدد من العوامل البيئية، بما في ذلك درجة الحرارة والرطوبة، تؤثر على اختيار مواد وتقنيات البناء.

5. الأحداث الجارية.

ظهرت القوالب المتقدمة، مثل القوالب القابلة لإعادة الاستخدام، نتيجة للتقدم التكنولوجي، مما ساعد على زيادة كفاءة البناء وتقليل النفقات. القوالب الجديدة التي تجعل عملية البناء أسهل أصبحت ممكنة أيضًا بفضل تقنيات مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد.

يعتبر قالب الخرسانة مكونًا أساسيًا في البناء، وبسبب التقدم في التكنولوجيا والابتكار، توسع تطبيقه في العديد من الدول الكبرى. تتطبق أفضل الممارسات الخمس هذه على البلدان المذكورة.

1. الاستفادة من التكنولوجيا المتطورة.

يتم تصميم القالب في الولايات المتحدة وألمانيا باستخدام تقنيات متطورة مثل النمذجة ثلاثية الأبعاد (BIM). من خلال تسهيل التعديلات وتعزيز دقة التصميم، تعمل هذه التقنيات على تقليل الأخطاء وتعزيز كفاءة المشروع.

لقد غيرت التكنولوجيا المتقدمة صناعة البناء بشكل كبير في السنوات الأخيرة، وخاصة في تصميم قالب الخرسانة. من بين هذه التقنيات، يعد النمذجة ثلاثية الأبعاد (BIM) أداة مفيدة بشكل خاص يتم استخدامها في دول مثل ألمانيا والولايات المتحدة.

النمذجة ثلاثية الأبعاد (BIM): ما هي؟ [5]

يتم استخدام عملية تكنولوجية تسمى النمذجة ثلاثية الأبعاد (BIM) لإنتاج نماذج رقمية دقيقة تصور تصميم المشروع والمواد والميزانية والجدول الزمني، من بين عناصر أخرى. يمكن للمهندسين والمصممين رؤية المشروع بالكامل قبل بدء البناء بفضل هذه التكنولوجيا.

زيادة الدقة في التصميم.

يمكن للمهندسين والمعماريين فحص التصميم من وجهات نظر مختلفة باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد، مما يجعل من السهل اكتشاف أي صراعات أو مشاكل محتملة قبل وضع التصميم موضع التنفيذ. هذا يقلل من عدد الأخطاء الناجمة عن سوء التفسير أو الرسومات التقليدية الغامضة.

التعديلات بسيطة.

إذا كان التصميم بحاجة إلى التغيير، يمكن للفرق العمل بشكل أكثر فعالية لأن النموذج ثلاثي الأبعاد سهل التعديل. هذا يوفر الوقت والجهد من خلال تمكين التعديلات السريعة لمكونات القوالب الخرسانية المختلفة.

زيادة كفاءة المشروع:

من خلال تعزيز التعاون بين الفرق المختلفة، بما في ذلك فرق التصميم والتنفيذ، يقلل النمذجة ثلاثية الأبعاد من احتمالية حدوث أخطاء.

يمكن تسريع عملية البناء من خلال تعزيز الاتصال حيث يتم قضاء وقت أقل في الاجتماعات وتبادل المعلومات

صعوبات في استخدام التكنولوجيا المتطورة.

على الرغم من المزايا العديدة، لا يزال قطاع البناء يواجه صعوبات مثل هذه.

تكاليف الاستثمار: شراء البرامج والتدريب هي نفقات أولية كبيرة مرتبطة بتنفيذ هذه التقنيات.

متطلبات المهارات: يتطلب استخدام هذه التقنيات معرفة محددة، مما يتطلب توظيف متخصصين جدد أو تثقيف أعضاء الموظفين الحاليين.



تكتيف عملية البناء.

تستخدم الصين قوالب جاهزة، يتم تصنيعها في المصانع ثم تسليمها إلى موقع البناء. وهذا يسرع عملية إعداد القوالب، ويعزز الإنتاج ويقلل النفقات.

إعادة استخدام القوالب.

في السويد وكندا، يعد إعادة استخدام القوالب أمرًا شائعًا. ولأن القوالب يمكن استخدامها في مجموعة متنوعة من المشاريع، فإنها تقلل من النفايات وتشجع الاستدامة. ويتم تسهيل هذه العملية من خلال استخدام مواد قوية مثل الفولاذ.



الالتزام بقواعد السلامة.

تحظى قواعد السلامة بتقدير كبير في اليابان عندما يتعلق الأمر باستخدام قوالب الخرسانة. ومن أجل تقليل حوادث العمل، يتلقى الموظفون تدريبًا مستمرًا حول كيفية استخدام القوالب بأمان. كما يخضعون لعمليات تفتيش روتينية للتأكد من أن الهياكل آمنة.

استدامة المواد.

تسعى الدنمارك إلى استخدام مواد صديقة للبيئة في إنتاج القوالب. ويتم التأكيد على استخدام المواد القابلة لإعادة التدوير وطرق البناء المستدامة، حيث تساعد هذه الممارسات في تقليل التأثيرات البيئية السلبية لأنشطة البناء.

دراسات سابقة أجريت حول موضوع تصميم القوالب الخرسانية .

كان هدف الدراسة "الممارسات الحديثة في تصميم القوالب الخرسانية: دراسة مقارنة بين السوق العالمية والمحلية" (2021) هو مقارنة الممارسات الدولية بواقع السوق المحلية في المملكة العربية السعودية مع تحليل الاتجاهات العالمية في تكنولوجيا وتصميم القوالب الخرسانية. وتوصلت إلى استنتاج مفاده أن هناك تباينًا كبيرًا في درجة التقدم التكنولوجي والابتكار .

وتبحث دراسة أخرى في استخدام القوالب القماشية في صب الخرسانة، مع التركيز على التقنيات الجديدة التي تعمل على تحسين جودة الصب وتبسيط إجراءات التركيب والإزالة

وتناولت دراسة أخرى أنظمة تصميم القوالب والمعايير الفنية في المملكة تحت عنوان "دور المعايير والمواصفات في تحسين تصميم القوالب الخرسانية: حالة المملكة العربية السعودية" (2022). وقدمت هذه الدراسة اقتراحات لوضع معايير وطنية لتصميم القوالب الخرسانية وأكدت على عدم وجود معايير موحدة وكذلك ضرورة وضع إرشادات فنية شاملة في هذا المجال.

وتناولت دراسة أجريت عام 2020 بعنوان "الابتكارات في مواد القوالب الخرسانية وأثرها على الاستدامة البيئية" بدائل إبداعية للمواد التقليدية في إنتاج القوالب الخرسانية، وقيمت الجوانب الاقتصادية والبيئية للحلول الجديدة مقارنة بتلك المستخدمة حاليًا، واقترحت تنفيذ حلول مستدامة لتحسين الأداء البيئي لقطاع البناء.

وتناولت دراسة أخرى بعنوان "واقع تصميم القوالب الخرسانية في المملكة العربية السعودية: استكشاف التحديات والفرص" (2019)، الممارسات المحلية في تصميم وإنتاج القوالب الخرسانية ووجدت ندرة في البيانات.

وبالإضافة إلى ذلك، قاموا بتحديث المعلومات المحلية في هذا المجال وقدموا اقتراحات لإجراء تحقیقات ودراسات أكثر شمولاً.

أخيرًا وليس آخرًا، أجرى كمال خياط وزملاؤه (2016) دراسة بعنوان "تقييم ضغط قوالب الخرسانة ذاتية الرص" بهدف تقييم الضغوط التي تتعرض لها القوالب عند استخدام الخرسانة ذاتية الرص. نظرت الدراسة في نسبة الماء إلى الأسمنت وخصائص اللزوجة ونوع القالب ودرجة الحرارة كعوامل تؤثر على ضغط القالب. أظهرت النتائج وجود ارتباط قوي بين ضغط القالب وخصائص تدفق الخرسانة ذاتية الرص، حيث تترجم السيولة واللزوجة الأعلى إلى ضغط قالب أعلى. أصبحت المعادلات لتقدير الضغوط المتوقعة بناءً على خصائص الخليط وظروف الصب ممكنة من خلال هذه الدراسة.

لتطوير الدراسة الحالية وتحديد فجوات البحث، تقدم هذه الدراسات السابقة قاعدة مرجعية قيمة

الفصل الثالث

الحالات المتعلقة بفشل القوالب الخرسانية التي أدت إلى نتائج كارثية: [6]

1. انهيار مبنى سكني في ميامي (2016): في سبتمبر 2016، انهارت طاولة قوالب أثناء تركيبها لصب الخرسانة في مبنى سكني متعدد الطوابق. وقع الحادث في الطابق الخامس عشر، مما أدى إلى سقوط عامل إلى الأرض وفقدان حياته. تسلط هذه الحادثة الضوء على المخاطر المرتبطة بتركيب القوالب واستقرارها.



2. انهيار القوالب في سنغافورة (2016) : في 3 أغسطس 2016، انهارت أربعة وعشرون قالبًا في موقع بناء ساحلي بسبب ظروف الرياح الشديدة. تم ربط الانهيار بضعف تثبيت القوالب ضد ضغط الرياح، مما تجاوز الحدود الآمنة. لحسن الحظ، لم تقع إصابات حيث كانت المنطقة غير مشغولة في ذلك الوقت. تؤكد هذه الحالة على أهمية مراعاة العوامل البيئية مثل الرياح عند تصميم وتركيب القوالب.



3. انهيار رافعة بسبب فشل القوالب (2017): خلال إعصار إيرما في ميامي، انهارت عدة رافعات بسبب عدم الاستقرار الهيكلي الناتج عن الرياح الشديدة وضعف تثبيت القوالب. على الرغم من أن هذا الحادث يتعلق بشكل رئيسي بالرافعات، إلا أنه يوضح كيف يمكن أن تؤدي فشل الهياكل المؤقتة مثل القوالب إلى كوارث أكبر في بيئات البناء.



4. حادثة انهيار خندق (2018): على الرغم من عدم كونها فشلًا مباشرًا في القوالب، فإن انهيار حاجز خرساني أثناء حفر خندق في ميامي يعد مثالًا مرتبطًا. أدى فشل الحاجز الخرساني إلى وفيات، مما يشير إلى أن عدم وجود دعم واستقرار كاف يمكن أن يؤدي إلى نتائج كارثية حتى لو لم يكن القوالب متورطة بشكل مباشر.



5. فشل القوالب الجدارية في بلجيكا (2005): في موقع بناء في بلجيكا، انهار نظام القوالب الجدارية الرأسية أثناء صب الخرسانة. أدى هذا الفشل إلى مقتل شخصين وإصابة عدة آخرين. كشفت التحقيقات أن القوالب كانت محملة بشكل زائد عن طاقتها، مما يبرز الحاجة الملحة لإجراء تقييمات دقيقة للحمل والامتثال للمواصفات التصميمية.

توضح هذه الحالات أهمية اتباع بروتوكولات السلامة الصارمة، والتصميم المناسب، ومراعاة الظروف البيئية عند العمل بالقوالب في البناء. لمزيد من التفاصيل والتحليل حول هذه الحوادث، يمكنك الرجوع إلى التقارير الأصلية والتحقيقات المتعلقة بالسلامة.

الفصل الرابع

علاقة اختلال القوالب بالجدول الزمني للمشروع 17.

تأخير المهام

التفصيل :عندما تكون القوالب أو الهيكلية غير واضحة، يمكن أن يحدث تأخير في إكمال المهام. على سبيل المثال، إذا كان هناك نقص في الموارد البشرية أو التقنية، فقد يتعذر على الفريق إنجاز العمل في الوقت المحدد.

الأسباب:

نقص الموارد :إذا لم يتم تخصيص الموارد بشكل صحيح، قد يواجه الأعضاء صعوبة في إنجاز المهام.

عدم وضوح الأدوار :إذا لم يكن لدى الأعضاء فهم واضح لدورهم، يمكن أن يتسبب ذلك في تكرار الجهود أو عدم الإنجاز.

توقعات غير واقعية :وضع مواعيد نهائية غير معقولة قد يؤدي إلى ضغوط متزايدة وبالتالي تأخير.

2.تداخل المهام

التفصيل :اختلال القوالب يمكن أن يؤدي إلى تداخل أو تضارب في المهام، مما يجعل إدارة الجدول الزمني أكثر تعقيداً. يمكن أن تتسبب المهام المتداخلة في حدوث ارتباك وفوضى.

الأسباب:

غياب خطة عمل واضحة :عدم وجود خطة شاملة يمكن أن يؤدي إلى تقسيم غير فعال للعمل.

عدم التنسيق بين الفرق :قد لا يعرف الأعضاء ما يقوم به الآخرون، مما يزيد من خطر تكرار الجهود أو تضاربها.

سوء إدارة الوقت :إذا كانت المهام غير مُجدولة بشكل صحيح، يمكن أن يحدث تداخل بين الأنشطة.

تغيير الأولويات

التفصيل :اختلال القوالب قد يستدعي إعادة تقييم الأولويات، مما يمكن أن يؤثر سلباً على الجدول الزمني. قد تتطلب بعض القضايا الطارئة اهتماماً فورياً، مما يؤدي إلى تأجيل المهام الأخرى.

الأسباب:

تغييرات في نطاق المشروع :قد يتطلب الأمر إعادة النظر في أولويات المشروع بسبب تغييرات غير متوقعة في المتطلبات.

ردود فعل أصحاب المصلحة :قد يؤدي تغيير توقعات أصحاب المصلحة إلى إعادة تحديد الأولويات.

المخاطر الجديدة :ظهور مخاطر جديدة قد يتطلب إعادة تقييم الأولويات والتركيز على القضايا الأكثر إلحاحاً.

زيادة المخاطر

التفصيل: اختلال القوالب يزيد من احتمالية حدوث مخاطر غير متوقعة، مما يتطلب استجابة سريعة، مما يستهلك وقتاً ويؤثر على الجدول الزمني.

الأسباب:

نقص التنسيق: قد يؤدي غياب التنسيق الجيد بين الفرق إلى مخاطر جديدة، مثل الأخطاء المتكررة أو عدم تحقيق الأهداف.

عدم التنبؤ بالمشكلات: قد يؤدي هيكل المشروع غير الجيد إلى عدم القدرة على التنبؤ بالمشكلات أو التعامل معها بفعالية.

استجابة بطيئة: قد تستغرق الفرق وقتاً أطول لمعالجة المشكلات بسبب نقص التوجيه.

تحسين الاتصالات

التفصيل: اختلال القوالب يمكن أن يكشف عن مشاكل في التواصل، مما يحتاج إلى وقت إضافي للتنسيق بين الأعضاء. التواصل الضعيف يؤدي إلى سوء الفهم وفقدان المعلومات المهمة.

الأسباب:

عدم وضوح الرسائل: إذا لم تكن الرسائل واضحة، فقد يفسر الأعضاء المعلومات بشكل خاطئ.

عدم وجود قنوات تواصل فعالة: قد يؤدي غياب قنوات تواصل مناسبة إلى فقدان المعلومات الهامة أو التأخير في اتخاذ القرارات.

اختلاف أساليب العمل: اختلاف أساليب العمل بين الفرق قد يؤدي إلى سوء الفهم والارتباك، مما يؤثر على الجدول الزمني.

الفصل الخامس

النتائج

أفضل الممارسات والتقنيات لتصميم قوالب الخرسانة

١. أفضل الممارسات والتقنيات المتبعة عالمياً في تصميم قوالب الخرسانة تحت تأثير الضغط

تحليل الأحمال وضغط الخرسانة:

يتم حساب ضغط الخرسانة الطازجة بشكل دقيق بناءً على معدل الصب، نوع الخرسانة، درجة الحرارة، وارتفاع القوالب. يساعد هذا التحليل في اختيار التصميم الأنسب للقوالب وتحديد المواد التي يمكنها تحمل الضغط الناتج عن الخرسانة الطازجة.

اختيار المواد المناسبة:

غالبًا ما تُستخدم مواد مثل الفولاذ والألمنيوم، لأنها تتمتع بخفة الوزن مع القدرة على تحمل الضغوط العالية. في حال استخدام الخشب، يجب التأكد من أنه معالجة ليكون مقاومًا للرطوبة لضمان ثباته وعدم تعرضه للتشقق.

التثبيت الجيد للقوالب والتدعيم:

يتم استخدام أنظمة تدعيم متقدمة مثل Peri و Doka التي توفر استقرارًا كبيرًا للقوالب، مع إضافة تدابير إضافية عند الحاجة مثل استخدام كابلات الشد للتثبيت ضد الرياح أو الأوزان لضمان الثبات.

مراعاة العوامل البيئية:

تأخذ أفضل الممارسات في الاعتبار الظروف الجوية مثل الرياح ودرجة الحرارة. يتم ضبط سرعة صب الخرسانة لتجنب زيادة الضغط بشكل مفرط، ويتم تأجيل الصب في حال وجود رياح قوية.

٢. الابتكارات الحديثة في مجال تصميم قوالب الخرسانة

٣. الحلول المعتمدة في دول أخرى لتحسين تصميم القوالب القادرة على تحمل ضغط الخرسانة الطازجة

المعايير الدولية الصارمة:

في الدول مثل الولايات المتحدة وأوروبا، تتبع عمليات تصميم القوالب معايير دولية صارمة مثل ACI (American Concrete Institute) في الولايات المتحدة و BSI (British Standards Institution) في المملكة المتحدة، والتي تحدد متطلبات الضغط ومتطلبات السلامة

واقع تصميم قوالب الخرسانة تحت تأثير الضغط في المملكة العربية السعودية

• الممارسات والتحديات الحالية في التصميم والتصنيع المحلي للقوالب

الممارسات الحالية:

تعتمد شركات البناء السعودية في تصميم القوالب الخرسانية على معايير دولية مستتبطة حيث انها تم تخفيف حدتها ، وخصوصًا المعايير الأمريكية والبريطانية، لضمان كفاءة التصميم تحت الضغط. يتم استخدام قوالب معدنية بشكل واسع في المشاريع الكبرى، بينما يُستخدم الخشب في المشاريع الصغيرة، نظرًا لتكلفته المنخفضة وسهولة تصنيعه.

التحديات الحالية:

تشمل التحديات نقص الكوادر المحلية المتخصصة في التصميم والتصنيع، والاعتماد على الاستيراد للحصول على المواد عالية الجودة مثل الألمنيوم والفولاذ، مما يرفع التكلفة. بالإضافة إلى ذلك، تشكل الظروف المناخية القاسية، مثل الحرارة العالية والرياح، تحديًا أمام استقرار وأداء القوالب.

• مدى استخدام التقنيات الحديثة والمواد المبتكرة

التقنيات الحديثة:

بدأت بعض الشركات السعودية الكبرى في استخدام تقنيات ذكية لمراقبة الضغط ودرجة الحرارة في القوالب، كما يتم إدخال الطباعة ثلاثية الأبعاد لتصنيع قوالب معقدة. لكن هذه التقنيات لا تزال غير مستخدمة على نطاق واسع.

المواد المبتكرة:

هناك اهتمام باستخدام الألمنيوم والفولاذ القابل لإعادة الاستخدام، خاصةً في مشاريع مثل "رؤية السعودية 2030" التي تتطلب مراعاة جوانب الاستدامة. إلا أن استخدام المواد الصديقة للبيئة لا يزال محدودًا نسبيًا، ويحتاج إلى دعم وتوعية أكبر.

المعايير والمواصفات القياسية الموحدة لتصميم قوالب الخرسانة تحت تأثير الضغط في المملكة

• الإرشادات والضوابط الفنية لتطبيق أفضل الممارسات

يجب اتباع مواصفات مثل ACI 347 (الخرسانة مسبقة الصب) و BS 5975، والتي تقدم إرشادات دقيقة حول تصميم وتركيب القوالب لتحمل الضغط، خاصةً في ظل ظروف البناء السعودية التي تتطلب مقاومة للحرارة والضغط العالي.

يمكن الاستفادة من كود البناء السعودي، الذي يتضمن معايير وضوابط لتصميم وتنفيذ القوالب، وتوفير إرشادات حول أمان العمال والاستقرار الهيكلي للقوالب، مثل ضرورة التثبيت الجيد والدعم الكافي.

• تعزيز التوحيد والاعتماد على المعايير الوطنية

لتشجيع استخدام المعايير الوطنية، يمكن تحديث كود البناء السعودي ليشمل إرشادات متقدمة ودقيقة حول تصميم القوالب الخرسانية تحت الضغط، وضرورة تطبيق ضوابط الجودة والمراقبة المستمرة.

يمكن تقديم ورش تدريبية وحملات توعية للشركات والمهندسين عن أهمية اتباع المعايير الوطنية والمزايا التي تعود على السلامة والجودة والكفاءة، مما يسهم في تعزيز الاعتماد على هذه المعايير.

الحلول والتقنيات المبتكرة لتحسين الاستدامة البيئية في تصميم قوالب الخرسانة تحت تأثير الضغط

• البدائل الصديقة للبيئة للمواد التقليدية

الألمنيوم المعاد تدويره والفولاذ القابل لإعادة الاستخدام:

يسهم في تقليل الاستهلاك واستدامة الموارد، إذ يمكن إعادة استخدام هذه المواد لعدة مرات دون التأثير على جودتها.

المواد المركبة والبوليمرات القابلة لإعادة التدوير:

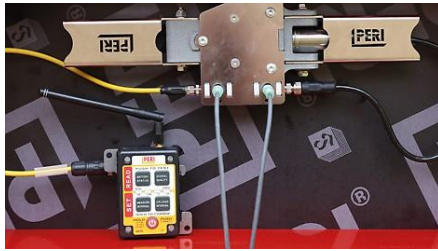
تعد بديلاً مستداماً وخفيف الوزن، مع تحمل جيد للضغط، وتستخدم بشكل محدود حالياً ولكنها تتميز بقدرتها على مقاومة العوامل البيئية.



• تطوير تصاميم قوالب أكثر كفاءة في استهلاك الموارد والطاقة

استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد:

يمكن أن يساهم في إنتاج قوالب خفيفة وفعالة، مما يقلل من كمية المواد المستخدمة ويتيح تصاميم مخصصة تقلل من الهدر.



التقنيات الذكية لمراقبة الضغط:

تساهم في تحسين استهلاك الموارد من خلال ضبط كمية الخرسانة التي يتم صبها بدقة، والحد من الحاجة إلى تدعيم إضافي.



التصميم المستدام:

تنفيذ تصاميم مثل الأشكال متعددة الأغراض والتي يسهل تفكيكها وإعادة تجميعها في أماكن مختلفة، والتي تعمل على تحسين استخدام المواد وتقليل استهلاك الطاقة.

يمكن لهذه الدراسة تحسين البيانات والمعلومات المحلية المتوفرة حاليًا.

• البيانات والإحصاءات الداعمة للبحث مفقودة.

هناك حاجة إلى معلومات إضافية بشأن استخدام المملكة للأشكال الذكية والمبتكرة وكذلك المعدلات التي يتم بها استخدام المواد المعاد تدويرها والصديقة للبيئة في مشاريع البناء واسعة النطاق.

دراسات حالة للمبادرات الإقليمية التي استخدمت التفكير الإبداعي لتصميم الأشكال الخرسانية من أجل تقييم فعاليتها وتأثيرها البيئي والتجاري.

بيانات حول مدى استعداد السوق المحلي للتحرك نحو حلول أكثر استدامة، وكذلك العقبات المالية والفنية التي تواجهها الشركات عند تنفيذ الأشكال المتطورة والتقنيات الحديثة.

مشاركة نتائج الدراسة لتعزيز الفهم والمعرفة.

يمكن نشر نتائج الدراسة في المجالات الهندسية الإقليمية والدولية وتقديمها في المؤتمرات المتخصصة لتعزيز المعرفة وتسهيل تبادل الخبرات بين المتخصصين في الصناعة. لتعزيز الابتكار في هذا المجال والتأكيد على أهمية الاستدامة في تصميم القوالب، وتنظيم ورش العمل وحملات التوعية بالتعاون مع المؤسسات الأكاديمية ومرافق البحث.

من خلال التقارير الشاملة للسلطات المختصة، تقديم توصيات للحكومة السعودية حول كيفية تعزيز البيئة التنظيمية لتعزيز استخدام حلول الاستدامة والمعايير الوطنية في تصميم القوالب الخرسانية.

المراجع:

- 1- الجمعية الأمريكية لاختبار المواد: **ASTM C143/C143M-18**. (2018). (ASTM). الطريقة القياسية لاختبار الانسياب للخرسانة الحاوية على الأسمنت الهيدروليكي. ASTM International. <https://www.astm.org>
- 2- إدارة السلامة والصحة المهنية (n.d.). (OSHA). الهندسة الإنشائية. إدارة السلامة والصحة المهنية الأمريكية. تم الاسترجاع من <https://www.osha.gov/construction/engineering>
- 3- جامعة سنغافورة الوطنية. (2016). (NUS). التصميم الهندسي في البناء: مقدمة إلى أسس التصميم والإجراءات. وحدة تصميم وبناء البيئة. تم الاسترجاع من https://cde.nus.edu.sg/dbw/wp-content/uploads/sites/26/2020/02/2016_12.pdf
- 4- موقع البناء والتشييد. (2020). قوالب الخرسانة: التعريف والاستخدامات في البناء. تم الاسترجاع من <https://www.buildingconstruction.com/formwork>
- 5- جمعية مهندسي البناء. (2020). النمذجة ثلاثية الأبعاد (BIM): ما هي؟ تم الاسترجاع من <https://www.engineeringbim.com>
- 6- موقع الهندسة المدنية. (2020). فشل القوالب الخرسانية: الحوادث والأسباب ونتائجها الكارثية. تم الاسترجاع من <https://www.civilengineering.com/formwork-failures>
- 7- موقع The Constructor. (2021). علاقة اختلال القوالب بالجدول الزمني للمشروع: التأثيرات والعوامل المؤثرة. تم الاسترجاع من <https://theconstructor.org/formwork-delays>