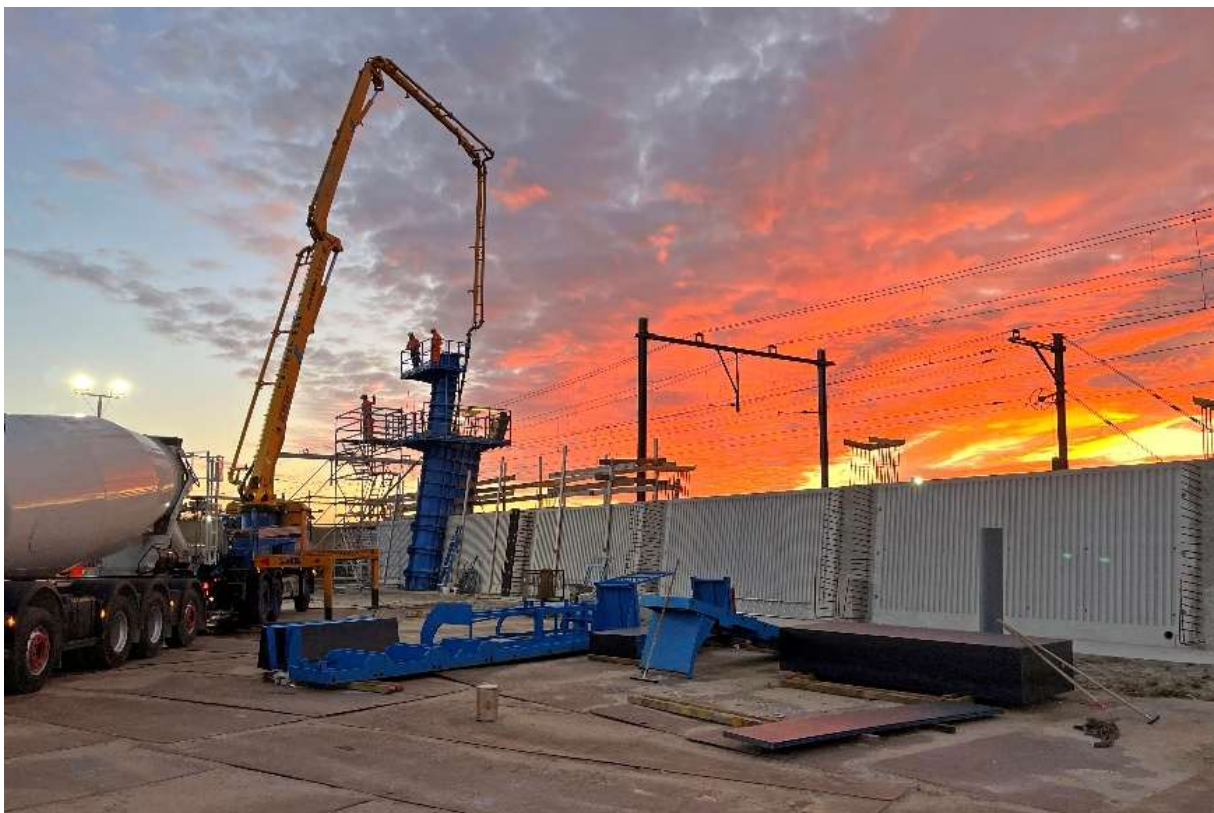


Stortduur van pijlers bij Zuidwestboog Meteren flink verkort

Sneller storten dankzij realtime meten van bekistingsdrukken

7 september 2016

Bij Zuidwestboog Meteren zijn voor een pergolaconstructie 24 pijlers gestort van bijna 10 m hoog. Om de stijgsnelheid te optimaliseren, is gebruikgemaakt van druksensoren. Hierdoor kon de stortduur flink worden verkort.



1 Het storten van de pijlers voor de pergolaconstructie

Zuidwestboog Meteren

Zuidwestboog Meteren is een nieuwe spoorverbinding tussen de Betuweroute en het spoor naar het zuiden. Meer over het project staat in het [artikel 'Kunstwerken Zuidwestboog Meteren'](#), op [Stubeco.nl](#), geschreven naar aanleiding van de excursie van Stubeco op 18 juni. Tijdens deze excursie gaf Felix Leenders van Van Hattum en Blankevoort een presentatie. Op die presentatie is dit artikel over bekistingsdrukken gebaseerd.

Verse betonspecie oefent horizontale druk op de bekisting uit. De bekisting moet die stortedruk op kunnen nemen. Is dat niet het geval dan kan dat leiden tot onveilige situaties: er kan beton uit de bekisting vloeien of hulpconstructies kunnen bezwijken.

De bekistingsdruk wordt door verschillende factoren bepaald: hoogte van de bekisting, stijgsnelheid, volumieke massa, consistentieklasse, omgevingstemperatuur, betontemperatuur en het 'tijdstip van

einde binding'. Ook hulpstoffen hebben een grote invloed. Zo hebben superplastificeerder een vertragend effect. Net als vanzelfsprekend vertragers.

“

De bekistingsdruk wordt door verschillende factoren bepaald: hoogte van de bekisting, stijgsnelheid, volumieke massa, consistentieklasse, omgevingstemperatuur, betontemperatuur en het ‘tijdstip van einde binding

Voor het bepalen van de bekistingsdruk zijn onder meer in bijlage B van NEN 8670 regels opgenomen. Daarin worden als bepalingsmethoden voor het tijdstip einde binding – een essentiële factor – genoemd de methode met de Vicat-naald en de ‘kneedzak’-methode. Beide hebben de nodige beperkingen. Zo is de invloed van hulpstoffen niet of niet volledig meegenomen.

Meteren

Voor de 24 pijlers bij de Zuidwestboog Meteren is gebruikgemaakt van een stalen bekisting (fig. 2), ontworpen op een maximale karakteristieke bekistingsdruk van 75 kN/m². De stijgsnelheid moest daarop worden afgestemd. Volgens de theorie zou dat leiden tot een stijgsnelheid van 1,0 tot 1,5 m per uur, ofwel 6 tot 10 uur per pijler. Met een volume per pijler van slechts 13 m³ had ik ook de nodige consequenties op de aanvoer van het beton.



2 Stalen bekisting voor een van de pijlers van de pergolaconstructie

Monitoring

Om de stijgsnelheid te verhogen is gebruikgemaakt van druksensoren (PREMO Concrete Pressure Monitoring-systeem van Vemaventuri). Deze sensoren zijn aangebracht in kleine ronde openingen in de bekisting. Afhankelijk van de hoogte van de pijler zijn drie of vier druksensoren verdeeld over de hoogte. Alle gegevens waren realtime uit te lezen via een webinterface (fig. 3b). De pijlers zijn in lagen van circa 1,5 m gestort, waarna ongeveer vijftien minuten is gewacht. Als de gemeten drukken dit toelieten, werd de stort voortgezet. Door de monitoring kon tijdens de uitvoering direct worden beoordeeld of de stijgsnelheid kon worden verhoogd of juist moest worden beperkt.



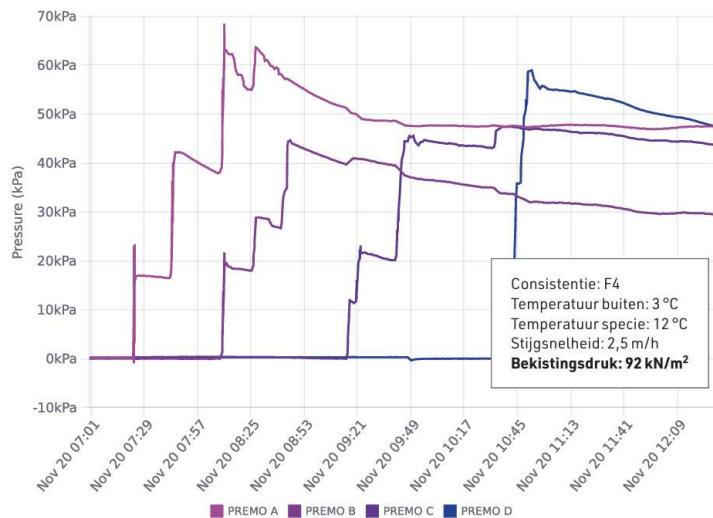
3 Druksensor en realtime uitlezing van de meetgegevens

“

Alle gegevens waren realtime uit te lezen via een webinterface

Resultaten

De praktijkmetingen bij Meteren laten zien dat de realtime aanpak veel ruimte bood voor optimalisatie. De stijgsnelheden konden worden verhoogd tot 2,5 m/uur, waarbij de gemeten bekistingsdrukken onder de ontwerpgrens van 75 kN/m² bleven. Dat terwijl de theoretische druk bij deze snelheid en omstandigheden kon oplopen tot 93 kN/m². Hierdoor kon de stortduur worden teruggebracht tot ongeveer vier uur per pijler. De metingen maakten ook het stortproces zichtbaar: tijdens het storten en verdichten traden drukpieken op, waarna de druk weer afnam wanneer het beton tot rust kwam (fig. 4). Bij verder storten stabiliseerden de drukken in de onderliggende lagen.



4 Bekistingsdruk (week 47); theoretische bekistingsdruk 92 kN/m² (zie kader)

Bruikbaarheid methode

De gemeten drukken lagen in de onderzochte gevallen lager dan de theoretisch berekende waarden, soms tot circa 40%. Dat betekent echter niet dat de rekenmethode te conservatief is. Doordat meerdere parameters invloed hebben op de bekistingsdrukken, is sprake van een grote spreiding. Een statistische beschouwing van zes metingen leverde een karakteristieke bovengrens van circa 85 kN/m² op, tegenover een theoretische karakteristieke druk van 93 kN/m². Daarmee geeft NEN 8670 in dit project een realistische en veilige bovengrens. De meerwaarde van realtime meten ligt vooral in het veilig optimaliseren binnen de gegeven spreiding en het benutten van de werkelijke omstandigheden: de uitvoering kan sneller verlopen, terwijl de sensoren tegelijk als waarschuwingsmechanisme dienen wanneer omstandigheden afwijken van het stortplan.

Bij het project Zuidwestboog Meteren is interessante ervaring opgedaan over het gebruik van sensoren om de stortduur te optimaliseren. Het is voor Van Hattum en Blankevoort aanleiding om deze techniek in de toekomst vaker te gaan gebruiken.

Meer in *Betoniek*-artikel

Meer over het realtime meten van de bekistingsdruk bij het project Zuidwestboog Meteren staat in het artikel 'De druk wordt langzaam opgevoerd' in *Betoniek* 2026/1. Dat is voor Stubeco-leden gratis raadplegen op www.betoniek.nl.