

118 m hoge Schelderadartoren bij Neeltje Jans uitgevoerd met klimbekisting

Klimbekisting onder de radar

Om een betere (radar)dekking te krijgen en het scheepvaartverkeer vlotter en veiliger te laten verlopen, is op het voormalige werkeiland Neeltje Jans de nieuwe 118 m hoge Schelderadartoren gebouwd. Diverse eisen uit het ontwerp leidden tot toepassing van een klimbekisting. Door het uitvoeren van proeven vooraf en zorgvuldige sturing van verharding van het beton, kon de ontkistingstijd worden gereduceerd.

Ten behoeve van een veilig en vlot scheepvaartverkeer in het Scheldtegebied werken de Vlaamse en Nederlandse overheid samen in het Gemeenschappelijk Nautisch Beheer (GNB). Resultaat hiervan is onder meer het grensoverschrijdende project de Schelderadarketen (SRK). Dit is een keten die het scheepvaartverkeer op de Noordzee vanaf de Belgisch-Franse grens tot en met de Steenbank (40 km voor de

kust van Domburg) in beeld brengt. Hij is cruciaal voor het terugdringen van de wachttijden van schepen en het bevorderen van de nautische veiligheid. De SRK bestaat momenteel uit 22 onbemande radarposten en zes bemande verkeerscentrales (Hansweert, Terneuzen, Vlissingen, Zandvliet, Zeebrugge en Zelzate). Er is een uitbreiding voorzien tot 29 posten. Een van de nieuwe posten is de Scheldera-

1
De nieuwe 118 m hoge Schelderadartoren in aanbouw
foto: Rijkswaterstaat / Ente Breed



dartoren, op het voormalige werkeiland Neeltje Jans (fig. 2). Dankzij de aanzienlijke hoogte van 118 m kan de geavanceerde radarantenne straks tot wel 40 km de Noordzee opkijken en kan onderscheid worden gemaakt tussen dicht bij elkaar liggende schepen.

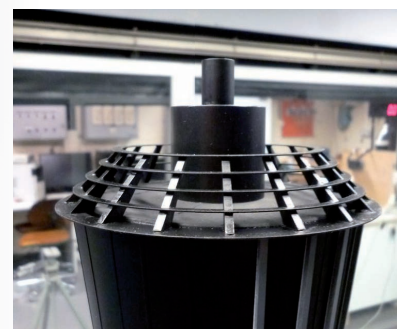
Vormgeving

De toren is vormgegeven als een slanke, ronde betonnen toren met over bijna de volledige hoogte een diameter van 5,90 m. Naar boven toe wordt de buitendiameter geleidelijk groter en vormt uiteindelijk een kop. Hiermee wordt ruimte gecreëerd voor technische installaties. Verticale cannelures (verdiepte groeven) met een antraciete kleur versterken de slankheid en stoere uitstraling van de toren.

Bovenop de toren, op NAP +118 m, staat de radarinstallatie. De positievastheid van de radar is essentieel voor zijn veilige werking, ook bij extreme weersomstandigheden. Daarom is veel aandacht besteed aan de vervorming van de toren. Er is onder meer een windtunnelonderzoek met schaalmodel 1/75 (foto 3) uitgevoerd om de windsnelheden rond de kop van de toren te bepalen. De eisen aan de ondersteuning van de radar zijn door middel van deze proeven bepaald. Om een zeer stabiel radarbeeld te garanderen, bedraagt de hoekverdraaiing van de ondersteuning van de radar bij windsnelheden met referentiewaarde 100 jaar tot 162 km/h, maximaal 0,25° ten opzichte van de verticaal. Vanwege de vereiste stijfheid is gekozen voor beton met een hoge E-modulus (zie alinea 'Eisen betonmortel') en het naspannen van het beton. Deze naspanning is aangebracht met rechte naspankabels in de betonnen ring, tot het niveau NAP +60,74 m. Zodoende kon over de volledige hoogte van de toren worden gerekend met de buigstijfheid van een ongescheurde sectie. Tijdens de bouw zijn drie sets van negen spankabels met ankerplaat aangespannen op het niveau van respectievelijk NAP +20,64m, NAP +46,16 m en NAP



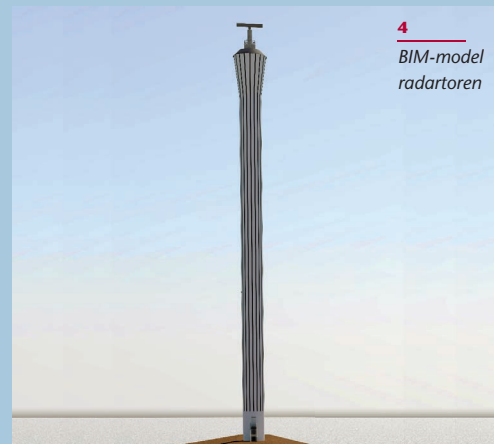
2
De Schelderadartoren ligt op het voormalige werkeiland Neeltje Jans



3
Schaalmodel van de kop van de radartoren om de invloed vormgeving van de kop op de radarinstallatie te testen

Integraliteit van het ontwerp

Integraliteit van het civiel ontwerp en het radarontwerp stond in dit project voorop. Voor een efficiënt geometrisch raakvlakkenbeheer is een 3D BIM-model toegepast vanaf het voorontwerp tot en met het uitvoeringsontwerp (fig. 4). Zodoende konden bijvoorbeeld vroegtijdig verschillende ontwerp oplossingen worden opgesteld en vergeleken. Dit betekende voor een slanke constructie met belangrijke technische installaties een belangrijk meerwaarde.



4
BIM-model radartoren

Projectgegevens

project	Schelderadartoren
opdrachtgever	Rijkswaterstaat, ministerie van Infrastructuur en Milieu (financiering: Nederlandse en Vlaamse overheid)
opdrachtnemer	Besix Nederland
leverancier bekisting	Doka Nederland
leverancier betonmortel	Betonmortel Grevelingen
leverancier naspanning	Dywidag
betontechnologische onderzoek	BAS Research & Technology en Betonmortel Grevelingen
vormgeving	Quist Wintermans Architecten en Welstandscommissie gemeente Veere
civiel ontwerp	Besix Engineering Department

5

Bij de aanleg van de fundering is een dubbele ring van damwanden gebruikt
foto: Rijkswaterstaat / Ente Breed



+60,74 m. Zodoende is de stabiliteit van de constructie ook tijdens de bouw gewaarborgd. Elke streng is aangespannen tot 20,8 ton. Dat leidde bij maximale windbelasting tot berekende trekspanningen in het beton van 0,84 MPa. Dit is ruimschoots lager dan de gemiddelde betontreksterkte. De uitvoering van de actieve verankering voor de naspankabels is vereenvoudigd door hiervoor een ruimte te voorzien, gelegen onder de funderingszool. Boven NAP +60,74 m is de betondoorsnede uitgevoerd in traditioneel gewapend beton.

Klimbekisting

Na de aanleg van de fundering door middel van een dubbele ring van damwanden (foto 5) en de uitvoering van de funderingszool, is de eerste 9 m van de toren op traditionele wijze gerealiseerd (type Top 50 Doka (foto 6). Het vervolg van het cilindrische torendeel is gebouwd met een hydraulische klimbekisting (type SKE50+ Doka, foto 7 en 8). Voor deze zelfklimmende bekisting is gekozen

omdat hij door de modulaire opbouw en de kraanonafhankelijkheid de meest efficiënte oplossing bood, rekening houdend met veiligheid op grote hoogte en uiteenlopende weersomstandigheden. Er kon een hoge bouwsnelheid worden gerealiseerd. Wel is tijdens de uitvoering het bouwproces diverse keren stilgelegd. Dit tijdens ongunstige weersomstandigheden en op het moment dat de naspankabels op drie verschillende hoogten werden aangebracht. Voor het hoogste, conische gedeelte moest het bekistingsdeel van het klimsysteem worden vervangen. Voor dit deel is wel een kraan toegepast.

De toren is opgebouwd uit 29 moten van 3,65 m. In iedere fase is circa 34 m³ betonmortel gestort. Bij de uitvoering is bijzondere aandacht besteed aan het gladde oppervlak en aan de vormvastheid van de cannelures. Deze zijn gerealiseerd door een sprankingskist, bevestigd op de klimbekisting. De binnenzijde van de cannelures is geleverd in de gewenste antraciete kleur.



6

De eerste 9 m van de toren is op traditionele wijze gerealiseerd
foto: Rijkswaterstaat / Ente Breed

7

Hydraulisch klimsysteem

Aangezien de bouw van de toren een sterk repetitief karakter heeft, is besloten de wapening volledig te prefabriceren, zodat het plaatsen hiervan in enkele uren kon worden volbracht. Het productieproces omvat hiermee de handeling van de bekisting, plaat-

Klimbekisting

Klimbekistingen worden bij hoogbouwprojecten veelvuldig toegepast voor de realisatie van betonnen kernen en/of wanden. Hierbij wordt dezelfde bekisting stapsgewijs in verticale richting verplaatst en bij elke volgende opstelling bevestigd aan het verharde beton van de vorige, onderliggende stort. Een kraan is hierbij niet nodig. De klimbekisting zelf wordt gevormd door een klimsteiger waarop de bekisting staat en één geheel met de steiger vormt. Na het aanbrengen van de wapening en het sluiten van de (binnen)kist, wordt de bekisting volgestort met betonspecie. Na het storten en verharderen wordt er ontlast. De bekisting is met een rolwagen aan de klimsteiger bevestigd waardoor deze horizontaal, naar buiten toe, kan worden verplaatst, om vervolgens hydraulisch verticaal te worden verplaatst. De klimsteiger wordt daarna met een klimschoen aan het reeds gestorte beton bevestigd en de bekisting gemonteerd, alvorens weer aan de volgende stort wordt begonnen.

8

Klimbekisting in bedrijf
foto: Peter Karsbergen



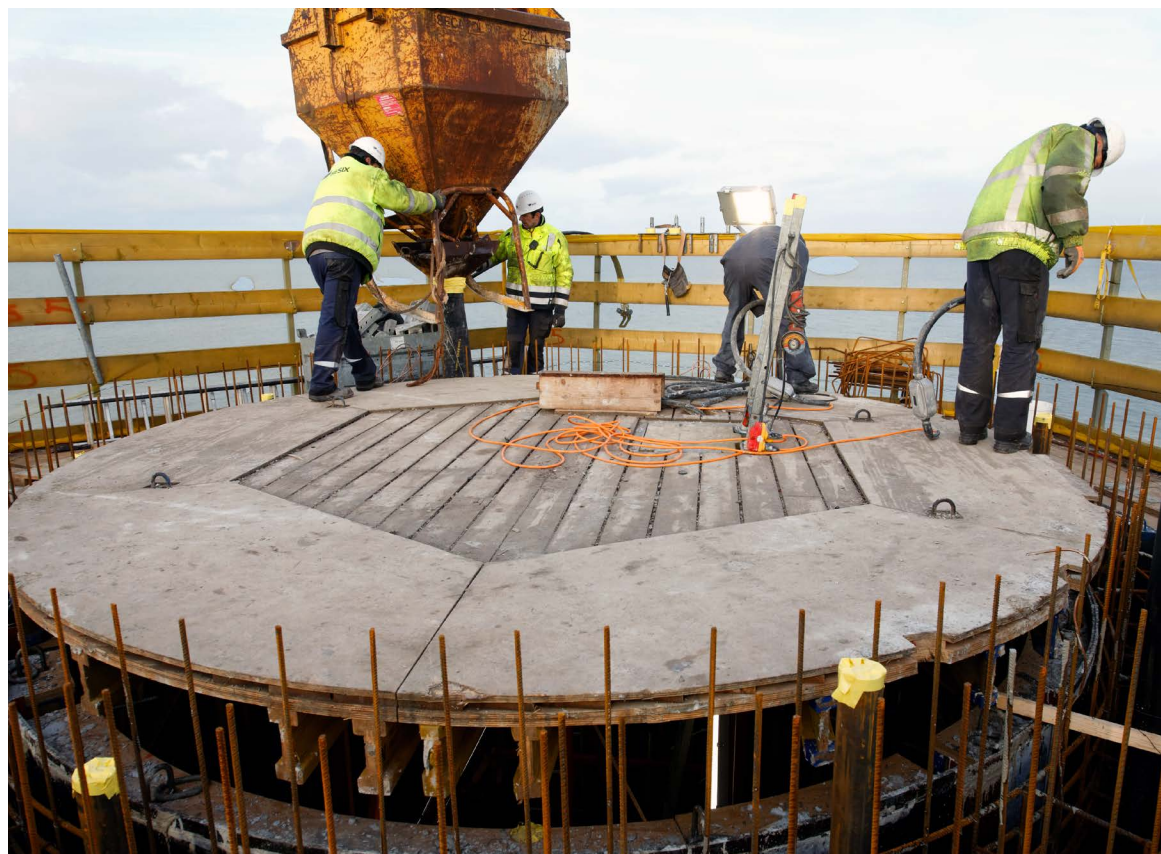
sing wapening en voorspankanalen, sparringbuizen en het betonstorten. Dankzij de zelfklimmende bekisting is een mobiele kraan minimaal ingezet. Op deze wijze konden maximaal vijf cycli in twee weken worden volbracht.

Verwerking

Het beton is tot een niveau NAP +45 m aangebracht met een mobiele betonpomp. Op grotere hoogte was de permanente inzet van een mobiele kraan, waarbij transport van wapening en beton met kubel werden gedeeld, rendabeler dan de installatie van een betonpomp (foto 9).

Eisen betonmortel

Vanuit de ontwerpspecificatie volgden voor de verschillende delen van de toren verschillende specificaties voor



het beton en dus voor de betonsamenstellingen (tabel 1). Dit betrof onder meer eisen ten aanzien van sterkte, consistentie, milieuklasse en duurzaamheid (100 jr).

Om een voldoende hoge E-modulus te halen, is gebruik van kwartsgrind voorgeschreven. Daarbij ging het bij voorkeur om natuurlijk kwartsgrind (uit de zee of Rijnbekken). Bij dergelijk gerond grind is de interne schuifspanning lager en de verwerkbaarheid hoger. Gebro-

ken materiaal leidt tot een lage verwerkbaarheid.

Voorafgaand is een uitgebreide proefcampagne uitgevoerd in samenwerking met HeidelbergCement. Dit om zekerheid te hebben over een betonmengsel dat sterkte, verwerkbaarheid en E-modulus verenigt. Proefmengsels zijn aangemaakt in de betoncentrale. De consistentie is gemeten op het tijdstip van aanmaak tot twee uren erna. Betonkubussen zijn gemaakt om de sterkte op jonge leeftijd (na 2, 3 en

9

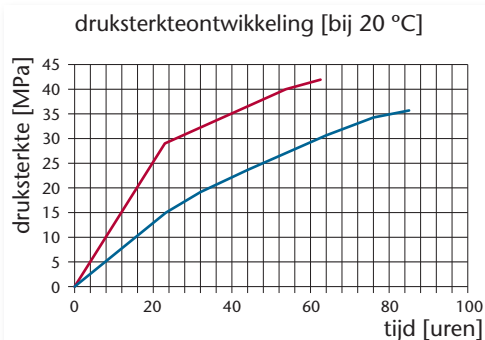
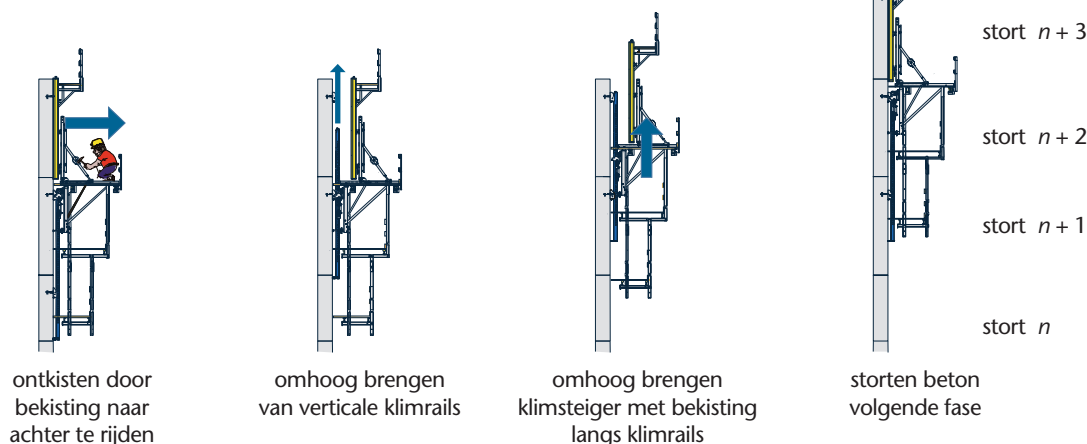
Boven NAP +45 m was het aanbrengen van het beton met permanente inzet van een mobiele kraan rendabeler dan de installatie van een betonpomp
foto: Rijkswaterstaat / Ente Breed

Tabel 1 Toegepaste betonsamenstellingen

locatie	sterkteklasse	D_{max} [mm]	consistentie	milieuklasse	t.a.v. 100-jarige duurzaamheid (ROK 1.2)	t.a.v. warmteontwikkeling	t.a.v. vervormingen (min. waarde E-modulus)
spankelder	C28/35	32	S3	XC4, XF4, XS2	min. 50% slak	-	33 GPa
funderingszool 1,6 m dik	C28/35	16/32	S3	XC4, XF4, XS2	min. 50% slak	toepassen van LH-cement	33 GPa
bk funderingszool - NAP+20,65 m	C55/67	32	S4	XC4, XS1, XS3, XF1	min. 50% slak	-	38 GPa
NAP +20,65 m – NAP +46,17 m	C45/55	32	S4	XC4, XS1, XF1	min. 50% slak	-	36 GPa
NAP +46,17m – NAP +64,38 m	C35/45	32	S3- S4	XC4, XS1, XF1	min. 50% slak	-	34,5 GPa
NAP 64,38 m – Bk dak	C28/35	32	S3- S4	XC4, XS1, XF1	min. 50% slak	-	33 GPa

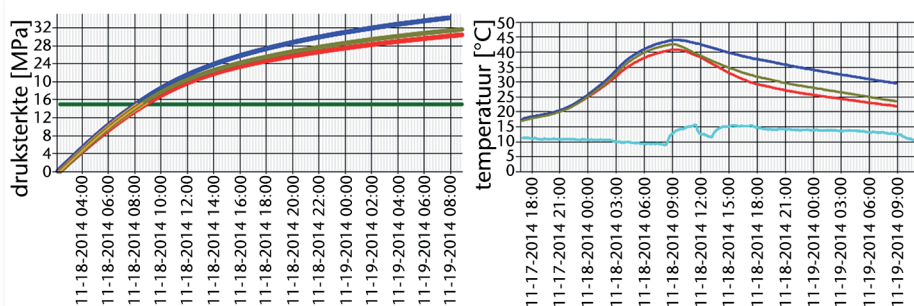
10

Verschillende bouwfasen klimmen met automatisch hydraulisch klimsysteem



11 Evolutie van de drukksterkte van beton C45/55 en C55/67

— C45/55
— C55/67



12 Gemeten sterkte- en temperatuurontwikkeling

7 dagen) en iets oudere leeftijd (28 dagen) te tonen. De elasticiteitsmodulus is aangetoond op cilinders beproefd na 28 dagen. De honderdjarige levensduur is gerealiiseerd door het voorzien van een betondekking van 60 mm en geschikte betonsamenstelling, bestaande uit minimaal 50% slak. Voor de betonssterkte C45/55 en lager is een betonmengsel gemaakt met CEM III/A en CEM III/B. Voor de hogere sterkteklasse (C55/67) zijn duurzaamheid en hoge sterkte verenigd door het toepassen

van cement CEM III/A 52,5 N, in combinatie met een zeer lage watercementfactor ($wcf = 0,33$). Een betonmortel met deze lage wcf-ratio is gemengd met een superplastificeerder met een eerste generatie hulpstof, om de viscositeit te verlagen en het storten te vergemakkelijken.

Het verwijderen van de klimkist en het verplaatsen naar het volgende niveau, kon als het beton een drukksterkte had van 15 MPa. Het aanspannen van de naspankabels kon bij een minimale drukksterkte van 25 MPa voor C35/45, 30 MPa voor C45/55 en 35 MPa voor C55/67. De verwachte evolutie van de drukksterkte in de tijd voor beton C45/55 en C55/67 bij 20°C, is gegeven in figuur 11. Tijdens de verharding kwam de temperatuur van de betonspecie hoger dan 20°C, ontwik-

kelde de drukksterkte zich sneller en kon sneller worden ontlast (fig. 12). Het aantonen van de sterkteontwikkeling is gebeurd door de drukksterkteontwikkeling te bepalen met het principe van de gewogen rijpheid. Om te meten en te sturen is het systeem Concremote toegepast. Uit de monitoring bleek dat bij beton C45/55 en hoger, in de herfst al na ongeveer 18 u. kon worden ontlast. In de winter was hier bij een sterkteklasse van C35/45 36 u. voor nodig.

Tot slot

Met de ingebruikname van de radarinstallatie in het najaar van 2015, wordt het project volledig afgerond. Daarmee is de nieuwe radartoren op Neeltje Jans de hoogste nautische radartoren in Europa, uitgerust met een van de meest geavanceerde radarantennes ter wereld.

Planning

maart 2014	voorbereidende werkzaamheden
april-augustus 2014	uitvoering fundering
september 2014-april 2015	bouwen van de toren
mei 2015	plaatsen radartoren
najaar 2015	ingebruikname radarinstallatie