

Torenkranen

een ongevalsanalyse van de Onderzoeksraad voor Veiligheid

Paul Swuste¹

Samenvatting

Kranen en torenkranen zijn complexe machines en één van de kritische componenten, die de bouwplaats gevaarlijk maken. Risico's van kranen zijn specifiek en dienen ook als zodanig behandeld te worden. Ongevallen met dergelijke machines hebben heel vaak meerdere oorzaken, die afhankelijk of onafhankelijk van elkaar actief kunnen zijn. Een ongevalsanalyse dient te starten met een analyse van het feitelijke ongevalsproces, voordat de invloed van management en organisatorische factoren vastgesteld kan worden. De Onderzoeksraad voor Veiligheid heeft een dergelijke analyse uitgevoerd van een ongeval met een spitsloze torenkraan. Uit de resultaten blijkt dat de doorhang van de giek en de mast groter was dan door de constructeur berekend. De loopkat met de last liep daardoor van een helling naar beneden. De motor was hier niet op berekend. De tekortkomingen in het ontwerp van de kraan zijn niet onderkend en maakt dit ongeval een zogenaamd 'normal accident', een ongeval dat opgesloten zit in het ontwerp en ook bij andere torenkranen van hetzelfde merk kan voorkomen. De tekortkomingen, ontstaan tijdens de ontwerp- of productiefase van een torenkraan, komen als storingen aan het licht als de kraan operationeel is. Een torenkraan kan niet alleen met tekortkomingen op de markt worden gebracht, ook daarna is er geen vangnet voor de tekortkomingen die in het ontwerp- en productieproces zijn ontstaan.

Summary

Cranes and tower cranes are complex machines, and one of the critical components which makes a construction site dangerous. Crane risks are specific and should be treated as such. Accidents with these machines are mostly multicausal, which are active either dependent or independent of each other. An accident analysis should first start with an analysis of the actual accident process before any influence of managerial or organizational factors can be established. The Dutch Safety Board has conducted such an accident analysis with a so-called 'topless crane'. The results show a bending of the jib and mast greater than the manufacturer's calculations. Consequently the trolley with the load sloped downwards. The trolley motor produced less than its maximum power. The shortcomings in the design are not recognized, which makes this accident a so-called 'normal

accident', an accident captured in the design which may occur in other cranes of the same make. The tower crane shortcomings will show themselves as process disturbances once the crane is operational. A tower crane can be put on the market not only with shortcomings, but also in the absence of a subsequent safeguard for shortcomings that arose during the design and production process.

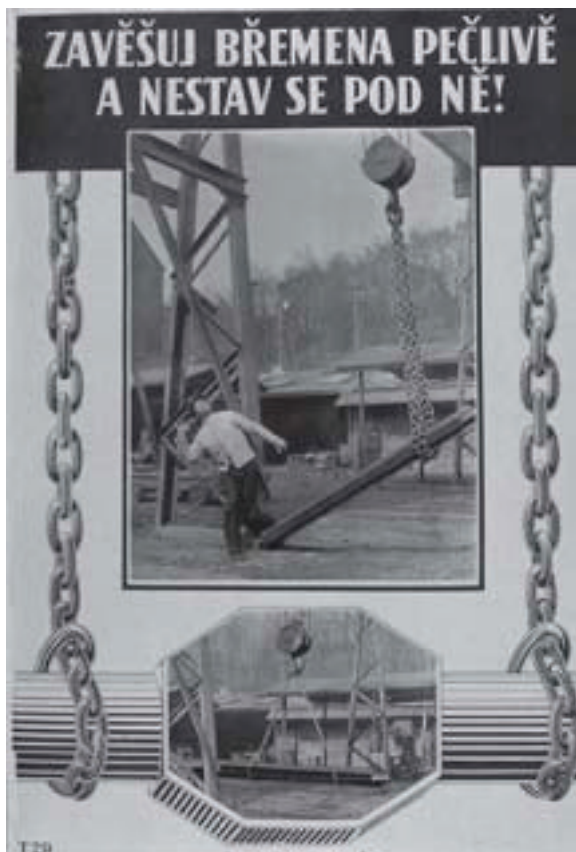
Inleiding

Torenkranen zijn complexe en indrukwekkende installaties. Bezijden deze kranen door windvlagen of door andere oorzaken, dan is dit vaak nieuws in regionale en/of nationale media en in de vakpers (HSL, 2010). Vreemd genoeg besteedt de wetenschappelijke literatuur vrij weinig aandacht aan de analyse van oorzaken of de preventie van kraanongevallen (Swuste, 2005; Shapira en Lyachin, 2009). Dit in tegenstelling tot onderzoek naar de kwaliteit van structurele elementen en het dynamische gedrag van krachten tijdens hijswerkzaamheden (zie onder andere Reis ea., 1984, Hambley, 1990, Ju en Choo, 2005; Tong ea., 2007; Hasan ea., 2010).

Torenkranen zijn in Europa, in tegenstelling tot de Verenigde Staten, veelvuldig ingezet bij bouwprojecten. De wederopbouwperiode na de Tweede Wereldoorlog heeft een forse toename van het gebruik van deze kranen laten zien. In de Verenigde Staten heeft de mobiele kraan traditioneel de voorkeur, maar recent begint ook daar de torenkraan aan een opmars (Shapira ea., 2007). De huidige kranen zitten vol elektronica en worden softwarematig aangestuurd, bijvoorbeeld met camera's voor 'blinde hijsen', systemen om botsingen met andere kranen te voorkomen en beveiligingen voor overschrijding van het lastmoment. Het lastmoment is de combinatie van het gewicht van de last en de horizontale afstand van de last tot de mast - de vlucht. Als deze overschreden dreigt te worden, dan krijgt de machinist een waarschuwing, blokkeert het systeem de beweging en schakelt automatisch uit.

Ongevallen met vallende lasten uit kranen zijn zo oud als de kranen zelf. Op veiligheidsaffiches, die vanaf de jaren 20 van de vorige eeuw zijn opkomen, wordt voor dit gevaar gewaarschuwd (ANC, 2002; Swuste ea., 2009). Figuur 1 geeft voorbeelden uit verschillende Europese landen.

¹ Sectie Veiligheidskunde Technische Universiteit Delft; email: p.h.j.j.swuste@tudelft.nl



Figuur 1: Nederlandse, Oostenrijkse, Tsjechische en Britse veiligheidsaffiches van kraanongevallen uit de jaren 20 van de vorige eeuw (bron: ANC, 2002)

En nog steeds is ‘instabiliteit last’ het dominante ongevals­scenario bij kranen. De technische kwaliteitsverbetering van de kranen is de belangrijkste reden voor de geringe bijdrage van

scenario’s als ‘instabiliteit kraan’, ‘instabiliteit giek’ en ‘instabi­liteit hijsmechanisme’ aan kraanongevallen. De ‘aanpikker’ en andere bouwvakkers, niet betrokken bij hijsactiviteiten, zijn

vaak het slachtoffer (Beaver ea., 2006; Paas en Swuste, 2006). Torenkranen hijsen hun last over volle werkplekken heen. Het werkgebied van torenkranen valt vaak samen met dat van andere bouwvakkers en de hijs wordt veelal onder tijdsdruk uitgevoerd. Torenkranen zijn daardoor een kritische component in een reeks van elementen die een bouwplaats inherent gevaarlijk maken (Parfitt, 2009; Sertyesilik ea., 2010).

Bij kraanongevallen wordt de oorzaak vaak gezocht bij bedieningsfouten van de kraanmachinist. Echter, kranen zijn doorgaans robuuste machines en machinisten zijn vaklui. Hijsactiviteiten zijn risicovol en geld en managementtijd zijn altijd beperkt. Risico's met kranen zijn specifiek en de planning moet gekoppeld zijn aan specifieke gevaren en risico's van de kraan, de last, de locatie en de omgevingscondities. Als die veronachtzaamd worden dan neemt het risico snel toe en kunnen condities ontstaan van onafhankelijke fouten en managementbeslissingen, die tot ongevallen leiden (Schexnayder, 2003). In de recente literatuur is een voorbeeld gepubliceerd van een specifieke manier van risicobeheersing in de offshore sector. Hijsactiviteiten op booreilanden zijn doorgaans nog risicovoller dan op land, vanwege weersomstandigheden, beperkingen in de manoeuvreerruimte en de vereiste precisie van de hijsactiviteit. Op Noorse platforms in de Noordzee worden kraanmachinisten ondersteund door meerdere aanpikkers. Als aanpikkers merken dat de machinist aarzelt, of de machinist merkt dat 'hij zijn dag niet heeft', dan wordt de hijsactiviteit gestopt en de machinist vervangen door een andere kraanmachinist, zonder dat dit gevolgen heeft voor de reputatie of de positie van de machinist of de aanpikker. De gebruikte metafoor 'hij heeft vandaag zijn dag niet', is een geaccepteerde uiting van risicobeheersing. Er heerst een sterke onderlinge controle, omdat consequenties van fouten grote gevolgen kunnen hebben (Nævestad, 2008, 2010).

In ongevalsonderzoek wordt de laatste decennia de nadruk gelegd op de invloed van management beslissingen en organisatorische condities als distale factoren van het ongevalsproces. Deze invloed kan pas onderzocht worden als proximale en omgevingsfactoren onderzocht en begrepen zijn. Dit geldt niet alleen voor kranen, maar voor alle, zogenaamde technologische ongevallen (Booth, 1993). Er zijn reeds modellen ontwikkeld voor proximale en distale factoren van ongevalsprocessen van kraanactiviteiten, inclusief een kwantificering van deze factoren. De nationale registratie van de Nederlandse Arbeidsinspectie is hiervoor als bron gebruikt (Aneziris, ea., 2008). Deze en andere type registraties hebben echter een belangrijk nadeel. Ze zijn zelden opgezet vanuit een onderzoeksvraagstelling, maar veel eerder vanuit een wettelijke verplichting en/of vanuit een juridische vraagstelling naar wetsovertreding, met meer aandacht voor de gevolgen van het ongeval dan voor oorzaken. Dit beperkt in belangrijke mate de bruikbaarheid van registraties voor een vraagstelling naar oorzaken van ongevallen (Shapira en Lyachin, 2009). Gedetailleerd scenario onderzoek geeft tot nu toe de beste garantie om directe ongevalsoorzaken en hun voorlopers te achterhalen.

Op 10 juli 2008 is in Rotterdam een torenkraan bezweken,

schijnbaar zonder aanleiding. De torenkraan is op dat moment ingezet bij een torenflat in aanbouw. De machinist heeft het ongeluk niet overleefd. De Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV), onder voorzitterschap van prof. mr. Pieter van Vollenhoven heeft dit voorval uitgebreid onderzocht aan de hand van de onderstaande onderzoeksvragen (OVV, 2009).

Wat was de directe oorzaak van het ongeval met de torenkraan en onder welke omstandigheden heeft het voorval zich voorgedaan?

Welke mogelijke tekortkomingen zijn er in het ontwerp die hebben kunnen bijdragen aan dit voorval?

Hoe functioneren certificering en keuringsregime en waar liggen de verantwoordelijkheden?

Dit artikel is grotendeels gebaseerd op de verslaglegging van de OVV en op enkele reacties in de vakliteratuur. Het onderzoek van de OVV is door een externe begeleidingscommissie begeleid (zie nawoord) en een inzage versie van het rapport is voorgelegd aan betrokken partijen.

Methode

Direct na het ongeval heeft een onderzoeksteam van de OVV een verkenning ter plaatste uitgevoerd. Hierna is besloten het onderzoek naar het ongeval volgens twee verschillende sporen te laten verlopen. Allereerst een technisch onderzoek naar directe oorzaken van het ongeval. Dit onderzoek geeft antwoord op de eerste twee onderzoeksvragen. De tweede lijn van onderzoek heeft zich gericht op het ontwerp van de kraan in combinatie met een analyse van betrokken partijen en hun rol bij de acceptatie van het ontwerp. Deze tweede lijn heeft antwoord gegeven op de derde onderzoeksvraag.

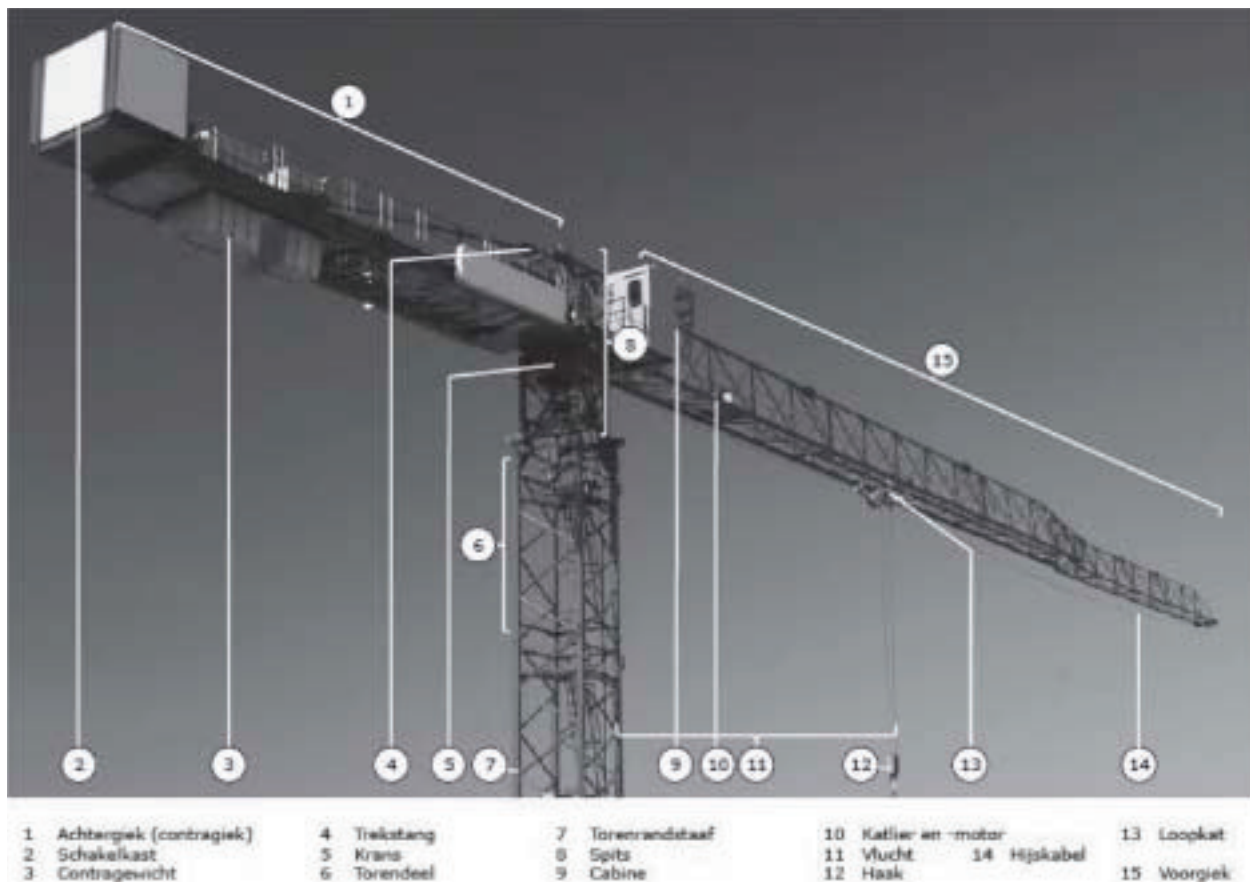
In het technische onderzoek zijn drie verschillende scenario's uitgebreid onderzocht. Allereerst de mogelijkheid dat het ongeval ontstaan is als gevolg van een overschrijding van operationele parameters. Hiervoor zijn elektronische componenten en gegevensdrager onderzocht, evenals de zogenaamde elektronische compatibiliteit van de kraan. Hiermee wordt bedoeld op de mogelijke beïnvloeding van elektronisch datatransport voor de besturing van de kraan door elektromagnetische velden, bijvoorbeeld de voeding. Een tweede mogelijk scenario verwijst naar een falende constructie van de kraan, als gevolg van fouten of zwakheden in de constructie of ander materiaal falen. Voor dit scenario is destructief materiaalkundig onderzoek uitgevoerd naar de constructie van de kraan. Als laatste is onderzocht of het ongeval veroorzaakt kan zijn door een overbelasting van de giek, doordat de loopkat – de loopwagen op de giek – (ongewild) te ver is uitgereden. Om dit scenario te onderzoeken is een vergelijkbare, maar stijvere kraan op dezelfde locatie opgesteld om de resultaten van computermodellen en simulaties te toetsen. Voor de derde onderzoeksvraag zijn de Europese product- en sociale richtlijnen voor torenkranen geïnventariseerd, inclusief de samenhang met de Nederlandse nationale wetgeving en kraanspecifieke keuringsregimes. Voor deze verschillende deelonderzoeken is gebruik gemaakt van de expertise van een aantal externe bureaus en organisaties. Het rapport van het onderzoek (OVV, 2009) doet daar uitgebreid verslag van.

Resultaten

De toedracht van het ongeval

De betreffende kraan behoort tot de groep van de zogenaamde loopkattorenkranen. Dit zijn torenkranen met een vaste giek, waar de loopkat in een horizontaal vlak kan bewegen. Verder betreft het een zogenaamde spitsloze kraan, de kraan reikt niet boven de giek uit. Dit type kraan is makkelijker te vervoeren dan andere torenkranen. De kraan wordt veelal ingezet in bouwprojecten met een hoogtebeperking en op bouwplaatsen waar meerdere kranen in elkaars nabijheid actief zijn. Door het ontbreken van een spits is er minder kans op botsingen. Een foto van de kraan met een uitleg van de verschillende kraanonderdelen staat vermeld in figuur 2.

het gebouw heen te hijsen, maar eromheen. De loopkat kan echter niet vergenoeg naar buiten worden gereden om de last om de hoek van het gebouw te hijsen. De lastmomentbeveiliging stopt de kat. De last wordt alsnog over het gebouw heen gehesen. Bijna op zijn plaats melden de medewerkers op het balkon aan de machinist de last niet uit- maar in te katten. In zijn antwoord ontkent de machinist uit te katten. Op dat moment is de vlucht 27 meter. De last zwaait af, de kraan bezwijkt en de machinist valt veertig meter lager op de bovenste vloer van het gebouw en overleeft de val niet. De ravage is groot (figuur 3).



Figuur 2: Spitsloze torenkraan (bron: OVV, 2009)

De kraan is onderdeel van de bouw van een Rotterdamse torenflat van 24 verdiepingen. De kraan is vooraf gekeurd met een haakhoogte van 59 meter, door een geaccrediteerde keuringsinstantie. Ten tijde van het ongeval heeft de mast een hoogte van 96 meter. Op de bewuste dag staat de hijs van een 7 tons balkonplaat op het programma en inclusief het hijsgereedschap weegt de totale last 12,8 ton. De weersomstandigheden zijn goed, het is mooi weer met een matige zuidelijke wind en deze condities zijn gunstig voor een hijs van een dergelijke zware last. Op het maai-veld en op de plaats van bestemming van de last staan bouwplaatsmedewerkers met portofoons in contact met de kraanmachinist. Aanvankelijk is besloten de hijs niet over

Technisch onderzoek, scenario 1: overschrijding van operationele parameters

De lastmomentbeveiliging beperkt het functionele bereik van de kraan door per lastgewicht een maximale vlucht toe te staan. Bij de torenkraan in Rotterdam is het maximale lastgewicht 16 ton voor een vlucht tussen de 3 en 23 meter. Bij een vlucht van 40 meter is dit 8,7 ton en bij de maximale vlucht van 50 meter 6,7 ton. Als deze beveiliging niet is ingeschakeld of faalt, dan heeft dit directe consequenties voor de kraan en zal deze bezwijken als het lastmoment wordt overschreden. Uit de analyse van de kraanresten is gebleken dat de lastmomentbeveiliging ten tijde van de hijs ingeschakeld is. Deze beveiliging heeft immers voorkomen



Figuur 3: Gevolgen van het ongeval (bron: TV Rijnmond – foto boven, Cees Paas – foto onder)

dat de hijs om het gebouw heen is gehesen. Bij de gebruikte kraan is de maximale vlucht 28 meter bij een last van 13 ton. Met de last van 12,8 ton en een vlucht van 27 meter zit de kraan tegen de grens van zijn maximale lastmoment (OVV, 2009).

Technisch onderzoek, scenario 2: falende torenconstructie

De mast is verbogen, afgebroken en losgescheurd. De staalconstructie van de kraan kan niet overeenkomstig de ontwerpspecificaties zijn ontworpen. Dit tweede mogelijk ongevalsscenario is nader onderzocht. Uit de chemische analyses en de trekproeven is gebleken dat de staalconstructie volgens de ontwerpspecificaties is gebouwd. De breukvlakken in de constructie zijn zogenaamde 'taai breuken'. Deze breuken wijzen op overbelasting en niet op materiaaldefecten (OVV, 2009).

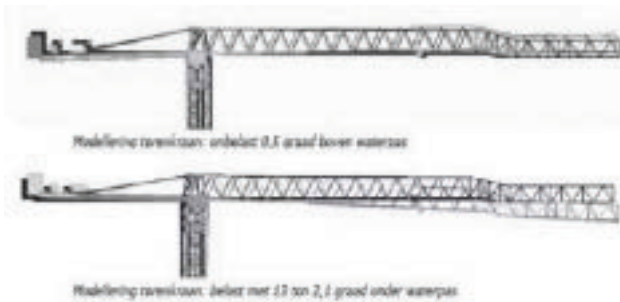
Technisch onderzoek, scenario 3: overbelasting

Verschillende factoren kunnen tot overbelasting van de giek leiden. Een last kan blijven haken waardoor zich dynami-

sche krachten ontwikkelen. Weersomstandigheden is een andere factor met een vergelijkbaar effect, bijvoorbeeld als de wind vat krijgt op de last en deze buiten het vlak van de giek gaat slingeren. Het is echter rustig weer op de dag van het ongeval. Daarmee is het onwaarschijnlijk dat de wind een oorzaak van het ongeval is geweest. Ook is de uitgangspositie van de last voor het ongeval vrijwel statisch. Er is niet snel gehesen of abrupt in- of uitgekakt. Plotselinge hijsbewegingen, waardoor de last gaat slingeren, zijn dus vrijwel uit te sluiten als oorzaak.

Een tweede mogelijkheid is een storing in de kraanbesturing. De machinist kan foutieve besturingsopdrachten hebben gegeven, of om andere redenen kunnen opdrachten anders dan bedoeld zijn uitgevoerd. De communicatie tussen de machinist en de bouwvakkers ter plaatse maakt het aannemelijk dat de machinist vlak voor het ongeval geen 'uitkat' opdracht heeft gegeven. Een storing kan ook veroorzaakt worden doordat de kabels van de kraanbesturing in de directe nabijheid liggen van sterke elektromagnetische velden. Er zijn twee mogelijke bronnen; de GSM antenne en de voedingskabels van de motoren. De GSM antenne is in de schakelkast van de kraan geplaatst. Dit beperkt het bereik van de antenne en deze zal op een hoger vermogen gaan 'zoeken' naar ontvangst. De schakelkast is op het uiteinde van de contragiek geplaatst (figuur 2), waar voedings- en datakabels naar toe geleid worden. Onderzoekers hebben geconstateerd dat de voedings- en datakabels samen gebundeld zijn en dat er dus sprake kan zijn van een beïnvloeding van datatransport. In een test zijn deze elektromagnetische storingen geconstateerd. Deze geven een storingsmelding op het programmeerbare besturingsstelsel van de kraan. Normaal gesproken zou het besturingsstelsel de kraan stil moeten zetten. In de testsituatie bleek dit niet het geval te zijn. De lastmomentbeveiliging wordt geactiveerd bij de opdrachten waarbij de kraan wordt belast, bij 'hijsen' en 'uitkatten'. Bij opdrachten 'vieren' en 'inkatten' hoeft de lastmomentbeveiliging niet in te grijpen, omdat de kraan bij deze opdrachten minder wordt belast. Als er een fout optreedt bij de opdracht 'inkatten' en de loopkat wordt uitgekakt, dan hoeft de lastmomentbeveiliging niet te worden aangesproken. De OVV constateert dat de programmeerbare besturing onvoldoende reageert op ongewenste gebeurtenissen. Deze gebeurtenissen leiden wel tot foutmeldingen, maar niet tot acties.

De doorbuiging van de giek kan ook een oorzaak van het ongeval zijn. De fabrikant heeft gerekend met een maximale doorhang van de giek van 1° onder waterpas. In een simulatiemodel hangt bij een onbelaste kraan op een vlucht van 27 meter de giek 0,5° boven waterpas. Bij een stilhangende last van 13 ton wordt dit 2,1° onder waterpas (figuur 4). Deze grotere doorbuiging van de giek wordt ook bevestigd door een praktijkmeting met een nieuwere stijvere kraan. Het betekent dat de flexibiliteit van de kraan groter is dan de fabrikant heeft berekend. Dit heeft een belangrijk effect op de functionaliteit van de katmotor.



Figuur 4: Doorbuiging van de giek (bron: OVV, 2009)

De katmotor bestuurt de kat. Als de motor wordt aangesproken bepalen instellingen het moment dat het maximale vermogen geleverd kan worden en het moment van het lossen van de rem. Onderzoek bij de ingestorte torenkraan heeft laten zien dat de instelling van de zogenaamde “remlichttijd” op 0 seconden stond; de rem wordt direct gelost als de motor wordt aangesproken. Op zich is dat nog geen probleem. Echter de instelling van de zogenaamde ‘magnetiseertijd’ is onvoldoende geweest om de motor meteen het maximale vermogen te laten leveren. De consequentie is dat de rem van de motor is gelicht terwijl de motor nog geen vermogen heeft opgebouwd. De last gaat dan uitrijden als de giek doorhangt. De uitgebreide analyse van dit scenario staat vermeld in het OVV rapport (OVV, 2009).

Betrokken partijen en keuringsregimes

Bij de bouw, verhuur en gebruik van torenkranen zijn verschillende partijen betrokken en verschillende product- en keuringsregimes zijn actief om de kwaliteit en de veiligheid van de kraan te toetsen. Partijen zijn in drie groepen in te delen; de producent van de torenkraan, actoren van het netwerk rond de bouwplaats en actoren betrokken bij het beheer en het onderhoud van de torenkraan.

De eerste partij is de fabrikant. De kraan wordt in Duitsland geproduceerd door een bedrijf dat sinds 2003 torenkranen van eigen merk verkoopt. Voor het ontwerp en de berekening van kraanconfiguraties huurt het bedrijf de kennis in van een zelfstandig gevestigde constructeur. Elektronische componenten voor de kraan worden ingekocht en door de fabrikant geassembleerd. Moderne torenkranen zijn opgebouwd uit steeds complexer wordende elementen, die door verschillende leveranciers worden geleverd. Dit vereist de nodige expertise om de consequenties van de assemblage op de structuur en functionaliteit van de torenkraan te overzien. Om de kraan op de markt te kunnen brengen moet de fabrikant voldoen aan de Europese productrichtlijnen. Deze richtlijnen stellen algemene eisen aan producten, specifieke eisen aan het veiligheidsniveau en eisen aan instructies voor gebruikers. Torenkranen vallen onder vier van deze richtlijnen; de Machinerichtlijn, de richtlijn Elektromagnetische Compatibiliteit en de richtlijnen voor laagspanning en geluidemissie. Een fabrikant stelt zelf vast welke normen van deze richtlijnen op de torenkraan van toepassing zijn en legt dit vast in een verklaring, de EG-verklaring van overeenstemming en in een Technisch Constructie Dossier. Dan mag de fabrikant de torenkraan voorzien van een CE-markering (Conformité Européenne). De fabrikant geeft met de CE-mar-

kering aan dat, naar zijn oordeel, zijn product in overeenstemming is met Europese regelgeving. De kraan hoeft hierbij niet door externe keuringsinstantie op kwaliteit en veiligheid getoetst te worden. De fabrikant mag de torenkraan nu vrij verhandelen in lidstaten van de Europese Gemeenschap, IJsland, Liechtenstein en Noorwegen. Deze landen kunnen geen aanvullende eisen meer stellen aan het verhandelen van de torenkraan. Een fabrikant kan zelf verklaren dat zijn product voldoet aan de Europese productrichtlijnen. De torenkraan die in Rotterdam is bezweken, heeft een CE-markering. Het Technische Constructie Dossier van de kraan daarentegen is niet beschikbaar, waardoor niet vastgesteld kan worden of en op welke wijze de fabrikant aan de EG-productrichtlijnen heeft voldaan.

De tweede groep van actoren zijn de partijen van het netwerk rond de bouwplaats. Dit zijn de aannemer, de projectontwikkelaar en de gemeente. De aannemer heeft de kraan gehuurd. Overeenkomstig de Arbowet stelt een coördinator uitvoeringsfase, aangesteld door de projectontwikkelaar een veiligheids- en gezondheidsplan (V&G plan) uitvoeringsfase op. Het V&G plan is een risico inventarisatie en evaluatie van de bouwlocatie. De projectontwikkelaar is de opdrachtgever van het bouwproject. De opdrachtgever stelt een V&G plan ontwerpfase op, om risico's in het ontwerp van het bouwproject te beheersen en de aannemende partij een bouwveiligheidsplan. Het bouwveiligheidsplan is onderdeel van de vergunningsaanvraag bij de gemeente en beschrijft maatregelen ter bescherming van de bouwlocatie en de omgeving. Het plan wordt beoordeeld door de afdeling Bouw- en Woningtoezicht van de gemeente en deze afdeling houdt toezicht op de naleving.

De derde groep actoren, betrokken bij het beheer en onderhoud van de kraan, zijn de eigenaar, de beheersstichting van certificatieschema's Stichting Toezicht Certificatie Verticaal Transport (TCVT) en de Arbeidsinspectie. De torenkraan is gehuurd van een Nederlandse eigenaar. Dit bedrijf adviseert klanten welke kraan het beste is voor de gewenste inzet. De eigenaar bouwt de kraan op en is verantwoordelijk voor een deugdelijke uitvoering. Elke keer dat de kraan wordt opgebouwd, wordt deze gekeurd volgens het TCVT keuringsschema. Deze keuringen behandelen de kwaliteit van de constructie na montage van de torenkraan, controleren de certificaten van gebruikte kabels van de kraan en beproeven de lastbeveiliging. De betreffende kraan is zonder opmerkingen door de keuring gekomen. Het certificatieschema is typisch voor het proces van de opbouw van de kraan. De keuring is gericht op de constructie en de zorgvuldigheid van opbouwen. Minder aandacht wordt besteed aan het functioneren van de kraan onder normale of afwijkende operationele omstandigheden. Storingsmeldingen, risico's ten aanzien van de functionaliteit van de kraan, de aandacht voor tussentijds onderhoud en risico's van nieuwe en complexe elektronische en computergestuurde besturingssystemen van kranen komen in deze keuringen niet aan de orde. De laatste partij, de Arbeidsinspectie, controleert de naleving van wet- en regelgeving voor onderhoud en keuringen, de eisen aan kraanmachinist, de regels op gebied van hijsen en naleving van V&G plan. Bewijsstukken van keuringen zijn aanwezig in het kraanboek.

Discussie en conclusie

Uit de reconstructie van het ongeval met de torenkraan in Rotterdam blijkt hoe specifiek de risico's zijn. De proximale factoren van het ongevalsproces zijn duidelijk geworden. De te grote hellingshoek van de giek stelt andere componenten van de kraan op de proef. De loopkat met last is niet in bedwang gehouden door een combinatie van de doorbuiging van de giek en een ontoereikend motorkoppel van de katmotor. De last is zelf uitgereden tot voorbij het maximale lastmoment.

Uiteindelijk hebben dynamische krachten de kraan doen bezwijken. De flexibiliteit van de giek heeft geleid tot een instabiliteit van de last. Hiermee zijn de eerste twee onderzoeksvragen beantwoord. De grote doorbuiging is niet voorzien door de fabrikant en daarmee is het ongeval te classificeren als een zogenaamd 'normal accident' (Perrow, 1984, 1999), een ongeval dat is ingebakken in het ontwerp van de kraan en zich vroeg of laat openbaart. Niet een bedieningsfout van de machinist is de start van het ongevalsproces, maar een fout in het ontwerp van de kraan. Een doorgelopen loopkat bij een kraan van dezelfde fabrikant is eerder 2008 geconstateerd bij een opstellingskeuring. Dit heeft tot aanpassingen van de kraan geleid, maar niet tot een heroverweging van het ontwerp door de fabrikant. Ook de eigenaar van de kraan, de verhuurder, is niet op de hoogte gebracht van de aanpassingen (OVV, 2009).

Nu het ongevalsproces helder is, zijn distale management en organisatorische factoren aan te wijzen. De primaire verantwoordelijkheid voor een deugdelijk ontwerp ligt bij de fabrikant. Het is niet te achterhalen of de fabrikant een risico analyse heeft toegepast bij de constructie van de kraan, daar documentatie over dit onderwerp ontbreekt. Toetsing van het ontwerp aan de gestelde criteria, zoals de doorbuiging van de giek bij maximale belasting, is niet uitgevoerd. Deze toetsing is voor een CE-markering niet vereist. Storingmeldingen aan torenkranen zijn door de fabrikant ad-hoc opgelost en deze meldingen hebben tot dan toe niet geleid tot aanpassingen van het ontwerp van de torenkraan. Eenmaal op de markt gebracht blijkt er geen effectief vangnet meer te zijn om structurele tekortkomingen op te sporen. Buiten de fabrikant toetst/controleert niemand tekortkomingen in het ontwerp of productie. Het V&G plan doet geen uitspraak over het kraanontwerp en de TCVT keuring keurt de kraan slechts beperkt op zijn functionaliteit. Voor de eigenaar, de opdrachtgever en de gebruiker is, op grond van de regelgeving, geen aanleiding te twijfelen aan de veiligheid of de kwaliteit van de kraan. Zij hebben geen inzicht in de specifieke risico's of in de beheersing daarvan, doodeenvoudig omdat de expertise bij deze groepen ontbreekt. Dit standpunt wordt ook in de vakpers gehoord (Cobouw, 2008). Deze partijen zijn sterk afhankelijk van de informatie van de fabrikant. Eigenaar en gebruiker hebben geen aanleiding gezien aanvullende informatie op te vragen over risico's en bijbehorende beheersmaatregelen.

Om te achterhalen of het ongeluk in Rotterdam uniek is, of er sprake is van een structureel probleem, heeft de Onderzoeksraad voor Veiligheid in beperkte mate ongevallen met andere torenkranen onderzocht. De registratie van ongevallen van de Arbeidsinspectie is hiervoor slechts beperkt bruikbaar, daar de

geaggregeerde gegevens vaak geen informatie bevat over het type kraan of over oorzaken van deze ongevallen. Over de incidentie van torenkraanongevallen en hun technische oorzaken zijn daarom geen betrouwbare uitspraken te doen. Vier torenkraanongevallen zijn nader bekeken. In Cuijk is in december 2002 een torenkraan tijdens de opbouw omgevallen vanwege problemen met de fundering. In Rotterdam is een operationele kraan omgevallen doordat de bevestiging aan de fundering gefaald heeft. Bij deze twee ongevallen is er sprake van een onjuiste of onvolledige inventarisatie en analyse van risico's. Dat geldt ook voor het kraanongeval in Utrecht tijdens de storm van januari 2007. De kraan stond in de zogenaamde 'vaanstand', een stand waarbij de giek vrij met de wind kan meebewegen. Echter door turbulentie en luwte heeft de giek de wind niet meer gevolgd en is neergestort. De aannames bij harde wind zijn onjuist geweest, een fenomeen dat door de machinist reeds eerder gesignaleerd is. Risico's van torenkranen worden onvoldoende in kaart gebracht en geanalyseerd. Dit geldt niet alleen voor de torenkraan betrokken bij het geanalyseerde ongeval, maar ook voor torenkranen van andere merken. De terugkoppeling van informatie van voorvallen uit de praktijk is eveneens onvoldoende en daarom pleit de Onderzoeksraad voor Veiligheid een meldpunt van (bijna)ongevallen met kranen en torenkranen. Het meldpunt moet informatie verstrekken aan alle betrokken partijen en gedragen worden kraanfabrikanten, eigenaars, gebruikers en opdrachtgevers. Om gebreken in het ontwerp adequaat op te kunnen sporen komt de Onderzoeksraad voor Veiligheid met twee aanbevelingen. Allereerst de opname van torenkranen op de lijst van gevaarlijke machines van de Machinerichtlijn, zodat een onafhankelijke keuring verplicht wordt. De tweede aanbeveling betreft de uitbreiding van het TCVT certificatieschema met functionele toetsingscriteria die naast mechanisch falen ook de elektronica en de besturing van de kraan omvat. In de vakpers reageert de brancheorganisatie van importeurs of fabrikanten van bouwmachines, magazijninrichtingen, wegenbouwmachines en transportmaterieel (BMWT) vrij kritisch op de aanbevelingen (Cobouw 2009a, 2009b). Opname van torenkranen in de bijlage van de Machinerichtlijn lost niets op, volgens de BMWT directeur en creëert alleen maar schijnveiligheid. De BMWT is huiverig voor een nieuw ingewikkeld toelatingsregime voor torenkranen. Een goede keuring bij de ingebruikstelling is afdoende. De BMWT wijt het ongeval vooral aan de positie van de kraanfabrikant. Die heeft met zijn bedrijf veel te grote stappen gemaakt en is als klein bedrijf ineens grote kranen gaan bouwen, zonder mee te draaien in Europese organisaties als de European Federation of Materials Handling (FEM), of de Committee for European Construction Equipment (CECE). Daarom hoeven de conclusies van het onderzoek van de Onderzoeksraad voor Veiligheid geen branchebrede gevolgen te hebben. Bouwend Nederland, de vereniging van bouw- en infrabedrijven, ondersteunt de aanbevelingen van de Onderzoeksraad voor Veiligheid en met BMWT ondersteunen ze eveneens het voorstel voor een meldpunt van (bijna)ongevallen met torenkranen (Cobouw, 2010).

Een laatste vraag die overblijft na de analyse van de Onderzoeksraad voor Veiligheid betreft de keuze van de torenkraan. Waarom is er gekozen voor een spitsloze kraan? Een kraan met een spits heeft immers een stijvere giek en andere

doorbuigmomenten. De argumenten voor een spitsloze kraan, de hoogtebeperking en een lagere kans op ongevallen met andere kranen is voor de bouwplaats in Rotterdam niet van toepassing, daar er geen andere kranen in de nabijheid actief zijn geweest en er van hoogtebeperking geen sprake is geweest.

Nawoord

Het onderzoek door de Onderzoeksraad voor Veiligheid is uitgevoerd door drs M Jager MSHE, ing R Smits MSHE en A van Utrecht. De begeleidingscommissie, onder leiding van mr A Brouwer-Korf (OVV Raad), heeft bestaan uit dr ir J Visser (OVV Raad), ir B Gieskens (Bouwend Nederland), ir A Gresnigt (TUDelft), prof dr F Leeuw (Ministerie Justitie), dr P Swuste (TUDelft), prof dipl-ing J Vambersk (TUDelft) en ir J Wessels (TNO).

Literatuur

ANC, Fons de l' Arxiu Nacional de Catalunya (2002). Collecció de cartells de prevenció d'accidents laboral (1925-1937). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura, Barcelona

Aneziris O., Papazoglou I., Mud M., Damen M., Kuiper J., Baksteen H., Ale B., Bellamy L., Hale A., Bloemhoff A., Post J., Oh J. (2008). Towards risk assessment for crane activities. *Safety Science* 46:872-884

Beaver J., Moore J., Rinehart R., Schriver W. (2006). Crane related fatalities in the construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management* 132(9):901-910

Booth R. (1993). Machinery safety: progress in the prevention of technological accidents. *Safety Science* 16:247-248

Cobouw (2008). Veel hijskranen, maar te weinig machinisten, 13 september

Cobouw (2009a). Torenkraan in richtlijn lost niets op, 10 december

Cobouw (2009b). Parktoren ongeval moet geen gevolgen krijgen voor de branch, 15 december

Cobouw (2010). Torenkraan moet in Machinerichtlijn, 13 januari

Hambly E (1990). Overturing instability. *Journal of Geotechnical Engineering* 116(4):704-709

Hasan S., Al Hussein M., Hermann P., Safouhi (2010). Interactive and dynamic integrated module for mobile crane supporting system design. *Journal of Construction Engineering and Management* 136(2):179-186

HSL – Health and Safety Laboratory (2010). Tower crane incidents worldwide. RR820 Research report. HMSO, Norwich, UK

Ju F., Choo Y. (2005). Dynamic analysis of tower cranes. *Journal of Engineering Mechanics* 131(1):88-96

Nævestad T. (2008). Safety understanding among crane operators and process operators on a Norwegian offshore platform. *Safety Science* 46:520-534

Nævestad T. (2010). Evaluating a safety culture campaign some lessons from a Norwegian case. *Safety Science* 49:651-659

OVV, De Onderzoeksraad voor Veiligheid (2009). Bezwijken torenkraan, Rotterdam 10 juli 2008, OVV Den Haag. Het rapport is te downloaden via www.onderzoeksraad.nl

Paas C., Swuste P. (2006). Mobiele kranen, wat gaat er mis? Een onderzoek naar dominante ongevalsscenario's. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 19(3):47-55

Parfitt M. (2009). Cranes, structures under Construction, and temporary facilities: are we doing enough to ensure they are safe? *Journal of Architectural Engineering*, March 1-2

Perrow C. (1984). *Normal accidents*. Basic Books, New York

Perrow C. (1999). *Normal Accidents: living with high-risk technologies*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey

Reis A., Oliveira C., Azevedo J. (1984). Accidental loads in crane grinders a case study. *Journal of Structural Engineering* 110(7):1679-1686

Schexnayder C. (2003). Crane accidents construction sessions roebbling award books conferences. *Practical periodical on structural design in construction*. May p. 67-73

Sertyesilisik B., Tunstall A., McLouglin J. (2010). An investigation of lifting operations on UK construction sites. *Safety Science* 48:72-79

Shapira A., Lucko G., Schexnayder C. (2007). Cranes for building construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management* 133(9):690-700

Shapira A., Lyachin B. (2009). Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management* 135(1):24-33

Swuste P. (2005). *Veiligheidsanalyse verticaal transport mobiele kranen*. Sectie Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft

Swuste P., Gulijk C. van, Zwaard A. (2009). Ongevalscausaliteit in de 19 en eerste helft 20e eeuw de opkomst van de brokkenmakertheorie in in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië en Nederland. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 22(2):46-63

Tong X., Tuan C., Yang J., Zhang J., Yue Q. (2007). Fatigue Strength of End-Coped Crane Runway Girders. *Journal of Structural Engineering* 133(12):1783-1791