

Mobiele kranen, wat gaat er mis?

Een onderzoek naar dominante ongevalsscenario's

Cees Paas¹, Paul Swuste¹

Samenvatting

Hoewel er veel en vooral ernstige ongevallen voorkomen tijdens hijsactiviteiten, is er maar weinig onderzoek naar gedaan. In dit artikel zijn centrale gebeurtenissen, dominante scenario's en falende barrières bepaald van hijswerkzaamheden van mobiele kranen. Literatuur en expertmeningen zijn vergeleken met gegevens uit de ongevalsregistratie van de Arbeidsinspectie uit de periode 1998-2003 (174 cases), die met behulp van het zogenaamde vlinderdasmodel zijn geanalyseerd. Vijf verschillende centrale gebeurtenissen worden onderscheiden. In volgorde van belangrijkheid zijn dit: instabiliteit last, lading; contact met contragewicht of giek; instabiliteit kraan; instabiliteit hijsmechanisme en als laatste instabiliteit giek.

Meer dan 70 procent van de ongevallen wordt veroorzaakt door een instabiele last. Experts zagen juist instabiliteit van de kraan als meest dominant scenario. Het verschil tussen de expertmeningen en de andere bronnen lijkt veroorzaakt te worden door de gevolgde methode van onderzoek. Verder is informatie over blootstelling en risicopopulatie (nog) niet voorhanden. Hierdoor is het niet mogelijk om per centrale gebeurtenis een risicomaat vast te stellen.

Uit de ongevalanalyse blijkt dat de technische kwaliteitsverbetering van de kranen de geringe bijdrage van de instabiliteit van de kraan, de giek en het hijsmechanisme aan ongevallen verklaart. Ongevallen met vallende lading komen echter nog bij herhaling voor. Het is noodzakelijk om juist bij dit type ongevallen nader te onderzoeken naar achterliggende oorzaken, waaronder de invloed van het management op het ontstaan van deze ongevallen.

Inleiding

Milwaukee (14 juli 1999) – een gigantische kraan, bijgenaamd Big Blue, is neergestort tijdens de plaatsing van een 400 ton zware dakconstructie op stadion in aanbouw, Miller Park. Drie metaalwerkers kwamen om, toen hun hijsbak waarin zij stonden te wachten om het dak te bevestigen, geraakt werd door de neerstortende kraan. Vijf anderen raakten gewond. Door grote achterstand op de planning werd besloten om een dakdeel te plaatsten terwijl er een stevige wind stond. Eerder waren de hijswerkzaamheden, juist vanwege de wind, afgeblazen en uitgesteld. Bij het hijsen is de lading gaan zwaaien waardoor de hele kraan omverviel (JS Online, 2006).

Summary

Only limited research has been conducted to accidents during hoisting activities, although quite some accidents do happen and often with serious consequences. The analysis presented in this paper reveals central events, dominant scenario's and failing barriers related to mobile crane operations. Results from a literature search and expert judgments are compared to results of a bow-tie analysis of the Labour Inspectorate's accident registration, covering the period of 1998-2003 (174 cases). In order of importance five different central events were distinguished: load instability; contact with counterweight; crane instability; instability of hoisting mechanism, and finally boom instability.

Load instability counts for more than 70 % of the accidents. The central event of crane instability does not occur frequently, although experts do see this event as the most dominant one. The method of research can explain the observed difference between expert judgment and other sources. Furthermore, information on exposure and population at risk is not present (yet), meaning that no risk rates per central event can be calculated.

The technical improvements on cranes can explain the limited contribution of instability of crane, boom and hoisting mechanism to accidents. Accidents caused by falling loads do occur frequently. Further research on this type of accidents is necessary, and amongst others the influence of management factors on the accident causation.

De Big Blue was een speciaal voor de gelegenheid geconstrueerde kraan met een contragewicht van 1,150 ton en een giek lengte van ruim 170 meter. Het voorbeeld laat zien dat mobiele kranen groter worden. Herhaaldelijk wordt het nieuws gehaald met berichten van omgevallen kranen. Spectaculaire foto's van deze ongevallen worden graag verspreid door de verschillende media. Hierdoor ontstaat het beeld, dat omvallende kranen het meest dominante ongevals-scenario van deze installaties is. De vraag is echter of dit beeld recht doet aan de werkelijkheid. Is het zo, dat de meeste ongevallen gebeuren doordat kranen omvallen, of zijn er ook andere ongevalsscenario's die veel voorkomen?

Kranen kunnen erg gevaarlijk zijn. Gegevens van het

¹ Sectie Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft; e-mail: j.c.paas@student.tudelft.nl

Centraal Bureau van de Statistiek bevestigen dit. 'In 2004 zijn in Nederland 93 mensen omgekomen bij een arbeidsongeval.' 'Bij drie op de tien dodelijke slachtoffers was een transportmiddel betrokken, zoals een hijskraan, shovel of lift' (CBS, 2006). Separate gegevens over mobiele kranen zijn echter niet bekend. Ook de voorgaande jaren laten hetzelfde beeld zien. Een goed inzicht in de verschillende soorten ongevalsscenario's met mobiele kranen is noodzakelijk voor een adequate aanpak om deze ongevallen te voorkomen. Daarom staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Welke ongevalsscenario's zijn mogelijk met mobiele kranen?
- Welke scenario's zijn dominant?

Voor de helderheid is het van belang om twee definities verder uit te werken. Waar gesproken wordt over een mobiele kraan gaat het om een verrijdbare hijskraan die niet aan een vaste baan is gebonden. Ook autolaadkranen en graafmachines, die gebruikt worden voor hijswerkzaamheden, worden hieronder gerekend. Dominante scenario's zijn die scenario's die een veel grotere frequentie van voorkomen hebben dan andere scenario's.

Methoden en technieken

Voor de beantwoording van de onderzoeksvragen zijn drie bronnen gebruikt; de openbare vak- en wetenschappelijke literatuur, meningen van experts en als laatste de ongevalgegevens van de Arbeidsinspectie. In dit artikel zal de nadruk zal liggen op de analyse van de registratiegegevens van de Arbeidsinspectie (Swuste, 2005).

Literatuur

Voor de onderzoeksvragen is in de openbare vakliteratuur en wetenschappelijke literatuur gezocht in de bestanden van de bibliotheek van de Technische Universiteit Delft. Naast de eigen collectie van de bibliotheek is de wetenschappelijke literatuur doorzocht via PubMed en ScienceDirect. Bij het zoeken in de databases is gebruikt gemaakt van de zoektermen 'ongeval' en '(mobiele) kraan'.

Bijeenkomst experts

Een vaste groep van 10 experts heeft scenario's vastgesteld voor ongevallen met mobiele kranen met behulp van de ontwerptechnische analyse en de storingsanalyse techniek (Swuste ea., 2000). Deze storingsanalyse techniek is afgeleid van de HAZard and OPerability study (HAZOP), die binnen de procesindustrie veelvuldig gebruikt wordt om voorzienbare en ongewenste gebeurtenissen of afwijkingen van een proces op te sporen. De techniek is gebaseerd op het principe, dat experts met verschillende achtergronden tijdens gezamenlijke sessies tot een beter resultaat komen dan experts die de techniek afzonderlijk toepassen en naderhand de resultaten combineren.

De experts waren afkomstig uit bouwbedrijven, van de Arbeidsinspectie en van kennis- en brancheorganisaties, zoals de vakvereniging Het Zwarte Corps, de VVT (Vereniging

Verticaal Transport) en de stichting TCVT (Stichting Toezicht Certificatie Verticaal Transport). In de eerste sessie zijn mogelijke storingen in kaart gebracht. De analyse is uitgevoerd aan de hand van tekeningen van mobiele kranen. Met behulp van een matrix van gidswoorden en procesparameters zijn de condities achterhaald die aanleiding kunnen geven tot ongevallen. Hierbij geven de gidswoorden de mogelijke afwijkingen weer, bijvoorbeeld via de termen 'geen', 'meer', of 'minder'. De procesparameters zijn notaties van de kraan, van de last, van de omgeving en van de bediening van de kraan. Deze procesparameters zijn indicaties van een gevaar. Vervolgens zijn de verschillende ongevalsscenario's gedefinieerd. In de tweede sessie is gecontroleerd of de geformuleerde scenario's volledig waren. Aan de experts is daarna gevraagd naar hun oordeel over de kans van optreden van een betreffend scenario. Dit oordeel is gebruikt om tot een ordening van de scenario's te komen.

Geautomatiseerde Informatie Systeem van de Arbeidsinspectie (GISAI)

Het literatuuronderzoek en de resultaten uit de expertmeting geven inzicht in mogelijke ongevalsscenario's en dat geldt ook voor ongevalregistratie gegevens van GISAI, het Geautomatiseerde Informatie Systeem van de Arbeidsinspectie. Werkgevers zijn in Nederland verplicht om arbeidsongevallen telefonisch of per fax te melden aan de Arbeidsinspectie als er is sprake is van ziekenhuisopname binnen 24 uur na het ongeval, of als er (vermoedelijk) sprake is van blijvend letsel of overlijden. De telefonische melding geeft een korte beschrijving van wat er is gebeurd en bestaat in de meeste gevallen uit één tot anderhalve tekstregel. Bij alle meldingsplichtige ongevallen start een arbeidsinspecteur een onderzoek naar ongevaloorzaken en mogelijke wetsovertredingen. Deze informatie is onderdeel van GISAI, samen met waarnemingen van de inspecteur op de plaats van het ongeval, getuigenverklaringen en de conclusies van de arbeidsinspecteur. De bevindingen van de inspecteur naar aanleiding van zijn onderzoek zullen worden aangeduid als de 'secundaire GISAI gegevens'.

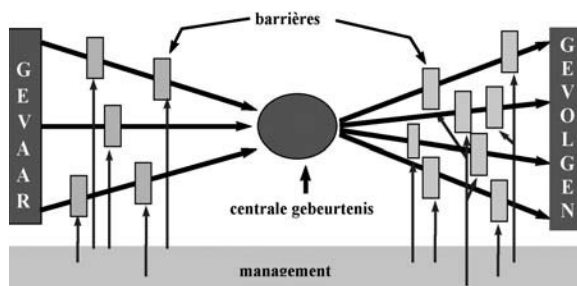
De secundaire GISAI gegevens zijn onderzocht door de Workgroup Occupational Risk Model (WORM), een deelproject van het project Versterking Arbeidsveiligheid (VAV) van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (arbeidsveiligheid.szw.nl). Het doel van het project is het terugdringen van het aantal arbeidsongevallen. Het project richt zich op twee hoofdpunten; allereerst het opzetten en begeleiden van verbetertrajecten binnen bedrijven en ten tweede het opzetten van een risicomodel voor alle arbeidsongevallen in de periode 1998-2003. De ongevalgegevens uit GISAI, in totaal 12.655 ongevallen, zijn gemodelleerd met behulp van een aantal vlinderdasmodellen (Hale ea, 2005; Ale ea, 2006; Bellamy ea, 2006; Mud ea, 2006). Aan de hand van de centrale gebeurtenis van het ongeval, zoals val van hoogte, contact met vallende voorwerpen, contact met zwaaiende en hangende lasten, geraakt door voertuig, contact met bewegend deel van machine, etc, zijn in totaal 30 verschillende vlinderdasmodellen opgesteld. Ongevallen met mobiele

kranen zijn over meerdere vlinderdasmodellen verspreid.

Scenario's

Om de gegevens uit de literatuur op een goede manier te kunnen ordenen, de expertbijeenkomst te ondersteunen en de ongevalgegevens te modelleren, is gebruik gemaakt van een tweetal modellen: de ontwerptechnische analyse en het vlinderdasmodel. De ontwerptechnische analyse is een model om productieprocessen en activiteiten op grond van de materiaalstroom in te delen in productiefuncties, -principes en -vormen. De productiefunctie is onderdeel van de centrale gebeurtenis van de scenario's. Informatie van de productieprincipes en -vormen zijn gebruikt bij het formuleren van barrières.

Het vlinderdasmodel is een model, dat vaak gebruikt wordt binnen het vakgebied van veiligheidskunde en representeert hoe veiligheid op een adequate manier kan worden gewaarborgd bij productieprocessen of activiteiten, zoals hijswerkzaamheden (figuur 1).



Figuur 1: Vlinderdasmodel

In het centrum van het model staat de centrale gebeurtenis. Verschillende scenario's kunnen leiden tot deze gebeurtenis. Een scenario beschrijft de factoren en omstandigheden die leiden tot de gebeurtenis. Na de centrale gebeurtenis volgen de zogenaamde effectscenario's. Deze scenario's monden uit in verschillende vormen van schade. Uit deze scenario's volgen de barrières, die verhinderen dat scenario's zich kunnen ontwikkelen. Deze barrières vormen het centrum van het managementsysteem, daar het managen van barrières de sleutel is voor het managen van veiligheid. De barrières zijn de blokjes in de figuur en worden primaire barrières genoemd. Falende primaire barrières leiden tot de centrale gebeurtenis (Hale en Guldenmund, 2003; Guldenmund ea., 2005). Behalve de primaire barrières bestaan er ook de zogenaamde managementfactoren, die bij falen geen centrale gebeurtenis veroorzaken, maar de kwaliteit van de primaire barrières bepalen. Voorbeelden van managementfactoren zijn procedures, vakbekwaamheid van werknemers, training, inspectie en onderhoud en regels voor conflicten tussen veiligheid en andere bedrijfsdoelen. De managementfactoren maken een integrale beoordeling van management systemen mogelijk, inclusief de menselijke factor (Zemering en Swuste, 2005).

Resultaten

Literatuur

In totaal zijn 23 referenties gevonden naar artikelen en boe-

ken uit de vakliteratuur en 20 referenties naar wetenschappelijke literatuur over de periode 1971-2004. Naast een enkele referentie uit Turkije en India zijn de artikelen afkomstig uit westerse landen. De Verenigde Staten van Amerika zijn sterk vertegenwoordigd, gevolgd door Groot-Brittannië, Scandinavië, Nederland, Frankrijk en Duitsland. Opvallend genoeg beperkt de literatuur uit Nederland zich uitsluitend tot vakliteratuur, dit in tegenstelling tot andere landen (Swuste, 2005).

De literatuur bestaat voornamelijk uit casusbeschrijvingen en resultaten van epidemiologisch onderzoek en handboeken. Twee zaken vallen op bij het bestuderen van de literatuur. Allereerst dat de analyses van de ongevallen vaak oppervlakkig zijn, door de summier beschrijving van de betreffende casus. Als tweede ontbreekt bijna altijd informatie over managementfactoren. De casusbeschrijvingen gaan doorgaans niet verder dan de beschrijving van de technische barrières die hebben gefaald en beperkt zich tot een enkele opmerking over de menselijke fout van de kraanmachinist, of over de ernst van het ongeval. Een uitzondering is één artikel waar expliciet ingegaan wordt op managementfactoren van een ongeval met een mobiele kraan, zoals de hoge tijdsdruk waaronder het hijsactiviteiten werden uitgevoerd, de slechte voorbereiding van het werk en het ontbreken van een hijsplan (Yawenko, 2003).

Handboeken

Kraanmachinisten zijn professionals. Hijsen is een kwestie van vakmanschap. Meer dan nu het geval is, was het vroeger het gevoel, de geluiden en de trillingen tijdens de hijs belangrijk. De machinist had direct contact met de hijs, doordat de bedieningshendels direct gekoppeld waren aan de installatie. Hierdoor had de machinist een fysiek gevoel voor de last. Oudere handboeken zijn dus vooral gericht op het overdragen van de instrumentele kennis van de kraanbediening (figuur 2).



Figuur 2: Kraamcabine anno 1936 (uit Ribbens en Verkrusen, 1996)

Van direct contact is vandaag de dag geen sprake meer. Door de steeds beter ontwikkelde technieken is de directe bediening vervangen door installaties, die zijn uitgerust met allerlei pneumatische, hydraulische en elektronische bedieningselementen, sensoren en veiligheidsinstrumenten. Naast het aanleren van alle technische aspecten van de werking van de mobiele kraan worden veiligheidsaspecten vanaf de jaren 70 steeds vaker opgenomen in de handboeken, waarbij vooral de gevaren en de technische oorzaken van falende kraanactiviteiten worden benoemd (Dicky, 1975, 1985). In de negentiger jaren wordt veiligheid van kranen als zelfstandig onderwerp belangrijk en dan verschijnen handboeken op dit gebied (MacCollum, 1993; Fair ea., 1998, VVT, 1999, 2002, 2004) (tabel 1) De publicaties van de Nederlandse Vereniging Verticaal Transport (VVT) passen in de traditie van begin jaren negentig.

uitgebreid beeld gegeven van risico's en werkbare oplossingen voor kraanactiviteiten. Naast een evaluatie zijn de ongevalcijfers van 1990 vergeleken met die van 1976. Hieruit bleek dat de geregistreerde ongevallen met 30% waren afgenomen. Een vergelijkbare constatering komt ook uit Groot-Brittannië (HSE, 1996, 1997).

In een ander type onderzoek, niet epidemiologisch van opzet maar gericht op besluitvorming, is bij 36 Amerikaanse bouwprojecten de keuze voor mobiele of torenkranen onderzocht (Shapira en Glascock, 1996). Niet zozeer berekeningen, maar gewoonte bepalen de keuze voor het type kraan en enige vorm van materieelplanning bleek niet aanwezig te zijn bij de projecten.

De epidemiologische onderzoeken zijn samengevat in tabel 2.

Tabel 1: Gevaren (Dickie, 1975, 1985) en barrières (MacCollum, 1993, Fair ea., 1997)

| Productiefunctie | Centrale gebeurtenis | Falende primaire barrières | Barrières en managementfactoren |
|---------------------------------------|---|---|---|
| Verticaal verplaatsen last | Instabiele kraan | Kraanmoment nabij lastmoment | Lastindicator, lastmomentbegrenzer |
| | | Hijsen buiten specificaties (te zware last) | Lastindicator, lastmomentbegrenzer |
| | | Overschrijden maximale vlucht | Lastmomentbegrenzer, giekhoekindicator |
| | | Onjuist uitgezette uithouders | Uithouder indicator |
| | | Onstabiele ondergrond | Adequaat aanbrengen stempelschotten |
| | Instabiele giek | Kraan niet horizontaal opgesteld | Niveau indicator |
| | | Hijsen nabij hoogspanningsleidingen | Hijsplan, afschakelen leidingen |
| | | Beschadigde vakwerkgyk | Inspectie |
| | | Getordeerde giek | |
| | | Excentrisch hijsen en vieren | |
| Instabiliteit last | Zijwaarts/schuin hijsen | Last in hijsvlak, sensoren voor zijwaartse hijs | |
| | Slepen van hijs | | |
| | Abrupte versn./vertraging hijsbeweging | | |
| | Giek raakt structuur | Aanwijzingen aanpikker | |
| | Last raakt giektop | Hijsseindschakelaar | |
| | Zwiepende last door wind | Volglijn, windindicator | |
| | Zwiepende last, abrupte rijbewegingen | | |
| | Zijwaartse wind | Windindicator | |
| | Brekende, knikkende hijskabels | Inspectie | |
| | Zwaartepunt last boven/buiten aanhaakpunten | | |
| Op- en afbouw kraan | Instabiele giek | Neergehaalde vakwerkgyk raakt grond | Procedure, training |
| | | Vallend vakwerk giekdeel bij demontage | Bouten aan buitenkant giek |
| Toegang | Toegankelijkheid | Onveilige toegang cabine | Trap, leuning, slipbestendige treden |
| | | Onveilige looppaden op kraan | Beugels, slipbestendige paden |
| Toegevoegde gevaren (MacCollum, 1993) | | Onveilige cabine | Indrukbestendige cabines, veiligheidsgordels |
| | | Beknelpunten draaiende delen | Afscherming, waarschuwingstekens |
| | | Niet-uniforme lay-out bedieningspaneel | Training, weinig wisselingen tussen kranen |
| | | Blinde hijs | Hijsplan, communicatie met aanpikker |
| | | Achteruitrijdende kraan, beperkt zicht | Spiegels, aanwijzingen aanpikker, signalering |
| | | Hijshaken zonder veiligheidsklep | Veiligheidshaken |
| | | Vallende verplaatsbare contragewichten | Training |

Epidemiologisch onderzoek

In de afgelopen decennia zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd naar het aantal ongevallen met (mobiele) kranen. Eén van de meest uitgebreide onderzoeken, van Häkkinen (1978, 1993), geeft een overzicht van ongevallen uit het jaar 1976 en definieert een aantal gebieden voor verdere analyse naar maatregelen. Voorbeelden zijn de introductie van 'slimme technologie' waarmee juiste werkprocedures worden gestimuleerd, zoals het ontwerp van veilige haken en de introductie van ontwerpaanpassingen waarmee een grotere redundantie geïntroduceerd wordt voor fouten van kraanmachinisten en aanpikkers. Een heranalyse tijdens een latere studie heeft een

Het merendeel van de onderzoeken omvat een periode van enkele jaren tot meer dan een decennium. Behalve periode en land verschillen ook de eindpunten van de onderzoeken. Het Britse onderzoek beschouwt behalve letsel en dodelijke ongevallen ook schade aan materieel en constructies en het laatst genoemde Amerikaanse onderzoek beperkt zich als enige tot dodelijke ongevallen. Opvallend genoeg geven alleen het Finse en het onderzoek van de HSE een trendanalyse.

Drie onderzoeken geven een rangorde van scenario's aan, het Finse (Häkkinen, 1993), het Britse (Butler, 1978) en het Amerikaanse onderzoek (Suruda, 1997; Sheperd, 2000). Het

Britse onderzoek dateert uit een periode van de directe bediening van de kraan en het onderzoek beperkt zich tot de structurele en mechanische defecten van de kraan en de giek. Het Finse en het Amerikaanse onderzoek, dat van latere datum is, laten een verrassende overeenkomst zien in dominante scenario's. Een uitzondering vormt de instabiliteit van de giek, die in het Amerikaanse onderzoek nog steeds hoog scoort. Contact met hoogspanningsleidingen is een scenario dat in al het Amerikaanse onderzoek een belangrijke rol speelt.

Bijeenkomst experts

De expertgroep heeft na het identificeren van de verschillende scenario's per hoofdsenario en subscenario een score gegeven voor de geschatte frequentie van voorkomen. De rangorde van de scenario's zijn weergegeven in tabel 3. Deze tabel wijkt af van de volgorde uit het literatuuroverzicht en van de volgorde uit de GISAI analyse (zie betreffende paragraaf). De indeling is hoofdzakelijk gebaseerd op de productievorm, waarbij naast de kraan, de giek en de last ook het hijsmechanisme als afzonderlijk deel is opgenomen. Opvallend is de aandacht voor de centrale gebeurtenis 'persoon komt binnen

kraanbereik'. Bij geen van de andere bronnen komt dit scenario zo duidelijk naar voren. Een tweede punt zijn scenario's die verbonden zijn met het aanslaan en het begeleiden van de last. Ondanks dat dit onderwerp deel heeft uitgemaakt van de storinganalyse, ontbreken scenario's van dit type bij de experts.

Geautomatiseerde Informatie Systeem van de Arbeidsinspectie (GISAI)

De 'overall' centrale gebeurtenis voor ongevallen met mobiele kranen is gedefinieerd als 'instabiliteit werkzaamheden mobiele kranen'. De bovenstaande indelingen vanuit de literatuur en vanuit de expertmetingen zijn gebruikt om deze centrale gebeurtenis verder onder te verdelen. Deze centrale gebeurtenis kan nader worden gespecificeerd in:

- Instabiliteit last
- Instabiliteit hijsmechanisme
- Instabiliteit kraan
- Instabiliteit giek
- Andere oorzaken

Tabel 2: Overzicht epidemiologisch onderzoek kraanongevallen en -schades

| Referentie | Type onderzoek | Risico's (rangorde) | Details |
|-------------------------------------|---|---|--|
| Häkkinen ea., 1978, 1993 | N=100, ongevallen, toren en mobiel ('76, '90 Finland) 30% afname ongevalsfreq. '76-'90 | 1. Instabiliteit last Killer haken 2 Aanhaken, lossen last 3 Hijsen van personen 4 Op-, afbouw kranen 5 Instabiliteit kraan 6 Toegankelijkheid 7 Instabiliteit giek | Start hijs Hijsbeweging Reven last Hijsgereedschap Persoonhijs met kraan Op-, afbouw, transport kraan Omvallende kraan Onderhoud en reparatie Toegang cabine |
| Butler, 1978 | N=475, schade + ongevallen, toren en mobiel ('70-'74, UK) | 1 Mechanische defecten 2 Instabiliteit kraan 3 Instabiliteit giek 4 Structurele defecten | Hijsmechanisme, -gereedschap Giek over cabine getrokken Weercondities Rijden met last Hijsen buiten hijsvlak Last raakt giek Metaalmoetheid Gebrekkig onderhoud |
| Paques, 1993 | N=262, ongevallen, mobiel ('72-'89, US, Can., Fr.) | Hoogspanningsleidingen | Veel ongevallen bij distributielijnen |
| Hinze ea., 1996 | N=500, ongevallen, toren en mobiel ('85, US) | Hoogspanningsleidingen | Contact via giek, lastkabels |
| HSE, 1996, 1997 | N=283, schade+ongevallen, platformkranen ('81-95, UK) Afname schades, ongevallen | Instabiliteit last | Geen rampscenario's aanwezig |
| Suruda ea., 1997; Sheperd ea., 2000 | N=502, mortaliteit, toren en mobiel ('84-94, US) | 1 Hoogspanningsleidingen 2 Instabiliteit last 3 Instabiliteit giek 4 Hijsen van personen 5 Instabiliteit kraan 6 Op- en afbouw 7 Toegankelijkheid 8 Binnen draaicirkel | Kabelbreuk, hijstechniek Overbelasting Zwaaiende last Killer haken Hijsen buiten hijsvlak Last tegen giek Personenhijs met kraan Instabiliteit ondergrond Op-, afbouw vakwerkgyiek Afladen giek van trailer Toegang cabine Derden |

Tabel 3: Scenario's gerangschikt volgens de expertgroep

| Rangorde | Barrières (gegroepeerd per centrale gebeurtenis) |
|---------------------------------|--|
| INSTABILITEIT KRAAN, ALGEMEEN | |
| 1 | Positioneren kraan, instabiliteit door ontbrekende, suboptimaal gebruik stempels, uithouders |
| 2 | Montage kranen niet conform instructies. Beveiligingen kranen tijdens montage niet operationeel |
| 3 | Hijzen, hijsaanwijzingen zijn misleidend |
| 4 | Instabiele kraan door overbelasting chassis of foutief bandenspanningprogramma |
| 5 | Vorbereiding hijsen, locatie kraan, hijsvoorzieningen (klemmen) niet, onvoldoende vooraf door opdrachtgever voorbereid |
| 6 | Montage telescoopkraan, falende techniek, kraantoren te lang, of ongewild inschuivende giek |
| INSTABILITEIT LAST | |
| 7 | Hijzen, de hijs overschrijdt de veiligheidsmarges |
| 8 | Hijzen, hijsgewicht is te hoog |
| 9 | Rijden met last, traagheidsmoment veroorzaakt zwiepende last als kraan snelheid mindert |
| 10 | 2 haken hijs, trommels van hoofd- en hulphijs lopen niet synchroon, hulpgiel wordt overbelast |
| 11 | Hijzen, last raakt uit hijsvlak |
| INSTABILITEIT GIEK | |
| 12 | Hijzen, overschrijden van maximale vlucht, of maximale giekhoek, of maximale hijshoog |
| 13 | Hijzen bij uitschuivende giek, last raakt de giek, vlucht wordt groter evenals lastmoment |
| 14 | Hijzen, brekende tui- en topkabels door versnelde slijtage |
| PERSOON KOMT BINNEN KRAANBEREIK | |
| 15 | Giek met meerdere giekhoeken, afstandsbestuurde kraan, machinist binnen kraanbereik |
| INSTABILITEIT HIJSMECHANISME | |
| 16 | Hijzen, falende hijstechniek veroorzaakt hijskabel breuk en/of versnelde slijtage kabel |

De instabiliteit van de last, het hijsmechanisme, de kraan en de giek zijn uitgewerkt in twee aparte vlinderdasmodellen. De centrale gebeurtenis van het eerste vlinderdasmodel omschreven als: 'contact met vallende voorwerpen'. Vallende voorwerpen kunnen zowel vallende kranen zijn, vallende kraandelen, bijvoorbeeld de giek, en de last. In het tweede vlinderdasmodel is de centrale gebeurtenis: 'contact met zwaaiende en hangende lasten, en zwaaiende kraandelen (giek en contragewicht)'. De categorie andere oorzaken is zo divers dat het onmogelijk was om daar een speciaal model voor te maken.

Telefonische meldingen

De telefonische meldingen hebben in totaal 742 ongevalcasussen opgeleverd. Deze meldingen bevatten echter te weinig informatie voor een verantwoorde indeling in centrale gebeurtenissen en vaak was het niet duidelijk of een mobiele kraan of een ander type kraan betrokken is geweest bij het ongeval.

Secundaire GISAI gegevens

Het onderzoek is uitgevoerd met 174 ongevalcasussen met mobiele kranen. In tabel 4 zijn de verschillende scenario's gerangschikt, inclusief de falende barrières en een typering van het slachtoffer.

Gezien de criteria waarop de Arbeidsinspectie besluit om een onderzoek in te stellen vallen de ongevallen in de categorie 'zware ongevallen' met ziekenhuisopnames en mogelijk blijvend letsel. Bij negen casussen was er sprake van letsel; met dodelijke afloop. De tabel laat zien dat de meeste ongevallen, meer dan 70%, veroorzaakt worden door een instabiele last.

Voor een onjuiste bevestiging van de last, het verkeerd aanslaan van de hijskettingen of het gebruik van verkeerd hijsgereedschap, en een foutieve positie van de aanpikker leidt vaak tot een ongeval. Bij een instabiliteit van de lading zijn regelmatig werknemers slachtoffer, die niet direct betrokken zijn bij de hijsactiviteiten. Deze ongevallen impliceren allemaal de aanwezigheid van werknemers, die al dan niet betrokken zijn bij de hijswerkzaamheden, binnen het draaibereik van de kraan.

Uit de analyse kwam een geheel nieuwe centrale gebeurtenis naar voren, omschreven als contact met contragewicht of giek. Deze centrale gebeurtenis, die vaker voorkomt dan de instabiliteit van de kraan, geeft aan dat er ongevallen plaatsvinden waarbij iemand geraakt wordt door het contragewicht of door de giek van de kraan wanneer de kraan een draaiende beweging maakt. Bij dit scenario zijn drie barrières aangegeven. Het is gebleken dat in de helft van de gevallen er iets mis is gegaan in de communicatie tussen de kraanmachinist en de persoon buiten de kraan. Dit leidt tot of wel een verkeerde handeling van de machinist, of tot een verkeerde handeling van de persoon buiten de kraan. Deze handeling kan verkeerd zijn in plaats of in tijd. Een fout met handsignalen of portofoons treedt altijd op in combinatie met een andere falende barrière, daarom zijn hier geen slachtoffers weergegeven.

In de tabel is geen onderscheid gemaakt tussen vallende en zwaaiende lasten. Uit de analyse kwam wel naar voren dat bij vallende lasten andere falende barrières dominant zijn dan bij zwaaiende lasten. Bij zwaaiende lading gaat het vaak om bovengenoemde communicatieprobleem tussen kraanmachinist en aanpikker. Het gaat hier om een combinatie van fou-

Tabel 4: resultaten secundaire GISAI gegevens

| Centrale gebeurtenis | Falende barrière | Slachtoffer | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|---|----|----|---|---|------|
| | | N | M | W | A | S | O | Geen |
| Instabiliteit last, n=126 | Onjuiste bevestiging | 45 | 7 | 19 | 12 | | 5 | 2 |
| | Foutieve positie aanpikker | 25 | | 3 | 19 | 3 | | |
| | Foutieve bediening machinist | 18 | 4 | 2 | 11 | 1 | | |
| | Externe factoren | 18 | | 3 | 14 | 1 | | |
| | Handsignalen/portofoons | 16 | | | | 1 | | |
| | Last beveiligingsmechanisme faalt | 6 | | 4 | 1 | | 1 | 1 |
| | Beschadigd equipment | 5 | | 1 | | 1 | 1 | 2 |
| | Overige | 10 | | 9 | | | 2 | |
| Contact contragewicht of giek, n=20 | Handsignalen/portofoons | 10 | | | | | | |
| | Foutieve bediening machinist | 10 | | 5 | 5 | | | |
| | Foutieve positie aanpikker | 9 | | 5 | 4 | | | |
| Instabiliteit kraan, n=13 | Overbelasting | 7 | 4 | 1 | | | | 2 |
| | Instabiele plaatsing | 6 | 2 | 3 | | | | 1 |
| | Overige | 3 | 2 | | | | | 1 |
| Instabiliteit hijsmechanisme, n=9 | Onjuiste bevestiging | 6 | | 1 | 4 | | 1 | |
| | Overige | 3 | 1 | 2 | | | | |
| Instabiliteit giek, n=6 | Verkeerd gebruik van bouten | 3 | 2 | 1 | | | | |
| | Beschadigde giek | 3 | 1 | 1 | | | | 1 |
| | Overige | 1 | | 1 | | | | |

n: aantal casussen
N: falende barrières
M: machinist
W: werknemer, niet direct betrokken bij hijsactiviteiten
A: aanpikker
S: supervisor
O: onbekend
Geen: Geen slachtoffers

tieve bediening van de machinist en een foutieve positie van de aanpikker. Uit de analyse blijkt dat beide aspecten bijna even zwaar meewegen. De foutieve positie van de aanpikker is vaak een gevolg van een reflex om iets te herstellen. Voor vallende lading is de verbinding tussen de last en het hijsgeveerdschap de falende barrière.

Conclusies en discussie

Dominante scenario's

Zowel vanuit de literatuur, de experts en de secundaire GISAI gegevens komen over het algemeen dezelfde type gevaren en centrale gebeurtenissen naar voren; het (verticaal) verplaatsen van de last en de daaruit voortvloeiende last instabiliteit, de instabiliteit van de giek en de kraan. Dit komt overeen met de productiefuncties en -vormen zoals deze in de ontwerptechnische analyse worden beschouwd. Alleen het Britse onderzoek uit (Butler, 1978) onderzoekt uitsluitend de defecten aan de kraan en giek. De toegenomen kwaliteit en veiligheid van de kranen is waarschijnlijk de reden dat de instabiliteit van de kraan als scenario in latere onderzoeken niet meer zo nadrukkelijk aanwezig is. Het verschil tussen Suruda en Häkkinen over de giek instabiliteit is minder goed te verklaren. Duidelijk is wel dat beide onderzoeken aantonen dat instabiliteit van de kraan niet hoog in de rangorde staat.

De rangorde van de scenario's van de secundaire GISAI gegevens is vrij overtuigend door de aantallen. Instabiliteit van de last, inclusief het aanslaan van de last, is zeer dominant en dat wordt ook ondersteund door het onderzoek uit Finland. Verder komen de relatieve positie van de andere scenario's

overeen met de literatuur. Bij de experts wijkt de rangorde van de scenario's af van de twee andere bronnen. Het aanwezig zijn binnen het kraanbereik wordt door experts als erg laag beoordeeld. Toch blijkt uit de analyse van GISAI dat het juist erg vaak voorkomt dat personen zich binnen het draaibereik van de kraan bevinden. Voor het aanslaan en begeleiden is dit te verklaren. Hoewel er genoeg manieren zijn om ook dan buiten het draaibereik van de kraan te zijn tijdens de hijs. De onjuiste bevestiging, wat leidt tot een vallende last, heeft meer impact op werknemers die niet betrokken zijn bij de hijsactiviteiten. Dit toont aan dat in de praktijk nog steeds gehesen wordt over mensen.

Er is een aantal centrale gebeurtenissen, die maar door één of twee bronnen worden genoemd, zoals 'contact contragewicht of giek (GISAI)', 'persoon binnen kraanbereik (experts en literatuur)', 'Hijsen van personen', 'instabiliteit op- en bouw kraan', 'beperkte toegankelijkheid installatie' worden alleen in de literatuur genoemd.

Kwaliteit van de bronnen

De analyse van de secundaire GISAI gegevens heeft veel informatie gegenereerd over mogelijke scenario's, echter de conclusies zijn gebaseerd op absolute aantallen. In het onderzoek is het niet mogelijk gebleken een risicomaat per centrale gebeurtenis vast te stellen. Een tweede tekortkoming van de GISAI registratie is de selectie van het type ongeval. Alleen de zwaardere ongevallen worden geregistreerd en niet de lichtere ongevallen of de incidenten. Dit leidt potentieel tot een vertekening. Daar algemeen wordt aangenomen dat de consequenties van een ongevalsscenario bepaald wordt door de energie

inhoud van het gevaar, is het niet te verwachten dat de verhouding tussen de bovengenoemde centrale gebeurtenissen en dominante scenario's sterk zal wijzigen. Alleen scenario's met een kleinere 'energie inhoud', zoals het hijsen van personen, of de toegankelijkheid van installaties zullen waarschijnlijk in aantal toenemen bij een uitgebreidere incidentregistratie.

De overschatting van de scenario's 'instabiele kraan' en 'instabiliteit giek' door de experts kan twee oorzaken hebben. De storingsanalyse techniek heeft een paar zwakheden; de samenstelling van de groep en de gebruikte presentaties van de activiteiten tijdens de eerste sessie. In de groep waren kraanmachinisten vertegenwoordigd, echter geen aanpikkers waardoor last instabiliteit ondergewaardeerd wordt. Mogelijke vertekening van de resultaten als gevolg van de gebruikte presentaties was vooraf bekend. Daarom is gedurende de eerste sessie gekozen voor een presentatie die alle aspecten van de hijsactiviteiten behandelde.

Bij het overzicht van de literatuur kunnen locale of nationale verschillen een belangrijke rol spelen. Dat is duidelijk te zien bij het Amerikaanse onderzoek, aan de prominente plaats van scenario's waar kranen in contact komen met hoogspanningsleidingen. In Europese landen spelen deze scenario's geen rol van betekenis, daar de distributie van elektriciteit ondergronds geschied.

Risicomaat

In dit onderzoek zijn alleen de absolute aantallen ongevallen gebruikt, daar informatie over blootstelling en de risicopopulatie ontbreken. Gegevens over het aantal kraanbewegingen, het aantal kranen, of de omvang van de risicopopulatie zullen nader bepaald moeten worden, zodat een risicomaat gedefinieerd kan worden.

Dalende trend?

Buitenlandse gegevens over kraanongevallen laten een dalende trend zien over een periode van 14-15 jaar. Een toegenomen aandacht voor de technische veiligheid van kranen zal een rol hebben. Waren vroeger mechanische defecten aan de kraaninstallatie nog dominant, momenteel zijn deze scenario's nauwelijks nog belangrijk. Deze aandacht voor de technische betrouwbaarheid van de installatie heeft ook een positief effect gehad op de veiligheid. De afname kan ook het gevolg zijn van de toegenomen automatisering. Veel kraanbewegingen in de industriële omgevingen zijn vervangen door continue processen. De trend is echter gebaseerd op absolute aantallen en niet op een risicomaat.

Hoewel het aantal ongevallen daalt, zijn de gevolgen vaak erger worden, zoals het voorbeeld van de Big Blue laat zien. Bovendien nemen specifieke ongevals scenario's toe. Doordat er steeds meer gebruik gemaakt wordt van een prefab bouwwijze komen er steeds vaker ongevallen voor met zware bouwlementen (Singleton, 1982; Saari, 1982).

Achterliggende oorzaken

Het onderzoekmodel van het WORM project, de vlinderdas,

maakt het mogelijk om zogenaamde managementfactoren vast te stellen. Deze informatie is nog slechts spaarzaam bekend en van groot belang voor initiatieven ter reductie van de ongevals scenario's. In een toekomstige publicatie zal dit onderwerp de aandacht krijgen.

Spookongevallen

Mobiele kranen zijn complexe installaties en hun aandeel in ernstige en dodelijke ongevallen is hoog. Zo hijsen in de bouw kraanmachinisten vaak onbekende en onstabiele lasten over groepen bouwvakkers heen en lossen ze de last in de directe nabijheid van werkers die niets met de hijsactiviteiten te maken hebben. Incidenten met kranen worden wel eens omschreven als 'spookongevallen' (Häkkinen, 1993; Schexnayder C., 2003). Dit is op zich vreemd, daar de gevaren van kranen al meer dan dertig jaar beschreven zijn. Deze constatering 'we weten al zo lang wat de gevaren en risico's zijn' is regelmatig te vinden in de literatuur en schijnbaar zijn kraanfabrikanten, uitvoerders en toezichthouders niet in staat de ongevals scenario's adequaat te beheersen. De opmerking over spookongevallen impliceert dat dominante scenario's nog geen gemeenschappelijk gedachtegoed in de branche zijn geworden. En dat is een kwalijke zaak en een belangrijke reden waarom hetzelfde type ongeval zich jaar na jaar blijft herhalen.

Nawoord

Het onderzoek waar dit artikel op gebaseerd is, is uitgevoerd in opdracht van de Stichting Toezicht Certificatie Verticaal Transport en gefinancierd door het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

Literatuur

Ale B. Baksteen H. Bellamy L. Bloemhof A. Goossens, L. Hale A. Mud M. Oh J. Papazoglou I. Post J. Whiston J. Quantifying occupational risk: the development of an occupational risk model. 3rd International Conference Working on Safety 2006, The Netherlands (www.wos2006.nl)

Bellamy L. Ale B. Whiston J. Mud M. Baksteen H. Hale A. Papazoglou I. Bloemhof A. Oh J. The software tool Storybuilder and the analysis of the horrible stories of occupational accidents. 3rd International Conference Working on Safety 2006, The Netherlands (www.wos2006.nl)

Butler A. An investigation into crane accidents, their causes and repair costs, Building Research Establishment, Garston, Watford. Crane Today 1978:(62);24-28, 30-31, 1978:(63);28-34, 1978:(65);25-27

CBS, Jaarlijks ongeveer honderd dodelijke bedrijfsongevallen, Webmagazine, <http://www.cbs.nl/nl-nl/menu/themas/mensmaatschappij/bevolking/publicaties/artikelen/2005-1804-wm.htm>, bekeken 13 april 2006

Dickie D. Crane handbook, Butterworths, London, 1975

- Dickie D. Cambell D. Hudson R. Mobile crane manual, Construction Safety Association of Ontario, Butterworths, London, 1985
- JS Online, Milwaukee Journal Sentinel, Accident at Miller Park, <http://www2.jsonline.com/sports/brew/mpark/miller-parklist.asp>, bekeken 25 april 2006
- Fair H. Sale D. Alterman P. Burkart M. Nash W. Kaplan J. Chiaverini J. Crane safety on construction sites, American Society of Civil Engineers, ASCE manuals and reports on engineering practice no. 93, 1993
- Guldenmund F. Hale A. Goossens L. Betten J. Duijm N. The development of an audit technique to assess the quality of safety barrier management, *Journal of Hazardous Materials* 2006;130:234-241
- Häkkinen K. Crane accidents and their prevention, *Journal of occupational accidents*, 1978;1:353-361
- Häkkinen K. Mäkeläinen J. Efficiency and practicability of safety latches in lifting hooks, *Journal of Occupational Accidents*, 1985;7:125-137
- Häkkinen K. Crane accidents and their prevention revisited, *Safety Science*, 1993;16:267-277
- Hale A. Guldenmund F. Barriers and delivery systems, Technische Universiteit Delft, 2003
- Hale A.R. Ale B.J.M. Paas C, Quik J.T. Mud M. Bellamy L.J. Using barrier concepts to understand priorities in the prevention of occupational accidents In Krzysztof Katawrocki (Ed.), *ESREL 2005. Advances in Safety and Reliability* (pp. 775-782), Leiden: A.A. Balkema Publishers, 2005
- Hinze J. Bren D. Analysis of fatalities and injuries due to powerline contacts, *Journal of construction engineering and management*, 1996;122(2):177-182
- HSE, An examination of the number and frequency of serious dropped objects and swinging load incidents involving cranes and lifting devices on offshore installations for the period 1981-1992, HSE report OTO 95959, Sheffield, 1996
- HSE, An examination of the number and frequency of serious dropped objects and swinging load incidents involving cranes and lifting devices on offshore installations for the period 1981-1995, HSE report OTO 95951, Sheffield, 1997
- MacCollum D. Crane hazards and their prevention, American Society of Safety Engineers, Des Plaines, 1993
- Mud M. Baksteen H. Ale B. Bellamy L. Bloemhof A. Hale A. Klein Hesselink J. Oh J. Whitehouse R. From Accident Stories to Bowtie Models. 3rd International Conference Working on Safety 2006, The Netherlands (www.wos2006.nl)
- Paques J. Crane accidents by contact with power lines, *Safety Science*, 1993;16:129-142
- Ribbens K. Verkruisen V. Machinistenwerk. Historische machines voor grondverzet en wegenbouw, Vakvereniging Het Zwarte Corps en Walburg Pers, Zutphen, 1996
- Saari J. Accidents and progress of technology in Finnish industry, *Journal of Occupational Accidents*, 1982;4:133-144
- Schexnayder C., Crane accidents, *Practical Periodical on Structural design and construction*, 2003;67-73.
- Shapira A. Glascock J. Culture of using mobile cranes for building construction, *Journal of Construction Engineering and management*, 1996;122(4):298-307
- Shepherd G. Kahler R. Cross J. Crane fatalities – a taxonomic analysis, *Safety Science*, 2000;36:83-93
- Singleton W. Accident and the progress of technology. *Journal of Occupational Accidents*, 1982;4:91-102
- Suruda A. Egger M. Liu D. Crane related deaths in the US construction industry, 1984-1994. Rocky Mountain Centre for Occupational and Environmental Health. Department of Family and Preventive Medicine. University of Utah School of Medicine. The Centre to protect workers' rights, Washington D.C. 1997
- Swuste P. Wiersma E. Frijters A. Storingsanalyse voor arbeidshygiënist(en)?, *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap*, 2000;13(2):18-23
- Swuste P. Veiligheidsanalyse verticaal transport, mobiele kranen, Sectie Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft, 2005
- VVT (Vereniging Verticaal Transport), Veiligheidsplan verticaal transport op de bouwplaats, Culemborg, 1e versie 1999
- VVT (Vereniging Verticaal Transport), Veiligheidshandboek. Stichting Educatie verticaal Transportbranche, 4e uitgave juni 2002 (1e uitgave 1993)
- VVT (Vereniging Verticaal Transport), Gids Verticaal transport 2004-2005, Culemborg, 2004
- Yakowenko G. Crane accidents. Practical periodical on structural design and construction, American Society of Civil Engineers, May 2003; 67-69
- Zemering C. Swuste P. De scenario audit, Voorstel voor een methode ter preventie van incidenten en rampen in de procesindustrie, *Manuscript Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap*, 2005: 18(4): 79-88