

Samenvatting proefschrift

Safety Management and Risk Modelling in Aviation :The challenge of quantifying management influences

Pei-Hui LIN¹

Luchtvaartveiligheid is zo goed ontwikkeld dat de huidige ongevalsratio voor geplande commerciële vluchten metodelijke slachtoffers onder passagiers in het domein van de 27 EU-lidstaten plus IJsland, Liechtenstein, Noorwegen en Zwitserland ongeveer 3,6 ongevallen per 10 miljoen vluchten is. Vanwege dit lage aantal ongevallen is het lastig voor individuele organisaties zoals luchtvaartmaatschappijen of luchthavens om gebruik maken van informatie afkomstig van ongevallen om hun veiligheidsverbeteringen te sturen. Zij hebben behoefte aan een causaal model om latente storingen verder terug in de tijd en tot op hogere management niveaus te identificeren. CATS (Causal Model for Air Transport Safety ofwel Causaal Model voor Luchttransportveiligheid) is in 2005 opgezet door het Nederlandse Ministerie van Verkeer en Waterstaat als een project om een geïntegreerd risicomodel voor luchttransport voor de gehele vluchtcyclus te ontwikkelen, van (vertrek)poort tot (aankomst)poort. De ervaring opgedaan in CATS wordt gebruikt om de ontwikkeling van een veiligheidsmanagementmodel voor probabilistische risicobepaling te illustreren en om aan te geven wat op de langere termijn verbeterd zou moeten worden aan de huidige gang van zaken.

De algemene structuur van het CATS-model en het managementgedeelte was reeds vastgelegd voordat ik aangenomen werd om aan dit proefschrift te werken. Het was slechts mogelijk om, binnen de tijdsspanne van het project, delen ervan te wijzigen. Bovendien leidde de sterke nadruk op kwantificering binnen CATS, zoals ook het geval is met andere risicomodelen, tot een aantal beperkingen in het managementgedeelte van het model. In dit proefschrift is daarom een stap terug en zijn de aannamen onderzocht die zijn gemaakt bij de oorspronkelijke bedoelingen voor het modelleren van het management in CATS en de beslissingen die zijn gemaakt om deze in praktijk te brengen. Deze betroffen:

1. Heroverwegen van de ontwikkeling van het Nederlandse managementmodel dat wordt toegepast in CATS en het kritisch beschouwen van haar structuur, de aannamen die geleid hebben tot deze structuur, zowel de volledigheid als de juistheid ervan voor toepassing in de luchtvaartsector.
2. Kritische analyse van storingen veroorzaakt door menselijke factoren en technologie op het lagere systeemniveau en hoe deze kunnen worden verbonden met een managementmodel.
3. Verkennen van de beschikbaarheid van data binnen de luchtvaartindustrie over het falen van management, om de risico

implicaties te kwantificeren van verschillende veranderingen in management, om ongevallen te voorkomen. Bevindingen tonen aan dat tot nu toe slechts een beperkte hoeveelheid management informatie beschikbaar is.

4. Kritisch evalueren van kwantificeringsmethoden gekoppeld aan de BBNs en systeemdynamiek. Een eenvoudigere vorm van de elicitatiemethode wordt voorgesteld om de complexiteit van expertbevraging te omzeilen, die de BBN-methode momenteel nodig heeft.
5. De gebieden voor verbetering van managementmodellering en kwantificering (Hoofdstuk 7) bij elkaar brengen om een nieuw geïntegreerd model te bouwen dat voor verder onderzoek wordt voorgesteld en uiteindelijk kan worden gebruikt in een uitbreiding van CATS.

De belangrijkste conclusies en implicaties van het proefschrift kunnen als volgt worden gepresenteerd:

- 1) Een sterkte van het Nederlandse managementsysteem is de formulering van veiligheidsmanagementinvloeden als een set van maatregelen (een management proces) dat systematisch middelen en controles “levert” aan de hardware barrières en/of menselijk gedrag, die door managers kunnen worden gebruikt om risico te beïnvloeden. De concurrente validiteit van het Nederlandse veiligheidsmanagementmodel met betrekking tot andere, bestaande raamwerken die momenteel in de luchtvaart worden gebruikt, is onderzocht. Het is aangetoond dat het model redelijk goed wordt ondersteund. Het Nederlandse managementsysteem zal echter meer vereenvoudigd moeten worden met een grotere aandacht voor de relatie tussen menselijke en technische fouten (Hoofdstuk 2).

CATS bouwde voort op eerdere projecten (I-Risk, Aramis, WORM) om leveringssystemen (delivery systems) te modelleren. Twee systemen met betrekking tot hardware (technologieinterface, technologie-functie) en vijf gerelateerd aan gedrag (procedures, beschikbaarheid, competentie, inzet, communicatie). Afgezien van deze leveringssystemen dient het veiligheidsmanagementsysteem (VMS) op een hoger systeemniveau ook processen te beheren van de “risico (scenario) identificatie, barrière selectie en specificatie”, en processen als “monitoren, terugkoppeling, leren en verandermanagement”.

Echter bleken achter deze betrekkelijke consistentie in de formulering van het model, twee kritieke problemen bij de herziening van de ontwikkeling van het Nederlandse model

¹ Promotie instituut: Delft University of Technology, Safety Science Group email: p.h.lin@tudelft.nl

naar voren te komen, die opgelost moesten worden: 1) geen van de vorige projecten heeft de oorspronkelijke doelstellingen van het modelleren van het management afgemaakt, deels vanwege de beperkte tijdsperiode die beschikbaar is voor dergelijke projecten, maar ook omdat het conceptmodel meer vereenvoudiging nodig had; 2) het huidige Nederlandse model gaf de modelbouwers niet voldoende duidelijkheid over hoe de managementcontroles met de individuele factoren verbonden dienen te worden. De wijze waarop het VMS moet worden verbonden met de technische en menselijke factoren wordt behandeld in Hoofdstuk 7.1, waarin ook de stappen in de leveringssystemen worden duidelijk gemaakt zodat deze een stuk eenvoudiger voor luchtvaartveiligheid uitgewerkt kunnen worden (Hoofdstuk 7.2.1).

Verscheidene modellen die ontwikkeld zijn of toegepast in de luchtvaart, zijn vergeleken met het Nederlandse managementmodel, gebruikt bij CATS om een concurrente en indrukvalideiteit te bepalen. De vergelijkingen met HFACS en SoTerra toonden aan dat de meerderheid van de goed gedefinieerde elementen die deel uitmaken van deze modellen in voldoende mate kunnen worden ondergebracht binnen onze leveringsystemen. Er zijn een aantal slecht gedefinieerde elementen binnen deze modellen waarvan de definities nog steeds zo vaag zijn dat ze niet gemakkelijk kunnen worden vergeleken. Dit geldt met name voor veiligheidscultuur en veiligheidsklimaat, maar ook voor aspecten van management en organisatie op een hoger niveau dan het Nederlandse model systeem momenteel probeert te hanteren. We voerden aan dat de veiligheidsculturele aspecten kunnen worden gereflecteerd in de kracht van het VMS via onze leveringssystemen (Hoofdstuk 7.2.2.8). Daarom kan veiligheidscultuur (in de huidige studies) worden gezien als een maat hoe serieus een bedrijf haar eigen managementproces neemt. Omgaan met andere, meer generieke concepten op een hoger niveau is werk voor de periode na dit proefschrift.

Er zijn studies bij twee luchtvaartmaatschappijen uitgevoerd om te achterhalen of het Nederlandse model alle zaken omvat die VMS' en uitvoeren in luchtvaartmaatschappijen (Hoofdstuk 2.3). Deze toonden aan dat zij die werkzaam zijn in de operatie ook degenen zijn die daadwerkelijk alle functies in de leveringssystemen uitvoeren. Dergelijke veiligheidswerkprocessen zijn zo geïntegreerd in de werkzaamheden van mensen in de operatie, zodat luchtvaartmaatschappijen deze activiteiten niet expliciet lijken te definiëren als onderdeel van hun VMS' en (waar veiligheid proactief beïnvloed wordt). De enige aspecten die duidelijk omschreven worden als een onderdeel van hun VMS' en zijn de "terugkoppeling en leren" en "risicobeoordeling" elementen gedefinieerd in onze leveringssystemen.

2) Een overzicht van de menselijke factoren (human factors) van verschillende ongevallen- en incidentenschema's werd samengesteld om te bezien of het Nederlandse model de controlefuncties kan ondersteunen van al deze menselijke factoren. De geïdentificeerde menselijke factoren werden toegewezen aan concepten op hetzelfde systeemniveau als de leveringssystemen. Dit toonde aan dat twee managementfuncties ontbraken en toegevoegd moesten worden aan de nieuwe versie

van het Nederlandse model. We vonden ook dat de menselijke factoren zoals geformuleerd in de huidige probabilistische kwantificeringsmodellen in het algemeen vrij beperkt lijken, als gevolg van de sterke aandacht voor kwantificeerbaarheid. Daarom geven de factoren die in risicomodellen zoals CATS worden beschouwd geen uitputtend overzicht van factoren die de prestaties van cockpitpersoneel zou kunnen beïnvloeden (Hoofdstuk 3).

Er is geen goed geschikt classificatiesysteem van menselijke factoren gevonden dat voldoende dekkend is binnen een hiërarchische indeling om deze te kunnen toewijzen aan een diepere reeks van organisatorische oorzakelijke factoren. Instrumenten voor gegevensverzameling met betrekking tot menselijke factoren zijn relatief onsystematisch ten aanzien van onze criteria. Vandaar dat een nieuwe taxonomie voor menselijke factoren (Tabel 3.4) voor dit onderzoek is ontwikkeld. Een vergelijking van de menselijke factoren met het Nederlandse model toont een goede overeenkomst aan, maar er moesten extra functies voor 'werkdruk' aan het Nederlandse model toegevoegd worden en 'bekwaamheid en geschiktheid' moest worden opgesplitst. Uit de vergelijking blijkt eveneens dat het huidige Nederlandse model te conceptueel en te generiek is met betrekking tot het oplossen van (het voorkomen van en het omgaan met) menselijke fouten. De gehele analyse in Hoofdstuk 7.2.2 maakt de leveringssystemen op maat voor elk van de nieuwe/gewijzigde categorieën van de factoren in de ongevals- en incidentanalyse.

De menselijke factoren opgenomen in de huidige probabilistische kwantificeringsmodellen zijn ook beoordeeld. De huidige modellering van de menselijke factoren van de bemanning lijkt in het algemeen vrij beperkt. Daarom is de meest belangrijke verbetering die we kunnen voorstellen de modellering van menselijke prestaties in HRA om een beter begrip te krijgen van de relatie tussen de kwalitatief, en over het algemeen goed begrepen, noties en de vertaling ervan in echte, waarneembare en dus meetbare invloeden op risico's en risicobeperking.

3) Daar de managementaspecten van gebreken van vliegtuigen niet op een operationeel niveau zijn uitgewerkt in het CATS-project, zijn de processen "ontwerp en fabricage", "veilige bediening door het cockpitpersoneel" en "onderhoud" slechts conceptueel gemodelleerd, om over de gehele ontwerpcyclus een bevredigende uitvoering van een vliegtuigsysteem te verzekeren in relatie tot zowel het technisch functioneren als de mens-machine-interface (Hoofdstuk 4). Dit werk zou kunnen worden gebruikt voor de verdere ontwikkeling van de modellering in CATS.

4) Vier typen van harde gegevens over luchtvaartprestaties (ADREP, LOSA, EU-OPS, IOSA) werden kritisch geanalyseerd om te laten zien dat slechts een beperkte hoeveelheid managementinformatie tot nu beschikbaar is (Hoofdstuk 5.2). Dit is grotendeels te wijten aan problemen m.b.t. vertrouwelijkheid, ontbrekende gegevens, en het ontbreken van duidelijke, consistente en herkenbare causale raamwerken die ten grondslag liggen aan de dataverzamelingsmodellen. Het is daarom niet mogelijk om enige van deze bronnen te gebruiken

om de relatie te kwantificeren tussen het VMS en menselijke fouten. Om tot een betere inschatting te komen van de waarschijnlijkheid van management gebeurtenissen in het begin van de causale keten zou het zeer behulpzaam zijn als auditgegevens van bedrijven kunnen worden vrijgegeven voor wetenschappelijk onderzoek. Er is een dringende behoefte aan het ontwikkelen van industrie-brede dataverzamelings- en analyseschema's die uitvoerig en onderling uitwisselbaar zijn. Hierdoor zouden data die momenteel zijn opgeslagen in aparte databases systematisch kunnen worden geïntegreerd in het model. Op deze manier zou het mogelijk worden om het algehele gebruik van data te bevorderen en te helpen bij het identificeren van zwakke plekken in het luchtvaartstelsel.

5) Momenteel zijn Bayesiaanse Belief Networks (BBNs) en Systeem Dynamiek twee belangrijke kwantificeringsmethoden om managementfactoren op te nemen in risicomodellen. Deze methoden hebben verschillende sterke en zwakke punten in de kwantificering (Hoofdstuk 5.3 & 5.4). Een aanvullende methode (het combineren van gepaarde vergelijking met de distributievrije, continue BBNs) is in dit onderzoek voorgesteld om het kwantificeren van het Nederlandse management model in CATS te vergemakkelijken (Hoofdstuk 5.5). De experimenten tonen aan dat in het algemeen gepaarde vergelijkingen relatief makkelijker zijn en een meer intuïtievare uitlokkingsmethode is dan de ingewikkelde BBN-vragen. De methode die in dit onderzoek is ontwikkeld kan worden toegepast voor zowel de kwantitatieve variabelen als de kwalitatieve gevalsbeschrijvingen. Het is bijzonder nuttig dat de 'zachte' variabelen in overeenkomst met de realiteit konden worden gemodelleerd van hetgeen door het management op duidelijk aantoonbare manieren kan worden beïnvloed. Echter, de gepaarde vergelijkingmethode houdt geen rekening met de afhankelijkheden tussen managementinvloeden. Het veronderstelt dat deze onafhankelijk zijn (Hoofdstuk 6). Het is daarom van het meeste nut bij het screenen en prioriteren van managementinvloeden.

6) Zoals in de voorgaande paragrafen is aangetoond heeft het Nederlandse model drie belangrijke wijzigingen nodig om te voorzien in een alomvattend model van alle relevante niveaus in de causale keten: a) verduidelijking van de hiërarchische relaties tussen het VMS en bedrijfsactiviteiten; b) verbetering in de gedetailleerde modellering van ieder systeemniveau; en c) verduidelijking van de generieke structuur van de leveringssystemen, die veel eenvoudiger is en gemakkelijker is toe te passen.

a) Een algemeen gestructureerd model (Figuur 7.2) is in dit proefschrift geïntroduceerd om de relatie te verduidelijken tussen het VMS en (menselijke factoren en technische storingen) bij de ongevalsanalyse. De hiërarchische verhoudingen tussen deze worden behandeld als een controleproces. In deze versie van het Nederlandse model, behandelen we veiligheidsmanagement als het toezien dat de interne processen op het operationele niveau (de mens en technologie) correct werken en de individuele factoren die hiermee interfereren tot een aanvaardbaar niveau worden beheerst.

b) De theorieën en bevindingen van het VMS (Hoofdstuk 2),

menselijke (Hoofdstuk 3), en technische factoren (Hoofdstuk 4) zijn in een geïntegreerd en geleed model verwerkt (Figuur 7.3). Niveau 3 beschouwt het managementmodel als het verstrekken van de essentiële middelen en controles naar niveau 2. Dit managementmodel neemt het concept van leveringssystemen aan en de taken binnen elk leveringssysteem. Niveau 2 betreft de (verborgen) interne cognitieve mechanismen van de mens en de vergelijkbare interne werking van de hardware, die tot acties en interacties leiden op niveau 1. Om het VMS meer specifiek in zijn taak te maken van het beheren van kwesties in verband met de onderliggende oorzaken op niveau 2, is een uitgebreide lijst van de menselijke factoren op dat niveau opgesteld (Tabel 8.1) en de functies die daaraan moeten worden gekoppeld door de leveringssystemen, wordt uitvoerig besproken (Hoofdstuk 7.2). Het gedrag van het vliegtuig (niveau 1) wordt beïnvloed door het ontwerp van de instrumentatie van de technische functie en de mens-machine interface (MMI) op niveau 2.

c) De leveringssystemen zijn vereenvoudigd tot een generieke structuur (Figuur 7.4), specifiek uitgewerkt per leveringssysteem om controles en middelen te verstrekken aan de menselijke factoren uit het vorige punt.

Tot slot, dit proefschrift onderzoekt opnieuw op een meer fundamentele manier de plaats en rol van de mens en managementmodellen en hun kwantificering. Gebaseerd op de ervaring van CATS, toont dit proefschrift de uitdaging van het kwantificeren van managementinvloeden aan in risicomodellen in de luchtvaart, maar doet ook voorstellen voor verbetering: een generiek hiërarchisch controlemodel voor luchtvaartveiligheid, een lijst van menselijke en technische factoren die behandeld dienen te worden in risicomodellering in de luchtvaart, een extra manier voor het kwantificeren van veiligheidsmanagement in het risicomodel, en aanbevelingen ter verbetering van de beschikbaarheid van data in de luchtvaart om de relatie te kunnen kwantificeren tussen het VMS en menselijke factoren. Deze aanbevelingen zouden uiteindelijk kunnen worden gebruikt in een uitbreiding van CATS, of in ander onderzoek met vergelijkbare doelstellingen.