

Oscar Terheijden

Veilig afhandelen van procesverstoring tijdens het tunnelboorproces

Onderzoek naar de beheersing van arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen van de meest risicovolle productiefuncties van een tunnelboorproces in slappe bodem.



Fotograaf: Jurriaan Brobbel

Veilig afhandelen van procesverstoringen tijdens het tunnelboorproces

Onderzoek naar de beheersing van arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen van de
meest risicovolle productiefuncties van een tunnelboorproces in slappe bodem

Door

Oscar Terheijden

Management of Safety Health & Environment

aan de Technische Universiteit Delft,

Samenvatting

Nederland kent een infrastructuur met een hoge bezettingsgraad. Het Economisch Instituut voor de Bouw verwacht met de toenemende economische groei en die van stedelijke gebieden een uitdaging met betrekking tot de bereikbaarheid van deze gebieden. Om de impact voor de omgeving te minimaliseren, worden de oplossingen daarvoor steeds vaker gezocht in het ondergronds bereikbaar maken van de stedelijke gebieden in de vorm van tunnelbouwprojecten.

Tunnels kunnen gerealiseerd worden met behulp van tunnelboorteknik. In Nederland wordt deze techniek inmiddels 20 jaar toegepast en is afgestemd op de eigenschappen van de Nederlandse bodem. Het tunnelboorproces in slappe bodem vertoont overeenkomsten met het tunnelboorproces in harde en steenachtige bodem, maar de arbeidsveiligheidsrisico's van deze processen verschillen.

Het tunnelboorproces is tijdens de normale procesgang een continue en beheerst proces. Als er een procesverstoring of onderbreking optreedt, dan dient ingegrepen te worden en wordt de medewerker blootgesteld aan een gevaar. Procesverstoringen zijn hiermee in basis risicovol. Dit onderzoek heeft als doel maatregelen te bepalen die toegepast kunnen worden om procesverstoringen veilig af te handelen. Voor dit onderzoek is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

Welke maatregelen dragen bij om arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen van de meest risicovolle productiefuncties van het tunnelboorproces in slappe bodem te beheersen?

Het onderzoek is gericht op een ontwerp gericht onderzoek en bestaat uit vier fases. In de eerste fase vindt literatuuronderzoek plaats. Tevens wordt gedurende deze fase data verzameld over procesverstoringen van het tunnelboorproces van de oostbuis van de casestudy. In de tweede fase vindt een analyse plaats van de procesverstoringen. Op basis van literatuurstudie worden de procesverstoringen gecategoriseerd en de tijdsduur van de procesverstoring bepaald. Vervolgens wordt het procesverloop, in de vorm van een ongevalspad, van de procesverstoring vastgesteld. Het ongevalspad wordt gevisualiseerd in het softwareprogramma Story Builder, ook worden daarmee de mogelijke maatregelen bepaald. De uitkomst wordt gevalideerd in een bijeenkomst met experts. Samen met de door experts voorgestelde maatregelen, worden maatregelen bepaald die kunnen bijdragen aan het veilig afhandelen van procesverstoringen. Het onderzoek wordt afgesloten met aanbevelingen om de kwaliteit van de maatregelen te verbeteren.

Resultaten

Op basis van de literatuurstudie zijn de belangrijkste productiefuncties bepaald. Per productiefunctie zijn de mogelijke procesverstoringen en ongevalsscenario's geïnventariseerd. Het CUR/ COB rapport uit 1997 geeft het meest volledige beeld van de verstoringen die kunnen optreden. Uit de literatuurstudie blijkt dat de productiefuncties van het boorproces in slappe en harde bodem gelijkenis vertonen, echter zijn de risico tussen deze twee ondergronden verschillend.

Om een uitspraak te doen over de mate waarin een ongevalsscenario risicovol is, zijn het aantal slachtoffers en de blootstellingsduur van belang. De data van het boorproces geeft geen inzicht in de

blootstellingsduur van een gevaar, wel in de tijdsduur van een procesverstoring. De geregisterde duur van de procesverstoring kan afwijken van de werkelijke procesverstoring. De duur van de procesverstoringen is om deze reden aangehouden ter indicatie van de blootstellingsduur aan het gevaar.

De tijdsduur van de procesverstoringen is bepaald op basis van waarnemingsrapporten van de casestudy. Registraties zijn uitgevoerd door medewerkers van de Opdrachtgever, die continu bij het boorproces aanwezig waren. In de periode van 01-02-2018 t/m 23-06-2018 zijn er 6473 waarnemingen geregistreerd.

Uit de waarnemingen blijkt dat 11% van de tijdsbesteding betrekking heeft op procesverstoringen. Procesverstoringen zijn in de meeste gevallen van korte duur. De meeste registraties hebben betrekking op verstopte toevoerleidingen, defecte vijzel en het falen van de logistiek. Procesverstoringen die het langste duren hebben betrekking op afkeur van elementen, falen van de erector en defecte vijzel. Een procesverstoring bestaat uit meerdere activiteiten, waarbij er al dan niet sprake kan zijn van een blootstelling aan een arbeidsveiligheidsrisico. Het bepalen van de blootstellingsduur op basis van de data, vertoont daarom onnauwkeurigheid. Uit de data kan niet herleid worden wat de frequentie is van het optreden van de procesverstoring.

Op basis van de data en gesprekken met de medewerkers van de Opdrachtgever, zijn de ongevalspaden in het softwareprogramma Story Builder gevisualiseerd. Hiervoor is per procesverstoring het blootstellingsscenario bepaald. De visualisatie van de ongevalspaden heeft inzicht gegeven over het verloop van de procesverstoring.

De resultaten zijn gevalideerd met experts van het boorproces. Zij hebben aangegeven welke processen risicovol zijn en welke maatregelen bijdragen aan de beheersing van arbeidsveiligheidsrisico's. Op basis van de vergelijking van het aantal slachtoffers vanuit de referentiedata, de tijdsduur van de procesverstoring, het aantal procesverstoringen per scenario en de beoordeling van de experts kan er geen uitspraak worden gedaan welke procesverstoringen het meest risicovol zijn. De analyses geven allemaal een verschillend beeld.

Conclusies & aanbevelingen

Data-analyses geven geen eenduidig beeld over de mate waarin een procesverstoring en scenario risicovol is. Hierdoor kan niet objectief vastgesteld worden welk scenario het meest risicovol is. De uitwerking van de data-analyse in het visualiseren van het ongevalspad heeft informatie opgeleverd over het verloop van de het ongevalsscenario voor ongevallen met grote impact. Verwacht wordt dat nader onderzoek een gedetailleerder beeld zal geven van het verloop van dit type ongevalsscenario's en daarmee bruikbaar wordt voor toekomstige tunnelbouwprojecten.

Als de ongevalspaden van de procesverstoringen geanalyseerd worden, dan blijken de maatregelen voor de verschillende categorieën analyses een uniform beeld te geven. Doordat de achterliggende factoren in elke bow tie hetzelfde zijn, leiden algemene analyses tot verbeteringen in het beheerssysteem en falende taken. Factoren die in belangrijke mate bijdragen aan een ongevalsscenario zijn:

- het toepassen of het correct gebruik van aanwezige maatregelen;
- het beschikbaar stellen van een barrière door deze correct te ontwerpen of in voldoende mate beschikbaar te stellen;

- uitwerken van plannen en procedures voor specifieke prestatiedoelstellingen zodat taken uniform volgens een vastgestelde werkwijze uitgevoerd worden.

Specifieke analyses leiden tot verbeteringen in het technische systeem. Maatregelen die volgen uit de analyse van het aantal procesverstoringen per scenario hebben betrekking op het falen van gevarezone, verbindingen en fysieke afscherming. Experts geven aan dat de robuustheid van het boorsysteem en eisen aan de diameter van invloed kunnen zijn op de blootstelling van arbeidsveiligheidsrisico's. Deze maatregelen dienen toegepast te worden in de initiatief- en ontwerpfasen van het bouwproces.

Om barrières correct te laten functioneren dient er een systematische benadering in het ontwerpen, toepassen, onderhouden en monitoren van maatregelen toegepast te worden. HAZOP analyses kunnen bijdragen om de betrouwbaarheid bij het ontwerpen van een maatregelen aan te tonen of verbeteren. Managementsystemen op basis van delivery systemen kunnen gebruikt worden voor het borgen van achterliggende factoren. Het toepassen van veiligheidsindicatoren zou in de toekomst toegepast kunnen worden om het functioneren van maatregelen en systemen te monitoren.

Inhoudsopgave

Samenvatting	IV
Terminologie	IX
1 Introductie	1
1.1 Tunnelboorproces	1
1.2 Victory Boogie Woogietunnel	2
1.3 Doel van het onderzoek	3
1.4 Randvoorwaarden	3
1.5 Relevantie van het onderzoek	4
1.6 Leeswijzer	4
2 Literatuurstudie	5
2.1 Arbeidsveiligheidsrisico's bij tunnelbouw	5
2.2 Productiefuncties	6
2.3 Risicoanalysetechnieken	7
2.4 Veiligheidsbarrières	8
2.5 Mijnbouw	10
2.6 Conclusie literatuuronderzoek	10
3 Onderzoeksmethode	13
3.1 Onderzoeksopzet	13
3.2 Introductie en dataverzameling	14
3.2.1 Literatuurstudie	14
3.2.2 Deskresearch	14
3.2.3 Productiedata	14
3.2.4 Data-analyse en validatie	14
3.3 Conclusie & aanbevelingen	14
4 Data-analyse	15
4.1 Dataverzameling en -analyse	15
4.2 Analyse van scenario's in Story Builder	19
4.2.1 Productiefunctie: Ontgraven	20
4.2.2 Productiefunctie: Steunen boorfront	20
4.2.3 Productiefunctie: Afzetten vijzels	21
4.2.4 Productiefunctie: Vullen staartspleet	21
4.2.5 Productiefunctie: Logistiek	22
4.2.6 Productiefunctie: Aanbrengen lining elementen	22
4.2.7 Productiefunctie: Verlengen leidingen en materieel	23

4.3	Meest voorkomende risicovolle gebeurtenissen.....	23
4.3.1	Contact met vallende objecten – van kranen/ hijswerktuigen.....	23
4.3.2	Contact met bewegende delen van een machine	24
4.3.3	Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel	24
4.4	Validatie door expertbijeenkomst	25
4.5	Causaal verband	25
4.6	Veiligheidsbarrières	28
4.7	Conclusie data-analyse	30
5	Conclusie & aanbevelingen.....	32
5.1	Conclusie	32
5.2	Aanbevelingen	33
	Referenties.....	35

Bijlage 1: Story Builder-analyses

Bijlage 2: interview protocol

Bijlage 3: Overzichtstabel risicobeoordeling per procesverstoring

Terminologie

Arbeidsongeval	Ongeval met verzuim binnen 24 uur van 1 dag of langer, ziekenhuisopname, tijdelijk of blijvend letsel of de dood tot gevold.
Barrière	fysieke en niet fysieke manieren om ongewenste gebeurtenissen te voorkomen, controleren en te mitigeren.
BFM	Barrier Failure Mode.
Boorschild	Stalen cilinder voor aan de TBM waar de ontgravingswerkzaamheden worden uitgevoerd.
CE	Central Event, centrale gebeurtenis dat aanleiding geeft tot schade of letsel
Graafkamer	Ruimte vooraan de boormachine waar de losgemaakte grond wordt verzameld.
Graafwiel	Snijwiel dat de grond voor de TBM losmaakt.
Dichtblok	Grondconstructie waar de boormachine doorheen boort, die special geprepareerd is zodat deze voldoende stabiel en waterdicht is.
Erector	Transport of hijsmechanisme dat middels een vacuümsysteem oppikt en verplaatst.
Feeder	Transportmechnisme dat de elementen vanaf de achterzijde van de boormachine naar de voorzijde van de boormachine verplaatst.
LCE	Een Loss of Control Event (LCE) is een gebeurtenis die plaatsvindt wanneer een primaire veiligheidsbarrière faalt. In het ongevalspad is dit de directe oorzaak die leid naar het Center Event (CE).
MSV	Multi Service Vehicle, transportvoertuig dat elementen, grout en materialen van de opslaglocatie naar de TBM transporteert.
Ondersteunenede veiligheidsbarrière	Veiligheidsbarrière die de primaire veiligheidsbarriere ondersteunt.
Ongevalspad	Een ongevalspad is een gedefinieerde route door een structuur van verliesbepalende gebeurtenissen.
Ontvangtschacht	Een bouwput waar de boormachine ontvangen wordt.
Procesverstoring	Verstoring of onderbreking van de productiefunctie.
Primaire veiligheidsbarrière	Veiligheidsmaatregel dat voorkomt dat centrale gebeurtenis zal optreden.
Scenario	blootstelling aan een gevaar en het falen van een barrière, dat uiteindelijk zal leiden tot een directe blootstelling aan het gevaar en als gevolg schade of letsel zal veroorzaken.
Schild techniek	Boormethodiek waarbij gebruik wordt gemaakt van de schildmethode, een stalen cilinder waar de ontgravingswerkzaamheden worden uitgevoerd.
Startschacht	Een bouwput waar de boormachine geplaatst wordt en via een wand en hulpconstructie het graafproces kan aanvangen.
Slurrymengsel	Bentonietmengsel dat vermengd is met afgegraven grond en getransporteerd wordt naar de scheidingsinstallatie op het maaiveld.

Sluitsteen	Laatste element dat ingebouwd wordt om de tunnelring te complementeren.
Staartafdichting	Afdichtingsmechanisme dat bestaat uit borstels of een rubberprofiel, die ter afluiting van de oversnijding tussen de buitenkant van het boorschild en de buitenkant van de gebouwde ring.
TBM	Tunnel Boor Machine, bestaande uit het boorschild en een mobiele fabriek.
Vloeistofschild	Boormethode waarbij het boorfront gesteund wordt door een steunvloeistof.

1 Introductie

Door de toenemende economische groei en die van de stedelijke gebieden voorziet het Economisch instituut voor de Bouw (EIB, 2016) een uitdaging in de bereikbaarheid van de stedelijke gebieden. Er wordt verwacht dat deze gebieden in de toekomst moeilijker bereikbaar worden. Om deze gebieden bereikbaar en aantrekkelijk te houden worden oplossingen steeds vaker gezocht in de aanleg van ondergrondse infrastructuur in de vorm van tunnels.

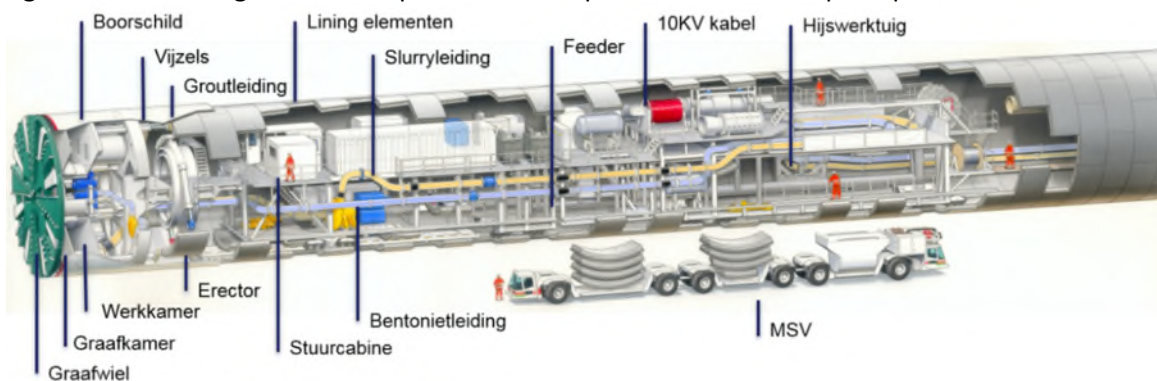
De laatste 20 jaar worden tunnels steeds meer middels boortechneek gerealiseerd. Voorbeelden zijn de Heinenoordtunnel (1999), Hubertustunnel (2008) en de Sluiskiltunnel (2015). Deze tunnels worden geboord met een tunnelboormachine (TBM). Het boren van tunnels is een relatief nieuwe techniek in Nederland. Een belangrijk verschil met buitenlandse boorprojecten is de bodemgesteldheid. In het buitenland wordt door een harde steenachtige ondergrond geboord, in Nederland heeft men te maken met een slappe ondergrond. Deze geologische omstandigheden vereisen een andere boortechneek.

Het merendeel van de tunnels wordt veilig gerealiseerd. In de media wordt periodiek een ongeval gerapporteerd. Aanleiding van deze ongevallen zijn voornamelijk het gevolg van geologische omstandigheden (Lausanne) en calamiteiten als brand (Storebealt Tunnel). Ook medewerkers die betrokken zijn bij de bouw van een tunnel worden blootgesteld aan risico's. De bouw van de Gotthard Base tunnel heeft bijvoorbeeld 9 dodelijke slachtoffers geëist (https://en.wikipedia.org/wiki/Gotthard_Base_Tunnel).

Tijdens een normale procesgang is het boorproces een beheerst en continu proces. In Nederland zijn er in de afgelopen 20 jaar 10 tunnels gerealiseerd (https://nl.wikipedia.org/wiki/Geboorde_tunnel) middels een boortechneek, waarvan 4 verkeerstunnels. De arbeidsveiligheidsrisico's van het boren van een tunnel onder Nederlandse omstandigheden zijn hierdoor in algemene zin bekend. Tijdens het boorproces treden er ook verstoringen op. Deze verstoringen kunnen risicovol zijn voor medewerkers die op de boormachine werken. Momenteel is er geen inzicht in welke procesverstoringen optreden en wat de gevaren zijn van deze procesverstoringen voor medewerkers die betrokken zijn bij het boorproces.

1.1 Tunnelboorproces

Het boren van een tunnel kan met behulp van verschillende technieken. De keuze van de techniek is van vele factoren afhankelijk, o.a. samenstelling van de bodem, lengte en diameter van de tunnel en de toepassing. De tunnels die in Nederland geboord worden, worden middels een schildtechniek gerealiseerd. Een schematische weergave van een tunnelboormachine (TBM) is weergegeven in figuur 1. De werking van dit boorproces berust op het onderstaande principe.



Figuur 1: Schematische weergave TBM inclusief volgagens en MSV

De TBM start vanaf de startschacht en boort naar de ontvangtschacht. De TBM bestaat uit een boorschild, gevolgd door een mobiele fabriek. De totale lengte van de TBM is ongeveer 80 meter. In het boorschild vindt het graafproces plaats en wordt telkens de eerste tunnelring gebouwd. Achter het boorschild bevindt zich de mobiele fabriek. Hier bevinden zich de elektrische-, hydraulische-, besturings- en procesinstallaties die nodig zijn om het boorproces aan te sturen.

Vooraan het boorschild bevindt zich het graafwiel. Het graafwiel graaft de grond vooraan het schild weg. De grond wordt verzameld in de graafkamer. Tijdens het graven wordt de graafkamer gevuld met een bentonietmengsel. Dit mengsel zorgt voor een waterdichte laag van het graaffront. Hierdoor kan er geen water en grond in de graafkamer komen. Het bentonietmengsel regelt tevens de druk in de graafkamer. Doordat de druk in de graafkamer iets hoger is dan de gronddruk, ontstaat er een stabiel boorfront. In de graafkamer wordt vervolgens de grond vermengd met het bentonietmengsel tot een slurymengsel. Door deze vermenging wordt het mogelijk om de grond middels een leidingsysteem te transporteren naar het maaiveld. Op het maaiveld wordt het bentoniet weer van de grond gescheiden door een scheidingsinstallatie. Het bentoniet wordt vervolgens weer hergebruikt in het proces.

Achter het boorgedeelte bevindt zich het gedeelte waar de tunnelbuis gebouwd wordt. De tunnelbuis wordt opgebouwd uit betonnen ringen. Een tunnelring bestaat uit 7 betonnen elementen en een wigvormig sluitsteen. Deze elementen worden op haar plek gepositioneerd door een erector en middels een bout tijdelijk aan elkaar bevestigd. De elementen worden op de plaats gehouden door een vijzel tegen de elementen te plaatsen. Als laatste wordt een wigvormige sluitsteen geplaatst. Nadat de sluitsteen geplaatst is, is de tunnelring voltooid. De ruimte die is ontstaan tussen het boorschild en de ingebouwde ring, wordt opgevuld met een groutmengsel. Na het ringbouwproces wordt het graafproces weer voortgezet. De vijzels zetten zich af tegen de zojuist ingebouwde ring en de TBM kan het boorproces voortzetten. Dit proces wordt herhaald totdat de TBM de sluisconstructie van de ontvangtschacht heeft bereikt.

Bij voortgang van de bouw van de tunnel dienen procesleidingen en kabels verlengd te worden. Na het inbouwen van 2 ringen, worden de procesleidingen (water, lucht, bentoniet, slurry) verlengd en na 5 ringen worden de bouten, die gebruikt zijn als tijdelijke bevestiging, verwijderd. Elke 150 meter wordt de 10KV voedingskabel verlengd.

De aanvoer van elementen en leidingen geschiedt door een Multi Service Vehicle (MSV). Dit voertuig rijdt continu tussen de TBM en de opslaglocatie van het maaiveld. Bij een volledige belading heeft het voertuig een massa van 120 ton.

Op het maaiveld staat de scheidingsinstallatie. Deze installatie scheidt de afgegraven grond van de bentoniet en zorgt ervoor dat de bentoniet hergebruikt kan worden in het boorproces. Op het maaiveld bevindt zich ook de opslaglocatie van de elementen die toegepast worden bij de ringbouw.

De 3 hoofdprocessen (boren, ringbouw en storing/ wachttijd) volgen elkaar op. De ondersteunende processen, zoals aanvoer van elementen en leidingen, verlengen van leidingen, het scheiden van grond/ bentoniet, etc worden gelijktijdig met de hoofdprocessen uitgevoerd.

1.2 Victory Boogie Woogietunnel

Tussen knooppunt Ypenburg en de centrumring van Den Haag wordt een verbindingsweg aangelegd. Het tracé bestaat uit een verdiepte ligging en de Victory Boogie Woogietunnel. De tunnel wordt geboord en is 1640 meter lang. Er worden 2 afzonderlijke tunnelbuizen geboord met een diameter

van ongeveer 12 meter. De tunnelbuizen liggen op een onderlinge afstand van 4 meter van elkaar en zijn met elkaar verbonden door zes dwarsverbindingen. Het diepste punt van de tunnel ligt op ca. 30 meter onder het maaiveld.

De data die gebruikt wordt in dit onderzoek, is gegenereerd tijdens het boren van de oostbuis van de Victory Boogie Woogietunnel.

1.3 Doel van het onderzoek

Het boorproces wordt beschouwd als een beheerst en continu proces. Het proces is repeterend van aard en er is geen direct contact tussen de medewerker en het gevaar. Dit wordt anders als er een storing of onderbreking optreedt. Daarmee stagneert de voortgang van het boorproces. Vanuit productieoverwegingen is er een motivatie om de storing of onderbreking spoedig te verhelpen. Om de storing te verhelpen dient er handmatig ingegrepen te worden in het proces. Door het ingrijpen in het proces kan een medewerker blootgesteld worden aan een gevaar en kan in een ongunstige situatie leiden tot een arbeidsongeval.

Het tunnelboorproces is een specialistische activiteit. Op het gebied van arbeidsveiligheid is nog weinig bekend van dit proces, zeker als het gaat om arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen. Het is onduidelijk welke procesverstoringen er optreden, op welke wijze deze procesverstoringen verlopen, welke gevaren aan deze procesverstoringen verbonden zijn en hoe deze gevaren beheerst kunnen worden.

Het doel van dit onderzoek is om maatregelen te bepalen voor de belangrijkste ongevalsscenario's die, als gevolg van een procesverstoring tijdens het tunnelboorproces, toegepast kunnen worden om de arbeidsveiligheid van de medewerker te verbeteren. Voor het onderzoek is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

Welke maatregelen dragen bij om arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen van de meest risicovolle productiefuncties van het tunnelboorproces in slappe bodem te beheersen?

Om de hoofdvraag te beantwoorden, worden onderstaande subvragen beantwoord:

1. Wat zijn de verschillende productiefuncties bij het boren van een tunnel in slappe bodem?
2. Welke scenario's zijn voorzien voor de verschillende productiefuncties?
3. Welke scenario's zijn er waargenomen tijdens procesverstoringen?
4. Wat zijn de meest risicovolle scenario's ?
5. Wanneer leidt een procesverstoring tot een blootstelling aan een risico?
6. Hoe kan de kwaliteit van een barrière verbeterd worden?

1.4 Randvoorwaarden

Het onderzoek richt zich op arbeidsveiligheidsrisico's, voor medewerkers die werkzaam zijn op of nabij de TBM, bij procesverstoring tijdens het tunnelboorproces in slappe bodem. Het onderzoek heeft betrekking op het boorproces vanaf de aanvoer van elementen door de MSV naar de TBM. De processen die buiten de tunnel plaatsvinden zoals het scheiden van de grond, werkzaamheden in de werkplaats en op het opslagterrein, vallen buiten de reikwijdte van het onderzoek.

Gebeurtenissen als brand, lekkages, instortingen, vastlopen van de TBM, etc. worden gekwalificeerd als calamiteiten en worden daarmee buiten het onderzoek gehouden. Ook het werken in de drukkamer valt, door het voorziene karakter, buiten de scope van het onderzoek.

1.5 Relevantie van het onderzoek

Nederland is de afgelopen jaren in meerdere opzichten gegroeid. Hierdoor zijn stedelijke gebieden in de afgelopen decennia groter geworden, is de welvaart toegenomen en is er meer vraag naar mobiliteit.

Volgens het EIB (2016) zal deze groei aanhouden. Het EIB voorziet tot 2030 een infrastructurele opgave als gevolg van de toenemende mobiliteit. Deze infrastructuuropgave zal volgens het EIB het grootst zijn in gebieden waar de bebouwing het grootst is en de beschikbare ruimte het meest beperkt. De vraag naar mobiliteit en het gebrek aan ruimte geeft aanleiding om mobiliteitsoplossingen te zoeken in de vorm van tunnels.

Het boren van tunnels is een relatief nieuwe activiteit in Nederland. De gevaren, blootstelling aan gevaren en ongevalsscenario's zijn voor deze activiteit nog onbekend. De resultaten van het onderzoek kunnen worden gebruikt om de risico's van toekomstige boorprojecten in Nederland beter te beheersen.

1.6 Leeswijzer

Na de introductie volgt in hoofdstuk 2 een literatuuronderzoek. Het literatuuronderzoek moet inzicht bieden in risico's die verbonden zijn aan het boorproces en de risico-analysemethode. Hoofdstuk 3 beschrijft de methode van onderzoek. De verkregen data uit observaties en de analyse van data wordt beschreven in hoofdstuk 4. Tot slot volgen de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 5.

2 Literatuurstudie

In de literatuur is weinig beschreven over arbeidsongevallen tijdens het boren van een tunnel in slappe bodem en de oorzaken van deze ongevallen. Uit het jaarverslag van Inspectie SZW (2016) blijkt dat de bouwnijverheid tot een van de meest risicovolle sectoren in Nederland behoort. De bouwnijverheid heeft het grootste aantal dodelijke slachtoffers en een hoge kans op een arbeidsongeval met verzuim. Verder details van de ongevals cijfers en oorzaken voor het boorproces zijn niet bekend. Om tot een raamwerk te komen is een literatuurstudie gedaan naar onderwerpen die voor dit onderzoek relevant zijn.

Dit hoofdstuk beschrijft in 2.1 de arbeidsveiligheidsrisico's bij het boren van tunnels. In 2.2 worden de verschillende productiefuncties beschreven. In 2.3 wordt ingegaan op risicoanalysetechnieken en in hoofdstuk 2.4 op veiligheidsbarrières. In 2.5 wordt een vergelijking gemaakt met de mijnbouw. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een conclusie van de literatuurstudie.

2.1 Arbeidsveiligheidsrisico's bij tunnelbouw

Bouwactiviteiten worden uitgevoerd ten behoeve van de realisatie van een tunnel. Het ondergronds bouwen is een complexe activiteit en gaat gepaard met grote risico's en incidenten (Sousa, 2010). Deze risico's uit zich niet alleen in een overschrijding van budget of tijd maar ook in ongevallen, al dan niet met dodelijke afloop. Sousa heeft een analyse gemaakt van 204 ongevallen bij tunnelbouwprojecten. Deze ongevallen hebben voornamelijk betrekking op geologische risico's en omstandigheden en niet op arbeidsveiligheidsrisico's.

Kikkawa, Itoh, Hori, Toyosawa, & Orense (2015) hebben de ongevallen geanalyseerd van Japanse tunnelbouwprojecten. Zij concludeerden dat het aantal ongevallen in de tunnelbouw relatief hoog is, in vergelijking met het aantal ongevallen in reguliere bouwprojecten. Belangrijkste oorzaken van ongevallen zijn vrijwel allemaal gerelateerd aan de boortechniek die gebruikt wordt bij het boren in steenachtige bodem en hebben betrekking op vallende stenen en aanrijdingen met materieel. Ongevallen vinden voornamelijk plaats bij de boorkop en de mobiele installatie.

Volgens Wang, Ding, Love & Edwards (2016) zijn tunnelbouwprojecten complexe socio-technische systemen waarbij productiedruk een negatieve invloed heeft. Het bouwen van een tunnel vraagt een grote investering binnen een bepaald tijdsbestek. Incidenten hebben volgens Wang een grote impact op het budget en planning. Dit kan betekenen dat de kans op een ongewenste gebeurtenis groter is doordat medewerkers productiedruk ervaren. Hierbij is het niet onwaarschijnlijk dat medewerkers meer risico gaan nemen en niet meer volgens vastgestelde werkwijze zullen werken. Tijdwinst zou behaald kunnen worden in processen waarbij betrokkenheid is van medewerkers, bijvoorbeeld bij ringbouw, onderhoud en herstel.

De International Tunnelling and Underground Space Association heeft richtlijnen gepubliceerd om veilig en gezond te werken in tunnels (ITA, 2008). De beeldversie (2011) richt zich op maatregelen om veilig werken tijdens het reguliere proces, inclusief noodsituaties, mogelijk te maken. De publicaties besteedden aandacht aan maatregelen die verbonden zijn aan het boren in harde ondergrond, bijvoorbeeld het vallen van stenen en gebruik van explosieven. Relevante onderwerpen voor het boren in slappe bodem is het beknellingsgevaar bij het installeren van de elementen, werken in een schadelijke atmosfeer, werken op hoogte en aanrijdgevaar van transportmaterieel.

Het boorproces is een proces, waarin er geen direct contact is tussen de medewerker en het gevaar (Swuste, 2003). Bij een procesverstoring dient de medewerker in te grijpen in het proces en daarmee wordt de barrière 'afstand' opgeheven. Doordat de barrière 'afstand' niet meer aanwezig is, wordt de medewerker blootgesteld aan een gevaar. Doordat het boorproces een continu en beheerst proces is, zijn procesverstoringen in basis risicovol.

De blootstelling aan een gevaar en het falen van een of meerdere barrières, dat uiteindelijk zal leiden tot een directe blootstelling aan het gevaar en als gevolg daarvan schade of letsel zal veroorzaken, wordt een scenario genoemd. Het toepassen van scenario's wordt door Swuste als een bruikbare benadering gezien bij het bepalen van de gevaren. Daarbij wordt gesteld dat activiteiten opgedeeld kunnen worden in productiefuncties, en kan per productiefunctie een scenario uitgewerkt worden.

2.2 Productiefuncties

Swuste (2003) stelt dat er verschillende procesparameters zijn die een procesverstoring of -verandering van een productiefunctie kunnen aangeven. Deze parameters hebben betrekking op druk, beweging, ruimte, tijd en snelheid. De relatie van de parameter en de blootstelling aan het gevaar is hierbij niet uitgewerkt. Daarnaast is er nog te weinig ervaring met procesindicatoren die kunnen functioneren als een signaal om grote ongevallen te voorspellen (Swuste, Theunissen, Schmitz, Reniers, & Blokland, 2016).

Voor een tunnelbouwproces in slappe bodem worden de volgende risicovolle productiefuncties benoemd (Swuste, 2003):

- Verticaal transport van materiaal/ lasten in de TBM
- Positioneren van elementen op MSV
- Horizontaal transport van materiaal en personen
- Positioneren van elementen (ringbouw)
- Verlengen van rails en procesleidingen

Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving/ Centrum Ondergronds Bouwen (CUR/COB, 1997) heeft een risicoanalyse uitgevoerd van de verschillende bouwfases van een tunnel in slappe bodem. Hierbij is middels een foutenboom, in detail, geanalyseerd welke afwijkingen kunnen optreden tijdens het bouwproces en is op systematische wijze nagegaan wat er mis kan gaan. Hierbij is per activiteit nagegaan welke onderbrekingen zouden kunnen optreden. Een onderbreking kan plaatsvinden als een geplande situatie (onderhoud) of als een niet geplande situatie (storing). In de uitwerkingen van de foutenbomen gaat men uit van drie situaties (graven, plaatsen elementen en stilstand) en totaal 11 activiteiten (ontgraven, steunen boorfront, afzetten vjzels, vullen staartspleet, logistiek, scheiding/ bereiding bentoniet, meten alignment, verlengen materieel/ materiaal, onderhoud en gebouwde tunnel). Elke situatie bestaat uit verschillende activiteiten.

In het rapport worden de volgende hoofd- en deelprocessen onderscheiden:

Procesonderdeel		
Graven	Plaatsen elementen	Stilstand(Onderhoud/ obstakel/ boorstop)
Activiteit		
• Ontgraven • Steunen boorfront • Afzetten vijzels • Vullen staartspleet • Logistiek • Scheiding • Meten Alignment • Gebouwde tunnel	• Steunen boorfront • Afzetten vijzels • Logistiek • Scheiding • Plaatsen elementen • Verlengen materieel • Gebouwde tunnel	• Steunen boorfront • Afzetten vijzels • Logistiek • Scheiding • Onderhoud • Gebouwde tunnel

In het CUR/COB rapport is er activiteit een mogelijke afwijking bepaald. De afwijkingen zijn vervolgens ingedeeld per activiteit, situatie en stabilisatiemethode van het boorfront. De analyse heeft plaatsgevonden middels een FMEA voor de parameters kostenverhoging, vertraging, kwaliteitsverlies, milieu-en omgevingsschade en slachtoffer(s) en gezondheidsschade.

Op basis van de FMEA- analyse zijn de dominerende activiteiten per topgebeurtenis bepaald. In de publicatie wordt geconcludeerd dat al dan niet gepland onderhoud en werken onder bijzondere omstandigheden de grootste bijdrage levert aan de faalkans. De kans op slachtoffers bij werkzaamheden aan de voorkant van het boorschild, waarbij het boorfront gesteund wordt onder luchtdruk, is aanzienlijk hoger dan bij normale productie.

Hyun, Min, Choi, Park, & Lee (2015) hebben de risico's van ongewenste (technische) gebeurtenissen bij schild-TBM tunnelbouw geïdentificeerd en geanalyseerd. Hierbij werden vier categorieën risicofactoren gehanteerd: storingen bij de boorkop, vastlopen van TBM, afvoer materiaal/ boorgrond en beschadigingen aan elementen. Eenvoudige verstoringen en schoonmaakwerkzaamheden zijn niet in het onderzoek meegenomen. Voor risicofactoren is een risicoanalyse middels een fault tree-analyse uitgevoerd. De analyse heeft niet als doel gehad om de arbeidsveiligheidsrisico's in kaart te brengen, maar geeft wel aan waar de belangrijke procesverstoringen plaatsvinden. Daarnaast werd in het onderzoek vastgesteld dat de analysemethode valide is voor het identificeren en beheersen van risico's in tunnelbouwprojecten. Er wordt geconcludeerd dat de ongeschiktheid van het processysteem, de beschadiging van elementen, uitlijningssysteem en storingen aan transportbanden de voornaamste risico's waren.

2.3 Risicoanalysetechnieken

Er zijn verschillende risicoanalyse en incidentanalysetechnieken beschikbaar. Bekende technieken zijn bijvoorbeeld FTA, ETA, HAZOP, etc. De Guidelines for tunnelling risk management (Eskesen, Tengborg, Kampmann & Holst Veicherts, 2004) beschrijft een model voor risicomanagement voor tunnelprojecten in de ontwerpfase, aanbestedingsfase en realisatiefase. De richtlijn stelt dat gevaren in een vroege bouwphase geïdentificeerd dienen te worden en mitigerende maatregelen bepaald dienen te worden. In de richtlijn zijn arbeidsveiligheidsrisico's meegenomen. De richtlijn benoemt een aantal methodieken die geschikt zijn om toe te passen voor het risicomanagement voor tunnelprojecten. De richtlijn beschrijft de fault tree-analyse, de event tree-analyse, de decision tree analyse, multirisk en de montecarlo analyse als geschikte methodes.

Een andere analysemethode is een model van de WORM Metamorphosis Consortium (WORM, 2009) dat door het RIVM gepubliceerd is. WORM (2009) is een model voor kwantitatieve risicoanalyse voor arbeidsveiligheid. Het model is gebaseerd op 9.142 ongevalsrapporten van meldingsplichtige incidenten (ziekenhuisopname, blijvend letsel en overlijden) van de arbeidsinspectie (nu Inspectie

SZW) in de periode 1998-2004. Het model is gebaseerd op een gevaar, waarbij de combinatie van gebeurtenissen resulteert in een ongeval met specifiek gevolg.

De ongevallen zijn onderverdeeld in 36 type ongevalsscenario's en geanalyseerd, inclusief de gegevens over de ongevallen en blootstellingsgegevens. De combinatie van ongevallen en blootstelling wordt gebruikt als basis voor de kwantificatie voor het risico.

Deze analyse van de ongevallen heeft plaatsgevonden met een speciaal ontwikkeld softwareprogramma: Story Builder. In het model staat telkens één gebeurtenis centraal en daarom is gekozen om gebruik te maken van het bow tie-model. De software bleek een krachtige tool te zijn in de registratie, structurering van ongevalsinformatie, analyse van ongevallen en de kwantificering van incidenten (Bellamy L. , et al., 2007).

Safety barrier-diagrammen, zoals bow-ties, zijn een samenstelling van een fault tree en event tree, waarbij de centrale gebeurtenis en veiligheidsbarrières zijn weergegeven in een diagram (Duijm, 2009). De bow tie is een populaire analysetechniek waarbij ongevalsscenario's geanalyseerd kunnen worden. Aan de linkerkant van het model staan de gebeurtenissen die kunnen leiden tot de centrale gebeurtenis weergegeven en aan de rechterkant de gevolgen. In het model kunnen combinaties van gebeurtenissen worden weergegeven. Deze combinaties kunnen uniek zijn of deels hetzelfde verloop kennen en tonen een chronologisch verband of een oorzaak en gevolg verband. Het is gebleken dat het analyseren van ongevallen middels deze methodiek bijdraagt aan het vaststellen van de combinaties van gebeurtenissen of inzicht geeft in deze combinaties (WORM, 2008)

Het WORM-model is eerder toegepast bij het kwantificeren van de arbeidsveiligheidsrisico's van werkzaamheden tijdens de bouw van een tunnelproject in harde bodem (Aneziris, Papazoglou, & Kallianiotis, 2010). Er wordt gesteld dat deze methode veel potentie heeft en gebruikt kan worden in projecten waarbij beperkte informatie is over gerapporteerde ongevallen en blootstelling. Tevens wordt opgemerkt dat blootstelling aan het gevaar een belangrijke factor is in de risicobepaling.

Story Builder is een tool die incidenten analyseert en ondersteunt in het bepalen van de strategie om maatregelen te bepalen (Bellamy, et al., 2007). Deze tool maakt gebruik van het bow tie model en de data van ongevalsgegevens zoals bekend bij I-SZW, voorheen arbeidsinspectie. Op basis van het model en de data kunnen ongevalspaden inzichtelijk gemaakt worden en dominante scenario's vastgesteld worden. De tool wordt breed toepasbaar geacht om incidenten te analyseren en scenario's te voorspellen. Als vele ongevallen van hetzelfde type worden vergeleken, dan blijken de ongevalspaden in grote mate overeen te komen. De gekwantificeerde scenario's tonen de frequentie van de ongevalspaden die behoren bij de centrale gebeurtenis.

Story Builder is in staat om inzicht te geven in structurele oorzaken van incidenten doordat een grote groep van incidenten geanalyseerd kan worden (Ale, et al., 2008). Er zijn echter wel beperkingen bij het vergelijken van resultaten. Zo kunnen alleen risico's met elkaar vergeleken worden en niet aantal slachtoffers. Ook dient in de vergelijking rekening te zijn gehouden met het aantal gebeurtenissen in relatie tot de blootstelling.

2.4 Veiligheidsbarrières

Veiligheidsbarrières zijn fysieke en/of niet-fysieke voorziene middelen om ongewenste gebeurtenissen of ongevallen te voorkomen, beheersen en te mitigeren (Sklet, 2006). Barrières kunnen worden toegepast vanuit het energiemodelperspectief en vanuit het procesmodel perspectief. Hierbij richt het energiemodel zich op het voorkomen van ongevallen en het

procesmodel op het procesverloop. Barrières kunnen onderverdeeld worden in passief/ actief, fysiek & technisch/ handmatig, continue beschikbaarheid en monitoring/ niet-continue beschikbaarheid en monitoring. Daarnaast worden de volgende prestatie-eigenschappen onderscheiden:

- functionaliteit/effectiviteit;
- betrouwbaarheid/ beschikbaarheid;
- reactietijd;
- robuustheid;
- startvoorwaarde/-conditie.

WORM (2008) stelt dat primaire veiligheidsbarrières worden onderhouden door beheerssystemen en technische systemen. Beheerssystemen (procedures, uitrusting, beschikbaarheid, etc.), zijn verbonden aan taken (verschaffen, gebruiken, onderhouden, etc.). De beheerssystemen en taken onderhouden ondersteunende veiligheidsbarrières, die op hun beurt primaire veiligheidsbarrières onderhouden. Beheerssystemen en taken vormen het managementsysteem en ondersteunende veiligheidsbarrières en primaire veiligheidsbarrières maken deel uit van het technische systeem. Volgens WORM zijn er vele combinaties van falende beheerssystemen en taken, maar stelt dat er meestal een aantal dominante combinaties van onderliggende redenen die zijn aan te wijzen voor een falende barrière.

Door Brandmann, Chromy & Haack (2005) worden maatregelen beschreven die genomen dienen te worden tijdens de bouwphase van een tunnel om de gevolgen van een incident voor medewerkers te kunnen beperken. Het gaat hierbij om gebeurtenissen zoals brand, overstromingen en instortingsgevaar. Voorbeelden die genoemd zijn, zijn o.a. overlevingscontainers, watergordijnen, communicatiesystemen, etc... Deze maatregelen hebben vooral betrekking op het beperken van de schade bij een calamiteit.

De oorzaken van kleine ongevallen verschillen van de oorzaken van grote ongevallen (Winge & Albrechtsen, 2018). Het is niet mogelijk om kleine ongevallen te voorkomen door maatregelen toe te passen op basis van de oorzaken die ten grondslag liggen aan ongevallen met grote impact. Daarnaast laat de analyse zien dat ongevallen waarbij maar 1 fysieke barrière aanwezig was, te voorkomen waren door het toepassen van meerdere fysieke barrières. Hierbij zou het belangrijk zijn om verschillende barrières toe te passen voor de verschillende risicobronnen.

Procesindicatoren kunnen een aanvullend instrument zijn om veranderingen in het risiconiveau van het proces aan te geven (Swuste et al., 2016). Vermoedelijk is er een scenario/ barrier indicator-relatie. Er is nog weinig bekend over het voorspellende karakter van veiligheidsindicatoren. Er is meer ervaring nodig om de werking van deze relatie aan te tonen. Om procesindicatoren te bepalen zou eerst een selectie kunnen worden gemaakt van de meest bepalende ongevalsscenario's. Veiligheidsindicatoren die geassocieerd zijn met de kwaliteit van barrières, scenario's en de effecten van de te nemen beslissingen lijken het meest voor de hand te liggen.

Veiligheidsbeheerssystemen worden toegepast om risico's van processen te beheersen (Li & Guldenmund, 2018). Het toepassen van een veiligheidsmanagementsysteem op basis van het delivery system-model zou een efficiënte manier zijn om de prestaties van managementfactoren te meten en de barrières te managen. (Li, Guldenmund & Aneziris, 2017)

2.5 Mijnbouw

Het tunnelboorproces vindt haar oorsprong in de mijnbouw. Mijnbouw is een risicovolle activiteit met een hoog arbeidsveiligheidsrisico (Verma & Chaudhari, 2017). Onveilige handelingen door medewerkers zijn de meest bepalende factor in de ontwikkeling van ongevalsscenario's. Onvoldoende vaardigheden zouden de grootste bijdrage leveren aan het ongevalsscenario.

In de mijnbouw worden TBM's toegepast voor het realiseren van verticale tunnels (Tang, et al., 2018). Het toepassen van TBM in de mijnbouw draagt bij aan een veiligere werkomgeving mits er maatregelen worden genomen om explosies, als gevolg van het vrijkomende gas, te voorkomen.

Overeenkomsten tussen de mijnbouw en een tunnelboorproces zijn er nog wel, maar de processen vertonen momenteel grote verschillen. De mijnbouw is gericht op maximale extractie van grondstoffen, veelal in harde ondergronden en op grote dieptes. De verstoring van de omgeving speelt een minder belangrijke rol. De risico's zijn voornamelijk groot bij het realiseren van horizontale gangen. Het transporteren van zware en grote apparatuur, zoals TBM's, naar grote dieptes is een extra moeilijkheid. Als er geen TBM's worden gebruikt, worden de gangen daarom meestal gerealiseerd door gebruik te maken van springstof en door hakwerkzaamheden. De werkmethode lijkt daarom meer op het drill and blast- principe.

2.6 Conclusie literatuuronderzoek

Het tunnelboorproces is in het algemeen een continu en beheerst proces. Ondanks het beheerste karakter zijn er incidenten gerapporteerd. In de literatuur is er voornamelijk aandacht voor gevolgen van de geologische risico's die behoren bij een tunnelboorproces en niet voor arbeidsveiligheidsrisico's

In het domein van arbeidsveiligheid zijn voornamelijk publicaties beschikbaar waarbij het boorproces heeft plaatsgevonden in harde- en steenachtige ondergronden. Deze publicaties geven inzicht in verschillende onderdelen van het realisatieproces en productiefuncties, echter is de overeenkomst met de risico's die horen bij het boorproces in slappe bodem minder sterk.

CUR/COB heeft in 1997 een risicoanalyse voor de realisatie van boortunnels in slappe bodem uitgewerkt en geeft inzicht in de procesverstoringen per activiteit. Alhoewel het rapport in eerste instantie niet uitgaat van de parameter 'arbeidsveiligheidsrisico', geeft het wel het meest volledige overzicht van de verschillende productiefuncties. Het rapport concludeert dat procesverstoringen de grootste bijdrage leveren aan de faalkans en bevestigt daarmee de bevinding van Swuste (2003) dat procesverstoringen risicovol zijn.

Ongevalsscenario's zijn bepalend voor de blootstelling aan een arbeidsveiligheidsrisico. Het toepassen van scenario's per productiefunctie wordt als een bruikbare methode gezien om inzicht te krijgen in omstandigheden die leiden tot een blootstelling aan een arbeidsveiligheidsrisico.

De ITA beschouwt een fault tree-analyse en de event tree-analyse als valide analysemethode (Eskesen et al., 2004). Een bow tie als samenstelling van deze twee analysemethoden, wordt dan ook als een valide methode voor tunnelbouwprojecten beschouwd. Story builder is gebaseerd op het scenarioprincipe van de bow tie en wordt geschikt geacht als analyse-instrument. Daarnaast bevat deze software referentiegegevens van arbeidsongevallen in Nederland. Doordat er geen gegevens zijn van arbeidsongevallen van tunnelboorprocessen, is Story builder de meest bruikbare dataset.

Veiligheidsbarrières dienen ervoor te zorgen dat ongewenste gebeurtenissen of ongevallen plaatsvinden. Om de juiste veiligheidsbarrières te bepalen dienen, door het verschillend verloop van het ongevalsscenario, gebeurtenissen van ongevallen met zowel kleine als grote impact geanalyseerd te worden. Daarnaast is het van belang om te kijken naar het aantal slachtoffers en de blootstellingsduur.

Bij het bepalen van maatregelen wordt het niet zinvol geacht om maatregelen uit de mijnbouw toe te passen in het tunnelboorproces. De processen en het uiteindelijke doel tonen te weinig overeenkomsten. Het wordt wel zinvol geacht om naar de wijze waarop veiligheidsbarrières worden toegepast in de procesindustrie te onderzoeken.

Subvraag 1: Wat zijn de verschillende productiefuncties van het boren van een tunnel in slappe bodem?

Het realisatieproces van een boortunnel kent verschillende onderdelen. Deze verschillende onderdelen worden productiefuncties genoemd. Het realisatieproces van boortunnels in harde en slappe bodem wijkt van elkaar af, maar kent ook grote gelijkenis. Voor het boren in slappe bodem omvat het CUR/COB rapport (1997) de meest gedetailleerde uitwerking van het boorproces. Het rapport beschrijft 3 situaties van het boorproces, te weten: graven, plaatsen elementen en onderhoud/obstakel/ boorstop. Deze situaties zijn weer onderverdeeld in activiteiten, ofwel productiefuncties. De volgende productiefuncties onderscheiden:

- Ontgraven
- Steunen boorfront
- Afzetten vizels
- Vullen staartspleet
- Logistiek
- Plaatsen elementen
- Verlengen materieel
- Onderhoud

Subvraag 2: Welke scenario's zijn voorzien voor de verschillende productiefuncties?

Het CUR/COB rapport geeft op detailniveau een uitwerking van de afwijkingen per activiteit c.q. productiefunctie. De conclusie van de FMEA analyse is dat het falen van activiteiten wordt gedomineerd door gebeurtenissen als gevolg van gepland en niet gepland onderhoud. Deze bevinding bevestigt dat een blootstelling aan een gevaar te verwachten is bij een procesverstoring.

Vanuit het literatuuronderzoek wordt vooralsnog uitgegaan van de verstoringen zoals deze benoemd zijn in het CUR/COB rapport. Dit rapport geeft het meest volledige beeld. Storingen zoals benoemd in het CUR/COB rapport worden ook bevestigd door andere publicaties.

Per productiefunctie zijn de meest waarschijnlijke en relevante scenario's geselecteerd die benoemd zijn in Story Builder.

Productiefunctie volgens indeling CUR/ COB	Mogelijke verstoring volgens andere literatuur	Referentie	Voorziene relevant scenario bij blootstelling tijdens procesverstoring op basis van Story Builder.
Ontgraven	- Vastlopen TBM - Storing bij boorkop - Vallen van stenen	A, C, D	- Contact met bewegende delen van machine - Blootstelling aan schadelijke atmosfeer - Contact met gevaarlijke stof bij lekkage
Steunen boorfront		A	- Contact met bewegende delen van pomp - Contact met gevaarlijke stof
Afzetten vizels		A	- Contact met gevaarlijke stof van vizels - Contact met bewegende delen. - Contact met vallend object voordat vizel faalt
Vullen staartspleet			Contact met gevaarlijke stof bij reiniging
Logistiek	- Toe- en afvoerleiding verstopt - Ongecontroleerde beweging transport apparatuur - Positioneren van elementen op MSV - Afvoer van materiaal - Aanrijden materieel - Verticaal transport van materiaal/ lasten in de TBM - Horizontaal transport van materiaal en personen	A, B, C,E	- Contact met procesvloeistof leiding verstopt is raken. - Geraakt worden door voertuig of object - Geraakt worden door vallend object - Contact met hangende last - Beknelling tussen machine en ander object - Door contact met materiaal/ lasten doordat deze verplaatst worden in de TBM.
Plaatsen elementen	- Bedieningsfout - Erector faalt - Instream water tijdens verwijderen afgekeurd element - Positioneren van elementen (ringbouw) - Defecten aan elementen - Werken op hoogte	A, C, E	- Contact met vallende objecten - Contact met handgereedschap - Medewerker valt van hoogte bij werkzaamheden aan een element.
Verlengen materieel	- Lekkage aan leidingen - Hijswerktuig faalt - Verlengen van transportvoorzieningen en procesleidingen	A, B	- Contact met bewegende delen van de kraan - Contact met vallend object bij het hijsen van leiding de MSV naar de TBM - Blootstelling aan mengsels - Contact met onder spanning staande onderdelen
Onderhoud	- Lekkage langs drukschot - Brand door werkzaamheden - Voorzieningen voor personeel in mengkamer vallen weg - Werken in schadelijke atmosfeer - Kleine storings- en onderhoudswerkzaamheden	A, D, E	- Door onderhoud/ herstelwerkzaamheden ontstaat er brand - Door emissie worden medewerkers blootgesteld aan schadelijke atmosfeer. - Contact met elektriciteit door storing aan het elektrische systeem - Door storing vallen ondersteunende systemen uit (computersysteem).

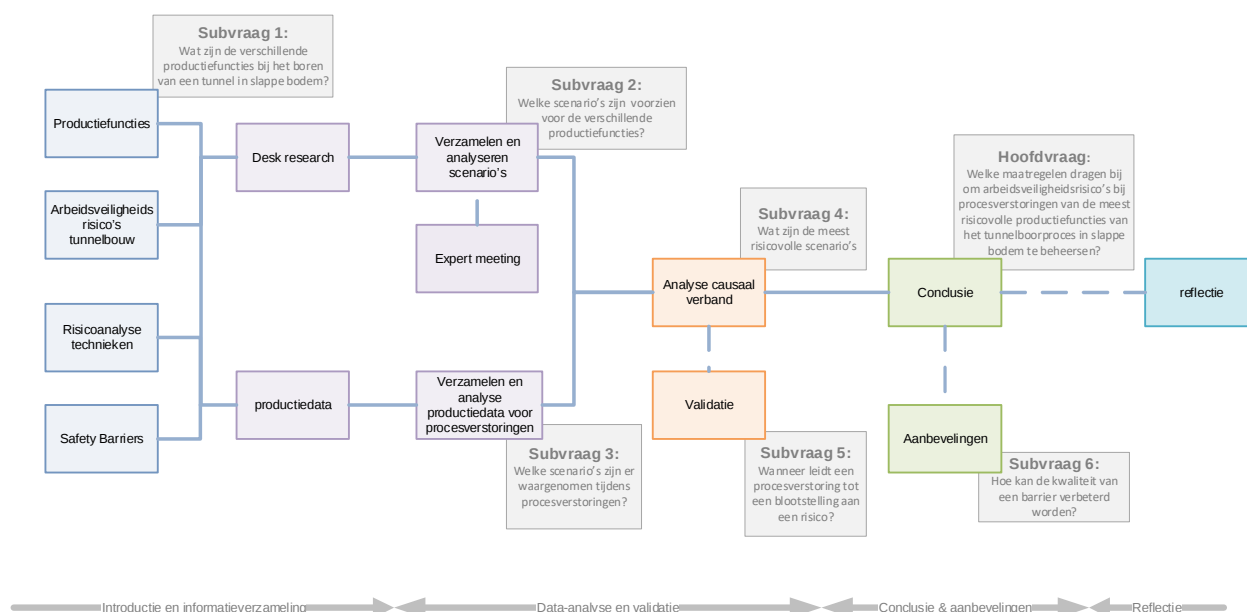
- A. CUR/COB (1997)
B. Sewuste (2003)
C. Hyun, Min, Choi, Park, & Lee (2015)
D. Kikkawa, Itoh, Hori, Toyosawa, & Orense (2015)
E. ITA (2008)

3 Onderzoeksmethode

Dit hoofdstuk beschrijft de onderzoeksmethode, de wijze waarop de data wordt verkregen en geanalyseerd wordt en de validatie van de resultaten.

3.1 Onderzoeksoptzet

Het onderzoek is gebaseerd op een ontwerpgericht onderzoek (Verschuren & Doorewaard, 2015) met als doel inzicht te krijgen welke processtoringen kunnen leiden tot blootstelling aan een gevaar en te bepalen welke barrières ervoor zorgen dat medewerkers veilig de procesverstoring kunnen afhandelen. Het onderzoeksmodel is in figuur 2 weergegeven.



Figuur 2: onderzoeksmodel

Het onderzoek zal bestaan uit 4 fasen. Er wordt gestart met een introductie en dataverzameling. Deze fase moet middels een literatuuronderzoek inzichtgeven in de verschillende productiefuncties en de risicovolle scenario's die op voorhand zijn voorzien en de analysemethode. Daarnaast wordt data verzameld van het boorproces van de casestudy. In de volgende fase wordt de data van het productieproces geanalyseerd en gecategoriseerd naar procesverstoring. Van de verschillende procesverstoringen wordt vervolgens het ongevalspad gevisualiseerd in het softwareprogramma Story builder. De gegevens van de ongevalspaden zullen vergeleken worden met de gegevens van ongevallen vanuit Story builder. Resultaten worden geëxporteerd en geanalyseerd in het software programma Excel. Op basis van de resultaten van de analyse uit Story builder en de blootstellingsduur, dient herleid te worden in hoeverre een scenario risicovol is. In een bijeenkomst met experts worden de blootstellingsscenario's gevalideerd. Vervolgens wordt bepaald welke maatregelen effectief zijn om de arbeidsveiligheid tijdens procesverstoringen te beheersen. In de derde fase zullen op basis van de resultaten de conclusies vastgesteld worden.

3.2 Introductie en dataverzameling

De introductiefase en dataverzameling bestaat uit literatuuronderzoek, een bureaustudie naar de ongevalsscenario's per productiefunctie en het verzamelen van productiedata.

3.2.1 Literatuurstudie

Uit de literatuurstudie blijkt dat het boren van tunnels potentieel een risicovolle activiteit is. Er zijn voornamelijk incidenten bekend bij het boren in harde bodem. Er is geen literatuur beschikbaar die inzicht geeft in incidenten bij het boren in slappe bodem en tijdens procesverstoringen. De literatuurstudie is uitgewerkt in hoofdstuk 2.

3.2.2 Deskresearch

De deskresearch moet inzicht geven in de procesverstoringen die kunnen optreden en het mogelijke ongevalsscenario. Het resultaat is een overzicht van de productiefuncties met bijbehorende scenario's.

3.2.3 Productiedata

Tijdens het boorproces worden de gebeurtenissen en omstandigheden van het boorproces vastgelegd. Deze registraties worden door medewerkers van de Opdrachtgever, die aanwezig zijn op de TBM, geregistreerd in waarneemrapporten.

De data dient inzicht te geven welke procesverstoringen zich hebben voorgedaan en op welke wijze de procesverstoringen zijn verlopen. Er is sprake van een procesverstoring als de productiefunctie wordt onderbroken. Processen die buiten de boortunnel plaatsvinden of het karakter van een calamiteit hebben vallen buiten het onderzoek.

De informatie uit het waarneemrapport zal inzicht moeten geven of medewerkers zijn blootgesteld aan gevaren, de wijze waarop de blootstelling heeft plaatsgevonden en de duur van de blootstelling.

3.2.4 Data-analyse en validatie

Op basis van het literatuuronderzoek zijn de belangrijkste productiefuncties en de relevante centrale gebeurtenissen vastgesteld. Vanuit het programma Story Builder worden de bow tie's, die behoren bij de betreffende centrale gebeurtenissen, geselecteerd. Het verloop van de blootstelling aan het gevaar wordt als ongevalspad in de bow tie weergegeven. Het verloop van het ongevalspad dient inzicht te geven in de wijze waarop medewerkers worden blootgesteld aan de risico's bij een procesverstoring. De referentiedata uit Story Builder dient inzicht te geven, op basis van het aantal slachtoffers per type incident, in de mate waarin de procesverstoring risicovol is. De referentiedata uit Story Builder heeft betrekking op ongevallen met grote impact. Dit onderzoek richt zich om deze reden op ongevalsscenario's voor ongevallen met grote impact.

Om vast te stellen of de verkregen resultaten betrouwbaar zijn, worden deze in een bijeenkomst met experts gepresenteerd en gevalideerd. Uit de bijeenkomst zou tevens moeten blijken wat nog verder relevante ongevalsscenario's zijn en welke maatregelen relevant zijn om deze risico's te beheersen.

3.3 Conclusie & aanbevelingen

Op basis van de resultaten van de analyse worden de conclusies vastgesteld en de aanbevelingen geformuleerd. Aanbevelingen zullen gericht zijn op het beheersen van arbeidsveiligheidsrisico's voor procesverstoringen voor toekomstige projecten

4 Data-analyse

Om inzicht te verkrijgen in welke scenario's zijn waargenomen tijdens procesverstoringen, wordt een data-analyse uitgevoerd van de waarneemrapporten. De analyse moet inzicht geven in de procesverstoringen die zich tijdens het tunnelboorproces hebben voorgedaan. In de expertbijeenkomst wordt beoordeeld of er nog andere relevante procesverstoringen zijn voor het boorproces, ook al hebben die zich niet voorgedaan. Dit is beschreven in 4.1

In 4.2 wordt de data verwerkt in Story Builder en wordt bepaald welke scenario's zich hebben voorgedaan. Het verloop van het scenario is tot stand gekomen op basis van de data en in overleg met de medewerkers van de Opdrachtgever die de gebeurtenissen hebben geregistreerd.

Uit de analyse zal moeten blijken wanneer een procesverstoring een ongevalsscenario in gang zet. Omdat er weinig ongevals- en blootstellingsgegevens van het boren in slappe grond bekend zijn, wordt gebruik gemaakt van de referentiedata in Story Builder. De resultaten worden voorgelegd aan personen die betrokken zijn bij het boorproject en gevalideerd in een bijeenkomst.

Naast een analyse per procesverstoring, wordt ook een analyse van de meest voorkomende centrale gebeurtenissen uitgevoerd. Deze staat weergegeven in 4.3.

In 4.4 wordt het resultaat van de beoordeling op basis van de expertbijeenkomst weergegeven. De analyse van Story Builder, blootstellingsgegevens en de resultaten van de expertbijeenkomst zijn samengevoegd in 4.5.

Op basis van de resultaten van de analyse worden in 4.6 de maatregelen weergegeven om de arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen te beheersen. Het hoofdstuk wordt afgesloten de conclusies van de data-analyse.

4.1 Dataverzameling en -analyse

De oostbuis van de Victory Boogie Woogytunnel is de eerste tunnelbuis van het tracé die gerealiseerd is. Het boorproces is medio januari begonnen met de vertrekprocedure. De werkzaamheden van de vertrekprocedure wijken af van het reguliere boorproces. Tijdens de vertrekprocedure wordt door het dichtblok geboord en wordt de eerste ring gesteld. In deze periode worden werkzaamheden uitgevoerd die niet tijdens de reguliere werkzaamheden worden uitgevoerd. Hetzelfde geldt voor de aankomst in de ontvangtschacht. Om inzicht te krijgen in de procesverstoringen zijn de eerste en laatste periode buiten beschouwing gelaten en heeft een data-analyse plaatsgevonden over de periode 01-02-2018 t/m 23-06-2018.

Tijdens het boorproces zijn de bevindingen geregistreerd in 6 type waarneemrapporten. De tijdsbesteding is geregistreerd in "Verslag T Tijdsbesteding". Bijzonderheden en feitelijke gebeurtenissen zijn vermeld in het "Verslag B1 – boorproces logboek". In het verslag B1 staat een nadere omschrijving van de gebeurtenissen binnen de tijd zoals geregistreerd in "Verslag T tijdsbesteding". In dit onderzoek is daarom uitgegaan van registraties die geregistreerd zijn in verslag B1.

De bevindingen zijn geregistreerd door medewerkers van de Opdrachtgever. Gedurende het boorproces is er continu een medewerker aanwezig geweest op de TBM, 7 dagen per week 24 uur per dag. Medewerkers hebben voor start van de werkzaamheden een instructie gekregen over het tunnelboorproces en de uit te voeren werkzaamheden.

Minimale en maximale waarde van procesparameters zijn gerapporteerd in “Verlag B2-boorprocesparameters”. Het betreft parameters als luchtdruk, bentonietniveau, steundruk, graafsnelheid, slurrydebiet, afzetkracht, aandrijfmoment, etc. Minimale en maximale waarde kunnen erop duiden dat er een procesverstoring heeft plaatsgevonden, echter geven de parameters geen detailinformatie. Indien zich bijzonderheden hebben voorgedaan, zijn deze geregistreerd in het verslag B1. Registraties uit verslag B2 worden daarom niet meegenomen in het onderzoek.

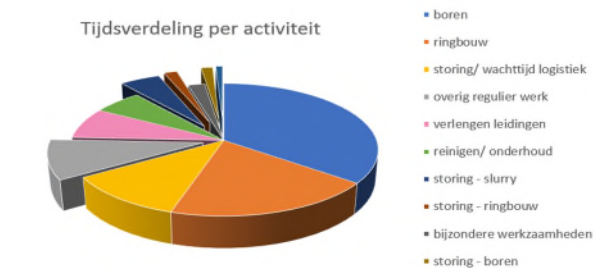
De omschrijving van de bevindingen zijn opgenomen in het verslag B1 en gecategoriseerd naar situatie c.q. activiteit. Tevens is data van het tijdstip, locatie (ring) en medewerker geregistreerd. Hierbij zijn onderstaande activiteiten aangehouden:

- boren
- storing boren
- ringbouw
- storing ringbouw
- overig regulier werk
- storing TBM
- verlengen leidingen
- storing/ wachttijd logistiek
- reinigen/ onderhoud
- storing slurry
- bijzondere werkzaamheden
- storing - boren

Ten behoeve van de analyse is de data uit alle afzonderlijke verslagen ‘B1’ samengebracht in een Excel-sheet. Vanuit de Excel-sheet is de duur van de activiteit inzichtelijk gemaakt en zijn de registraties gecategoriseerd per productiefunctie en per afwijking zoals benoemd in het rapport van CUR/COB (1997).

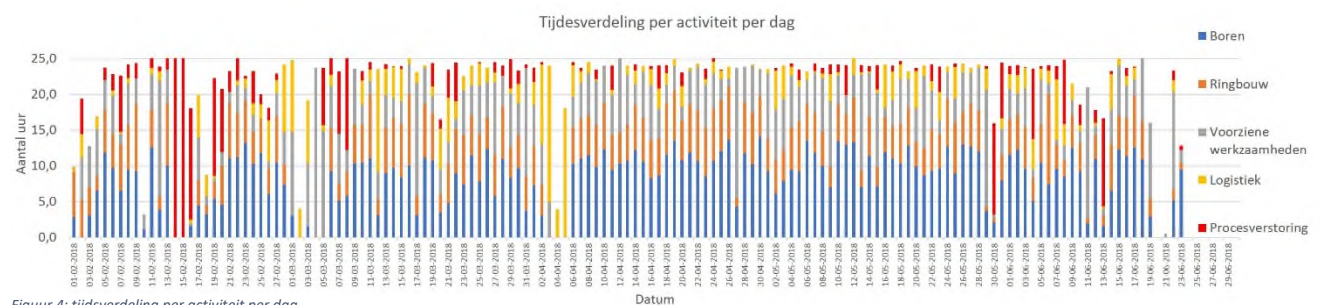
De dataset omvat 6473 registraties. Registraties hebben plaatsgevonden voor 11 verschillende activiteiten. Een betrouwbare onderverdeling per situatie, zoals genoemd in het CUR/COB rapport, is niet te maken.

Een gedetailleerder beeld wordt verkregen als de tijdsverdeling per activiteit wordt weergegeven, zie figuur 3. Uit de verdeling blijkt dat 89% van de tijd aan reguliere activiteiten wordt besteed, 11% van de tijdsbesteding wordt besteed aan bijzondere werkzaamheden en procesverstoringen.



Figuur 3: tijdsverdeling per activiteit van het boorproces

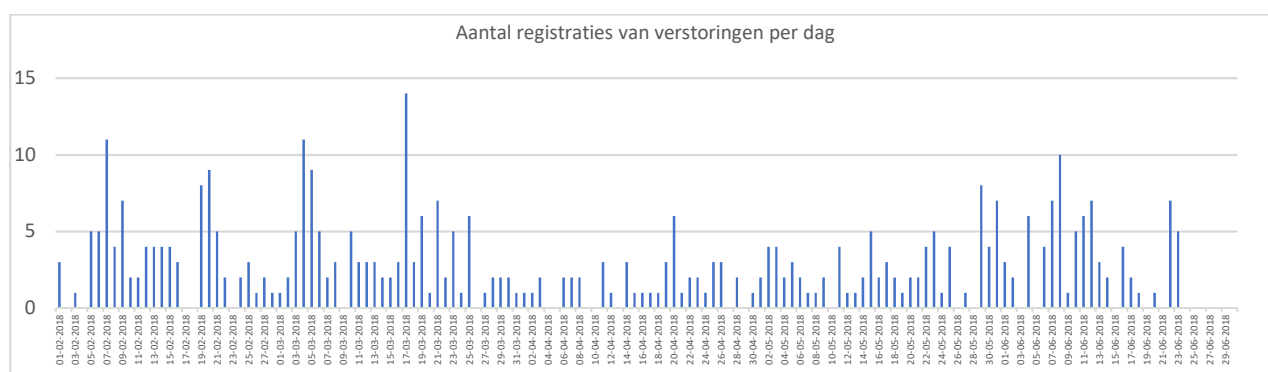
Figuur 4 geeft de activiteiten per dag weer. De activiteiten die gekwalificeerd zijn als “bijzondere werkzaamheden en procesverstoringen” samengevoegd.



Tijdens het boorproces zijn er 385 registraties die betrekking hebben op procesverstoringen. De verstoringen zijn vervolgens nader gecategoriseerd per afwijking zoals ook gehanteerd in het CUR/COB rapport.

ref	Activiteit	Aantal	ref	Activiteit	Aantal
<i>Ontgraven</i>			<i>Vullen staartspleet</i>		
E1-05	Onverwachte verontreiniging	9	E4-05	Verstopte toevoerleiding	128
E1-14	Hoofdlager faalt/ versleten	2	<i>Logistiek</i>		
E1-16	Andere storing boormachine	3	E5-07	Trein ontspoord	1
E1-24	Falen afvoer materiaal	2	E5-09	Materieel voor transport functioneert niet	8
E1-26	Blootstelling schadelijke atmosfeer	4	<i>Plaatsen elementen</i>		
<i>Steunen boorfront</i>			E8-02	Logistiek faalt	45
E2-03	Aan- en afvoer steunvloeistof voldoet niet	32	E8-03	Elementen passen niet goed	20
E2-04	Waterafsluiting faalt	6	E8-05	Sluitsteen past niet goed	3
E2-09	Verlies grote hoeveelheid slurry	6	E8-08	Erector faalt	35
<i>Afzetten vijzels</i>			E8-15	Element wordt afgekeurd	24
E3-04	Lekkage hydrauliek	3	<i>Verlengen materieel</i>		
E3-05	Vijzel defect	46	E9-04	Hijswerktuig faalt	4
E3-08	Bedieningsfout	4			

De meeste registraties hebben betrekking op verstopte toevoerleiding, defecte vijzel en het falen van logistiek. Als de registraties nader geanalyseerd worden blijkt dat meerdere registraties betrekking kunnen hebben op eenzelfde gebeurtenis. De registraties geven in dit geval het verloop van dezelfde gebeurtenis weer en zijn geen weergave van het aantal afzonderlijke gebeurtenissen. Uit de registraties kan de frequentie van de procesverstoring daarmee niet herleid worden, het geeft slechts een indicatie van optreden. Ook de blootstellingsduur aan het gevaar kan niet met zekerheid bepaald worden.



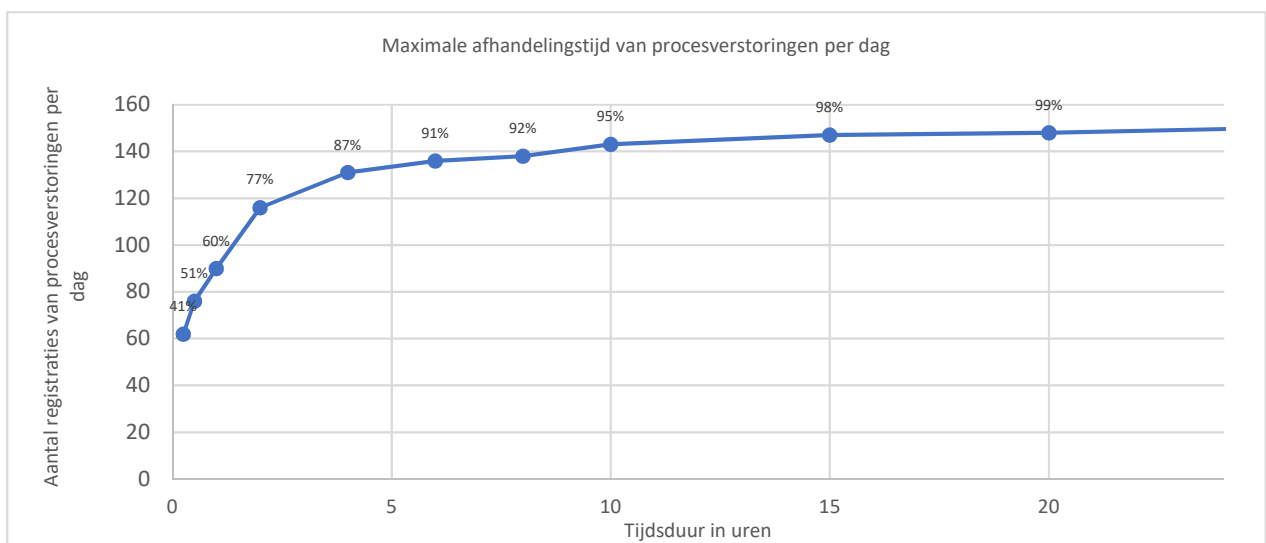
Figuur 5: aantal registraties van storingen per dag

Als het aantal registraties per dag wordt weergegeven, zijn in bepaalde periode meer registraties dan gemiddeld zichtbaar, zie figuur 5. In 86% van de dagen zijn er 5 registraties van storingen of minder. Er zijn 9 periodes zichtbaar waarbij er meer dan 5 registraties van procesverstoringen zijn. In deze periodes zijn registraties van de volgende procesverstoringen dominant:

- 07-02-2018: Optreden van zettingen, verstopte groutsysteem, vertraging i.v.m. vorst.

- 20-02-2018: Door vastlopen van de TBM tegen de ring is er schade aan het element.
- 04-03-2018: Storing vijzel.
- 17-03-2018: Storing vijzel.
- 20-04-2018: Storing aan bentonietpomp, storing aan besturingssysteem.
- 30-05-2018: Verstopt groutsysteem, storing in vacuümsysteem van erector.
- 08-06-2018: storing aan erector, verstopt groutsysteem.
- 12-06-2018: Geen dominante verstoring, o.a. geen volledige controle over last, verstopt groutsysteem.
- 22-06-2018: verstoringen zijn onderdeel van aankomstprocedure.

Figuur 6 geeft de maximale afhandelingsijd van de procesverstoringen per tijdsduur per dag weer. Hieruit blijkt dat op 90% van de dagen de procesverstoring niet langer duurt dan 5 uur en in 41% de procesverstoringen korter is dan 15 minuten.



Figuur 6: Afhandelingsijd van de procesverstoringen per dag.

Er zijn 6 periodes waarbij de totale duur van de storing langer dan 6 uur per dag heeft geduurd:

- 07-02-2018: Stilstand door zettingen.
- 15-02-2018: Stagnatie door vorst.
- 19-02-2018: Door vastlopen van de TBM tegen de ring is er schade aan het element.
- 05-03-2018: Storing vijzel.
- 07-03-2018: Stilstand door verontreiniging in afvalwater.
- 30-05-2018: Storing in groutsysteem.
- 04-06-2018: Verstopt groutsysteem.
- 08-06-2018: Verstopt groutsysteem.
- 13-06-2018: Ongeldige recordset.

Als de duur van de storingen afgezet wordt tegen het aantal registraties per dag, is er een zwakke correlatie te zien (0,33). Naar mate de procesverstoring langer duurt, zijn in beperkte mate meer registraties beschikbaar. Het aantal registraties geeft daarmee in beperkte mate aan dat er een procesverstoring van een langere duur heeft opgetreden.

Uit de registraties is niet met zekerheid te herleiden wanneer een procesverstoring start en wanneer deze is afgehandeld. In voorkomende gevallen is er sprake van opeenvolging van gelijke

gebeurtenissen. Hiermee kan er op basis van de data-analyse geen betrouwbare uitspraak gedaan worden over de omvang en het aantal unieke procesverstoringen.

Tijdens de analyse is gebleken dat de bevindingen, zoals deze geregistreerd zijn, een zekere mate van variatie laten zien. Tijdens de analyse valt het op dat gebeurtenissen in voorkomende gevallen niet aan de correcte activiteit worden toegewezen of dat de omschrijving geen exacte duidelijkheid geeft over hetgeen heeft plaatsgevonden.

De categorisering naar activiteit, zoals gehanteerd in het CUR/COB rapport (1997) geeft een beeld welk type verstoring heeft plaatsgevonden. Uit deze data kan echter niet exact herleid worden op welke wijze het scenario zich heeft ontwikkeld. Uit de registraties kan wel bepaald worden wat er heeft plaatsgevonden, maar de wijze waarop en waardoor dit heeft kunnen plaatsvinden is niet altijd duidelijk.

4.2 Analyse van scenario's in Story Builder

Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de procesverstoringen die zijn opgetreden tijdens het tunnelboorproces, is het verloop van de procesverstoring besproken met medewerkers die de registraties hebben geregistreerd. De registraties, samen met de informatie van de medewerker, vormen de basis voor de uitwerking van de scenario's c.q. ongevalspaden.

De meest geschikte en betrouwbare manier om een analyse uit te voeren naar de mogelijke oorzaken, is met behulp van Story Builder. Het programma beschikt over een groot aantal gegevens van ongevalsonderzoeken die uitgevoerd zijn door I-SZW bij ernstige ongevallen. Door deze data te gebruiken en te vergelijken met de ongevalspaden die procesverstoringen doorlopen bij het tunnelboorproces, wordt getracht inzicht te verkrijgen in oorzaken die leiden tot het falen van barrières.

Op basis van de registraties en het gesprek met de medewerkers, zijn de ongevalspaden in de bow ties van Story Builder gevisualiseerd. Tijdens het tunnelboorproces van de casestudy heeft er geen onderzoek plaatsgevonden naar de oorzaak van de storing, echter zijn er wel kenmerkende gebeurtenissen geweest die het ongevalspad bepalen. De ongevalspaden, zoals deze gevisualiseerd zijn, verlopen via deze kenmerkende gebeurtenissen.

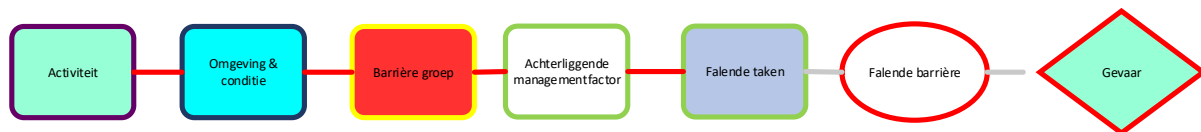
In voorkomende gevallen was de exacte oorzaak van de storing onduidelijk of kent deze grote variatie. De vermoedelijke falende barrière is buiten beschouwing gelaten. De analyse heeft uitsluitend plaats gevonden voor ongevalspaden waarvan voldoende gegevens waren over het verloop.

Nadat het ongevalspad was gevisualiseerd in Story Builder, zijn de kenmerkende gebeurtenissen voor het ongevalspad bepaald. In Story Builder zijn vervolgens de ongevalspaden met dezelfde kenmerkende gebeurtenis, uit de referentiedata geselecteerd.

Om inzicht te krijgen in de omstandigheden die bepalend zijn geweest voor het ongeval is de data van de factoren, die bijdragen aan de ontwikkeling van een scenario, geëxporteerd naar Excel. Vervolgens is bepaald wat bepalende factoren zijn, welke barrières het meest falen en op welke wijze ze falen.

In het rapport is de vereenvoudigde weergave getoond van de ongevalspaden voor de belangrijkste procesverstoringen. De figuren hebben als doel inzicht te geven in de activiteiten, omstandigheden, onderliggende factoren, falende taken en falende barriers. Het laatste deel van het ongevalspad is in

het grijs weergegeven omdat de blootstelling niet met zekerheid is vastgesteld of niet heeft plaatsgevonden. De ongevalspaden zijn volgens figuur 7 weergegeven.

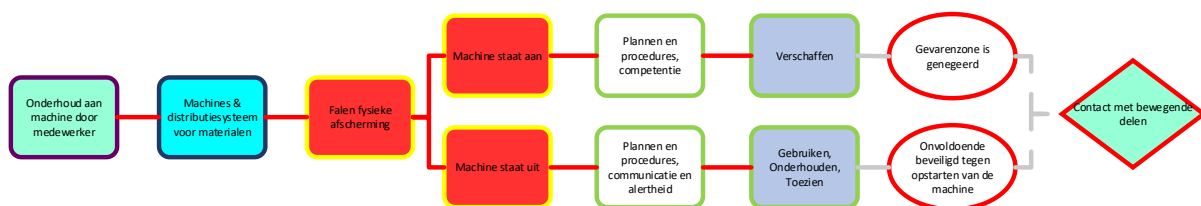


Figuur 7: vereenvoudigde schematische weergave van het ongevalspad op basis van het scenario uit Story builder

De volledig procesverstoringen zijn opgenomen in bijlage 1. Door de hoeveelheid informatie zijn de bow tie diagrammen niet leesbaar. De weergave is identiek aan weergave in Story Builder. Voor inhoudelijke informatie van de bow tie-diagram wordt naar het betreffende scenario van Story Builder verwezen.

4.2.1 Productiefunctie: Ontgraven

Bij de productiefunctie 'ontgraven' zijn er drie procesverstoringen (E1-14, E1-16, E1-24) waarbij er contact kan zijn met bewegende delen, zie figuur 8. Een onveilige lay-out van de TBM, geen doeltreffende PBM's en onjuiste plannen/ procedures zijn oorzaken van de blootstelling.

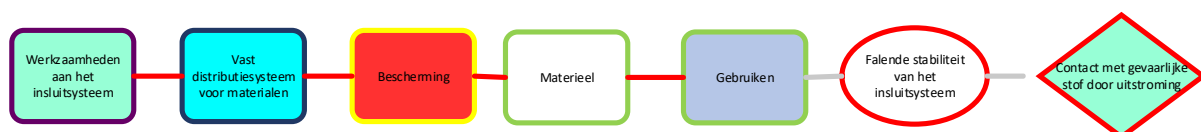


Figuur 8: ongevalspad voor contact met bewegende delen bij graven.

Een ander specifiek gevaar bij het graven zit voornamelijk bij het aantreffen van een onverwachte verontreiniging (E1-05) waardoor medewerkers blootgesteld kunnen worden aan een gevaarlijke stof. Net zoals de procesverstoringen hoofdlager faalt/ versleten (E1-14), andere storing boormachine (E1-16) en falen afvoer materiaal (E1-24) volgen deze elk hun eigen ongevalspad. Er is geen gemeenschappelijke falende barrière of ongevalsfactor. De procesverstoringen dienen afzonderlijk van elkaar te worden geanalyseerd. Deze analyse is opgenomen in bijlage 1.

4.2.2 Productiefunctie: Steunen boorfront

De meest voorkomende procesverstoring is het in contact komen met bewegende delen door reparaties aan een pomp (E2-03). Een ander scenario is het in contact komen met slurry (E2-09). Door een lekkage in het slurrydistributiesysteem kan er onder grote druk een grote hoeveelheid slurry of bentoniet uitstromen. De vloeistof kent een lage toxiciteit. Voornamelijk de snelle uitstroom van de grote hoeveelheid vloeistof is bezwaarlijk.



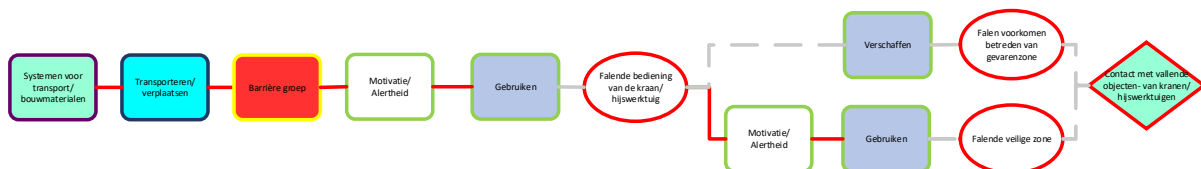
Figuur 9: ongevalspad voor in contact komen met gevaarlijke stof door uitstroming.

Falende barrières bij deze procesverstoring hebben o.a. betrekking op het niet gereed zijn van de installatie voor openen, geen adequate PBM's en falende indicatie van de procesafwijking. Minder frequent voorkomende falende barrières hebben betrekking op een onjuiste positie van het slachtoffer en een falende verbinding.

De procesverstoringen aan- en afvoer van additieve steunvloeistoffen (E2-03) kent een hogere blootstellingsfrequentie, maar is minder dominant voor deze productiefunctie. Verdrinking ten gevolge van het falen van de watersfsluiting (E2-04) zal zelden voorkomen.

4.2.3 Productiefunctie: Afzetten vijzels

Het groot aantal registraties bij deze productiefuncties is herleidbaar tot de uitval van een vijzel (E3-05). Als gevolg van een defect moest de vijzel vervangen worden. Voornamelijk de hijswerkzaamheden en het werken op hoogte in een kleine ruimte zijn hierbij risico's. Een aantal registraties hebben betrekking op een bedieningsfout (E3-08) waardoor er kans is op het verlies van controle van een element dat wordt gehesen en op het punt staat ingebouwd te worden. Beide procesverstoringen volgen ongevalspaden waarbij er contact kan ontstaan met vallende objecten.

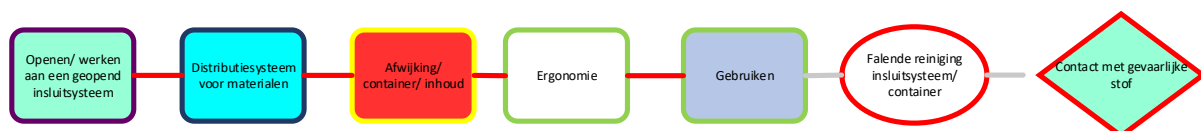


Figuur 10: ongevalspaden voor contact met vallende objecten uit kraan.

Barrières die kunnen bijdragen aan het veilig afhandelen van deze scenario's hebben betrekking op het voorkomen van het betreden van de gevaarszone en motivatie en alertheid.

4.2.4 Productiefunctie: Vullen staartspleet

Het vullen van de staartspleet is een proces waarbij er geen handmatige handeling wordt toegepast. Indien er sprake is van stilstand van het boorproces, zal het grout in de leidingen uitharden en zullen de leidingen verstopt raken (E4-05). De meeste storingen (128 registraties) tijdens het boorproces hebben betrekking op het reinigen van de leiding als gevolg van deze verstopping. Bij het schoonmaken van de leidingen kunnen medewerkers in contact komen met het product.



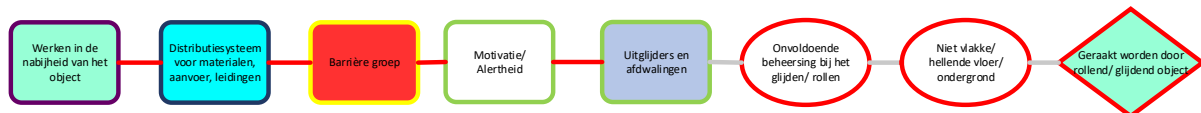
Figuur 11: ongevalspaden voor het in contact komen met grout bij het reinigen van de leiding.

Voor het opheffen van de verstoring zijn de belangrijkste maatregelen genomen. Deze maatregelen hebben vooral betrekking op het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen en adequate hulpverlening. Uit de referentiedata blijkt dat het niet of onjuist gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen in 75% van de gevallen bijdraagt aan het ongevalsscenario.

4.2.5 Productiefunctie: Logistiek

Het logistieke proces bestaat uit de aanvoer van leidingen en elementen met de MSV naar de TBM en de logistiek op de TBM.

Ten tijde van het opstellen van de risicoanalyse van CUB/COB werden materialen per trein over een spoor aangevoerd op basis van de voortgang van het boorproces. Door voornamelijk de instabiliteit van de rails waren er veel verstoringen. In de casestudie is gebruik gemaakt van MSV's die zich voortbewegen op luchtbanden. De verstoringen die zich hebben voorgedaan hebben betrekking op een verkeerde stuuractie van de MSV (E5-07) en reparatie van de stilgevallen MSV (E5-09). Doordat de MSV handmatig bestuurd wordt kan een stuurfout in de tunnelbuis leiden tot stilstand.

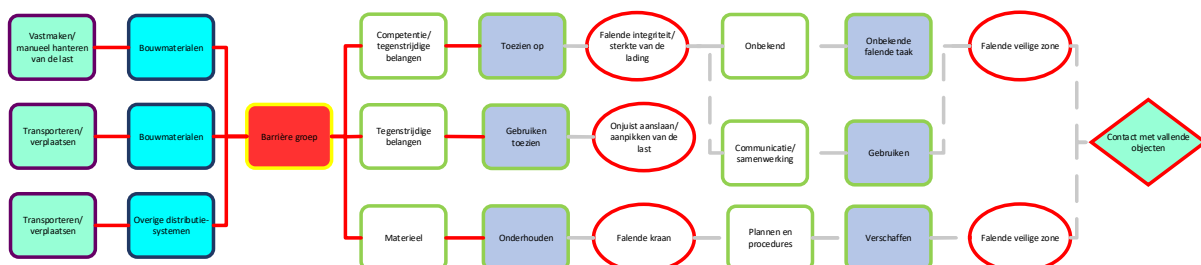


Figuur 12: ongevalspad voor geraakt worden door plotselinge beweging van MSV

In Story Builder zijn 19 ongevalspaden geselecteerd die leiden naar een onvoldoende beheersing van het rollende object. Uit de analyse blijkt dat een gebruikersfout en niet toepassen van de aanwezige maatregelen aanleiding zijn voor deze gebeurtenis.

4.2.6 Productiefunctie: Aanbrengen lining elementen

Het meest dominante scenario bij het aanbrengen van lining elementen is het contact met vallende objecten. Dit scenario is van toepassing op de storingen logistiek faalt (E8-02), elementen passen niet goed (E8-03), sluitsteen past niet goed (E8-05) en erector faalt (E8-08). De ongevalspaden voor deze scenario's zijn weergegeven in figuur 13.



Figuur 13: ongevalsscenario's contact met vallende objecten tijdens logistiek.

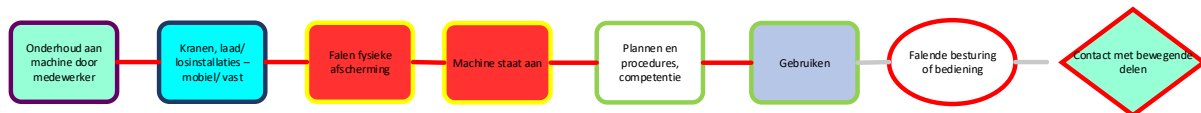
De ongevalspaden verlopen verschillend van elkaar. Op basis van de ongevalspaden van de dataset kan geen uitspraak gedaan worden over de gemeenschappelijke falende barrière. In bijlage 1 zijn de afzonderlijke ongevalspaden vergeleken met de referentiedata. Op basis van deze vergelijking kan vastgesteld worden dat elke procesverstoring een specifiek scenario kent met een specifiek falende barrière. Falende kraan is voornamelijk dominant bij E8-02 en E8-08, onjuist aanpakken van de last bij E8-02 en falen betreden veilige zone in E8-02, E8-08 en E8-15.

Uit de analyse blijkt tevens dat de barrières die aanwezig zijn niet (correct) gebruikt worden. In de ontwikkeling van een ongevalsscenario zouden tegenstrijdige belangen, motivatie/ alertheid en materieel een rol spelen.

Naast het contact met vallende objecten is ook het contact met handgereedschap en contact met bewegende delen van toepassing. Het verloop van de ongevalspaden is weergegeven in bijlage 1.

4.2.7 Productiefunctie: Verlengen leidingen en materieel

De leidingen worden met de MSV aangevoerd naar de TBM en worden middels een kraan van de TBM af gehesen. Bij storingen aan de kraan vindt er voornamelijk blootstelling plaats aan bewegende delen (E9-04). Dit is voornamelijk het geval bij testwerkzaamheden.



Figuur 14: ongevalspaden voor contact met bewegende delen bij storing aan de kraan

Er zijn 4 registraties van storingen aan de kraan. Uit de vergelijking met 8 ongevalspaden vanuit Story Builder blijkt dat falende positie van lichaamsdelen en het niet gebruiken van PBM's de belangrijkste falende barrières zijn.

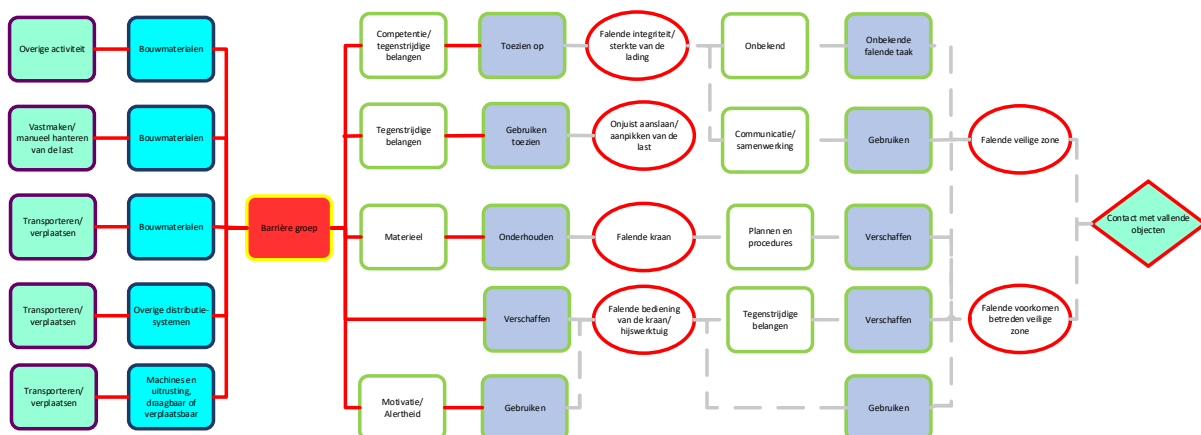
4.3 Meest voorkomende risicovolle gebeurtenissen

Als de scenario's niet per productiefunctie maar per centrale gebeurtenis worden gecategoriseerd dan blijkt dat de meeste ongevalspaden betrekking hebben op:

- Contact met vallende objecten (E3-05, E3-08, E8-02, E8-03, E8-05, E8-08)
- Contact met bewegende delen (E1-14, E1-24, E2-03, E9-04)
- Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel (E2-09, E3-04, E4-05)

4.3.1 Contact met vallende objecten – van kranen/ hijswerktuigen

Uit de analyse blijkt dat bij 7 ongevalspaden de centrale gebeurtenis betrekking heeft op het contact met vallende objecten- van kranen/ hijswerktuigen (bow tie nr 03.1 in Story Builder).



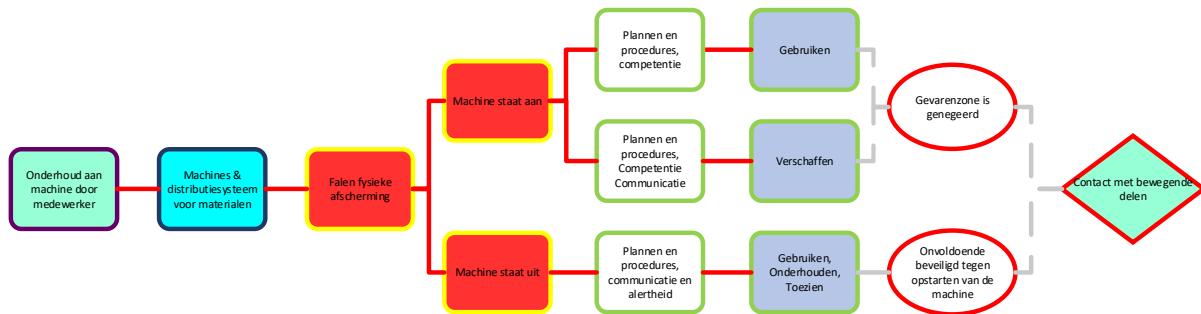
Figuur 15: ongevalspaden voor vallende objecten

Bij alle ongevalspaden zijn arbeidsmiddelen of voorwerpen betrokken en bij 6 ongevalspaden is het slachtoffer direct betrokken bij de activiteit. Verder blijkt dat grote bouwelementen betrokken zijn (4) bij de ongevalspaden en dat incidenten voornamelijk plaats vinden tijdens transportactiviteiten. De belangrijkste falende barrières hebben betrekking op de falende bediening (2) en falende veilige zone (2). Managementfactoren die meespelen in de ontwikkeling van het ongevalspad zijn toezicht

(2) en onderhoud (2). Falende taken hebben betrekking op competentie (2) en tegenstrijdige belangen (2).

4.3.2 Contact met bewegende delen van een machine

Vijf ongevalsscenario's hebben betrekking op contact met bewegende delen van een machine (bow tie 08.1).

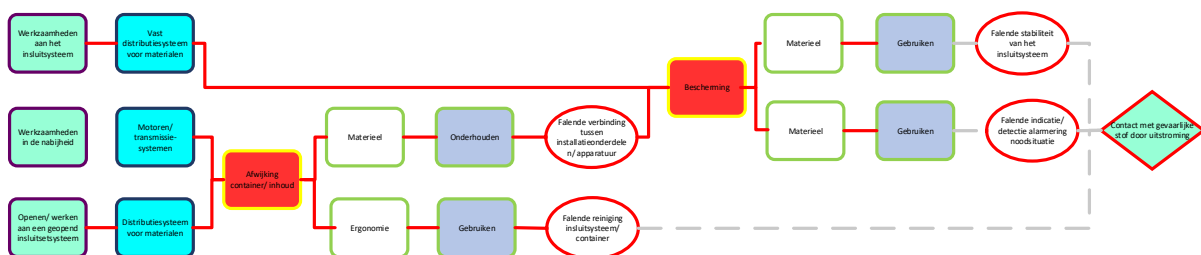


Figuur 16: ongevalsscenario's voor contact met bewegende delen

Bij alle 5 de ongevalspaden is er sprake van blootstelling aan bewegende delen van de machine en bij 2 scenario's is er sprake van onvoldoende afscherming van de machine. De falende managementfactoren hebben betrekking op plannen (4) en competenties tijdens het onderhoud of het modificeren van de machine (3). Bij deze activiteiten speelt het verschaffen van maatregelen (3) een rol.

4.3.3 Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel

Bij 3 ongevalsscenario's heeft de centrale gebeurtenis betrekking op het contact met een gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel. Anders bij de overige scenario's maken deze werkzaamheden veel meer deel uit van de operationele fase.



Figuur 17: ongevalsscenario's voor contact met gevaarlijke stoffen

Het verlengen van leidingen is onlosmakelijk verbonden met de hoofdactiviteit van het proces en het ontstoppen van leidingen is het gevolg van stilstand. Deze verstoringen kennen daardoor een relatief hoge blootstellingsfrequentie. Een falende barrière is de verbinding tussen de leidingen waardoor er uitstroom kan plaatsvinden (2). Door het beperkt aantal ongevalspaden is een verdere analyse voor deze centrale gebeurtenis niet mogelijk.

Subvraag 3: Welke scenario's zijn er waargenomen tijdens procesverstoringen?

Tijdens het tunnelboorproces zijn er verstoringen opgetreden in het boorproces. Uit de bow ties blijkt dat verschillende oorzaken van factoren, in een specifieke volgorde, kunnen leiden tot een blootstelling aan een gevaar. Deze blootstelling kan in potentie risicovol zijn.

Elke procesverstoring kent een specifiek ongevalsscenario. Voor de procesverstoringen zijn de ongevalsscenario's in kaart gebracht, inclusief de duur van de procesverstoring. Het verloop van de verschillende procesverstoringen is weergegeven in bijlage 1. In bijlage 3 is het overzicht van de scenario's per type procesverstoring weergegeven.

4.4 Validatie door expertbijeenkomst

Om de resultaten van de Story Builder-analyse te valideren zijn bijeenkomsten met experts gehouden. Deze hebben plaatsgevonden in de vorm van een semi gestructureerd interview (Hulshof, 2016). Tijdens het interview is geverifieerd of er daadwerkelijk een storing heeft plaatsgevonden van de betreffende productiefunctie en of er sprake was van een blootstelling aan een arbeidsveiligheidsrisico. Daarnaast is geïnterviewd of de experts bekend zijn met andere procesverstoringen die kunnen leiden tot een arbeidsveiligheidsrisico.

De interviews zijn gehouden met experts van het boorproces. Door het specialistische vakgebied is de beschikbare interviewpopulatie klein. Om een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over de validiteit van de resultaten zijn 2 experts geïnterviewd. De experts zijn geselecteerd op basis van hun betrokkenheid en rol bij het tunnelboorproces van de casestudy, de ervaring op eerdere tunnelboorprojecten en affiniteit met het onderwerp arbeidsveiligheid. De uitwerking van het

Resultaten van de interviews kende een beperkte variatie. Hulshof (2016) stelt dat bij een beperkte variatie meer interviews geen extra informatie opleveren. Doordat de resultaten in grote mate met elkaar overeenkwamen, is geoordeeld dat 2 interviews voldoende zijn.

Uit de interviewresultaten is afgeleid welke processtoring is bevestigd voor de casestudy en welke kwalificatie aan het risico wordt gegeven. Resultaten zijn opgenomen in de tabel in bijlage 3. Het optreden van een storing is bevestigd (+) deels bevestigd (+/-) of niet bevestigd (-). Inschatting van het risico voor medewerkers is weergegeven als hoog (+) risico, gemiddeld (+/-) of laag risico (-).

4.5 Causaal verband

Als de procesverstoringen gegroepeerd worden op basis of de verstoring zich heeft voorgedaan tijdens het boorproces en op basis van het potentiële risico, wordt onderstaande indeling verkregen.

Ref	Scenario	Aantal paden	Percentage dodelijke slachtoffers	Percentage (vermoedelijk) permanent letsel	Percentage (vermoedelijk) niet permanent letsel	Totale duur procesverstoring (uur)
Plaatsgevonden procesverstoringen met een hoog potentieel risico						
E3-04	Blootstelling aan hydraulische olie door lekkage in leiding	11	0%	18%	82%	0:49
E3-05	Door onvoorziene werkzaamheden moet medewerker werkzaamheden op hoogte verrichten	14	7%	14%	21%	19:44
E3-05	Vijzel is defect en moet uit de machine gehesen worden	11	9%	27%	45%	3:35
E5-07	MSV rijdt naar de TBM en maakt een plotselinge beweging	40	3%	45%	40%	1:10
E5-09	Beknelling tussen machine en ander object door reparatie aan stilgevallen MSV noodzakelijk is.	5	0%	20%	20%	4:30
E8-05	Sluitsteen past niet goed	17	6%	41%	24%	2:17
E8-08	Door storing in vacuümsysteem valt last uit de hijsinstallatie	7	14%	57%	43%	22:18
Plaatsgevonden procesverstoringen met een laag potentieel risico						
E1-16	Boorpompleiding gaat kapot en moet vervangen worden	13	0%	54%	23%	1:15
E2-03	Contact met bewegende delen door reparaties aan bentonietpomp, leidingen, ventielen, etc.	9	0%	67%	11%	17:55
E2-09	Medewerker komt in contact met slurry door lekkage in leiding waardoor er een grote hoeveelheid slurry uit de leiding stroomt.	15	0%	13%	60%	6:42
E3-08	Door bedieningsfout wordt verkeerde vijzel getrokken	7	0%	29%	29%	1:00
E4-05	Bij schoonmaakwerkzaamheden komt medewerker in contact met grout/ slurry	4	0%	50%	0%	6:14
E8-02	Storing in vacuümsysteem van kraan die elementen op de band legt	17	6%	41%	24%	8:43
E8-02	Leidingen worden van de MSV gehesen en vallen uit de kraan	70	7%	44%	23%	4:20
E8-03	Elementen passen niet goed, ring moet weer uitgebouwd worden	2	50%	0%	0%	16:50
E8-15	Elementen worden ingebouwd en vervolgens weer uitgebouwd. Dubbele blootstelling aan gevaar extra kans op ongecontroleerde beweging met slagmoersleutel	30	0%	57%	17%	23:43
E9-04	Contact met bewegende delen door onderhoud aan kraan	8	0%	63%	13%	6:34
Niet plaatsgevonden procesverstoringen met een hoog potentieel risico						
E1-05	Medewerker wordt blootgesteld aan verontreinigde slurry bij verlengen van leidingen.	8	0%	25%	50%	13:30
Niet plaatsgevonden procesverstoringen met een laag potentieel risico						
E1-14	Medewerker komt in contact met bewegende delen bij smeren onderhoud aan hoofdlager	44	0%	84%	9%	0:55
E1-24	Contact met bewegende delen door probleem met vetsmering	30	3%	77%	13%	0:50
E1-26	Blootstelling aan schadelijke atmosfeer door indringing of ontwikkeling van een schadelijk gas	21	14%	10%	67%	3:41
E2-04	Door instroom van grote hoeveelheid water kunnen medewerkers niet meer vluchten.	9	89%	0%	11%	3:46

Doordat de oorzaken van ongevallen met een kleine impact verschillen van ongevallen met een grote impact (Winge & Albrechtsen, 2018), worden de scenario's vanuit Story Builder geselecteerd waarbij de meeste dodelijke slachtoffers en het grootste aantal slachtoffers met (vermoedelijk) permanent letsel voorkomen. Op basis van deze criteria zijn volgens de analyse vanuit Story Builder de scenario's voor de procesverstoringen E1-14, E1-24, E1-26, E2-03, E2-04, E8-03 en E8-08 het meest risicovol. Tijdens de expertbijeenkomst is bevestigd dat van deze procesverstoringen de verstoring E8-08 in potentie risicovol kan zijn tijdens het tunnelboorproces. De verstoringen E2-03 en E8-03 worden als waarschijnlijk beoordeeld, maar potentieel niet risicovol.

Op basis van de blootstellingsduur, vindt de langste blootstelling plaats aan risico's die behoren bij procesverstoring E3-05 en E8-08. Zoals eerder ook al opgemerkt dienen deze gegevens ter indicatie en zijn zij niet volledig betrouwbaar. Ook de procesverstoringen E2-03, E8-03 en E1-05 kennen een lange blootstellingsduur. Voor deze procesverstoringen wordt het arbeidsveiligheidsrisico door de experts lager ingeschat, echter volgens de analyse van Story Builder is het aandeel in het aantal ongevallen voor de procesverstoringen E2-03 en E8-03 groot.

Subvraag 4: Wat zijn de meest risicovolle scenario's?

In het bepalen van de risicovolle scenario's, is gekeken naar het aantal ongevallen die zich hebben voorgedaan tijdens deze scenario's. In Nederland is er weinig bekend over ongevallen tijdens tunnelboorprocessen. Gedurende de realisatie van de boortunnel van de casestudy heeft er een ongeval plaatsgevonden. Dit is te weinig data om een uitspraak te doen over welk scenario het meest risicovol is. Om een uitspraak te doen in hoeverre een scenario risicovol is, wordt gekeken naar het aantal slachtoffers van vergelijkbare ongevalspaden in storybuilder en de duur van de procesverstoring. Door het specifieke karakter van het tunnelboorproces, wordt hierbij ook het oordeel van de experts meegenomen.

De analyse van de risicovolle scenario's op basis van de data uit Story Builder, de duur van de procesverstoring en de beoordeling vanuit de expertbijeenkomst geven een zichtbaar verschil. Het verschil zit enerzijds in scenario's die vanuit Story Builder als risicovol kunnen worden beschouwd, maar vanuit de expertbijeenkomst niet als waarschijnlijk of risicovol worden beoordeeld.

Het tunnelboorproces is een specifiek proces waarvoor onvoldoende referentiedata beschikbaar is in Story Builder of in een andere dataset. Door de discussie over de objectiviteit van de beoordeling van risicovolle scenario's en het specifieke karakter van het tunnelboorproces, ligt het daarom voor de hand om de scenario's die zijn benoemd tijdens de expertbijeenkomst te beschouwen als meest risicovolle scenario's. Ten behoeve van het bepalen van de maatregelen (barrières) worden ook de meest risicovolle scenario's op basis van Story Builder en op basis van de duur van de procesverstoring meegenomen.

Beoordeling als meest risicovol op basis van expertbijeenkomst		Beoordeling als meest risicovol op basis van duur procesverstoring		Beoordeling als meest risicovol op basis van referentiedata uit Story Builder	
Ref	Scenario	Ref	Scenario	Ref	Scenario
E3-04	Blootstelling aan hydraulische olie door lekkage in leiding	E1-05	Medewerker wordt blootgesteld aan verontreinigde slurry bij verlengen van leidingen.	E1-14	Medewerker komt in contact met bewegende delen bij smeren onderhoud aan hoofdlager
E3-05	Door onvoorziene werkzaamheden moet medewerker werkzaamheden op hoogte verrichten	E2-03	Contact met bewegende delen door reparaties aan bentonietpomp, leidingen, ventielen, etc.	E1-24	Contact met bewegende delen door problemen met vetsmering
E3-05	Vijzel is defect en moet uit de machine gehesen worden	E3-05	Door onvoorziene werkzaamheden moet medewerker werkzaamheden op hoogte verrichten	E1-26	Blootstelling aan schadelijke atmosfeer door indringing of ontwikkeling van een schadelijk gas.
E5-07	MSV rijdt naar de TBM en maakt een plotselinge beweging	E8-02	storing in vacuumsysteem van kraan die elementen op de band legt	E2-03	Contact met bewegende delen door reparaties aan bentonietpomp, leidingen, ventielen, etc
E5-09	Beknelling tussen machine en ander object door reparatie aan stilgevallen MSV noodzakelijk is.	E8-03	Elementen passen niet goed, ring moet weer uitgebouwd worden	E2-04	Door instroom van grote hoeveelheid water kunnen medewerkers niet meer vluchten.
E8-05	sluitsteen past niet goed	E8-08	Storing in vacuumsysteem valt last uit de hijsinstallatie	E8-03	Elementen passen niet goed, ring moet weer uitgebouwd worden
E8-08	Door storing in vacuumsysteem valt last uit de hijsinstallatie	E8-15	Elementen worden ingebouwd en vervolgens weer uitgebouwd. Dubbele blootstelling aan gevaar extra kans op ongecontroleerde beweging met slagmoersleutel	E8-08	Door storing in vacuumsysteem valt last uit de hijsinstallatie

4.6 Veiligheidsbarrières

Om te voorkomen dat gebeurtenissen leiden tot een ongewenste gebeurtenis, worden er barrières toegepast. Een bow tie diagram gaat uit van de toepassing van verschillende barrières als onderdeel van een risicoreductieproces. Deze barrières voorkomen dat een gebeurtenis uiteindelijk leidt tot een incident of ongeval.

De risicovolle scenario's zijn bepaald op basis van de beoordeling vanuit de expertbijeenkomst, de duur van procesverstoringen en het aantal slachtoffers op basis van de referentiedata vanuit Story Builder. Voor deze scenario's zijn de data inzake de onderstaande gebeurtenissen geëxporteerd:

- Barriere Failure Mode (BFM);
- Incidental of influencing Factor (IF);
- Barrier (B);
- Management delivery system failure (DS);
- Barrier task failure (T).

De gegevens zijn naar Excel geëxporteerd en vervolgens zijn de 10 barrières bepaald die het meest frequent falen. Deze staan weergegeven in onderstaande tabel als absolute aantallen. De volgorde is weergegeven in de frequentie van falen in relatie tot het aantal geselecteerde ongevalspaden.

#	Top 10 maatregelen voor scenario's met hoge blootstelling en met een hoog risico op basis van de bijeenkomst met experts	n	Top 10 maatregelen voor scenario's met langste duur van de procesverstoring.	n	Top 10 maatregelen op basis van analyse Story Builder	n
1	Gebruiken (T)	173	Gebruiken (T)	79	Gebruiken (T)	70
2	Plannen en procedures (DS)	76	Verschaffen (T)	48	Verschaffen (T)	45
3	Motivatief/ Alertheid (DS)	95	Materieel (DS)	39	Motivatief/ Alertheid (DS)	42
4	Verschaffen (T)	63	Plannen en procedures (DS)	34	Tegenstrijdige belangen (DS)	32
5	Materieel (DS)	54	Motivatief/ Alertheid (DS)	39	Plannen en procedures (DS)	39
6	Falen voorkomen betreden van gevarenzone (BFM)	80	Onderhouden (T)	31	Falen voorkomen betreden van gevarenzone (BFM)	28
7	Competentie (DS)	65	Falende kraan/ hijsinstallatie of hijsmiddelen (BFM)	25	Materieel (DS)	30
8	Onbekend (DS)	55	Competentie (DS)	39	Bedrijfshulpverlening (B)	24
9	Onjuist aanslaan/ aanpikken van de last (BFM)	73	Onbekend (DS)	24	Onderhouden (T)	23
10	Onjuist bevestigd (IF)	71	Ergonomie (DS)	25	Onbekend (DS)	29

Uit de tabel blijkt dat voor de drie types scenario's de maatregelen in grote mate met elkaar overeen komen. Opgemerkt dient te worden dat de tabel gebaseerd is op ongevalspaden van meerdere bow ties. De barrières (B), falende barrières (BFM), incident factoren (IF) zijn specifiek per bow tie, de managementfactoren (DS) en barrière taken (T) zijn generiek voor elke bow tie. Het ligt daarmee voor de hand dat voornamelijk generieke maatregelen benoemd zijn als meest frequent falende maatregel.

Voor de scenario's die door de experts als risicovol zijn beoordeeld, is een vergelijking gemaakt met 105 ongevalspaden uit de referentiedata. Het valt op dat managementfactoren (212) meer

voorkomen dan falende taken (160), falende barrière (166) en incident factoren (158). Het aantal barrières (39) komt het minst voor.

Als ongevalspaden gegroepeerd worden per bow tie, dan hebben de meeste procesverstoringen betrekking op “contact met vallende objecten – van kranen/ hijswerktuigen” (6) “contact met bewegende delen van een machine” (4) en “contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel” (3). Vergelijking en analyse met de referentiedata geeft een specifiek beeld van de ongevalsinformatie, echter het beeld is meer verdeeld. Uit onderstaande tabel blijkt dat een gelijkenis tussen de scenario’s per bow tie nauwelijks zichtbaar is.

03.1 Contact met vallende objecten - van kranen/ hijswerktuigen				08.1 Contact met bewegende delen van een machine				15 Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel			
code	naam	#	%	code	Naam	#	%	code	naam	#	%
BFM	Falende voorkomen betreden van gevaarzone	70	72,16%	BFM	Falende fysieke afscherming	26	100,00%	BFM	Falende verbinding tussen installatieonderdelen/ apparatuur	46	100,00%
BFM	Onjuist aanslaan/ aanpakken van de last	43	44,33%	DS	Plannen en procedures	26	100,00%	IF	Verbinding faalt	32	69,57%
T	Gebruiken	38	39,18%	DS	Competentie	26	100,00%	BFM	Falende indicatie/ detectie afwijking conditie van containment/ installatie	23	50,00%
IF	Toegestaan om zich in het draaibereik van de kraan te begeven	37	38,14%	T	Verschaffen	13	50,00%	B	Groep van barrières gerelateerd aan veilige zone/ gevaarzone	19	41,30%
IF	Onjuiste hijsmiddelen / uitvalbeveiliging	32	32,99%	BFM	Falende lichaamscontrole of bewustzijn van gevaarzone	12	46,15%	BFM	Falende adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	19	41,30%
B	Bedrijfsbepaling	29	29,90%	B	Noodstopvoorziening	10	38,46%	DS	Onbekend	19	41,30%
DS	Motivatie/ Alertheid	27	27,84%	IF	Fysieke afscherming/ barrière niet verschaft	10	38,46%	IF	Adequaat gebruik van nooddouche	15	32,61%
T	Gebruiken	24	24,74%	T	Gebruiken	10	38,46%	IF	Indicatie / detectie	15	32,61%
BFM	Falende bediening van de kraan/hijswerktuig	23	23,71%	B	Bedrijfsbepaling	9	34,62%	BFM	Falende positie van slachtoffer m.b.t. wind/ uitstroomrichting	13	28,26%
BFM	Falende veilige zone	22	22,68%	DS	Materieel	9	34,62%	T	Onderhouden	12	26,09%

Tijdens de bijeenkomst met experts heeft er een inventarisatie plaats gevonden van de maatregelen die bijdragen aan het voorkomen van blootstelling aan het risico. Onderstaande maatregelen zijn benoemd:

Type	Omschrijving
B	Effectiviteit van brandblussysteem
BFM	Detectie van zwakke signalen (BFM):
IF	- Specificatie van de afmeting van de diameter van de boormachine - Eisen vorm van sluitsteen en mogelijkheid tot fixeren - Ontwerp en robuustheid van het boorsysteem: - Verlengings- en toevoersystemen - Robuustheid van het staatafdichtingssysteem
DS	- Protocolleren van risicovol werk (reparaties aan bewegende delen, werken op hoogte, luchtdrukwerkzaamheden, heetwerk, reparaties aan voertuigen, werken met vuilfrees, verplaatsen van lasten) - Tijdig verhelpen van storingen - Storingen in het vacuümsysteem - Signaleren van schades - Storingen in vetvoedingssystemen - Storingen in het slurrycircuit
T	Handhaven gevaarzone

	• Onderhouden van veiligheidsrelaties: - o Agitator - o Graafwiel • Toezicht
--	---

Subvraag 5: Wanneer leidt een procesverstoring tot een blootstelling aan een risico?

Het falen van een veiligheidsbarrière leidt tot de ontwikkeling van een ongevalsscenario. Om te bepalen welke barrières het meest falen, zijn de scenario's ingedeeld in 4 categorieën:

- Scenario's beoordeeld als risicovol door experts
- Scenario's die voorkomen bij een procesverstoring van lange duur
- Scenario's die op basis van de analyse uit Story Builder risicovol worden geacht.
- Scenario's die voorkomen in de meeste procesverstoringen

Elk scenario en elk ongevalspad heeft een eigen verloop. Bij analyses van meerdere procesverstoringen worden de resultaten algemener van aard. Uit analyses op basis van referentiedata uit Story builder voor het aantal slachtoffers, blootstellingsduur en risicovolle scenario's die benoemd zijn door experts, valt op de drie categorieën grote gelijkenis tonen, specifiek de 5 meest voorkomende factoren. Door het generalistische karakter, volgt uit de analyse dat managementfactoren (plannen en procedures, motivatie en alertheid en tegenstrijdige belangen) en falende taken (gebruiken en verschaffen) het meest bijdragen aan de ontwikkeling van een ongevalsscenario. Uit de analyse van de scenario's per bow tie wordt een specifiek beeld verkregen. Het laat voornamelijk het falen van barrières in het technische systeem zien.

Geconcludeerd kan worden dat, op basis van de ongevalsinformatie van de referentiedata, geen dominant beeld zichtbaar wordt van factoren, of een combinatie van factoren, die het meest frequent bijdragen aan de ontwikkeling van een ongevalsscenario. Algemene analyses geven voornamelijk inzicht in de achterliggende factoren en specifieke analyses geven informatie die specifiek toepasbaar is voor een specifiek scenario. Beide methoden kunnen bruikbaar zijn.

4.7 Conclusie data-analyse

De verstoringen die tijdens het boorproces zijn opgetreden zijn ingedeeld naar verstoringen zoals gehanteerd in het COB/CUR rapport. Er zijn geen verstoringen opgetreden die niet voorzien waren in het CUB/CUR rapport. De indeling die CUR/COB gehanteerd heeft is nog daarmee steeds valide en kan worden toegepast.

Tijdens het boorproces zijn er 385 registraties van procesverstoringen geregistreerd. Uit de data-analyse blijkt dat de totale duur van een de procesverstoringen op een dag in 51% van de gevallen niet langer duurt dan 30 minuten. De helft van de procesverstoringen zijn daarmee kortdurend van aard.

De data van de procesverstoringen is verwerkt in Story builder. De aanwezige ongevalspaden in Story Builder boden voldoende mogelijkheid om de data te verwerken en te analyseren. Er zijn geen gebeurtenissen in de bestaande bow ties toegevoegd. Story Builder wordt daarmee als een bruikbaar instrument geacht om scenario's van procesverstoringen te visualiseren.

De resultaten van de verschillende analyses geven niet hetzelfde beeld van de mate waarin een procesverstoring risicovol is. Analyse op basis van de referentiedata geeft een ander beeld dan de resultaten uit de expertbijeenkomst. Hetzelfde geldt voor de maatregelen. Maatregelen die zijn bepaald op basis van de analyse van de referentiedata zijn algemeen van aard en voornamelijk gericht op het verbeteren van de managementfactoren en falende taken. Maatregelen op basis van de referentiedata van een centrale gebeurtenis is specifiek, echter toont per bow tie grote variatie. Maatregelen op basis van de bijeenkomst met experts omvatten concrete maatregelen en hebben niet alleen betrekking op de realisatiefase, maar ook op de initiatief- en ontwerpfase.

Als het aantal ongevalspaden vergeleken wordt met aantal keer dat een barrière faalt, kan vastgesteld worden dat meerdere barrières per scenario falen. Om procesverstoringen te beheersen zullen dan dus ook meerdere maatregelen noodzakelijk zijn. De analyses vanuit Story Builder laten zien dat het hier niet-fysieke barrières betreft.

5 Conclusie & aanbevelingen

Dit hoofdstuk omvat de conclusies en aanbevelingen. Het hoofdstuk geeft de algemene conclusie en beantwoordt de hoofdvraag. Het hoofdstuk wordt afgerond met de aanbeveling door antwoord te geven de laatste subvraag.

5.1 Conclusie

Het tunnelboorproces is een continu, beheerst en veilig proces. Als het proces wordt verstoord of onderbroken, dan dient door medewerkers ingegrepen te worden om de verstoring of onderbreking te verhelpen. Procesverstoringen of onderbrekingen worden daarom risicovol geacht.

Het tunnelboorproces is opgedeeld in verschillende productiefuncties. De productiefuncties ontgraven, steunen boorfront, afzetten vizels, vullen staartspleet, logistiek, plaatsen elementen en onderhoud zijn productiefuncties waarbij een medewerker blootgesteld kan worden aan een gevaar. De wijze waarop een medewerker wordt blootgesteld aan een gevaar varieert per verstoring.

Tijdens het boorproces van de case study is geïnventariseerd welke procesverstoringen zich hebben voorgedaan. Op basis van de data zijn de procesverstoringen gecategoriseerd per productiefunctie en zijn de blootstellingsscenario's bepaald. De data geeft een betrouwbaar beeld over het verloop van de procesverstoring en geeft een indicatie over de duur van een procesverstoring. Uit de data kan niet de blootstellingsduur aan een gevaar worden vastgesteld en de frequentie van de procesverstoring. Door het ontbreken van ongevals- en blootstellingsgegevens kan op basis van de data niet vastgesteld worden welke productiefuncties risicovol zijn.

De blootstellingsscenario's zijn verwerkt in storybuilder. Door brede toepassing van de fault tree analyses en event tree analyses in de tunnelbouw, wordt geconcludeerd dat Story builder geschikt voor dit onderzoek.

De analyses vanuit storybuilder, op basis van het aantal slachtoffers, de duur van een procesverstoring en de beoordeling van experts, geven een gevarieerd beeld in welke scenario's het meest risicovol zijn. Door de objectiviteit van de beoordeling van risicovolle scenario's en het specifieke karakter van het tunnelboorproces, ligt het daarom voor de hand om de scenario's die zijn benoemd door de experts te beschouwen als meest risicovolle scenario's.

De maatregelen zijn bepaald op basis van de analyses vanuit story builder en maatregelen die door experts worden voorgesteld. Analyses vanuit storybuilder geven een voor wat betreft de criteria, duur van de procesverstoring, aantal slachtoffers en beoordeling door experts een uniform beeld. Door het generalistische karakter van de analyse worden maatregelen benoemd die betrekking hebben op onderdelen van het beheerssysteem en taken die ondersteunende veiligheidsbarrières onderhouden. De top 5 maatregelen zijn voor de drie analyses komen met elkaar overeen. Toepassing van deze maatregelen worden daarom bruikbaar geacht.

De analyse op basis van scenario's die het meest voorkomen bij procesverstoringen laten maatregelen zien die specifiek van aard zijn. Deze analyse laat zien dat voornamelijk het falen van technische maatregelen bijdragen aan de ontwikkeling van ongevalsscenario's.

Uit de analyse vanuit Story Builder en de maatregelen die door experts worden voorgesteld komt geen dominant beeld naar voren van maatregelen of combinatie van maatregelen die toegepast dienen te worden om de arbeidsveiligheid van medewerkers te borgen.

Welke maatregelen dragen bij om arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen van de meest risicovolle productiefuncties van een tunnelboorproces in slappe bodem te beheersen?

Op basis van de literatuurstudie, de data-analyse en expertbijeenkomst wordt vastgesteld dat het boorproces een veilig en beheerst proces is en dat procesverstoringen de grootste oorzaak zijn van de blootstelling aan arbeidsveiligheidsrisico's. Alhoewel ongevallen veelal via dezelfde ongevalspaden verlopen, zullen toekomstige ongevallen een eigen karakter hebben. Door het toepassen van generieke maatregelen in het managementsysteem en specifieke maatregelen in het technische systeem, is het de verwachting dat de procesverstoringen veilig afgehandeld kunnen worden.

Op basis van dit onderzoek, wordt al wel een beeld verkregen van maatregelen die kunnen bijdragen aan het beheersen van arbeidsveiligheidsrisico's, echter voor een betrouwbaarder beeld is meer informatie over het verloop van het ongevalspad gewenst. Doordat ongevalspaden van ongevallen met een grote impact en ongevallen met een kleine impact volgens een andere weg verlopen, is meer informatie vereist. Deze informatie dient specifiek een beter beeld te geven van het verloop van de ongevalspaden.

Om arbeidsveiligheidsrisico's beter te kunnen beheersen dienen maatregelen genomen te worden in verschillende fases van het project. Maatregelen in de fase van initiatiefneming zijn voornamelijk gericht op optimalisatie van de diameter van de tunnel en vorm van de sluitsteen. In de ontwerpfase hebben maatregelen voornamelijk betrekking op de robuustheid van het (boor)systeem, brandblussysteem en de fysieke ruimtes. In de uitvoeringsfase draagt het signaleren van zwakke signalen en het protocolleren van risicovol werk het meeste bij aan het veilig afhandelen van procesverstoringen.

5.2 Aanbevelingen

Hoe kan de kwaliteit van een barrière verbeterd worden?

Uit het onderzoek blijkt dat aanleverbeheersystemen, taken van het managementsysteem en barrières van het technische systeem bepalend zijn in de ontwikkeling van ongevalsscenario's. De kwaliteit, betrouwbaarheid en robuustheid van een maatregel is bepalend in de ontwikkeling van een ongevalsscenario. Een systematische benadering in het ontwerpen, toepassen, onderhouden en monitoren van maatregelen dient daarom toegepast te worden.

Bij het ontwerpen van technische maatregelen is de betrouwbaarheid van belang. HAZOP-analyses kunnen de betrouwbaarheid aantonen of verbeteren en ook het toepassen van meerdere fysieke maatregelen vergroot de robuustheid van het systeem.

Achterliggende factoren zoals het toepassen en onderhouden van maatregelen wordt geborgd door het managementsysteem. Door de rol die de maatregelen spelen in de beheersing van arbeidsveiligheidsrisico's, kan een managementsysteem toegepast worden dat gebaseerd is op barrières.

Het functioneren van de maatregelen en de systemen dienen gemonitord te worden. Het monitoren van de kwaliteit van barrières zou mogelijk zijn met behulp van indicatoren. Deze indicatoren zijn nog niet beschikbaar en dienen in de toekomst ontwikkeld te worden.

Referenties

- Ale, B. J. M., Bellamy, L. J., Baksteen, H., Damen, M., Goossens, L. H. J., Hale, A. R., ... Whiston, J. Y. (2008). Accidents in the construction industry in the Netherlands: An analysis of accident reports using Storybuilder. *Reliability Engineering and System Safety*, 93(10), 1523–1533. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2007.09.004>
- Aneziris, O. N., Papazoglou, I. A., & Kallianiotis, D. (2010). Occupational risk of tunneling construction. *Safety Science*, 48(8), 964–972. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.11.003>
- Bandmann, M., Chromy, W. & Haack, A. (2005). Prevention of accidents during the tunnel construction phase, 1051–1056.
- Bellamy, L. J., Ale, B. J. M., Geyer, T. A. W., Goossens, L. H. J., Hale, A. R., Oh, J., ... Whiston, J. Y. (2007). Storybuilder-A tool for the analysis of accident reports. *Reliability Engineering and System Safety*, 92(6), 735–744. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2006.02.010>
- CUR/COB. (1997). Rapport N 510-01 "Risico-analyse bouwphase boortunnel". Gouda.
- Duijm, N. J. (2009). Safety-barrier diagrams as a safety management tool. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(2), 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2008.03.031>
- Economisch Instituut voor de Bouw. (2016). *Investeren in de infrastructuur*. Amsterdam. Geraadpleegd op http://www.eib.nl/pdf/investeren_in_de_infrastructuur.pdf
- Eskesen, S. D., Tengborg, P., Kampmann, J., & Holst Veicherts, T. (2004). Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group No. 2. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 19(3), 217–237. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2004.01.001>
- Hulshof, M. (2016). *Leren interviewen* (7e druk). Groningen, Nederland: Noordhoff.
- Hyun, K. C., Min, S., Choi, H., Park, J., & Lee, I. M. (2015). Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 49, 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.04.007>
- Inspectie SZW. (2016). *Jaarverslag 2016*. Geraadpleegd op <https://1848.nl/static/pdf/9f/1d/9f1dc270442d86e90c7a2abc5a642091a2fc31f5.pdf>
- ITA Working Group Health and Safety. (2011). *Safe working in tunnelling* (Vol. 3). Geraadpleegd op https://about.ita-aites.org/publications/wg-publications/download/100_edb6e056eb0e8111d89e303c19bf820a
- ITA Working Group Health and Safety in Works. (2008). *Guidelines for good occupational health and safety practice in tunnel construction*. ITA Report (Vol. 001). Geraadpleegd op <https://about.ita-aites.org/publications/wg-publications/94-guidelines-for-good-occupational-health-and-safety-practice-in-tunnel-construction>

- Kikkawa, N., Itoh, K., Hori, T., Toyosawa, Y., & Orense, R. P. (2015). Analysis of Labour Accidents in Tunnel Construction and Introduction of Prevention Measures. *Industrial Health*, 53(6), 517–521. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2014-0226>
- Li, Y., & Guldenmund, F. W. (2018). Safety management systems: A broad overview of the literature. *Safety Science*, 103(October 2017), 94–123. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.11.016>
- Li, Y., Guldenmund, F. W., & Aneziris, O. N. (2017). Delivery systems: A systematic approach for barrier management. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.02.007>
- Sklet, S. (2006). Safety barriers: Definition, classification, and performance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19(5), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.12.004>
- Sousa, R. L. (2010). *Risk Analysis for Tunneling Projects*. Massachusetts Institute of Technology. Geraadpleegd op <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/58282#files-area>
- Swuste, P. (2003). Exposure and Accident Scenario 's during Tunnel Construction. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap*, 2003 (01), 9-10. Geraadpleegd op <https://www.arbeidshygiene.nl/uploads/files/insite/2003-01-swuste-extended-abstract-ioha-2002-conference-tunnelconstruction.pdf>
- Swuste, P., Theunissen, J., Schmitz, P., Reniers, G., & Blokland, P. (2016). Process safety indicators, a review of literature. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.12.020>
- Tang, B., Cheng, H., Tang, Y., Yao, Z., Rong, C., Wang, X., ... Guo, S. (2018). Experiences of gripper TBM application in shaft coal mine: A case study in Zhangji coal mine, China. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 81(August), 660–668. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.08.055>
- Verma, S., & Chaudhari, S. (2017). Safety of Workers in Indian Mines: Study, Analysis, and Prediction. *Safety and Health at Work*, 8(3), 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.01.001>
- Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2015). *Het ontwerpen van een onderzoek* (5e druk). Amsterdam, Nederland: Boom Lemma.
- Wang, F., Ding, L., Love, P. E. D., & Edwards, D. J. (2016). Modeling tunnel construction risk dynamics: Addressing the production versus protection problem. *Safety Science*, 87, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.01.014>
- Winge, S., & Albrechtsen, E. (2018). Accident types and barrier failures in the construction industry. *Safety Science*, 105(February), 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.006>
- WORM Metamorphosis Consortium. (2008). *RIVM report 620801001 The quantification of occupational risk*.

Bijlage 1

Algemeen

Storing: E1-05: onverwachte verontreiniging

BowTie: 14.1 uitstroom gevaarlijke stof uit open vat of insluitsysteem

Selectie: 37 and 1084

aantal: 8

scenario: medewerker wordt blootgesteld aan verontreinigde slurry bij verlengen van leidingen.

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	2	25%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	4	50%

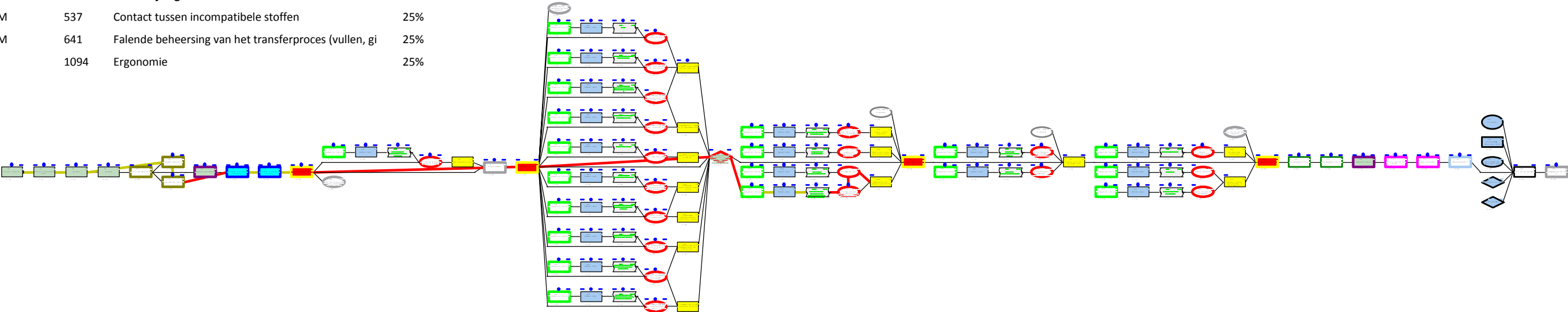
E1-05: onverwachte verontreiniging

maatregelen:

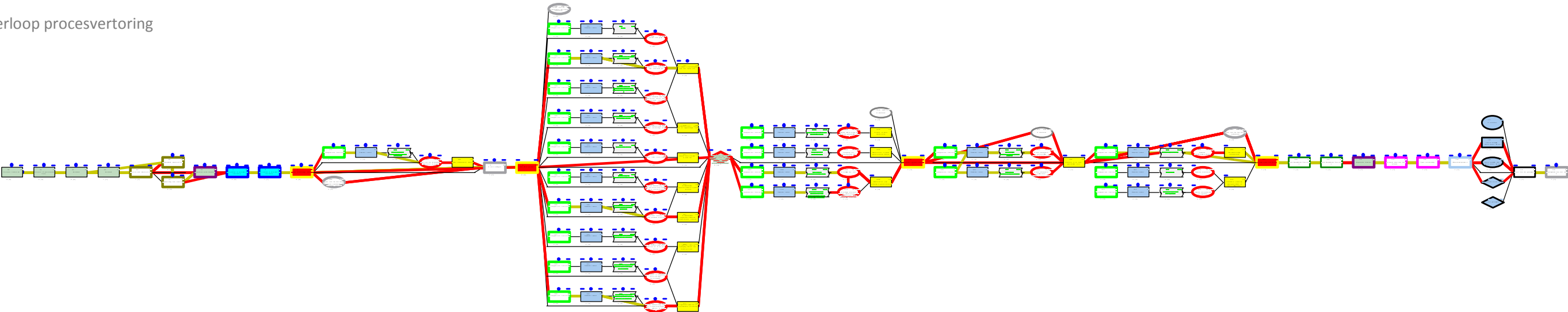
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	840	Bedrijfshulpverlening	13%	1115	Afstand tussen slachtoffer en insluitsysteem met gev	13%	880	Evacuatie	0%
BFM	1084	Onveilige lay -out	100%	942	Geen adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	38%	371	Impact (van buitenaf) niet voorkomen	38%
IF	977	ESAW 16.02.00 Veiligheidskleding	38%	972	PBM is niet gebruikelijk voor deze activiteit	25%	869	Onmiddellijk verwijdering van besmette kleding	13%
DS	954	Onbekend	25%	1088	Plannen en procedures	25%	1090	Competentie	25%
T	1097	Verschaffen	75%	956	Gebruiken	25%	384	Verschaffen	25%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	537	Contact tussen incompatibele stoffen	25%
BFM	641	Falende beheersing van het transferproces (vullen, gi	25%
DS	1094	Ergonomie	25%
IF			



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E1-14: Hoofdlager faalt

BowTie: 08.1 Contact met bewegende delen van de machine

Selectie: 625 and 658

aantal: 44

scenario: medewerker komt in contact met bewegende deen bij smeren onderhoud aan hoofdlager

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	37	84%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	4	9%

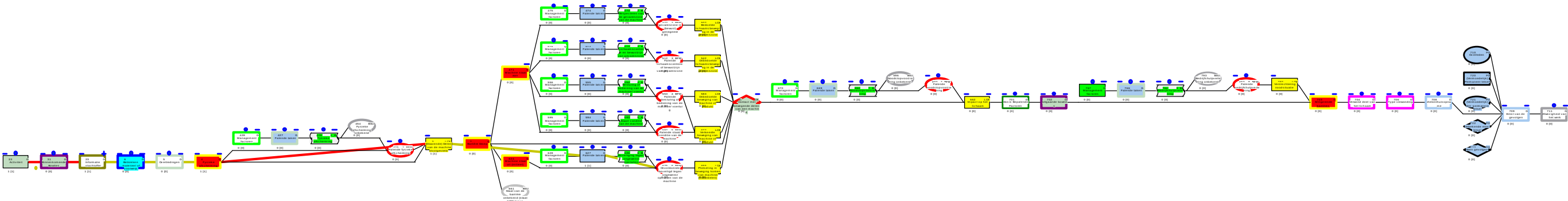
E1-14: Hoofdlager faalt

maatregelen:

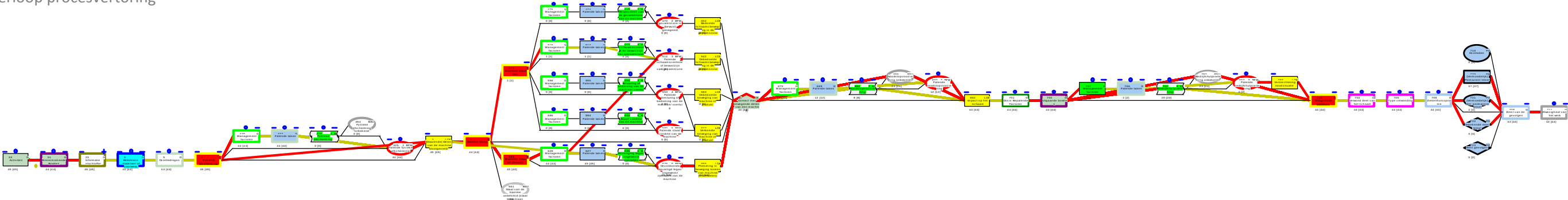
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	764	Bedrijfs hulpverlening	44%	664	Noodstopvoorziening	18%	473	Respecteren van de gevarenszone van de machine	0%
BFM	625	Onvoldoende beveiligd tegen ongewenst opstarten v	100%	425	Falende fysieke afscherming	98%	663	Falende noodstopvoorziening	27%
IF	658	Onjuist gebruik van noodknop / beveiliging	100%	457	Fysieke afscherming onvoldoende	33%	458	Fysieke afscherming verwijderd/ gedeactiveerd	29%
DS	436	Materieel	49%	634	Motivatief/ Alertheid	38%	629	Plannen en procedures	31%
T	639	Gebruiken	69%	438	Verschaffen	33%	439	Gebruiken	33%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
DS	636	Materieel	29%
DS	429	Plannen en procedures	29%



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E1-16: andere storing boormachine

BowTie: 08.1 Contact met bewegende delen van de machine

Selectie: 625 and 39 and 638

aantal: 13

scenario: Boorpompleiding gaat kapot en moet vervangen worden

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	7	54%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	3	23%

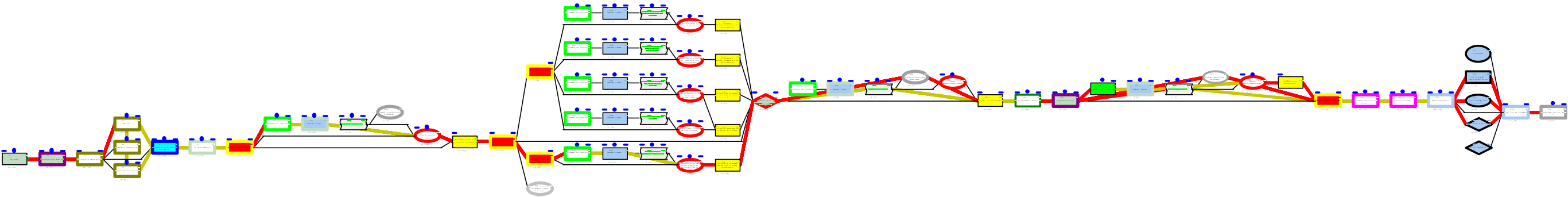
E1-16: andere storing boormachine

maatregelen:

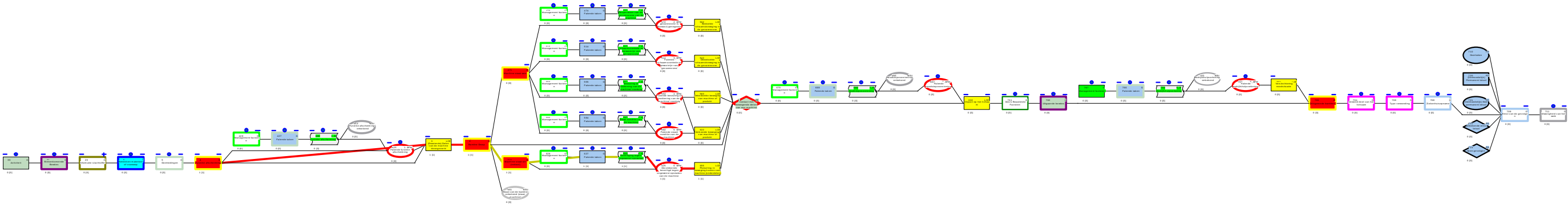
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	664	Noodstopvoorziening	31%	764	Bedrijfshulpverlening	8%	473	Respecteren van de gevarenzone van de machine	0%
BFM	625	Onvoldoende beveiligd tegen ongewenst opstarten v	100%	425	Falende fysieke afscherming	100%	763	Falende bedrijfshulpverlening	23%
IF	457	Fysieke afscherming onvoldoende	54%	657	Automatisch / getriggerde beweging	46%	659	Onvoldoende mechanisch geborgd	46%
DS	436	Materieel	62%	629	Plannen en procedures	54%	636	Materieel	46%
T	638	Verschaffen	100%	438	Verschaffen	62%	439	Gebruiken	23%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
DS	429	Plannen en procedures	46%
IF	462	Fysieke afscherming voldoet aan geldende eisen	46%



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

E1-24: falen afvoer materiaal

Algemeen

Storing: E1-24: falen afvoer materiaal

BowTie: 08.1 Contact met bewegende delen van de machine

Selectie: 472 AND 458 and 41

aantal: 30

scenario: Contact met bewegende delen door probleem met versmering

Slachtofferinformatie

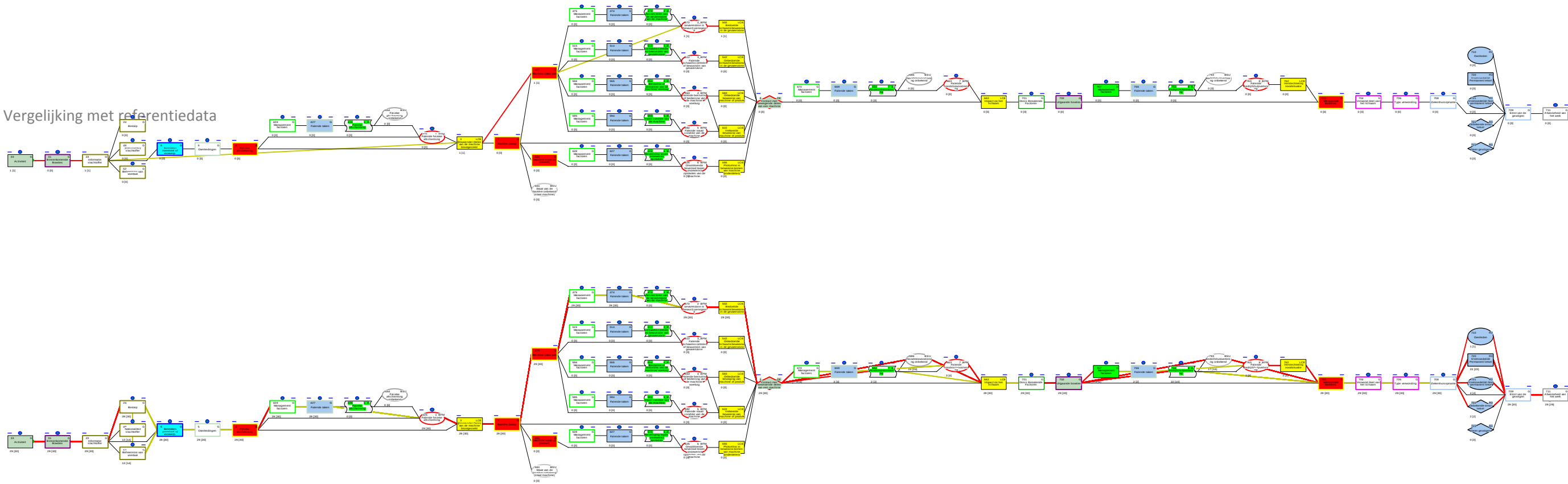
Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	3%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	23	77%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	4	13%

E1-24: falen afvoer materiaal

maatregelen:

Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	764	Bedrijfs hulpverlening	34%	664	Noodstopvoorziening	7%	473	Respecteren van de gevarenszone van de machine	0%
BFM	472	gevaarszone is (bewust) genegeerd	100%	425	Falende fysieke afscherming	100%	663	Falende noodstopvoorziening	10%
IF	458	Fysieke afscherming verwijderd/ gedeactiveerd	100%	462	Fysieke afscherming voldoet aan geldende eisen	21%	699	Noodstopvoorziening niet gebruikt	10%
DS	481	Motivatie/ Alertheid	55%	437	Onbekend	34%	478	Competentie	31%
T	486	Gebruiken	83%	439	Gebruiken	62%	440	Onderhouden	24%

Vergelijking met referentiedata



Algemeen

Storing: E1-26: Blootstelling aan schadelijke atmosfeer

BowTie: 22.1 Contact met schadelijke atmosfeer in besloten ruimte

Selectie: 614

aantal: 21

scenario: Blootstelling aan schadelijke atmoosfeer door indringing of ontwikkeling van een schadelijk

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	3	14%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	2	10%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	14	67%

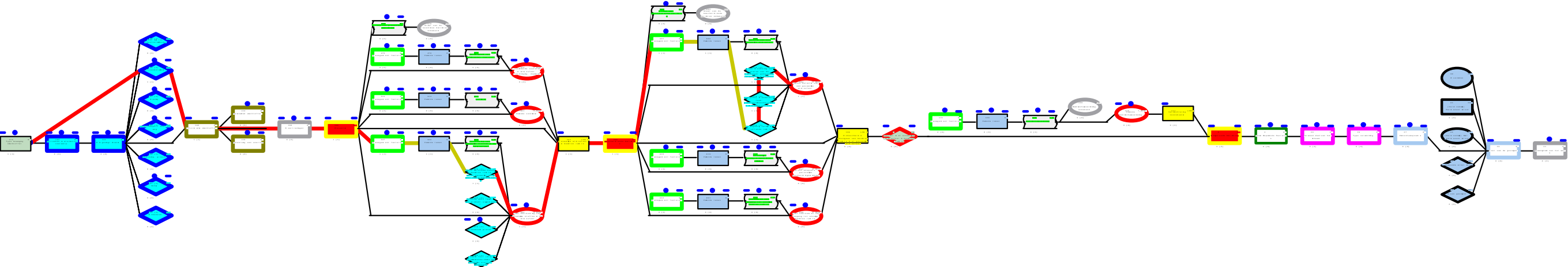
E1-26: Blootstelling aan schadelijke atmosfeer

maatregelen:

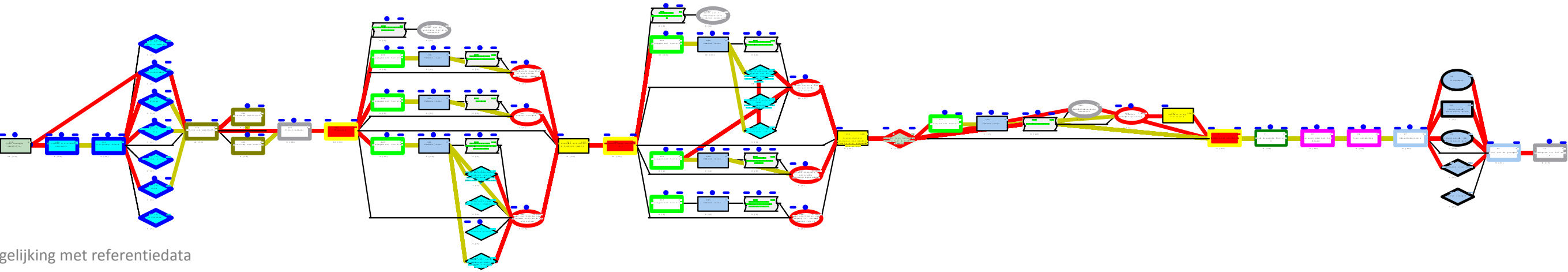
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	119	Bedrijfs hulpverlening	89%	618	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	0%	650	Voorkomen van toegang tot onveilige besloten ruimte	0%
BFM	584	Falende detectie van een gevaarlijke atmosfeer	100%	585	Detectie van een gevaarlijke atmosfeer	0%	476	Onvoldoende zuurstof in atmosfeer (verdringing, dep	33%
IF	614	Geen monitoring van status van de atmosfeer gedure	100%	543	onvoldoende (mechanische) ventilatie	33%	648	Geen ademapparatuur	22%
DS	588	Plannen en procedures	56%	596	Onbekend	33%	590	Competentie	22%
T	598	Gebruiken	78%	525	Gebruiken	22%	135	Onbekende falende taak	11%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	617	Geen adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	22%
BFM	544	Falen voorkoming van schadelijke stoffen in de atmo:	22%
DS	593	Motivatie/ Alertheid	22%
IF			



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing:	E2-03: Aan- en afvoer afdditieve stuenvloeistoffen
BowTie:	08.1 Contact met bewegende delen van een machine
Selectie:	584 and 458
aantal:	9
scenario:	contact met bewegende delen door reparaties aan bentonietpomp, leidingen, ventielen, etc

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	6	67%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	1	11%

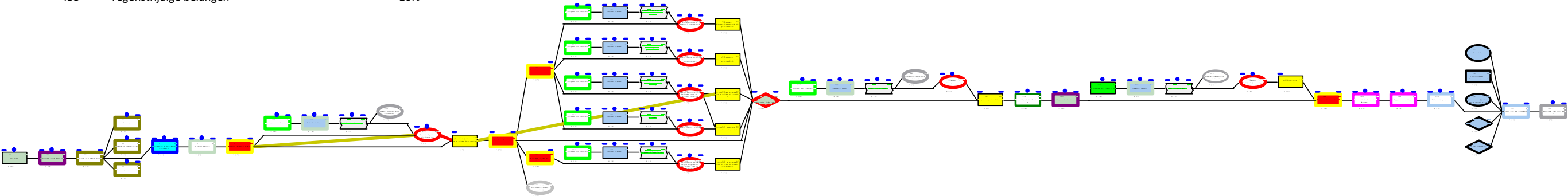
E2-03: Aan- en afvoer afdditieve stuenvloeistoffen

maatregelen:

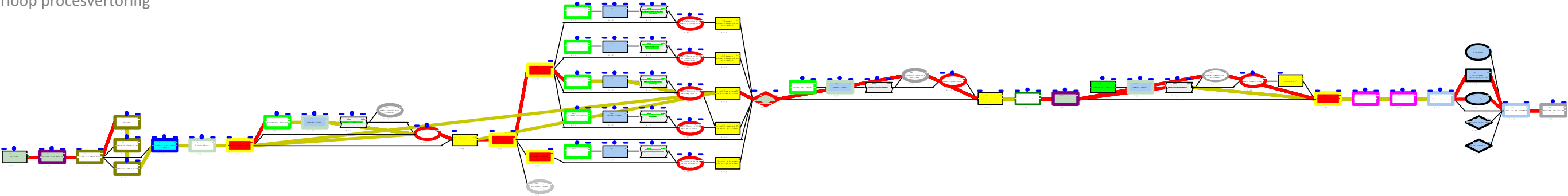
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	764	Bedrijfs hulpverlening	10%	664	Noodstopvoorziening	0%	473	Respecteren van de gevarenzone van de machine	0%
BFM	425	Falende fysieke afscherming	28%	553	Falende besturing of bediening van de machine/ voei	24%	763	Falende bedrijfs hulpverlening	0%
IF	584	Onbedoeld bedienen van de machine	31%	458	Fysieke afscherming verwijderd/ gedeactiveerd	31%	591	Afleiding	7%
DS	559	Competentie	17%	562	Motivat ie/ Alertheid	17%	563	Ergonomie	10%
T	567	Gebruiken	28%	439	Gebruiken	14%	440	Onderhouden	10%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
DS	429	Plannen en procedures	10%
DS	431	Competentie	10%
DS	433	Tegenstrijdige belangen	10%
IF			



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E2-04 Waterafsluiting faalt

BowTie: 23 verdrinking

Selectie: 6 and 96

aantal: 9

scenario: Door instroom van grote hoeveelheid water kunnen medewerkers niet meer vluchten.

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	8	89%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	0	0%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	1	11%

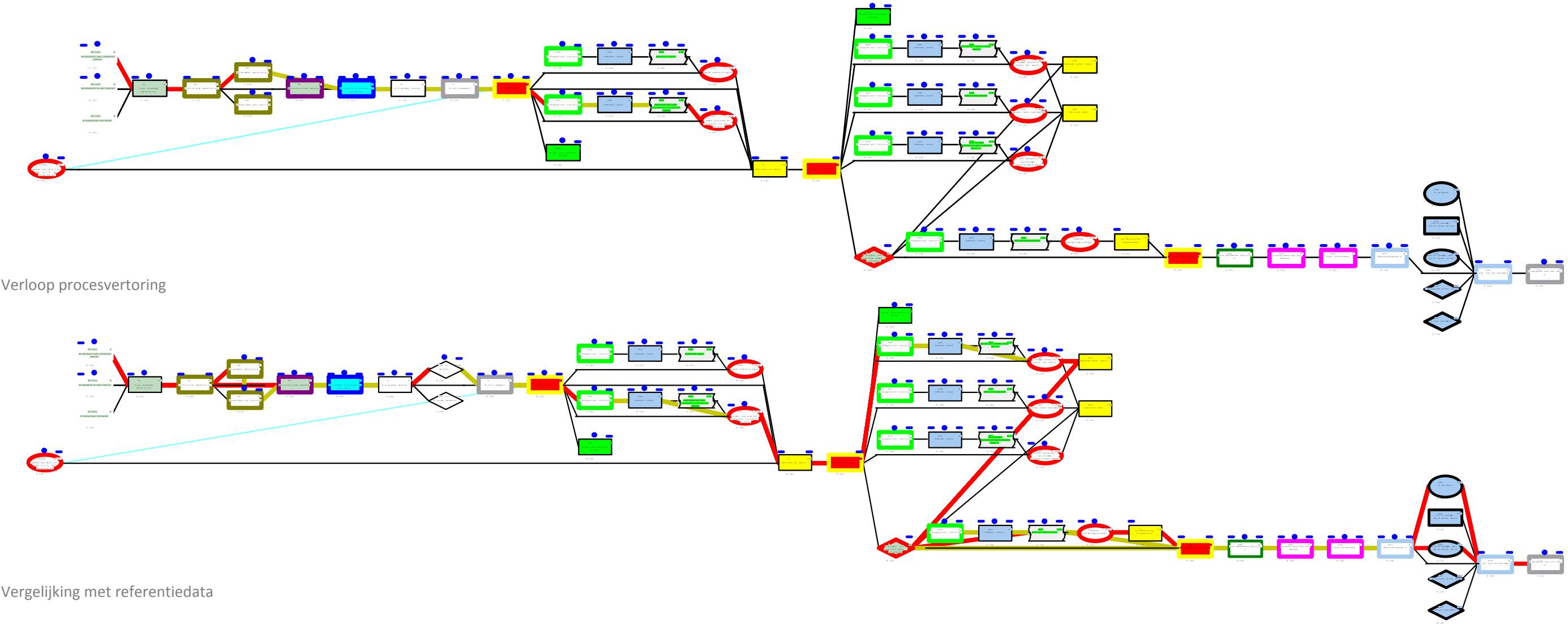
E2-04 Waterafsluiting faalt

maatregelen:

Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	603	Bedrijfs hulpverlening	0	393	Staat van barrière groep	0	397	Positie in/ onder het water	0
BFM	396	Onveilige positie in/ onder het water	0	357	Falen voorkomen ongewenst te water geraken	0	602	Falende bedrijfs hulpverlening	0
IF	433	Vastgehouden door voertuig onder water	0	431	(Waarschijnlijk) opgesloten (in een voertuig) onder w	0	634	Geen directe hulpverlening	0
DS	408	Onbekend	0	402	Competentie	0	407	Materieel	0
T	410	Gebruiken	0	371	Gebruiken	0	409	Verschaffen	0

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
DS	366	Motivat ie/ Alertheid	0



Algemeen

Storing: E2-09 verlies grote hoeveelheid slurry

BowTie: 15 Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gsloten vat of omhulsel

Selectie: 13 and 465

aantal: 15

scenario: Medewerker komt in contact met slurry door lekkage in leiding waardoor er een grote hoeveelheid slurry uit de leiding stroomt.

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	2	13%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	9	60%

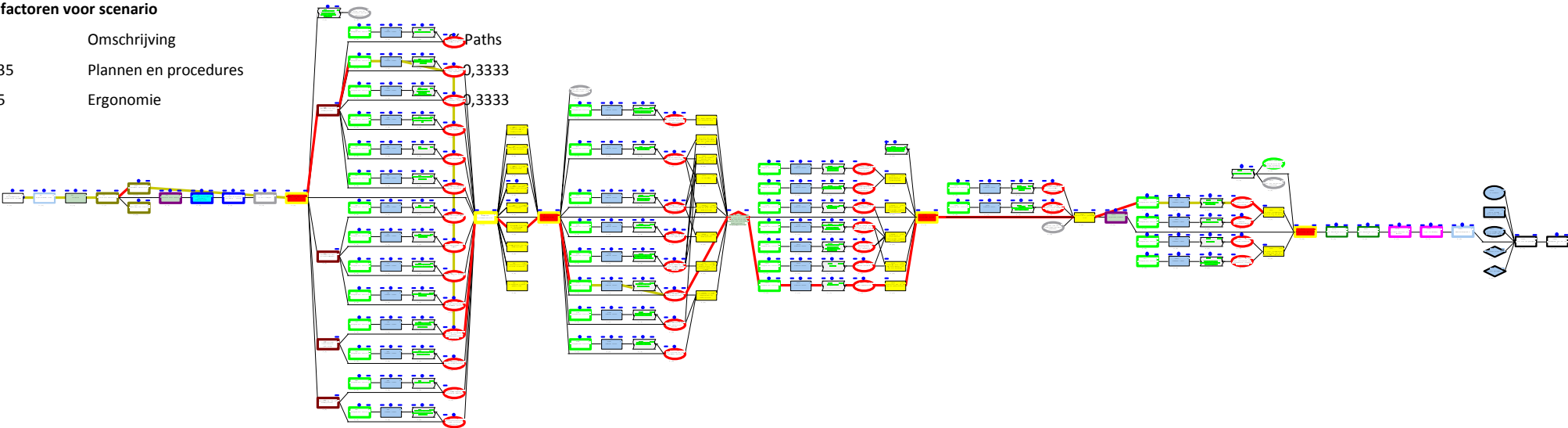
E2-09 verlies grote hoeveelheid slurry

maatregelen:

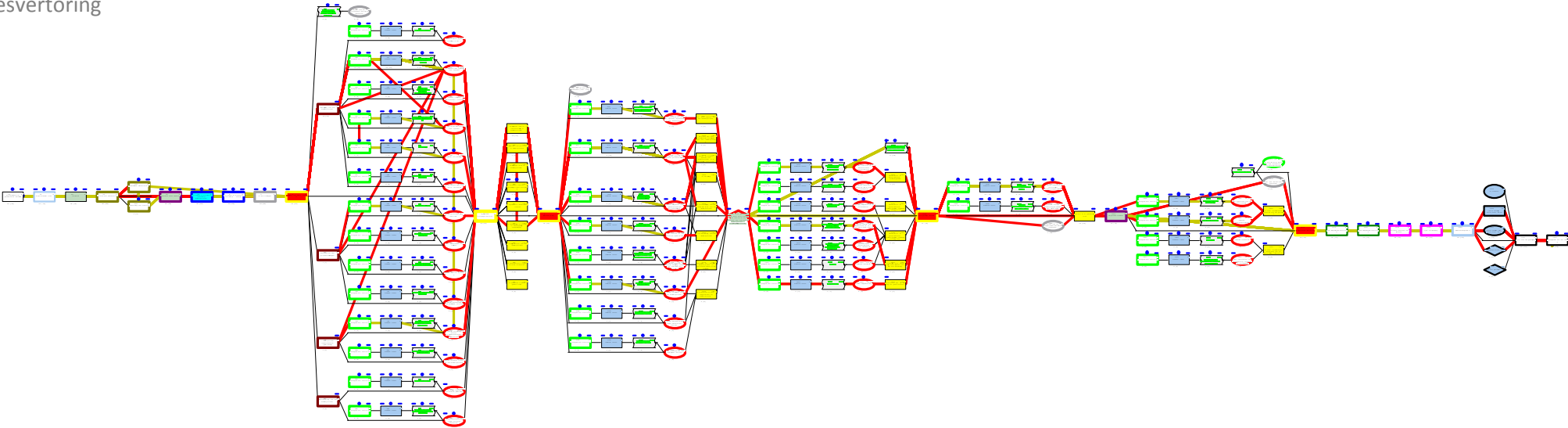
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	1227	Groep van barrières gerelateerd aan veilige zone/ ge	0,6	28_B	Wegvluchten	0,0667	1506	Beperking van de uitstroming	0
BFM	465	Installatie is niet geleegd voor openen	1	1231	Falende adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	0,8667	970	Falende indicatie/ detectie procesafwijking	0,6
IF	495	Product blijft achter	0,7333	1265	Beschermende kleding	0,3333	1567	Adequaat gebruik van nooddouche	0,2667
DS	469	Plannen en procedures	0,4667	1240	Motivatie/ Alertheid	0,4	474	Motivatie/ Alertheid	0,4
T	1245	Gebruiken	0,5333	478	Verschaffen	0,4667	479	Gebruiken	0,4667

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving
DS	1235	Plannen en procedures
DS	475	Ergonomie
DS		
IF		



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E3-04 Lekkage hydrauliek

BowTie: 15 Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gsloten vat of omhulsel

Selectie: 102 and 776

aantal: 11

scenario: Blootstelling aan hydrolische olie door lekkage in leiding

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	2	18%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	9	82%

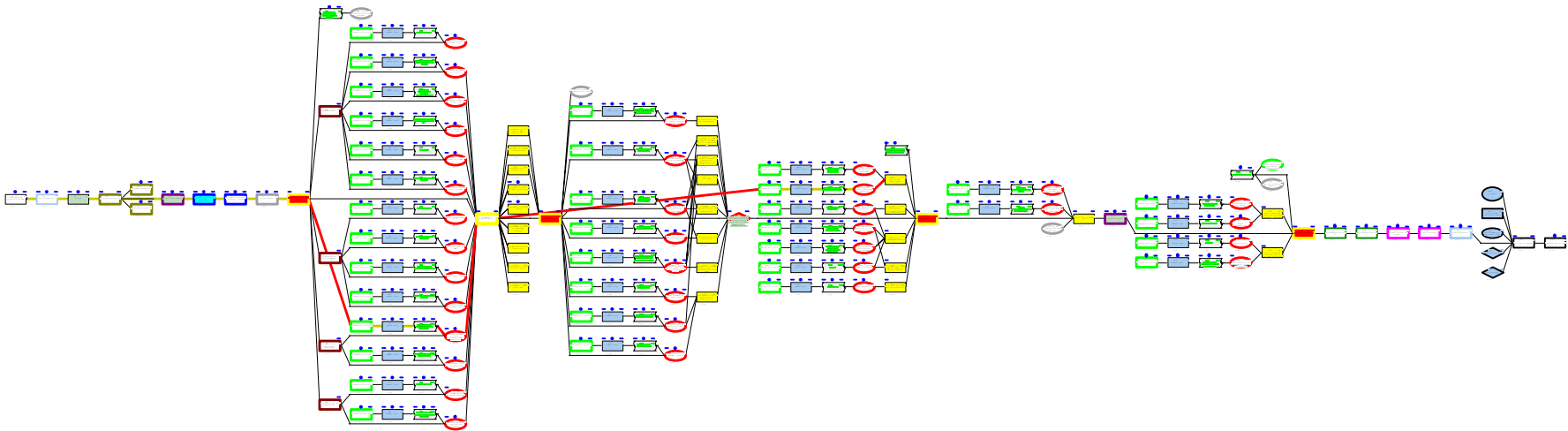
E3-04 Lekkage hydrauliek

maatregelen:

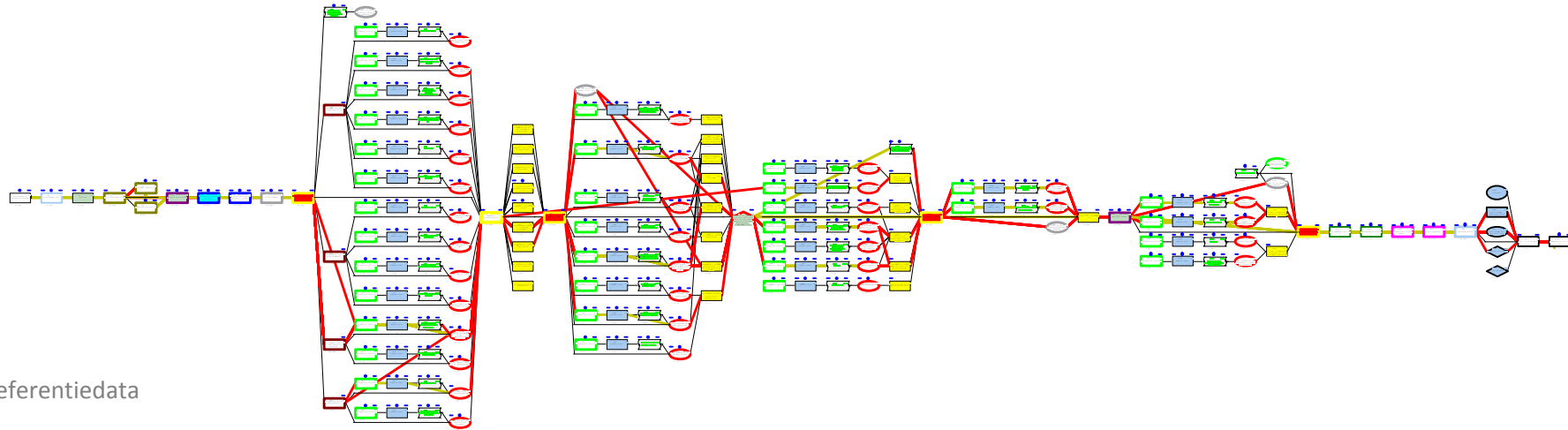
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	1227	Groep van barrières gerelateerd aan veilige zone/ ge	0	777	Verbinding tussen installatieonderdelen/ apparatuur	0	1506	Beperking van de uitstroming	0
BFM	776	Falende verbinding tussen installatieonderdelen/ ap	0	1086	Falende indicatie/ detectie afwijking conditie van con	0	1786	Falende positie van slachtoffer m.b.t. wind/ uitstroor	0
IF	808	Verbinding faalt	0	1567	Adequaat gebruik van nooddouche	0	1817	Slachtoffer te dicht bij mogelijk gevaarlijk insluitsyste	0
DS	788	Onbekend	0	1243	Onbekend	0	1098	Onbekend	0
T	791	Onderhouden	0	1099	Verschaffen	0	792	Toezien op	0

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
IF	1120	Indicatie / detectie	0
BFM	1231	Falende adequate persoonlijke beschermingsmiddele	0
DS	780	Plannen en procedures	0
IF			



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing:	E3-05 vijzel defect
BowTie:	01.1.5.3 val van hoogte onbeschermd
Selectie:	15 and 316 and 538
aantal:	14
scenario:	Door onvoorziene werkzaamheden moet medewerker werkzaamheden op hoogte verrichten

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	7%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	2	14%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	3	21%

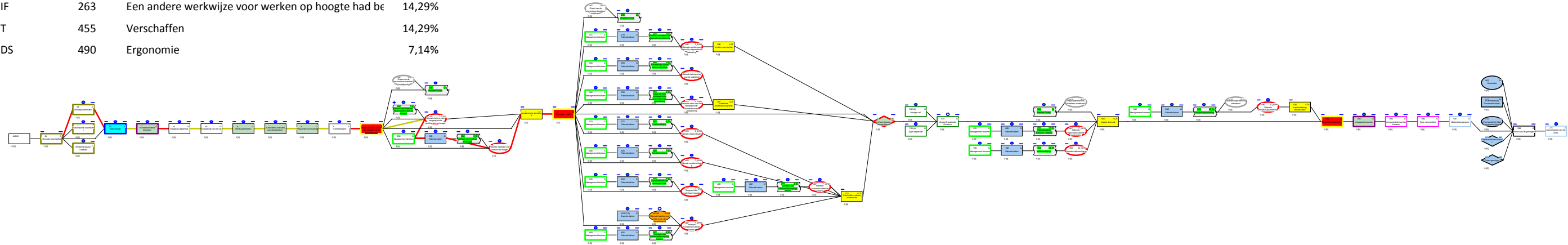
E3-05 vijzel defect

maatregelen:

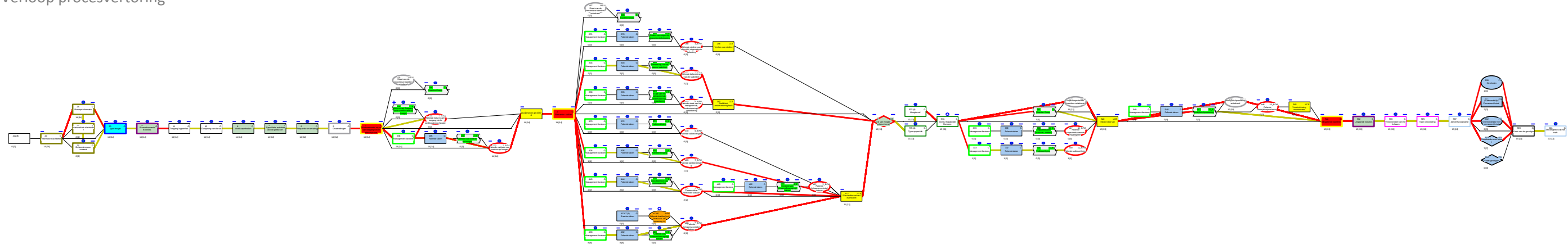
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	547	Bedrijfs hulpverlening	21,43%	701	Valbeveiliging	0,00%	443	Geschiktheid van werkoppervlak	0,00%
BFM	233	Falende methode van werken op hoogte	100,00%	480	Falenede lichaamscontrole/ balans	57,14%	301	Falende beheersing van de stabiliteit	14,29%
IF	264	Werken op hoogte nodig, maar verkeerde werkwijze	71,43%	510	Balans beïnvloedende activiteit	28,57%	516	Verreiken, uit balans raken	21,43%
DS	237	Plannen en procedures	42,86%	489	Motivatïe/ Alertheid	21,43%	242	Motivatïe/ Alertheid	21,43%
T	246	Verschaffen valbeveiliging	57,14%	247	gebruiken	35,71%	495	Onderhouden	21,43%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	442	Ongeschikte werkvloer/ stavlak	14,29%
BFM	199	Falende (wijze van) toegang tot de werklocatie op ho	14,29%
DS	210	Materieel	14,29%
IF	476	Onvoldoende grip of houvast	14,29%
IF	263	Een andere werkwijze voor werken op hoogte had be	14,29%
T	455	Verschaffen	14,29%
DS	490	Ergonomie	7,14%



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E3-05 vijzel defect
BowTie: 03.1 Contact met vallende objecten - van kranen
Selectie: 582 and 28
aantal: 11
scenario: vijzel is defect en moet uit de machine gehesen worden

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	9%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	3	27%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	5	45%

E3-05 vijzel defect

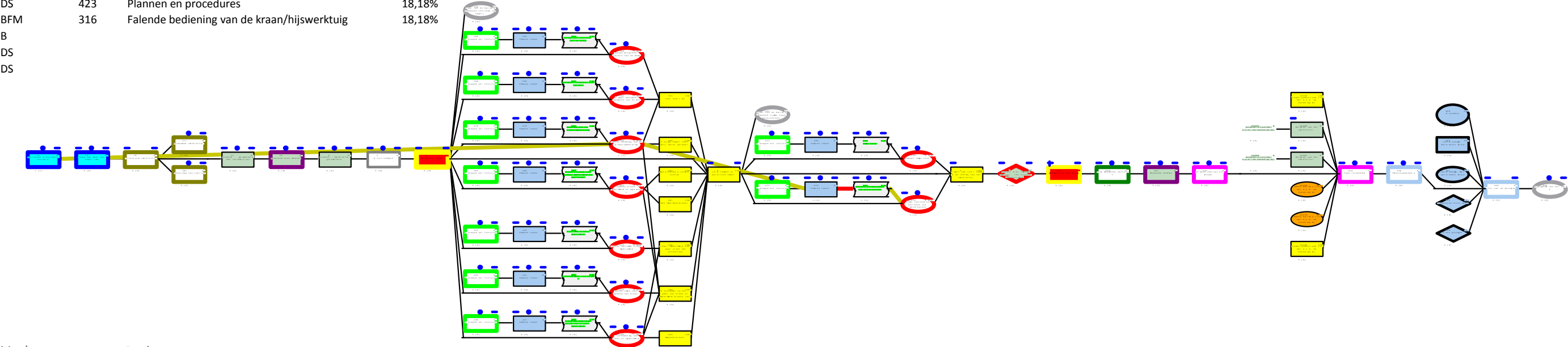
maatregelen:

Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	610	Bedrijfs hulpverlening	45,45%	752	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	9,09%	575	Voorkomen betreden van gevaarzone	9,09%
BFM	574	Falen voorkomen betreden van gevaarzone	100,00%	419	Falende opstelling kraan/ hijsinstallatie	36,36%	282	Onjuist aanslaan/ aanpakken van de last	18,18%
IF	606	Toegestaan om zich in het draaibereik van de kraan t	72,73%	453	Ondergrond is instabiel, niet sterk genoeg	27,27%	782	Hoofdbescherming	9,09%
DS	582	Tegenstrijdige belangen	100,00%	370	Motivatie/ Alertheid	18,18%	372	Materieel	18,18%
T	588	Gebruiken	72,73%	587	Verschaffen	18,18%	433	Gebruiken	18,18%

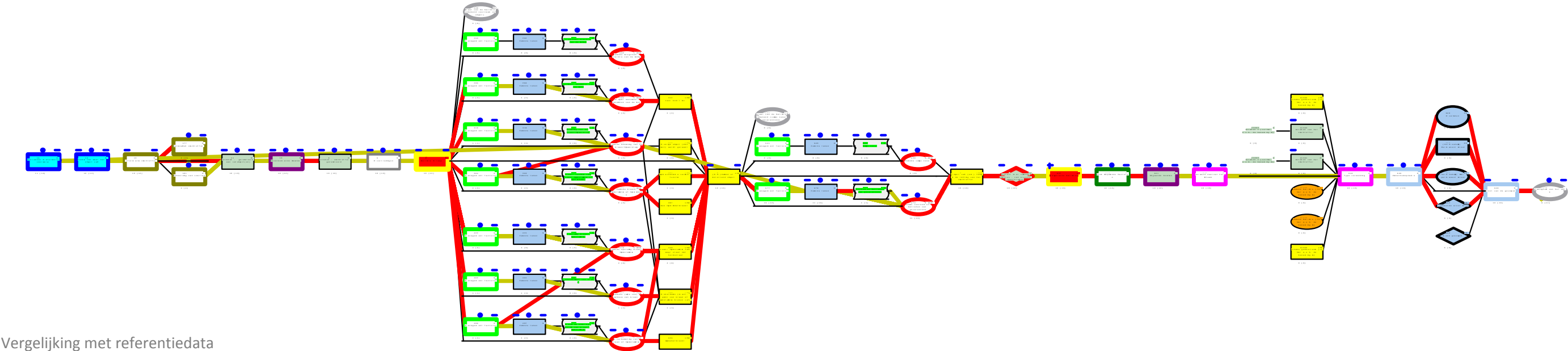
Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
DS	423	Plannen en procedures	18,18%
BFM	316	Falende bediening van de kraan/hijswerktuig	18,18%

B
DS
DS



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E3-08 bedieningsfout

BowTIE: 03.1 Contact met vallende objecten - van kranen

Selectie: 351 and 316

aantal: 7

scenario: door bedieningsfout wordt verkeerde vijzel getrokken

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	2	29%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	2	29%

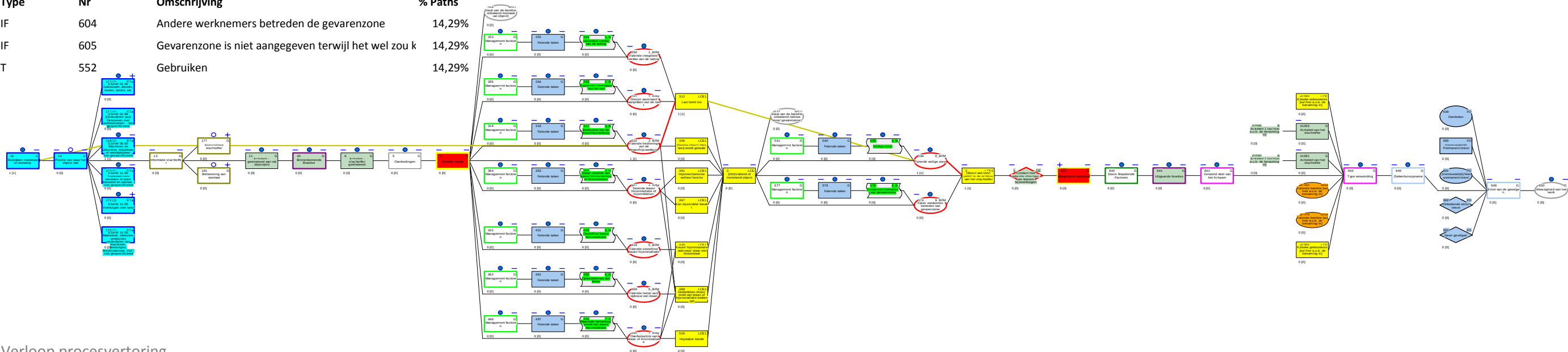
E3-08 bedieningsfout

maatregelen:

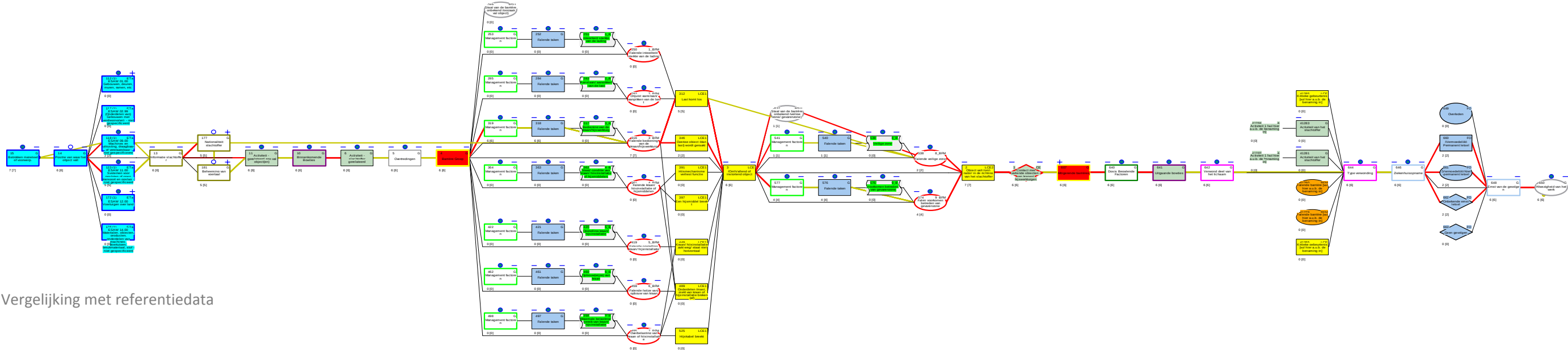
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	610	Bedrijfs hulpverlening	42,86%	539	Veilige zone	0,00%	251	Integriteit/ sterkte van de lading	0,00%
BFM	316	Falende bediening van de kraan/hijswerktuig	100,00%	574	Falen voorkomen betreden van gevarezone	57,14%	538	Falende veilige zone	28,57%
IF	351	Per ongeluk bedienen van machine	100,00%	569	Persoon staat buiten normale kraanbereik	14,29%	606	Toegestaan om zich in het draaibereik van de kraan t	14,29%
DS	325	Motivatief/ Alertheid	57,14%	583	Motivatief/ Alertheid	28,57%	578	Plannen en procedures	14,29%
T	330	Gebruiken	85,71%	587	Verschaffen	28,57%	552	Gebruiken	14,29%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
IF	604	Andere werknemers betreden de gevarezone	14,29%
IF	605	Gevarezone is niet aangegeven terwijl het wel zou k	14,29%
T	552	Gebruiken	14,29%



Verloop procesvertoing



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing:	E4-05 verstopte toevoerleiding
BowTie:	Contact met gevaarlijke stof door uitstroming
Selectie:	47 amd 501
aantal:	4
scenario:	Bij schoonmaakwerkzaamheden komt medewerker in contact met grout/ slurry

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	2	50%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	0	0%

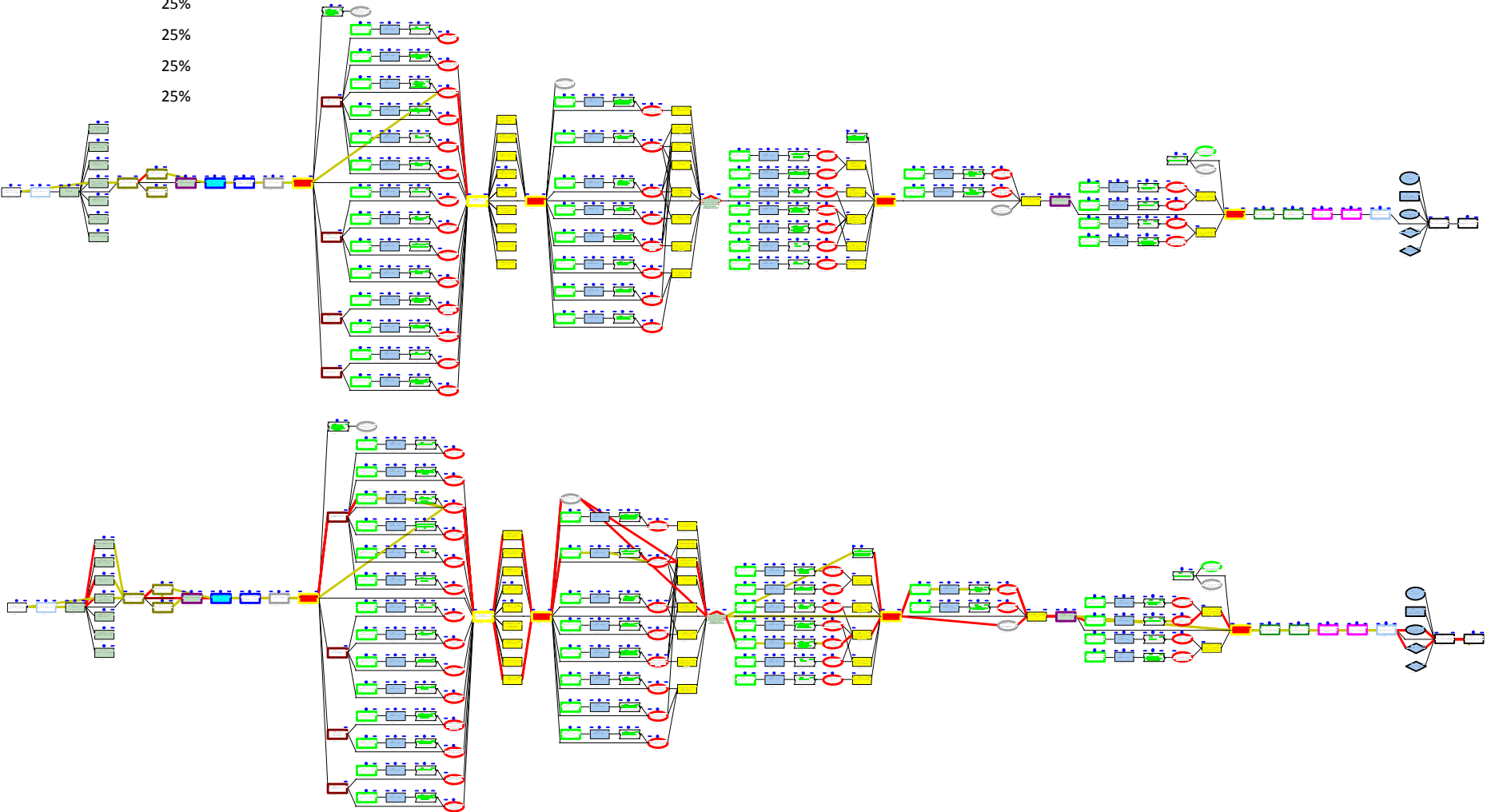
E4-05 verstopte toevoerleiding

maatregelen:

Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	1227	Groep van barrières gerelateerd aan veilige zone/ ge	25%	1506	Beperking van de uitstroming	0%	1536	Bedrijfshulpverlening	0%
BFM	501	Falende reiniging insluitsysteem/ container	100%	1231	Falende adequate persoonlijke beschermingsmiddele	50%	1535	Falende bedrijfshulpverlening	25%
IF	1568	Adequate eerste hulp door spoelen/ koelen met (kra	25%	1577	Verkeerde behandeling	25%	1578	Slachtoffer komt te laat bij dokter	25%
DS	510	Motivatie/ Alertheid	50%	1547	Onbekend	25%	1235	Plannen en procedures	25%
T	515	Gebruiken	75%	1548	Verschaffen	25%	1245	Gebruiken	

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	1819	Binnentreden gevarenzone i.v.m.noodactie	25%
BFM	970	Falende indicatie/ detectie procesafwijking	25%
DS	1243	Onbekend	25%
DS	1828	Motivatie/ Alertheid	25%
IF	1262	PBM gedragen, maar toch is er contact met vloeistof	25%
IF	1263	Veiligheidsbril	25%
IF	1850	Verkeerde werkwijze bij lekkage	25%
IF	1011	Falende detectie door persoon	25%
IF	532	In zijn geheel niet schoongemaakt	25%



Verloop procesvertoring

Vergelijking met referentiedata

Storing: E5-07 Trein of MSV ontspoort

BowTie: 5 Geraakt worden door rollend of glijdend object

Selectie: 151 and 279

aantal: 40

scenario: MSV rijdt naar de TBM en maakt een plotselinge beweging

Slachtofferinformatie		
Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	18	45%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	16	40%

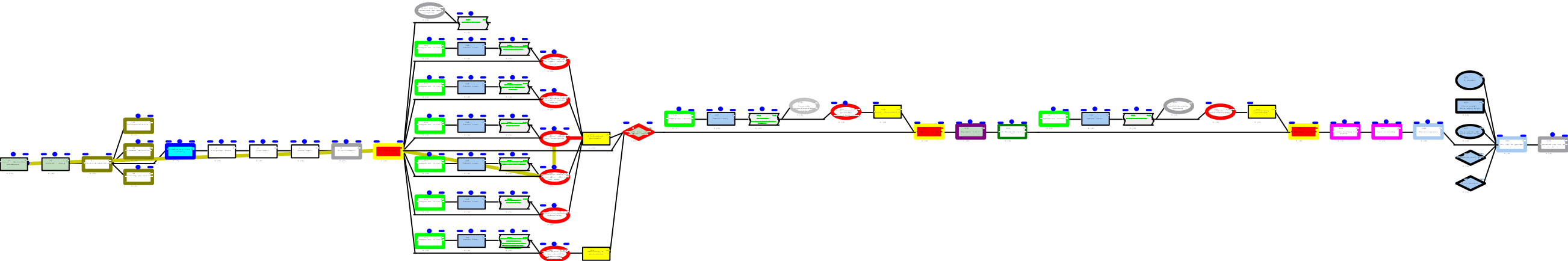
5 Geraakt worden door rollend of glijdend object

maatregelen:

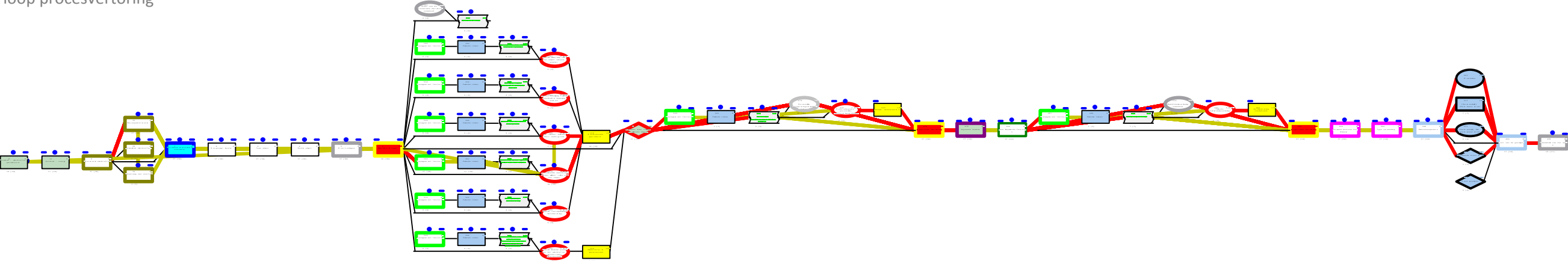
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	485	Bedrijfshulpverlening	39%	544	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	17%	183	Plaatsing van het object (locatie, positie)	0%
BFM	279	Onvoldoende beheersing bij het glijden/ rollen van h	100%	484	Falende bedrijfshulpverlening	6%	543	Geen adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	6%
IF	311	Gebruikersfout	56%	309	Onvoldoende/ niet functioneren van materieel/ hard	17%	574	Veiligheidshandschoenen	11%
DS	286	Communicatie/ Samenwerking	28%	288	Motivatie/ Alertheid	28%	290	Materieel	17%
T	293	Gebruiken	50%	291	Onbekend	22%	292	Verschaffen	17%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
IF	310	Toenemende snelheid	11%
T	295	Toezien op	11%
BFM	246	Niet vlakke/ hellende vloer/ ondergrond	6%



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing:	E5-09: Materiaal voor transport functioneert niet
BowTie:	08.3 beknelling tussen machine en ander object
Selectie:	511 and 215
aantal:	5
scenario:	Beknelling tussen machine en ander object door reparatie aan stilgevallen MSV noodzakelijk is.

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	1	20%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	1	20%

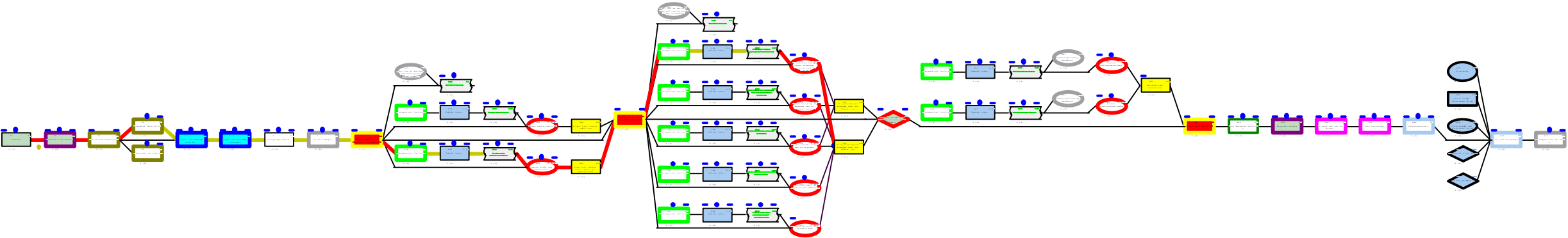
E5-09: Materiaal voor transport functioneert niet

maatregelen:

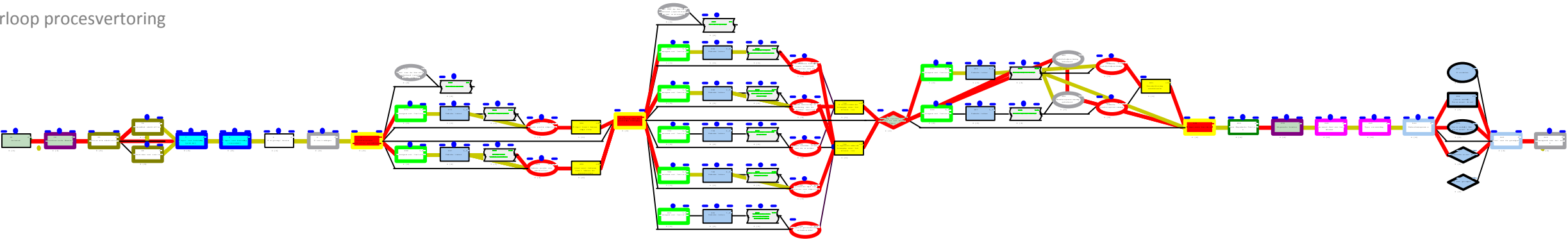
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	933	Bedrijfs hulpverlening	0%	653	Beveiliging tegen ongewenst opstarten	0%	606	Positie van lichaam(sdelen)	0%
BFM	605	Falende positie van slachtoffer	0%	688	Falende besturing of bediening van de machine/ voer	0%	932	Falende bedrijfs hulpverlening	0%
IF	722	Geen/ inadequate visueel contact	0%	637	Tijdelijke gevarenszone	0%	724	Geraakt door voertuig	0%
DS	695	Communicatie/ Samenwerking	0%	613	Tegenstrijdige belangen	0%	944	Onbekend	0%
T	702	Gebruiken	0%	619	Gebruiken	0%	946	Gebruiken	0%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	652	Onvoldoende beveiligd tegen onbedoeld opstarten v	0
BFM	766	Verkeerde wijze van hanteren van object(en)	0
DS			
IF			



Verloop procesvertoring



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E8-02 logistiek faalt

BowTie: 03.1 Contact met vallende objecten - van kranen

Selectie: 372 and 392

aantal: 17

scenario: storing in vacuumsysteem van kraan die segmenten op de band legt

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	6%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	7	41%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	4	24%

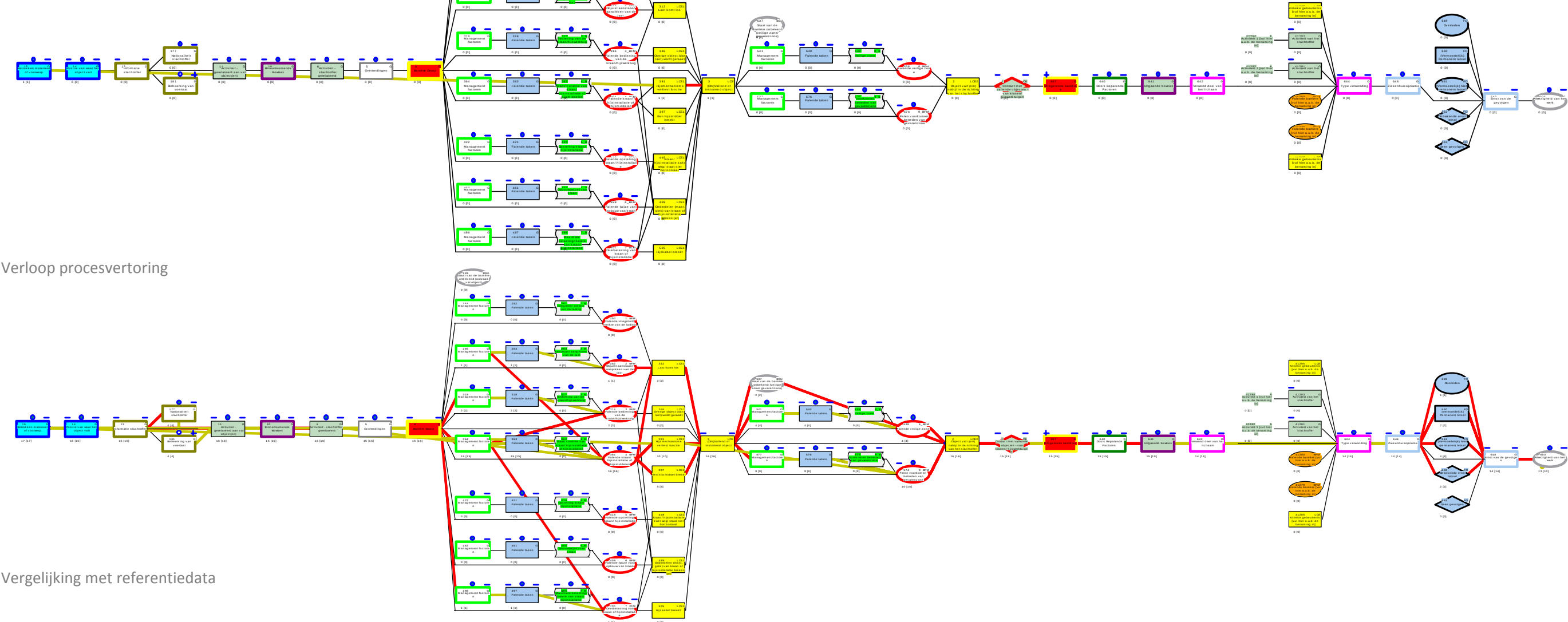
E8-02 logistiek faalt

maatregelen:

Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	610	Bedrijfs hulpverlening	0,2941	752	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	0,1176	539	Veilige zone	0
BFM	361	Falende kraan/ hijsinstallatie of hijsmiddelen	0,9412	574	Falen voorkomen betreden van gevarenszone	0,5882	538	Falende veilige zone	0,2353
IF	392	Deel van het hijsmechanisme breekt/faalt	1	604	Andere werknemers betreden de gevarenszone	0,1765	571	Bescherming tegen vallende objecten faalt/ onvoldoende	0,1176
DS	372	Materieel	1	578	Plannen en procedures	0,2353	580	Competentie	0,1176
T	376	Onderhouden	0,4706	374	Verschaffen	0,3529	588	Gebruiken	0,2941

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
DS	582	Tegenstrijdige belangen	11,76%
IF	394	Hydraulische slang breekt	11,76%



Algemeen

Storing:	E8-02 logistiek faalt
BowTie:	03.1 Contact met vallende objecten - van kranen
Selectie:	126 and 282 and 314
aantal:	70
scenario:	Leidingen worden van de MSV gehesen en vallen uit de kraan

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	5	7%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	31	44%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	16	23%

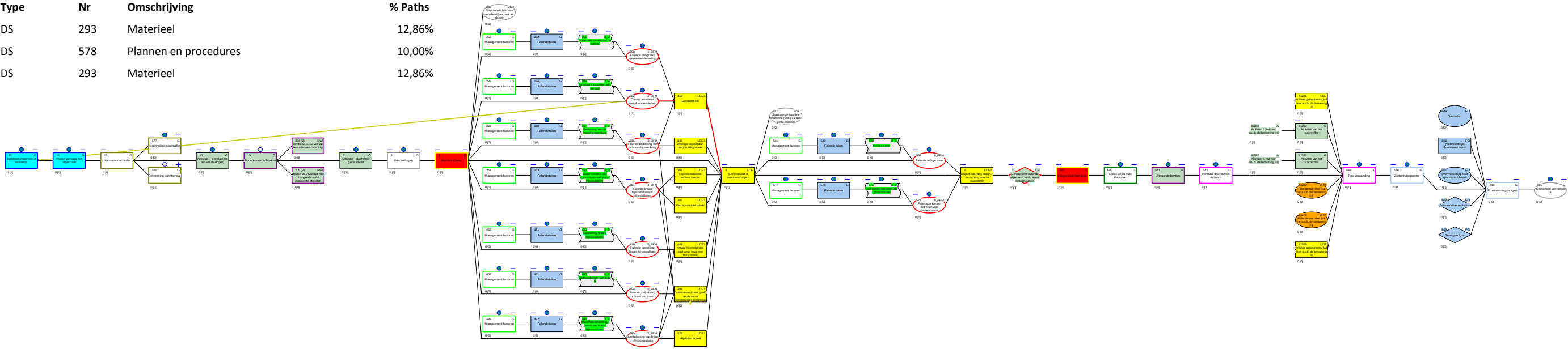
E8-02 logistiek faalt

maatregelen:

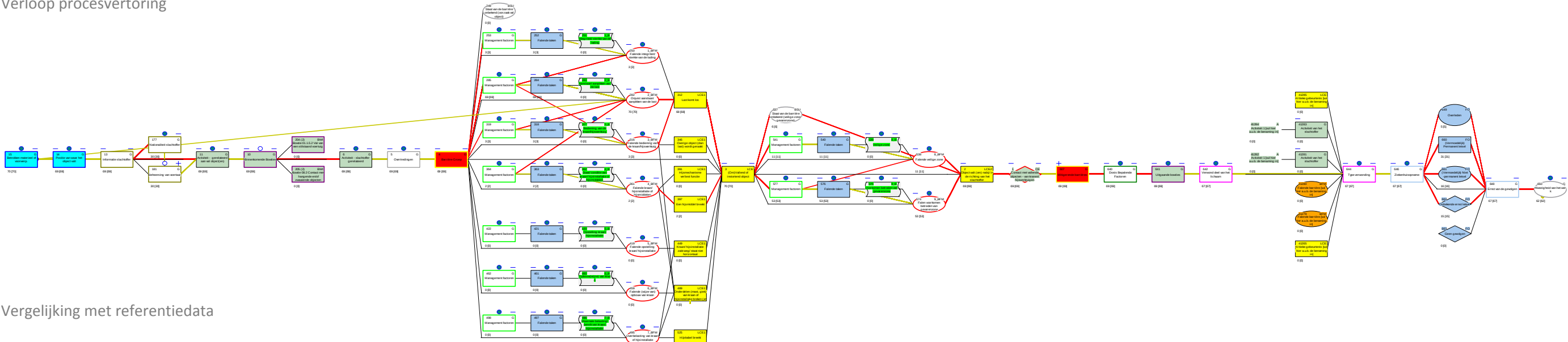
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	610	Bedrijfs hulpverlening	45,71%	752	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	21,43%	539	Veilige zone	0,00%
BFM	282	Onjuist aanslaan/ aanpakken van de last	100,00%	574	Falen voorkomen betreden van gevarenzone	75,71%	538	Falende veilige zone	15,71%
IF	314	Onjuist bevestigd	100,00%	606	Toegestaan om zich in het draaibereik van de kraan t	45,71%	604	Andere werknemers betreden de gevarenzone	10,00%
DS	291	Motivatie/ Alertheid	42,86%	288	Competentie	32,86%	583	Motivatie/ Alertheid	22,86%
T	296	Gebruiken	80,00%	588	Gebruiken	34,29%	591	Onbekende falende taak	32,86%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
DS	293	Materieel	12,86%
DS	578	Plannen en procedures	10,00%
DS	293	Materieel	12,86%



Verloop procesvertoing



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E3-08 Elementen passen niet goed

BowTie: 03.1 Contact met vallende objecten - van kranen

Selectie: 250 and 257

aantal: 2

scenario: elementen passen niet goed, ring moet weer uitgebouwd worden

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	50%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	0	0%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	0	0%

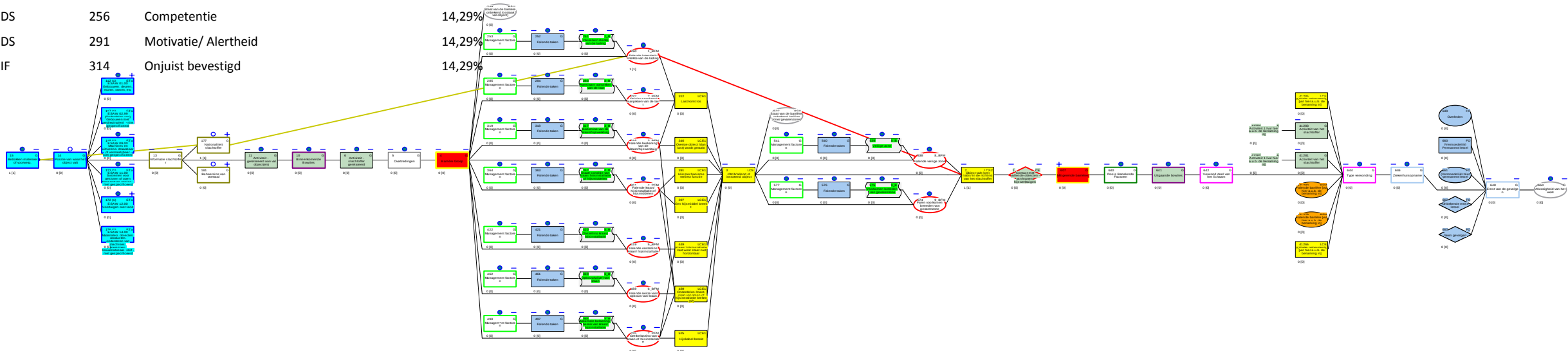
E3-08 Elementen passen niet goed

maatregelen:

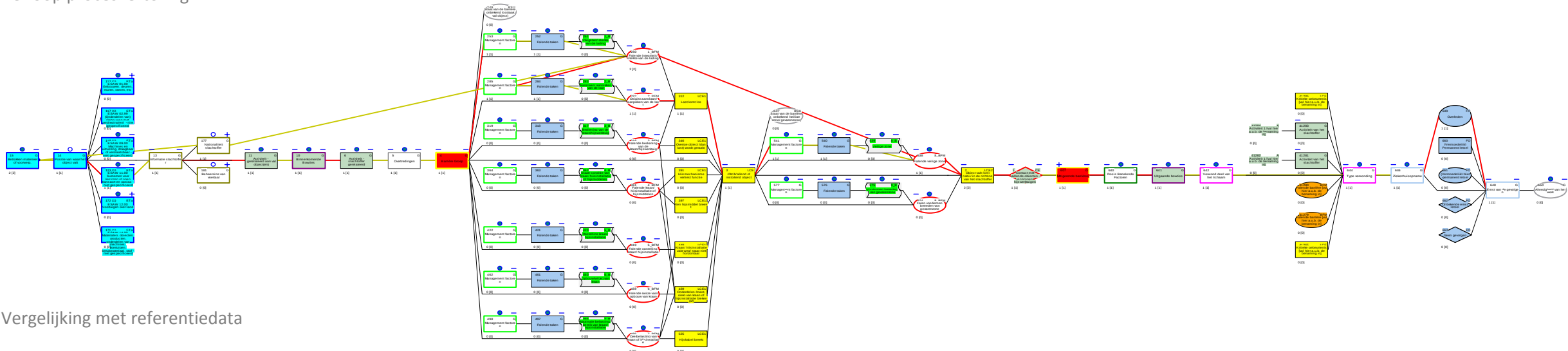
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	610	Bedrijfs hulpverlening	0,1429	752	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	0,00%	539	Veilige zone	0,00%
BFM	250	Falende integriteit/ sterkte van de lading	0,2857	751	Geen adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	14,29%	538	Falende veilige zone	14,29%
IF	281	Beschadigde lading	0,2857	569	Persoon staat buiten normale kraanbereik	14,29%	571	Bescherming tegen vallende objecten faalt/ onvoldoende	14,29%
DS	257	Tegenstrijdige belangen	0,2857	762	Materieel	14,29%	550	Onbekend	14,29%
T	764	Verschaffen	14,29%	555	Onbekende falende taak	14,29%	264	Gebruiken	14,29%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	282	Onjuist aanslaan/ aanpikken van de last	14,29%
DS	256	Competentie	14,29%
DS	291	Motivatie/ Alertheid	14,29%
IF	314	Onjuist bevestigd	14,29%



Verloop procesvertoing



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing:	E8-05 sluitsteen past niet goed
BowTie:	03.1 Contact met vallende objecten - van kranen
Selectie:	256 and 312
aantal:	17
scenario:	sluitsteen past niet goed

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	7	41%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	4	24%

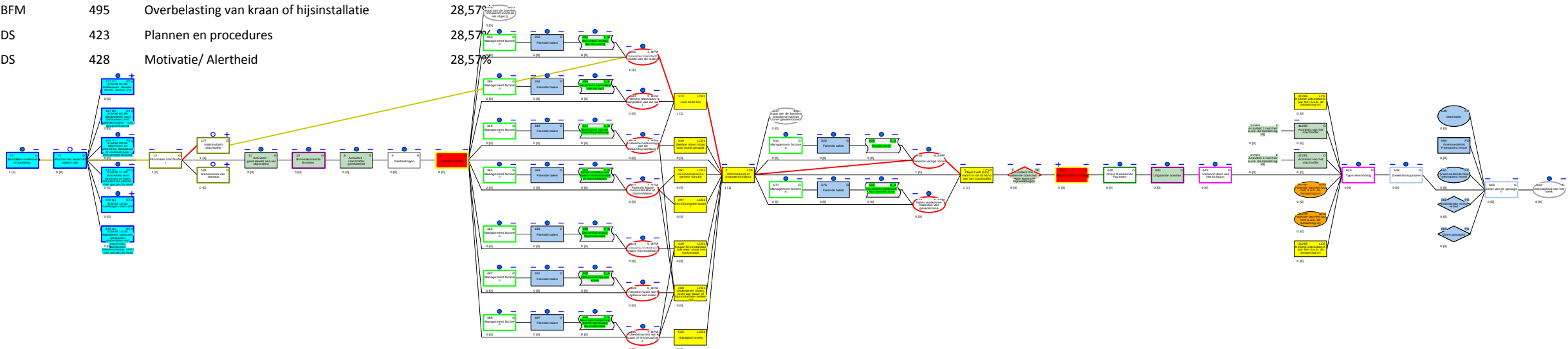
E8-05 sluitsteen past niet goed

maatregelen:

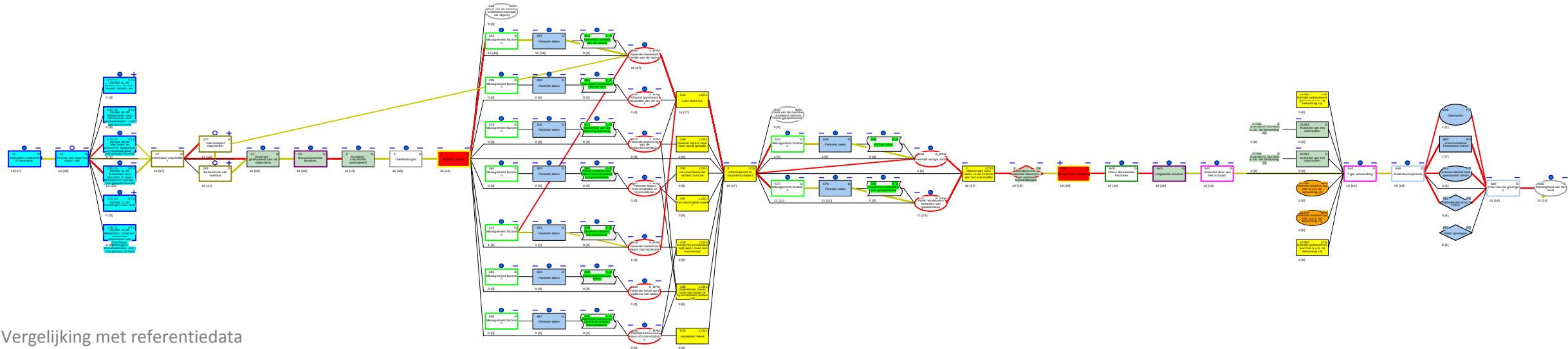
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	610	Bedrijfshulpverlening	71%	752	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	14,29%	575	Voorkomen betreden van gevarenzone	14,29%
BFM	574	Falen voorkomen betreden van gevarenzone	157%	419	Falende opstelling kraan/ hijsinstallatie	57,14%	282	Onjuist aanslaan/ aanpikken van de last	28,57%
IF	606	Toegestaan om zich in het draaibereik van de kraan t	114%	453	Ondergrond is instabiel, niet sterk genoeg	42,86%	782	Hoofdbescherming	14,29%
DS	582	Tegenstrijdige belangen	157%	370	Motivatief/ Alertheid	28,57%	372	Materieel	28,57%
T	588	Gebruiken	114%	587	Verschaffen	28,57%	433	Gebruiken	28,57%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	316	Falende bediening van de kraan/hijswerktuig	28,57%
BFM	361	Falende kraan/ hijsinstallatie of hijsmiddelen	28,57%
BFM	495	Overbelasting van kraan of hijsinstallatie	28,57%
DS	423	Plannen en procedures	28,57%
DS	428	Motivatief/ Alertheid	28,57%



Verloop procesvertoering



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing:	E8-08 Erector faalt
BowTie:	03.1 Contact met vallende objecten - van kranen
Selectie:	84 and 361 and 391
aantal:	7
scenario:	door storing in vacuümverlies valt last uit de hijsinstallatie

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	1	14%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	4	57%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	3	43%

E8-08 Erector faalt

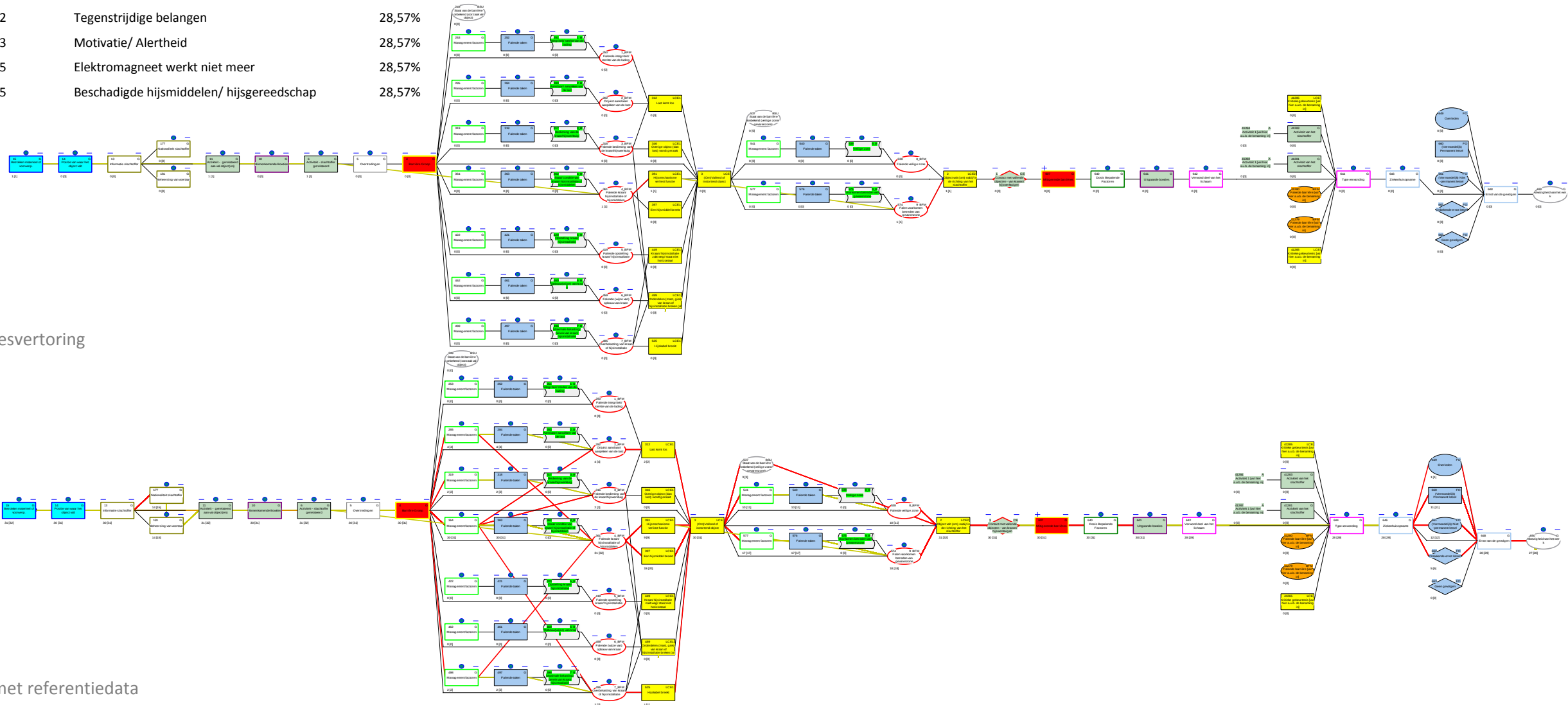
maatregelen:

Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	610	Bedrijfs hulpverlening	28,6%	752	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	14,29%	539	Veilige zone	0,00%
BFM	361	Falende kraan/ hijsinstallatie of hijsmiddelen	128,6%	574	Falen voorkomen betreden van gevarenzone	85,71%	538	Falende veilige zone	42,86%
IF	392	Deel van het hijsmechanisme breekt/faalt	85,7%	569	Persoon staat buiten normale kraanbereik	28,57%	604	Andere werknemers betreden de gevarenzone	28,57%
DS	372	Materieel	85,7%	578	Plannen en procedures	42,86%	544	Competentie	28,57%
T	376	Onderhouden	85,7%	588	Gebruiken	42,86%	587	Verschaffen	28,57%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	316	Falende bediening van de kraan/hijswerktuig	28,57%
DS	582	Tegenstrijdige belangen	28,57%
DS	582	Tegenstrijdige belangen	28,57%
DS	583	Motivatie/ Alertheid	28,57%
IF	395	Elektromagneet werkt niet meer	28,57%
IF	415	Beschadigde hijsmiddelen/ hijsgereedschap	28,57%

Verloop procesvertoering



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E3-15 Element of dwarsverbinding wordt afgekeurd

BowTie: 07 Contact met handgereedschap

Selectie: 56

aantal: 30

scenario: Elementen worden ingebouwd en vervolgens weer uitgebouwd.
Dubbele blootstelling aan gevaar extra kans op ongecontroleerde beweging met slagmoersleutel

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermeoedelijk) permanent letsel	17	57%
(Vermeoedelijk) niet permanent letsel	5	17%

E3-15 Element of dwarsverbinding

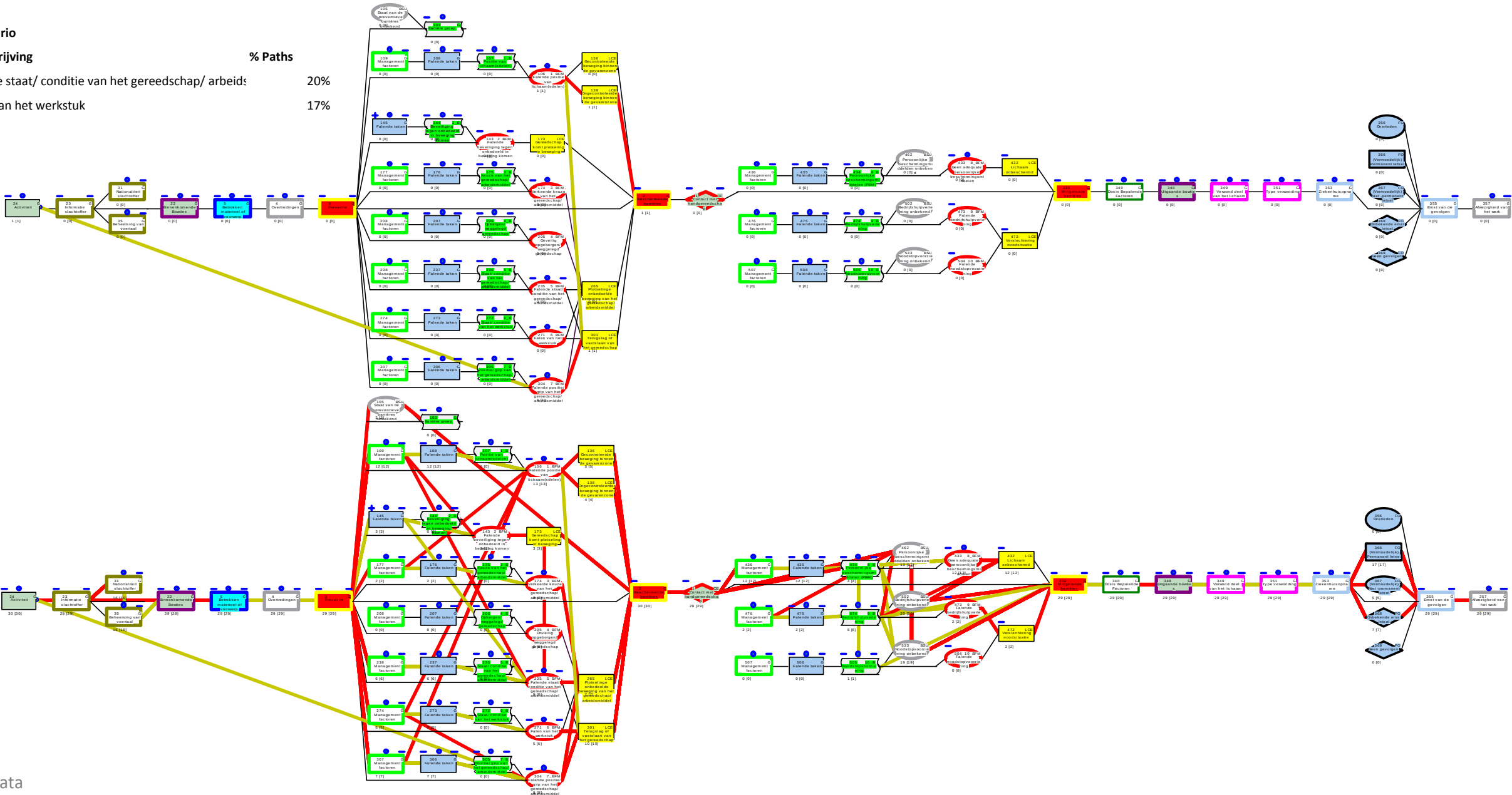
maatregelen:

Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	474	Bedrijfs hulpverlening	20%	434	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	13%	505	Noodstopvoorziening	3%
BFM	106	Falende positie van lichaam(sdelen)	43%	433	Geen adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	40%	235	Falende staat/ conditie van het gereedschap/ arbeids	20%
IF	464	Gebruik PBM niet mogelijk	23%	465	Geen/ inadequate handbescherming (handschoenen)	13%	335	Gereedschap bekneld/ vastgelopen	13%
DS	443	Ergonomie	23%	1_DS	Motivatatie/ Alertheid	13%	280	Motivatatie/ Alertheid	13%
T	120	Gebruiken	27%	446	Verschaffen	23%	318	Gebruiken	23%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	235	Falende staat/ conditie van het gereedschap/ arbeid:	20%
BFM	271	Falen van het werkstuk	17%

Verloop procesvertoing



Vergelijking met referentiedata

Algemeen

Storing: E9-04 hijswerktuig faalt

BowTie: 08.1 Contact met bewegende delen van een machine

Selectie: 584 and 41

aantal: 8

scenario: Contact met bewegende delen door onderhoud aan kraan

Slachtofferinformatie

Soort letsel:	aantal	%
Overleden	0	0%
(Vermoedelijk) permanent letsel	5	63%
(Vermoedelijk) niet permanent letsel	1	13%

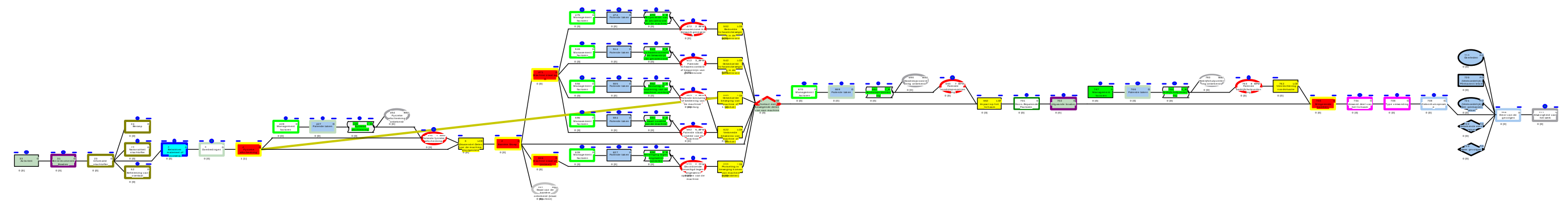
E9-04 hijswerktuig faalt

maatregelen:

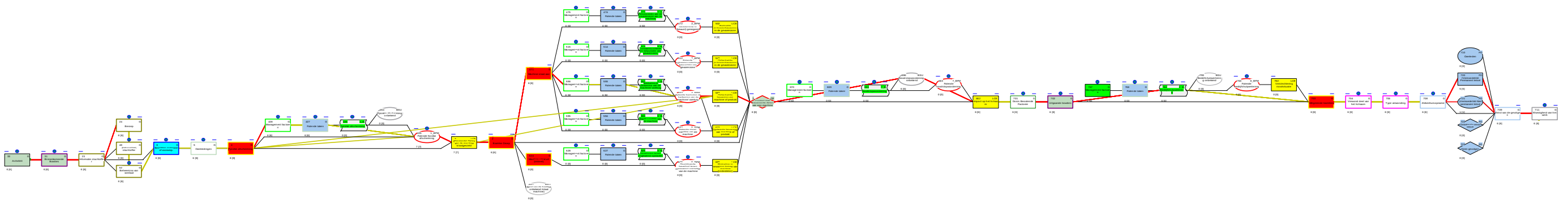
Type	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths	Nr	Omschrijving	% Paths
B	474	Bedrijfs hulpverlening	20%	434	Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)	13%	505	Noodstopvoorziening	3%
BFM	106	Falende positie van lichaam(sdelen)	43%	433	Geen adequate persoonlijke beschermingsmiddelen	40%	235	Falende staat/ conditie van het gereedschap/ arbeids	20%
IF	464	Gebruik PBM niet mogelijk	23%	465	Geen/ inadequate handbescherming (handschoen)	13%	335	Gereedschap bekeld/ vastgelopen	13%
DS	443	Ergonomie	23%	1_DS	MotivatIE/ Alertheid	13%	280	MotivatIE/ Alertheid	13%
T	120	Gebruiken	27%	446	Verschaffen	23%	318	Gebruiken	23%

Overige relevante factoren voor scenario

Type	Nr	Omschrijving	% Paths
BFM	235	Falende staat/ conditie van het gereedschap/ arbeids	20%



Verloop procesvertoing

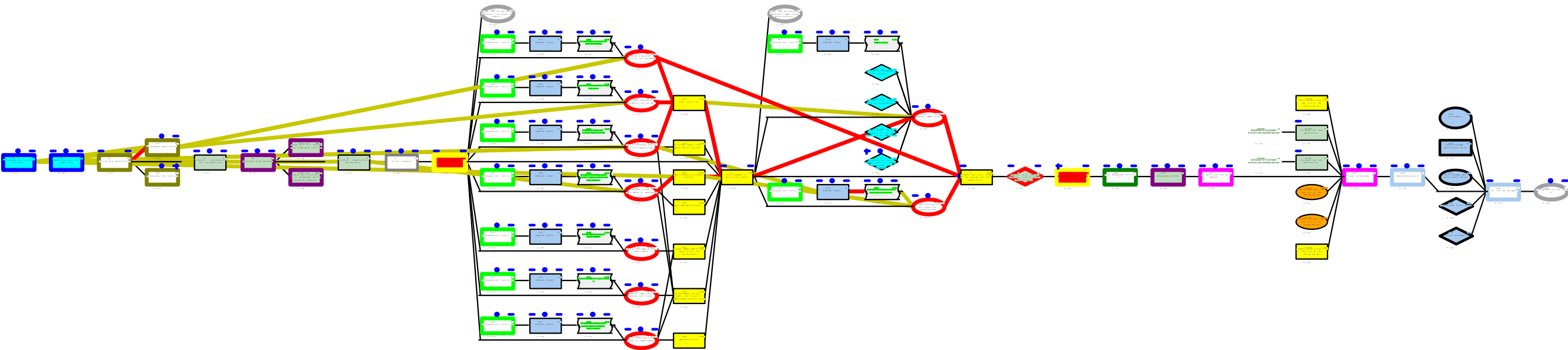


Vergelijking met referentiedata

Algemeen

- Bowtie: 03.1 Contact met vallende objecten
- Verstoring: E3-05 vijzel defect
- E3-08 bedieningsfout
- E8-02 Logistiek faalt (feeder)
- E8-02 Logistiek faalt (leidingen)
- E8-03 Elementen passen niet goed
- E8-05 Sluitsteen past niet goed
- E8-08: erector faalt

03.1 Contact met vallende objecten - van kranen/ hijswerktuigen

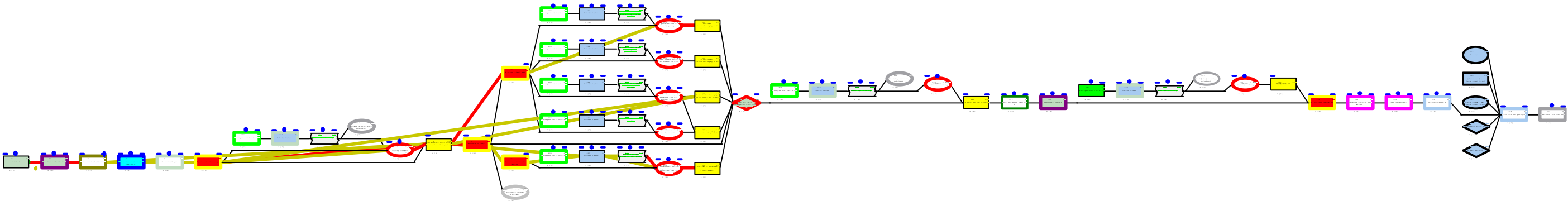


Type	Nr	Omschrijving	Paths Count	Type	Nr	Omschrijving	Paths Count
15	G	Betrokken materieel of voorwerp.	7	256	1_DS	Competentie	2
179	GEN	Niet -Nederlandse nationaliteit	7	257	1_DS	Tegenstrijdige belangen	2
7	A	Slachtoffer is actief betrokken bij de activiteit in verband met de val	6	266	1_T	Toezien op	2
84	ET3	ESAW 14.01.01.01/02/03 Grote bouwelementen	5	316	3_BFM	Falende bediening van de kraan/hijswerktuig	2
2	LCE2	Object valt (om) nabij/ in de richting van het slachtoffer	4	372	4_DS	Materieel	2
83	ET2	ESAW 14.01 Bouwmaterialen	4	376	4_T	Onderhouden	2
185	A	Transporteren / verplaatsen	4	392	4_IF	Deel van het hijsmechanisme breekt/faalt	2
9	A	Vastmaken / begeleiden / vasthouden	4	391	LCE1	Hijsmechanisme verliest functie	2
3	LCE	(Om)Vallend of instortend object	3	538	8_BFM	Falende veilige zone	2
312	LCE1	Last komt los	3	574	9_BFM	Falen voorkomen betreden van gevarenzone	2
21	ET1	ESAW 04.01.99 Overige distributiesystemen voor materialen, toevoer, vaste leidingen	2	6	G	Activiteit - slachtoffer gerelateerd	1
118	ETa	ESAW 09.00 Machines en uitrusting, draagbaar of verplaatsbaar - niet gespecificeerd	2	11	G	Activiteit - gerelateerd aan val object(en)	1
126	ETb	ESAW 11.03 Kranen, lieren, loopkatten, hijsblokken	2	13	G	Informatie slachtoffer	1
177	G	Nationaliteit slachtoffer	2	28	ET1	ESAW 11.00 Systemen voor gesloten of open transport en opslag - niet gespecificeerd	1
202	A	Overige activiteit	2	82	ET1	ESAW 14.00 Materialen, objecten, producten, onderdelen van machines, voertuigen, breukmateriaal, stof - niet gespecificeerd	1
250	1_BFM	Falende integriteit/ sterkte van de lading	2				

Algemeen

- Bowtie: 8.1 Contact met bewegende delen
- Verstoring: E1-14 Hoofdlager faalt
- E1-16 andere storing boormachine
- E1-24 aan-en afvoer materiaal faalt
- E2-03 aan- en afvoer additieven steunvloeistoffen
- E9-04 Onderhoud aan kraan

08.1 Contact met bewegende delen van een machine



Type	Nr	Omschrijving	Paths Count	Type	Nr	Omschrijving	Paths Count
3	LCE	(Draaiende) Delen van de machine blootgesteld	5	625	6_BFM	Onvoldoende beveiligd tegen ongewenst opstarten van de machine	
4	G	Fysieke afscherming	5	627	G	Falende taken	2
25	GEN	Onderhoudsmedewerker	5	629	6_DS	Plannen en procedures	2
26	GEN	Medewerker	5	1	CE	Contact met bewegende delen van een machine	2
429	1_DS	Plannen en procedures	4	5	G	Overtredingen	1
23	G	Informatie slachtoffer	3	6	G	Betrokken materieel of voorwerp.	1
33	G	Activiteit	3	31	G	Binnenkomende Bowties	1
41	A1	Onderhouden of modificeren van een machine	3	34	A1	Bedienen van een machine	1
50	GEN	Niet -Nederlandse nationaliteit	3	38	A	Bijstellen (goed leggen) of weghalen van een produkt	1
431	1_DS	Competentie	3	24	G	Beroep	1
438	1_T	Verschaffen	3	48	G	Nationaliteit slachtoffer	1
458	1_IF	Fysieke afscherming verwijderd/ gedeactiveerd	3	49	GEN	Nederlandse nationaliteit	1
2	G	Barrière Groep	2	52	G	Beheersing van voertaal	1
39	A1	Vrijmaken, losmaken, deblokkeren van een machine	2	55	GEN	Onbekende taalvaardigheid	1
7	ET1	ESAW 04.00 Distributiesystemen voor materialen, aanvoer, leidingen - niet gespecificeerd	2	8	ET2	ESAW 04.01 Vaste distributiesystemen voor stoffen (leidingen, slangen, appendages) - voor gas/lucht/damp	1
255	ET1	ESAW 11.00 Systemen voor gesloten of open transport en opslag - overig/ niet nader gespecificeerd	2	11	ET3	ESAW 04.01.03 Vloeistofleidingen, -kleppen, verbindingstukken, kranen, spuitmonden	1
425	1_BFM	Falende fysieke afscherming	2	21	ET2	ESAW 04.99 Distributiesystemen voor materialen, toevoer, leidingen, overige, behorend tot groep 04, maar hierboven niet vermeld	1
471	G	Machine staat aan	2	56	ET1	ESAW 05.00 Motoren, pompen, compressoren, ventilatoren, transmissie systemen	1
557	4_DS	Plannen en procedures	2	103	ET1	ESAW 10.02-18 Machines en apparaten - niet gespecificeerd	1
559	4_DS	Competentie	2	104	ET2	ESAW 10.01 Vast gemonteerde machines voor ontgraven en grondwerkzaamheden	1
584	4_IF	Onbedoeld bedienen van de machine	2	105	ET3	ESAW 10.01.01 Vast gemonteerde machines voor ontgraven en grondwerkzaamheden - mijnen en groeven	1
583	LCE	Onbedoelde beweging van machine of produkt	2	256	ET2	ESAW 11.01 Vaste transportbanden, hangbanen, roltrappen	1

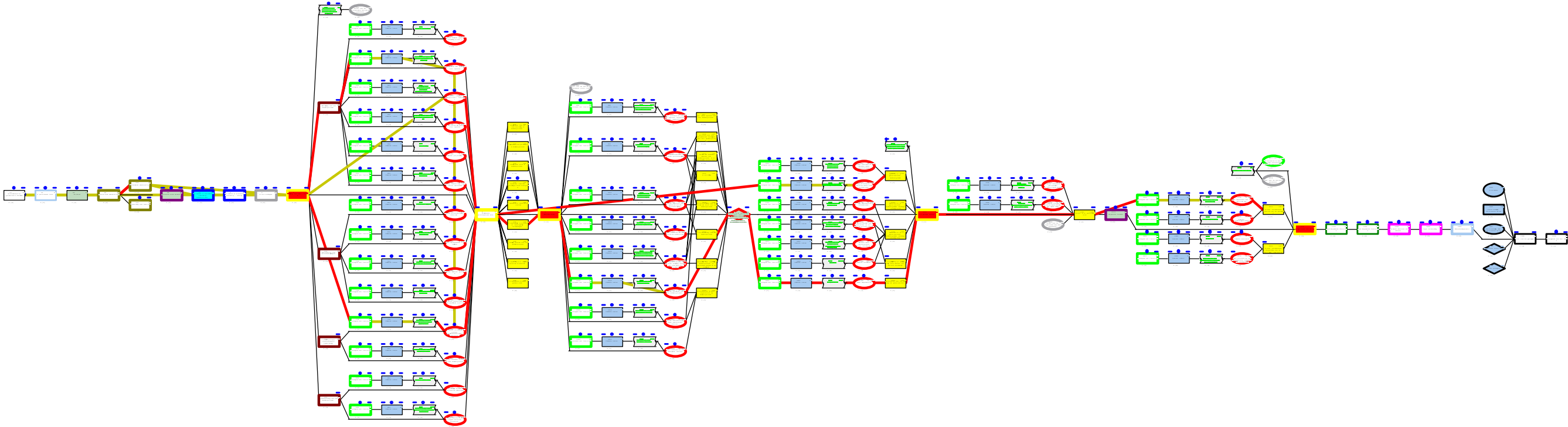
Algemeen

- Bowtie:

Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel
- Verstoring:

E2-09 verlies grote hoeveelheid slurry
- E3-04 lekkage hydrauliek
- E4-05 Verstopte toevoerleiding

15 Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat of omhulsel



Type	Nr	Omschrijving	Paths Count	Type	Nr	Omschrijving	Paths Count
	3 G	Afwijkende procesparameter	3		1 CE	Contact met gevaarlijke stof door uitstroming uit een normaal gesloten vat (omhulsel, insluitsysteem, verpakkingseenheid)	1
	4 G	Afwijking container/ inhoud	3		2 G	Bescherming	1
	38 G	Informatie slachtoffer	3		12 G	Betrokken materieel of voorwerp - insluitsysteem.	1
	41 G	Procesindustrie gerelateerd JA/NEE	3		39 G	Activiteit	1
	43 GEN	Niet -procesindustrie gerelateerd	3		47 A OP	Schoonmaken van een insluitsysteem (tank, vat, etc.)	1
	112 GEN	Niet -Nederlandse nationaliteit	3		72 A 1	Openen/ werken aan een geopend insluitsysteem	1
	6 G	Betrokken materieel of voorwerp - overig.	2		73 A 2	Werken aan een geopend insluitsysteem	1
	40 G	Operationele fase	2		75 A 2	Handmatig openen van het insluitsysteem	1
	44 A OP	Normale werkzaamheden	2		78 A 2	Losmaken/ loskoppelen van insluitsystemen	1
	110 G	Nationaliteit slachtoffer	2		84 A 1	Werkzaamheden aan/ nabij een insluitsysteem	1
	13 ET 1	ESAW 04.00 Distributiesystemen voor materialen, aanvoer, leidingen - niet gespecificeerd	2		102 A	Passief/ in de nabijheid	1
	14 ET 2	ESAW 04.01 Vaste distributiesystemen voor stoffen (leidingen, slangen, appendages) - voor gas/lucht/damp	2		106 A 2	Werkzaamheden als procesoperator	1
	263 ETO 1	ESAW 04.00 Distributiesystemen voor materialen, aanvoer, leidingen - niet gespecificeerd	2		27 ET 2	ESAW 04.02 Verplaatsbare distributiesystemen voor stoffen (leidingen)	1
	264 ETO 2	ESAW 04.01 Vaste distributiesystemen voor stoffen (leidingen, slangen, appendages) - voor gas/lucht/damp	2		121 ET 1	ESAW 05.00 Motoren, pompen, compressoren, ventilatoren, transmissies	1
	275 ETO 3	ESAW 04.01.03 Leidingen, soepel, kleppen, verbindingstukken, kranen, spuitmonden (vloeistoffen)	2		200 ET 1	ESAW 11.00 Systemen voor gesloten of open transport en opslag - niet	1
	277 ETO 3	ESAW 04.01.03 Vloeistofleidingen, -kleppen, verbindingstukken, kranen, spuitmonden	2		208 ET 2	ESAW 11.06 Vaste systemen voor opslag, transport	1
	776 11_BFM	Falende verbinding tussen installatieonderdelen/ apparatuur	2		265 ETO 3	ESAW 04.01.99 Kleppen/sluiting (direct op insluiting)	1

Bijlage 2 – Interviewprotocol

Introductie

Ter afronding van de studie Management of Safety Health and Environment dient een scriptie gemaakt te worden. Het onderwerp van deze scriptie is het voor medewerkers veilig afhandelen van procesverstoringen tijdens het tunnelboorproces. Voor deze scriptie is eerst een literatuurstudie uitgevoerd. Op basis van de literatuurstudie is een data-analyse voor een case-studie gemaakt, op basis van de waarneemrapporten voor het project Rotterdamsebaan.

Doel onderzoek

Het boorproces is doorgaans een beheerst proces, dat echter niet geheel zonder gevaren voor medewerkers is. Het blijkt dat procesverstoringen de grootste bijdrage leveren aan arbeidsongevallen. Het doel van het onderzoek is de belangrijkste ongevalsscenario's in beeld te brengen, en maatregelen te bepalen om procesverstoringen veilig te kunnen afhandelen.

Doel interview

Op basis van de data-analyse zijn de procesverstoringen en scenario's in beeld gebracht. Uit het interview zal moeten blijken voor welke scenario's het risiconiveau hoger ligt dan van reguliere bouwactiviteiten, en welke andere scenario's nog meer risicovol kunnen zijn, maar zich niet hebben voorgedaan bij de case-studie.

Registratie

Na toestemming wordt het gesprek opgenomen met als doel dat het gesprek correct uitgewerkt wordt. De resultaten worden samengevat per vraag en zullen onderdeel vormen van het onderzoek. Indien er bezwaren zijn, kunnen de resultaten geanonimiseerd worden.

Inventarisatie deskundigheid

- Ik heb je betrokken bij het onderzoek omdat je specifieke deskundigheid hebt van het tunnelboorproces en affiniteit met arbeidsveiligheid. Kun je een korte toelichting geven over je achtergrond en bij welke tunnelbouwprojecten je betrokken bent geweest?

Validatie resultaten van case-studie (indien betrokken bij project Rotterdamsebaan)

- De registraties van de waarneemrapporten zijn geanalyseerd en gegroepeerd op basis van de verstoringen zoals aangehouden in het CUR/COB rapport 510-01 "Risico-analyse bouwphase boortunnel". Hieruit blijkt dat de procesverstoringen, zoals opgesomd op de volgende pagina, zich hebben voorgedaan. Klopt deze analyse met het beeld dat je zelf hebt?
- Kun je aangeven of, en in welke mate, er sprake is geweest van blootstelling aan een arbeidsveiligheidsrisico?
- Ben je zelf blootgesteld aan dit arbeidsveiligheidsrisico of betreft deze blootstelling een of andere medewerkers?

- Zijn er nog gebeurtenissen geweest die niet vernoemd zijn, maar waarbij er wel sprake is geweest van blootstelling aan een arbeidsveiligheidsrisico?
- Zijn er nog gebeurtenissen mogelijk die leiden tot een blootstelling aan een arbeidsveiligheidsrisico, maar die hier niet vernoemd staan.
- Komen deze gebeurtenissen vaker voor of zijn deze specifiek voor dit project?

Inventarisatie van A-typische gebeurtenissen

- Kun je situaties herinneren van andere tunnelboorprojecten waarbij je betrokken bent geweest, waar zich een specifieke¹ situatie heeft voorgedaan waarbij medewerkers zijn blootgesteld aan een (potentieel) gevaarlijke situatie?
- Zou je een toelichting kunnen geven over het verloop van deze gebeurtenis?
- Heeft deze gebeurtenis zich alleen op dit project voorgedaan of zijn er meerdere projecten bekend waarbij deze gebeurtenis heeft plaats gevonden?
- Welke maatregelen zouden dit volgens jou hebben kunnen voorkomen?
- Wat zie je zelf nog als belangrijke arbeidsveiligheidsrisico's bij procesverstoringen en in welke mate acht je de kans van optreden waarschijnlijk?

Afronding

Ik wil ons gesprek afronden. Ik wil je bedanken voor het gesprek en de tijd die je voor me genomen hebt. Zijn er nog relevante zaken die we niet besproken hebben? Als je het leuk vindt om de ontwikkelingen te volgen over dit onderwerp, kunnen we in de toekomst contact houden.

Bijlage 3

Ref	Scenario	Aantal paden	Aantal dodelijke slachtoffers	Aantal (vermoedelijk) permanent letsel	Aantal (vermoedelijk) niet permanent letsel	Totale duur proces-verstoring (uur)	Bevestiging van de verstoring		Inschatting van het risico	
							Interview		Interview	
							1	2	1	2
E1-05	medewerker wordt blootgesteld aan verontreinigde slurry bij verlengen van leidingen.	8	0	2	4	13:30	-	-	+	+
E1-14	medewerker komt in contact met bewegende delen bij smeren onderhoud aan hoofdlager	44	0	37	4	0:55	-	-	-	-
E1-16	Boorpompleiding gaat kapot en moet vervangen worden	13	0	7	3	1:15	+	+	-	-
E1-24	Contact met bewegende delen door probleem met vetsmering	30	1	23	4	0:50	+/-	-	-	-
E1-26	Blootstelling aan schadelijke atmosfeer door indringing of ontwikkeling van een schadelijk gas	21	3	2	14	3:41	-	-	-	-
E2-03	contact met bewegende delen door reparaties aan bentonietpomp, leidingen, ventielen, etc	9	0	6	1	17:55	+	+	+/-	+/-
E2-04	Door instroom van grote hoeveelheid water kunnen medewerkers niet meer vluchten.	9	8	0	1	3:46	-	-	+/-	-
E2-09	Medewerker komt in contact met slurry door lekkage in leiding waardoor er een grote hoeveelheid slurry uit de leiding stroomt.	15	0	2	9	6:42	+	+	-	-
E3-04	Blootstelling aan hydraulische olie door lekkage in leiding	11	0	2	9	0:49	+	+	+	+
E3-05	Door onvoorziene werkzaamheden moet medewerker werkzaamheden op hoogte verrichten	14	1	2	3	19:44	+	+	+	+
E3-05	vijzel is defect en moet uit de machine gehesen worden	11	1	3	5	3:35	+	+	+	+
E3-08	door bedieningsfout wordt verkeerde vijzel getrokken	7	0	2	2	1:00	+	+	-	-
E4-05	Bij schoonmaakwerkzaamheden komt medewerker in contact met grout/ slurry	4	0	2	0	6:14	+	+	-	-
E5-07	MSV rijdt naar de TBM en maakt een plotselinge beweging	40	1	18	16	1:10	+	+	+	+
E5-09	Beknelling tussen machine en ander object door reparatie aan stilgevallen MSV noodzakelijk is.	5	0	1	1	4:30	+	+	+	+
E8-02	storing in vacuümsysteem van kraan die elementen op de band legt	17	1	7	4	8:43	+	+	-	-
E8-02	Leidingen worden van de MSV gehesen en vallen uit de kraan	70	5	31	16	4:20	+	+	+	+
E8-03	elementen passen niet goed, ring moet weer uitgebouwd worden	2	1	0	0	16:50	+	+	-	-
E8-05	sluitsteen past niet goed	17	1	7	4	2:17	+	+	+	+
E8-08	door storing in vacuümverlies valt last uit de hijsinstallatie	7	1	4	3	22:18	+	+	-	+
E8-15	Elementen worden ingebouwd en vervolgens weer uitgebouwd. Dubbele blootstelling aan gevaar extra kans op ongecontroleerde beweging met slagmoersleutel	30	0	17	5	23:43	+	+	-	-
E9-04	Contact met bewegende delen door onderhoud aan kraan	8	0	5	1	6:34	+	+	+/-	+/-