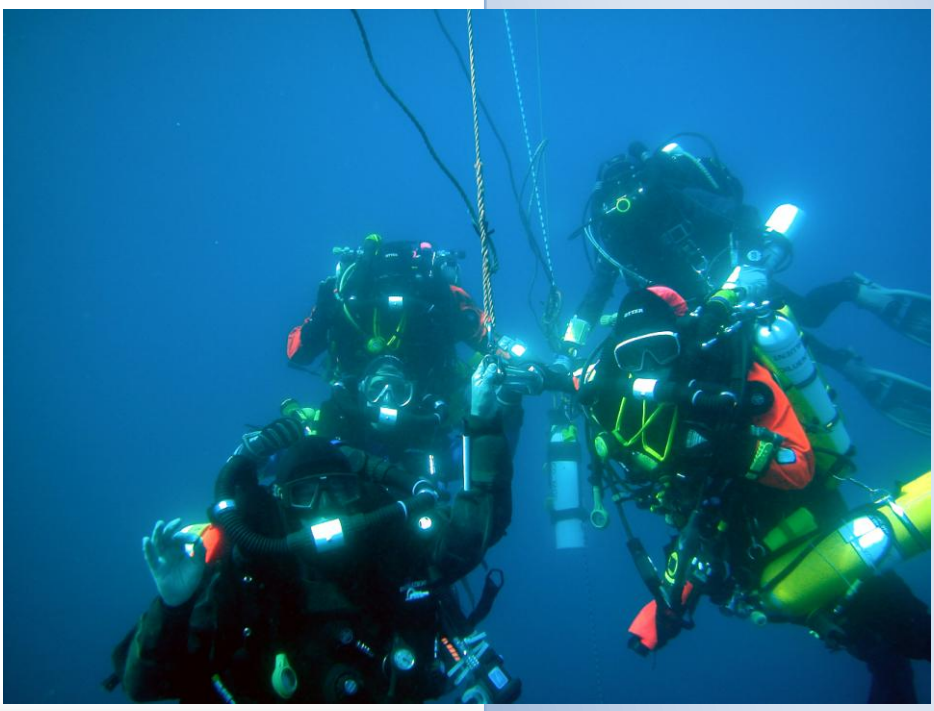
Koninklijke Marine

Studie naar (bijna-)ongevallen met rebreathers voor onderwater gebruik

Mei 2010

Jan Willem Bech



Jan Willem Bech
Haagwindelaan 20
1474 RB Oosthuizen

telefoon: 0299-401793
email: jw.bech@quicknet.nl

Samenvatting

Met het gebruik van rebreathers vinden veel ongevallen en (bijna-)ongevallen plaats, waarvoor werkgevers of instructeurs aansprakelijk kunnen worden gesteld. Dit kan leiden tot hoge schadeclaims. Voor dit onderzoek is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de huidige wet- en regelgeving. Allereerst is gebruik gemaakt van de branchecatalogus die mij door het Nationaal Duik Centrum (NDC) beschikbaar is gesteld. Verder zijn relevante publicaties van het ministerie van SZW bestudeerd. Ook de jaarverslagen van de Arbeidsinspectie en het BrandweerKennisNet (BKN) zijn geraadpleegd. Tot slot is relevante buitenlandse literatuur geraadpleegd.

Na dit literatuuronderzoek is een enquête gehouden naar het gebruik van rebreathers onder duikers in de publieke en de militaire sector. Het onderzoek naar civiel gebruik heeft plaatsgevonden door het enquêteren van 127 technische duikers die met een gesloten- of halfgesloten systeem duiken. Het onderzoek naar militaire duikers vond plaats bij 40 militairen van de Duik- en Demonteergroep en de Defensie Duikschool van de Koninklijke Marine in Den Helder.

Voor dit onderzoek is gekozen voor de Feiten Boom Analyse (FBA) omdat deze methodiek het mogelijk maakt risico's op eenvoudige wijze te analyseren. Het is vooral een krachtige methode gebleken omdat hiermee kan worden aangetoond dat het menselijk gedrag, de training, het rebreatherontwerp en de duikvoorbereiding van invloed zijn op veiligheid.

De belangrijkste bevindingen van dit onderzoek zijn:

1. 95% van de (bijna-)ongevallen, zowel in de civiele als militaire sector, wordt veroorzaakt door menselijke factoren, gebrekkige training en slechte duikvoorbereiding. Slechts in 5 % van de gevallen is er sprake van een niet juist werkende rebreather (systeemfout). Dit in tegenstelling tot de gangbare opvatting dat falende apparatuur meestal de oorzaak is van (bijna-)ongevallen
2. De wetgever maakt in de Arbeidsomstandigheden wetgeving alleen een onderscheid tussen beroepsduikers en sportduikers. Dit terwijl sommige sportduikers als instructeur hun beroep uitoefenen. Daarom zijn op sportduikinstructeurs verschillende artikelen uit deze wet van kracht. Dit is echter niet bij alle sportduikinstructeurs bekend
3. In de Arbeidsomstandighedenwet staan een aantal wetteksten die van invloed zijn op de praktijk van het rebreatherduiken. Duikinstructeurs moeten zich hieraan houden
4. Duikinstructeurs voeren oefeningen uit die soms conflicteren met de wetgeving, wat kan leiden tot aansprakelijkheidsproblemen
5. De wetgever sluit de verplichting van een zuurstofkoffer uit voor duikers die instructie geven aan sportduikers. Vervolgens wordt dit in een NEN-EN norm weer verplicht gesteld. Waarom dan eerste de verplichting uitsluiten? Dit schept verwarring bij de instructeurs
6. Civiele duikers negeren voorschriften van de fabrikanten over het gebruik van scrubbers
7. Er ontstaan onvoorziene gevaren nadat duikers zelf wijzigingen aanbrengen aan hun rebreather
8. Veel duikers gebruiken geen checklist of controleren deze onzorgvuldig voorafgaand aan de duik, met als gevolg een groot aandeel in het aantal (bijna-) ongevallen
9. Het blijkt dat 10% van de civiele rebreatherduikers de instrumenten slecht kan aflezen.

Dit onderzoeksrapport bevat aanbevelingen met een preventief karakter en zal worden aangeboden aan:

- Duikorganisaties: NOB, IANTD, TDI, ANDI
- Brancheorganisaties: NDC, Koninklijke Marine en Korps Landelijke Politiediensten
- Aan de deelnemers van het onderzoek zal een digitale kopie worden verstrekt.

Inhoudsopgave

Samenvatting 1

1. INLEIDING 4
    1.1 Aanleiding 4
    1.2 Probleemstelling 4
    1.3 Doelstelling 5
    1.4 Belang en bestemming 5
    1.5 Methode van onderzoek 5
    1.6 Beperkingen 6
    1.7 Toelichting voor de lezer 6
2. METHODE 7
    2.1 De verschillende studieonderdelen van het onderzoek 7
    2.2 Methode 7
    2.3 Methodiek : Feitenboom Analyse Methode (FBA) 8
    2.4 Beperking van de FBA-methode 9
3 RESULTATEN 10
    3.1 Resultaten onderzoek onder de civiele duikers 10
    3.2 Resultaten onderzoek onder militaire duikers 11
4. CONCLUSIES 11
    4.1 Bespreking van de resultaten van de civiele groep 11
    4.2 Bespreking van de resultaten van het onderzoek onder militaire duikers 13
5. AANBEVELINGEN 14
    5.1 Aanbevelingen voor civiele rebreatherduikers 14
    5.2 Aanbevelingen militaire rebreatherduikers 14
6. LITERATUURLIJST EN REFERENTIES 15

Bijlage 1. Wettelijk kader
Bijlage 2. Feiten Boom Analyse (FBA)
Bijlage 3. Resultaten enquête onder civiele duikers
Bijlage 4. Uitwerking (bijna-)ongevallen civiele duikers
Bijlage 5. Resultaten enquête onder militaire duikers
Bijlage 6. Uitwerking (bijna-)ongevallen militaire duikers
Bijlage 7. Hoe oefening en training (bijna-)ongevallen kunnen voorkomen
Bijlage 8. Financiële aspecten
Bijlage 9. Met dank aan

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Weinig mensen weten dat de geschiedenis van het duiken met rebreathers al in de negentiende eeuw begint. Al vanaf 1850 zijn duiktoestellen bekend die op basis van het rebreatherprincipe werken. In de Eerste Wereldoorlog ontstaat de noodzaak van rebreathers voor adembescherming bij aanvallen met mosterdgas. Na de Eerste Wereldoorlog zijn de ontwikkelingen snel gegaan. Tijdens de Tweede Wereldoorlog worden rebreathers ingezet voor sabotagedoeleinden door zowel Duitsers, Italianen als Engelsen. Na de Tweede Wereldoorlog zijn rebreathers essentieel voor het ruimen van mijnen voorafgaand aan de landingen in Normandië. In de periode van de Koude Oorlog maken zowel de Russen als de Amerikanen gebruik van rebreathers voor tactische- en spionagedoeleinden.

Vanaf de Tweede Wereldoorlog is er een samenwerking geweest tussen Engeland en Nederland om de marineonderdelen te trainen in het gebruik van rebreathers voor defensieve doeleinden. In de jaren vijftig worden de eerste rebreathers door sportduikers in Amerika gebruikt, wat tot een groot aantal slachtoffers heeft geleid. In Australië, Duitsland, Engeland en Frankrijk worden daarna initiatieven ondernomen het rebreatherduiken voor sportduikers bereikbaar te maken, wat eveneens slachtoffers heeft gemaakt door onkunde en gebrekkige kennis.

Pas in 1998 wordt in Engeland een systeem ontwikkeld dat interessant was voor sportduikers. De laatste tien jaar is een duidelijke samensmelting te zien van technologie tussen militaire systemen en civiele systemen. De werking van rebreathers wordt beschreven op de rebreather website http://www.therebreathersite.nl

1.2 Probleemstelling

Sinds het begin van het gebruik van rebreathers is bekend dat voor deze toestellen specifieke kennis noodzakelijk is. Het gebruik van rebreathers - en dan voornamelijk zuurstofrebreathers - wordt oorspronkelijk alleen voor militaire duikers verantwoord geacht. Wanneer de gebruiker met dit toestel duikt zonder vooraf een speciale training gevolgd te hebben, stelt hij zich bloot aan dodelijk gevaar. De sportduikwereld stond dan ook afwijzend tegenover het gebruik van deze rebreathers voor vrijetijdsbesteding.

Na een vijftig jaar durende introductietijd van de huidige rebreather in deze branche bleek echter dat de technologie een groep ervaren duikers aantrok, die door de nieuwe technieken de grenzen wilde verleggen. In de jaren negentig worden dan ook veel technologische barrières overwonnen en wordt duiken naar dieptes tot 100 meter realistisch. Helaas heeft deze ontwikkeling ook een prijs; vanaf 1998 zijn veel duikers om het leven gekomen. In de meeste gevallen was niet duidelijk wat hier de oorzaak van was. Opleidingsprogramma's van civiele- en beroepsorganisaties worden aangepast, maar nog steeds komen mensen bij het rebreatherduiken om het leven.

Deze ongevallen veroorzaken niet alleen veel leed voor betrokkenen maar ze hebben soms ook grote financiële gevolgen. De laatste jaren zijn een aantal fabrikanten en duikinstructeurs geconfronteerd met rechtszaken en grote schadeclaims.

Probleemstelling: Met het gebruik van rebreathers vinden veel ongevallen en (bijna-)ongevallen plaats, waarvoor werkgevers of instructeurs aansprakelijk kunnen worden gesteld. Dit kan leiden tot hoge schadeclaims.

1.3 Doelstelling

Het onderzoek heeft als doelstelling aanbevelingen te formuleren die leiden tot afname van (bijna-)ongevallen. Door de analyse van de beschreven (bijna-)ongevallen kunnen aanbevelingen worden opgesteld die aan betrokken organisaties worden aangeboden. Het bestuderen van de voorgevallen (bijna-)ongevallen is een doel op zich, omdat iedere duiker hiervan kan leren. Ook tonen de gegevens aan wanneer een verhoogd risico optreedt. De resultaten van het onderzoek kunnen een informatiebron zijn voor de bijsturing van opleidingen en aanpassing van procedures.

Doelstelling: Het formuleren van beheersmaatregelen die (bijna-)ongevallen met rebreathers kunnen voorkomen. Een secundair doel is deze aanbevelingen aan te leveren aan de Koninklijke Marine waar deze ingezet kunnen worden als hulpmiddel voor de evaluatie van bestaande werkwijzen. De opleidingsstructuur van de Defensie Duikschool wordt momenteel ingericht voor persoonscertificatie in het kader van het aanwijzingsbeleid van het ministerie van SZW. Ook kunnen de aanbevelingen als input dienen bij de keuze van een nieuw mengsel duikapparaat, waarvoor het Duik Technisch Centrum het aanbestedingstraject net heeft gestart.

1.4 Belang en bestemming

Het belang van dit onderzoek is dat duikers leren hoe zij preventief kunnen handelen en de kans op een ongeval kunnen verkleinen. Voor instructeurs biedt dit rapport een inzicht in de op hen van toepassing zijnde wetgeving zoals beschreven in de Arbowetgeving. Het rapport geeft inzicht in de wijze waarop duiktechniek met rebreathers wordt toegepast.

1.5 Methode van onderzoek

Om de doelstelling te realiseren is onderzoek nodig in de civiele- en militaire duiksector waar met rebreathers wordt gedoken. Voor mijn onderzoek heb ik gekozen om Nederlands sprekende rebreatherduikers te benaderen en de Duik- en Demonteergroep en de Defensie Duikschool van de Koninklijke Marine in Den Helder. Bij beide onderzoeksgroepen is een enquête afgenomen. Samen met het literatuuronderzoek en de uitkomsten van de enquête kan de doelstelling worden gerealiseerd. Ik heb voor mijn onderzoek gekozen gebruikt te maken van de Feiten Boom Analyse methode (FBA) omdat het een concrete methodiek is die het mogelijk maakt risico op eenvoudige wijze te visualiseren. Het is ook vooral een krachtige methode gebleken omdat ermee kan worden aangetoond dat het menselijke gedrag, training, rebreatherontwerp en duikvoorbereiding van invloed zijn op veiligheid.

Een andere methode 'Fault Tree Analyst and Failure Modes Effect Criticality Analyses' (FMECA) biedt een mogelijkheid een matrix te ontwerpen waarin de relatie tussen het risico en de frequentie wordt getoond. Daarin worden echter niet de consequenties van een 'single failure' gewogen. Een dergelijke fout kan leiden tot opeenvolgende gebeurtenissen die betrekking hebben op de afloop van de gebeurtenis. Ook blijkt uit onderzoek dat het product van risico en voorkomen (frequentie) voor lifesupport-apparatuur meestal leidt tot een waarde in het midden van de reeks. Hierdoor kan een vertekend beeld ontstaan van de risicoschatting. Ook biedt de FMECA-techniek geen differentiatie tussen hardwarefouten en menselijk falen. Vooral dit laatste is een kritisch aspect bij het duiken met rebreathers zoals uit dit onderzoek blijkt. Ik heb daarom besloten de FBA-methode te gebruiken.

1.6 Beperkingen

Aangezien de doelgroep in de civiele sector ook een aantal Belgische duikers betreft, geldt voor hen dat de Nederlandse Arbo-wetgeving niet van toepassing is. Ook is het van belang om op te merken dat het doel van het duiken bij de twee onderzoeksgroepen uiteenlopen. De civiele duiker duikt om duikers op te leiden voor het sportduiken, met als doel langer en dieper te duiken. Militaire duikers vervullen een operationele taak waarbij de tijd in het water tot een minimum wordt beperkt. Het onderzoek naar (bijna-)ongevallen die in het onderzoek worden beschreven zijn echter voor beide doelgroepen van belang.

Een beperking van de FBA-methode is dat er geen rekening wordt gehouden met sequentiële gevolgen van enkelvoudige gebeurtenissen. Het blijkt namelijk dat enkelvoudige incidenten zich zelden voordoen. Meestal volgt op een incident een ander incident. Ook de mate waarin de duiker capabel is om het voorkomende probleem op te lossen wordt met deze onderzoeksmethode niet vastgesteld.

1.7 Toelichting voor de lezer

Nader uitleg over de werking van rebreathers vindt u op de volgende websites:

Gesloten ademsysteem met zuurstof:
http://www.therebreathersite.nl/Zuurstofrebreathers/database_oxygen_rebreathersNL.htm

Halfgesloten ademsystemen:
http://www.therebreathersite.nl/01_Informative/hoe_werkt_de_scr_rebreather.htm

Gesloten ademsystemen:
http://www.therebreathersite.nl/01_Informative/Werking%20CCR.htm

2. METHODE

2.1 De verschillende studieonderdelen van het onderzoek

De verschillende studieonderdelen van het onderzoek zijn:

a. Literatuurstudie
b. Wet- en regelgeving, toets aan de praktijk
c. Enquête technische duikers civiele doelgroep
d. Resultaten van de enquête van technische duikers in de civiele doelgroep
e. Enquête technische duikers in de militaire doelgroep
f. Resultaten van de enquête van technische duikers in de militaire doelgroep
g. Analyse aan de hand van de FBA-methodiek
h. Resultaten en bevindingen
i. Conclusies
j. Opstellen van aanbevelingen
k. Schrijven van het rapport

2.2 Methode

Rebreathers worden in Nederland gebruikt door politie, marine, sportduikers en wetenschappers. Ook makers van televisieprogramma's en documentaires gebruiken steeds vaker rebreathers. Om van (bijna-)ongevallen te leren is het belangrijk een zo groot mogelijke respons te hebben op het onderzoek. Ik heb er daarom voor gekozen Nederlands sprekende technische rebreather duikers in Nederland en België te benaderen. Doordat technische duikers veelal gebruik maken van elektronisch geregelde rebreathers en militairen van halfgesloten rebreathers zijn twee aparte vragenlijsten gemaakt. De preventieve maatregelen zijn dan ook niet in alle gevallen op beide doelgroepen van toepassing. In de bijlagen treft u de uitwerking van zowel de civiele- als de militaire enquête in de vorm van een presentatie (bijlage 3 en 5), en uitgewerkt als Feiten Boom Analyse (bijlage 2).

Om een grote civiele doelgroep te bereiken heb ik gekozen gebruik te maken van enquête software. Deze software maakt het mogelijk een anonieme enquête te houden. Het betreft LimeSurvey (http://www.limesurvey.org), een vrij beschikbaar pakket met een excellente ondersteuning van gebruikers over de hele wereld. Nadat ik 127 personen uit de civiele doelgroep de vragenlijst heb gestuurd ontving ik binnen de beschikbare tijd 85 volledig ingevulde lijsten en 24 gedeeltelijk ingevulde lijsten terug. 18 personen reageerden niet op de vragenlijst. Nadat ik via Luitenant ter Zee der Tweede Klasse Oudste categorie D. van der Meule de vragenlijst heb gestuurd ontving ik binnen de beschikbare tijd 40 ingevulde lijsten terug. Na ontvangst van de marine enquête data heb ik deze ingebracht in het softwarepakket waarna ik de gegevens naar Excel heb overgebracht. Daarna heb ik in Excel de tabellen en grafieken samengesteld. Met deze informatie heb ik in Microsoft PowerPoint een presentatie van de gegevens gemaakt (zie bijlage 3 en 5). Aansluitend heb ik de (bijna-)ongevallen in een spreadsheet gezet en van een groot aantal ongevallen een feitenboom analyse gemaakt. Een aantal van deze feitenboom analyses (FBA's) heb ik bijgesloten in bijlage 2.

De Excel spreadsheets (zie bijlage 4 en 6) zijn na de analyse en het invoegen van aanbevelingen de basis van het onderzoek geworden. Per (bijna-)ongeval is een preventieve maatregel - aanbeveling- opgenomen.

	FBA-B10	Case	Incident	Wat was de eerste gedachte	Feitelijke Oorzaak	Preventieve maatregel voorgesteld door de duiker
		56	*Tijdens een duik in Zuid Frankrijk gaf mijn display bizarre waarden aan. Er was geen touw aan vast te knopen.*	*Ik dacht dat de computers niet in orde waren.*	*De cellen bleken verouderd.*	*Vervang binnen 12-16 maanden alle cellen*
Rebreather systeemfout	Type probleem	Oorzaak	Preventie 1	Preventie 2	Preventie 3	Preventie 4
nee	cel te laat vervangen	Onjuist onderhoud	Toepassen juist preventief onderhoud	Vervang de cellen periodiek volgens fabrieksvoorschriften		

Afbeelding 1

Links bovenin afbeelding 1 ziet u de FBA-code (FBA-B10) die in de Feiten Boom Analyse van bijlage 2 te vinden is. Niet alle FBA's zijn in dit rapport opgenomen. Rechts van het case nummer ziet u de informatie die door de duikers is opgegeven. Daaronder de analyse van het ongeval en de preventieve maatregelen.

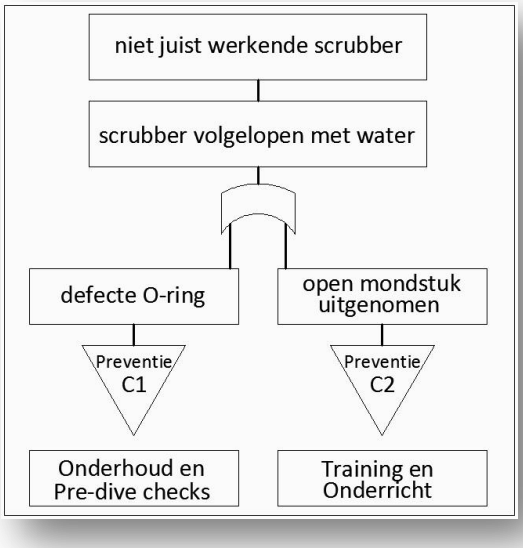
2.3 Methodiek: Feitenboom Analyse Methode (FBA)

Het rapport hanteert een onderzoeksmethode die als doel heeft om tot preventieve maatregelen te komen. De methode gebruikt een (bijna-)ongeval als eindgebeurtenis. Ik heb gekozen voor (bijna-)ongevallen omdat hier de duiker in kwestie zelf zijn verhaal kan doen. Vaak wordt onderzoek gedaan naar fatale ongevallen, waarbij de feiten niet konden worden vastgesteld door het de duiker zelf te vragen. Dit heeft als gevolg dat de oorzaak van het ongeval vaak berust op veronderstellingen.

Ter verduidelijking van de onderzoeksmethode is de volgende uitleg relevant.
Laten we een 'niet juist werkende scrubber' als voorbeeld nemen. Deze gebeurtenis wordt in ogenschouw genomen en de onderzoeker vraagt zich af **'waarom werkt de scrubber niet**?' Het antwoord daarop zou kunnen zijn: **'omdat de scrubber volgelopen is met water'**. De analist vraagt zicht vervolgens af: **'waarom is de scrubber volgelopen met water?'** Dit zou kunnen komen omdat de duiker tijdens de duik het mondstuk heeft uitgenomen, maar bijvoorbeeld ook omdat hij een defecte O-ring heeft. Deze constateringen dienen allemaal op **feiten** te berusten. Het is daarom van belang in het onderzoek met zekerheid te weten hoe iets tot stand is gekomen. Daarmee is de kern van mijn onderzoek gelijk meer duidelijk, aan getuigen kun je vragen hoe iets feitelijk is veroorzaakt. Dat is ook de reden waarom in omloop zijnde ongevallijsten over rebreatherduikers weinig feitelijke informatie bieden over de oorzaken van het ongeval. De onderzoeker moet zich telkens afvragen waarom een feit zich voordeed, maar ook of dit de enige reden was waarom dat feit zich voordeed. Zo bleek de scrubber volgelopen te zijn òf omdat de duiker het mondstuk heeft uitgenomen òf omdat de O-ring defect was. Soms kunnen er ook meerdere feiten het ongeval veroorzaken. In een FBA-diagram moet worden aangegeven of er sprake is van een OF-poort, en of er sprake is van een EN-poort. Een EN-poort wordt gebruikt als er twee feitelijke oorzaken zijn. Een OF-poort wordt gebruikt als er twee mogelijkheden zijn. De onderzoeker gaat net zolang door met het onderzoeken naar het waarom tot hij niet verder kan met het oplossen van het probleem. Op dat punt kan hij een preventieve maatregel voorstellen.

Een OF-poort wordt aangegeven met het teken:	
Een EN-poort wordt aangegeven met het teken:	

De feitenboomanalyse (FBA) geeft de gebeurtenissen grafisch weer. In dit onderzoek laat de FBA zien welke gebeurtenissen hebben geleid tot het (bijna-)ongeval. In een FBA wordt het (bijna-)ongeval, het zogenaamde *eindfeit,* aan de rechterkant van het diagram geplaatst. Vervolgens wordt telkens de vraag gesteld waarom zich een feit heeft voorgedaan. Zo ontstaat een diagram van rechts naar links opgebouwd dat de volgorde der gebeurtenissen weergeeft en waaruit uiteindelijk de oorzaak is af te lezen. In de weergave kunnen zich situaties voordoen waarbij OF- en EN-poorten worden gebruikt. Aan de linkerkant van het diagram kan niet verder terug worden gewerkt naar voorliggende feiten. Daar is het punt waar een oorzaak kan worden gevonden en een preventief advies kan worden uitgebracht.



Afbeelding 2

Naast de liggende (horizontale) feitenboom kan ook een staande (verticale) feitenboom worden gemaakt. In afbeelding 2 ziet u een voorbeeld van zo'n verticale feitenboom.

De scheiding tussen het laatste feit en het preventieve maatregel de is in mijn onderzoek gescheiden door een driehoek waarin een preventienummer is geplaatst. Het preventienummer bestaat uit een letter en een cijfer waaruit de feitenboom en het preventietype is af te leiden. Zo ontstaat in de analyse van bijlage 3 en 5 het beeld zoals getoond in afbeelding 1. Daarin staat FBA-B10 als preventieve maatregel. Het gaat dan om de preventieve maatregel zoals in feitenboom B staat bij tak 10.

2.4 Beperking van de FBA-methode

De FBA is een krachtige methode om te analyseren wat er fout ging en hoe de fout te voorkomen is. Door verschillende interpretaties kunnen echter verschillende feitenbomen ontstaan. Het eindresultaat hoeft daar echter niet onder te lijden. In Cranfield Research Report 436 van Tetlow; *Formal Risk Identification in Professional Scuba (FRIPS)* wordt een rekenmethode voorgesteld die het mogelijk maakt om met Booleaanse algebra in het FBA-model, operatoren te benoemen om een kwantitatieve berekening uit te voeren. Daarmee zijn analysemodellen te vergelijken en kan het risico rekenkundig worden benaderd.

Een andere veel gebruikte methode is FMECA (Failure Mode and Effects Criticality Analysis). Deze methode richt zich specifiek op risicoanalyse van de gebruikte onderdelen en materialen, en veel minder op de analyse van gebeurtenissen. FMECA leidt tot een risicomatrix waarin de blootstelling aan een gevaar en de grootte van het gevaar de matrix vormen. FMECA is dan ook

een goede analysemethode voor de fabrikanten om hun componenten te testen voor het beoogde gebruik. Dit is dan ook in de norm NEN-EN 14143 terug te vinden. Een tweetal voorbeelden uit de norm:

5 Requirements

5.1 Design

The manufacturer shall support the apparatus design by the provision of a failure mode effect and criticality analysis (FMECA).

5.5.3 Pressure relief system(s)

All medium pressure supplies shall be fitted with a pressure relief system. The manufacturer shall specify the relief pressure and flow based on the failure mode effect and criticality analysis (FMECA). In any case the maximum relief pressure shall not exceed 50 % of the burst pressure as specified by the manufacturer.

Beide methodes - FBA en FMECA - zoeken naar de oorzaak van een voorkomend feit. Wat met deze methodes niet duidelijk wordt, is het sequentiële verloop van ongevallen. Met de FBA methode kan men in enkele gevallen wel, door terug te redeneren vanuit het eindfeit, komen tot een beeld van de volgorde van de gebeurtenissen. Vaak echter komt men al vrij snel bij het oorspronkelijke feit uit. Een andere beperking van beide methodes is dat als het feit zich heeft voorgedaan de analysemethode niet ingaat op hoe de duiker zich tijdens het ongeval kan beschermen tegen het betreffende gevaar, en hoe hij zich kan redden uit de ongewenste situatie. Daar is de aanbevolen preventieve maatregel in de bijlage 4 en 6 voor bedoeld. De duiker zal de preventieve maatregel moeten opnemen en die onderdeel moeten maken van zijn training en geroutineerd handelen. In bijlage 7 vindt u een nadere toelichting over hoe het trainen automatisch handelen bevordert en hoe dit de veiligheid kan verbeteren.

3. Resultaten

3.1 Resultaten onderzoek onder de civiele duikers

a. Het belangrijkste resultaat van mijn onderzoek is dat, in tegenstelling tot de gangbare denkbeelden, niet de apparatuur maar de activiteiten en het handelen van de mens de belangrijkste oorzaak is voor het ontstaan (bijna-)ongevallen met rebreathers.
b. Enkelvoudige fouten die aan het materiaal liggen (FBA-E en FBA-H) zijn in 13 gevallen voorgekomen. Slechts 5 daarvan (5,2%) betroffen onderdelen van de rebreather die niet werkten. (Bijlage 4: case 32, case 63, case 34, case 72, case 86).
c. Een groot deel van de (bijna-)ongevallen is te wijten aan gebrekkige pre-dive checks.
d. Van de civiele groep overschrijdt 32% van de duikers de voorgeschreven gebruikstijden van de scrubber (dit is een houder met CO_2 absorberende korrels).
e. Van de civiele groep gebruikt 30% geen checklist.
f. Ongeveer 10% van de duikers heeft moeite met het aflezen van de instrumenten door slechtziendheid.
g. Soms leiden goedbedoelde aanpassingen tot fouten in het rebreathersysteem. Door duikers gemaakte aanpassingen kunnen tot een verhoogd risico leiden.

h. Er is een opvallend groot aantal gevallen waarbij waterintrede in het systeem een bijna-ongeval veroorzaakt (12,5% van de gevallen).
i. Duikinstructeurs voeren oefeningen uit die soms strijdig zijn met de wet en die kunnen leiden tot aansprakelijkheidsproblemen (zie bijlage 1).
j. De wetgever sluit de verplichting van het bij zich hebben van een zuurstofkoffer uit voor duikers die instructie geven aan sportduikers. Vervolgens wordt dit in een NEN-EN norm weer verplicht gesteld.

3.2 Resultaten onderzoek onder militaire duikers

a. Het belangrijkste resultaat van mijn onderzoek is dat, in tegenstelling tot de gangbare denkbeelden, niet de apparatuur maar de activiteiten en het handelen van de mens de belangrijkste oorzaak is voor het ontstaan (bijna-)ongevallen met rebreathers.
b. Enkelvoudige fouten die aan de duikapparatuur liggen (FBA-E en FBA-H) zijn in 2 gevallen voorgekomen.
c. Twintig procent van de (bijna-)ongevallen is te wijten aan gebrekkige pre-dive checks.
d. Onder militaire duikers vinden minder bijna ongevallen plaats door betere training en betere duikvoorbereiding.
e. De slangen van de SIVA rebreather zijn aanleiding voor een nader onderzoek door hun hoge elasticiteit, wat heeft geleid tot ademgas gebrek (zie case 8).
f. Functionele checks van rebreathers dienen door onderhoud diensten of bedrijven ook plaats te vinden onder operationele omstandigheden (zie case: 3 - 15 - 24 - 25 (bijlage 6)).
g. De indruk bestaat dat het begrip (bijna-)ongeval binnen militaire kringen een andere betekenis heeft als bij civiele duikers. Geen enkele duiker antwoordde positief in de enquête op de vraag of ooit een hypoxische situatie was hebben meegemaakt. Eenzelfde reactie volgde bij de vraag of de duiker hypercapnia had ervaren. In de (bijna-)ongevallen analyse waren er ondanks deze antwoorden twee meldingen over deze feiten. Het is van groot belang dat militaire duikers een (bijna-)ongeval herkennen. Het doel daarvan is om via onderzoek of analyse preventieve maatregelen voor te stellen en toe te passen.

4. Conclusies

4.1 Bespreking van de resultaten van de civiele groep

Bij resultaat 3.1.a De meeste ongevallen en (bijna-)ongevallen zijn te wijten aan menselijk falen. Nadat in de periode van 2000 tot 2006 een aantal dodelijke ongevallen heeft plaatsgevonden, hebben trainings- organisaties zoals de IANTD, ANDI en TDI hun procedures aangescherpt en aanbevelingen gedaan om het aantal ongevallen te doen verminderen. Een voorbeeld van een dergelijke aanscherping is de aanbeveling om in geval van een probleem met de pO_2 niet langer te proberen het probleem op te lossen terwijl uit de rebreather wordt geademd, maar om direct op bailout (noodgas) over te gaan. Dergelijke wijzigingen zijn door veel instructeurs in hun opleiding overgenomen, maar op andere punten worden nog steeds grote risico's genomen.

Uit de beschreven (bijna-)ongevallen komt duidelijk naar voren dat lang niet alle duikers de pre-dive checks uitvoeren op de voorgeschreven wijze. Ook het preventieve onderhoud laat te wensen over. Een aantal defecten, zoals een lekkende O-ring afdichting, kunnen met preventief onderhoud eenvoudig worden voorkomen.

Een andere, zeer belangrijke factor is dat rebreatherduikers veiligheidsoefeningen moeten blijven trainen om dit oefenen tot een automatisch handelen te maken. In geval van gevaar of grote stress wordt het denkproces van de duiker sterk beïnvloed en moeten veiligheidshandelingen als automatisme kunnen worden uitgevoerd (zie bijlage 7).

Bij resultaat 3.1.b Slechts 4 - 5% van de (bijna-)ongevallen zijn ongevallen waarbij de oorzaak niet door mensen werd veroorzaakt, maar door een 'monofout'. Een dergelijke fout kan niet altijd worden voorkomen door duiktechnische training, preventie en adequate- of pre-dive checks. Een voorbeeld van een monofout is dat een O-ring het begeeft: de O-ring werkte aan de oppervlakte na de pre-dive check, was zes maanden geleden preventief vervangen, maar begaf het toch op 40 meter diepte. Dit is een voorbeeld van een onverwachte gebeurtenis die niet te voorspellen is. Een ander voorbeeld is het geheel uitvallen van het elektronische systeem (zie bijlage 4, case 86). Belangrijk is dat de duiker moet worden getraind om het probleem, dat door de O-ring wordt veroorzaakt, onderwater te kunnen oplossen EN dat hij de veiligheidsoefeningen moet blijven trainen gedurende zijn loopbaan als beroepsduiker, militair duiker of sportduiker.

Bij resultaat 3.1.c Het uitvoeren van pre-dive checks moet methodisch gebeuren. Elke duiker moet getraind zijn in het op vaste wijze uitvoeren van de voorgeschreven pre-dive checks en moet dit doen op basis van de door de fabrikant voorgeschreven wijze. Hij kan daarnaast door kennis te nemen van andere methodieken zijn pre-dive procedure verfijnen en aanpassen aan de omstandigheden van de duik. Pre-dive checks worden bij voorkeur uitgevoerd door in een schone en droge omgeving het systeem te prepareren en bedrijfsklaar mee te nemen naar de duikplaats. Daar wordt vervolgens de pre-dive check opnieuw uitgevoerd.

Bij resultaat 3.1.d Bijna een derde van de duikers uit de civiele doelgroep gebruikt de scrubber te lang. Scrubbertijden worden per rebreathertype door de fabrikant voorgeschreven. In de gebruiksduur zijn een groot aantal variabelen van invloed zijn op de gebruiksduur. Een temp-stick is een indicator voor de gebruiksduur van een scrubber, maar geen vervanging van de voorgeschreven gebruikstijden. Het te lang gebruiken van een scrubber uit financiële overwegingen is een absurde handeling in relatie tot het risico (bijlage 8).

Bij resultaat 3.1.e Het gebruik van een checklist om de pre-dive check uit te voeren leidt tot minder ongevallen. Uit de analyse van de (bijna-)ongevallen is duidelijk gebleken dat veel fouten zijn veroorzaakt door een matig of slecht uitgevoerde pre-dive check. Duikers die geen checklist gebruiken omdat zij denken alle elementen van de duikvoorbereiding uit het hoofd te kennen, stellen zich aan grote risico's bloot. Door het gebruik van een checklist wordt de voorbereiding op een methodische wijze uitgevoerd en worden belangrijke elementen niet vergeten. Voorbeelden zijn: het terugdraaien van een overdrukventiel in de juiste positie, het aansluiten van een slang, en het aanzetten van de handsets.

Bij resultaat 3.1.f Het slecht kunnen aflezen van instrumenten is bij 10% van de duikers een probleem. Omdat de gemiddelde leeftijd van rebreatherduikers (bijlage 3, sheet 7) boven de 45 jaar ligt, is dit te verwachten. De 'oudere' duiker kan diverse hulpmiddelen gebruiken, zoals een duikbril met lenzen of een display met grotere letters, om het probleem te verkleinen of weg te nemen.

Bij resultaat 3.1.g Fabrikanten produceren een rebreather die, als hij binnen de EU wordt verkocht, moet zijn voorzien van een CE-keurmerk. Dat keurmerk kan uitsluitend worden toegekend als is voldaan aan de NEN-EN 14143:2003 (zie bijlage 1). Het aanbrengen van andere onderdelen die de functie van de rebreather veranderen maakt het keurmerk ongeldig.

Bij resultaat 3.1.h Waterintrede kan in vrijwel alle gevallen worden voorkomen door goed onderhoud, goede training en het uitvoeren van een goede pre-dive check.

Bij resultaat 3.1.i Voor sportduik instructeurs gelden de in bijlage 1 beschreven wettelijke voorschriften. De opmerkingen geven aan welke onderdelen van de wet van toepassing zijn op de duikinstructeur of (beroeps) duiker.

Bij resultaat 3.1.j Ten onrechte wordt bij het lezen van het Arbeidsomstandighedenbesluit vaak verondersteld dat het meenemen van een zuurstofkoffer voor instructeurs geen verplichting is. Dat is onjuist omdat in de NEN-EN 14467 de zuurstofkoffer verplicht is gesteld en de Nederlandse Onderwatersport Bond (NOB) zich aan deze norm confirmeert. De regels van de NOB zijn als bindend beschreven in de Beleidsregels Arbeidsomstandigheden *(zie Arbo Beleidsregels hoofdstuk 2, paragraaf 6 artikel 6.15 lid 8b)*.

Bij resultaat 3.1.k In de wetgeving is een deel opgenomen waarin het werken onder overdruk wordt gereguleerd. Dat is niet uitsluitend van toepassing op de beroepsduiker, maar ook deels op de sportduikinstructeur die hiervan zijn beroep heeft gemaakt en op de vrijwillige sportduikinstructeur die voor een duikschool, vereniging, stichting of sportorganisatie sportduikinstructie geeft (artikel 1 lid 3 onder k+l). Er is in deze situatie namelijk sprake van een gezagsverhouding, waardoor deze wet van toepassing is.

4.2 Bespreking van de resultaten van het onderzoek onder militaire duikers

a. Uit de militaire onderzoeksgroep blijken de meeste (bijna-)ongevallen te liggen aan menselijk handelen. Getraind handelen en gebruik maken van procedures zijn essentieel om ongevallen te voorkomen. Vooral het gebruik van methodische pre-dive checks en het consequent gebruik van checklists kan niet voldoende worden benadrukt. Van nature bestaat de neiging om het gebruik van checklists meer en meer achterwege te laten en daar sluimert het gevaar van een vergissing of fout.
b. Enkelvoudige fouten (monofouten) die aan de duikapparatuur liggen (FBA-E en FBA-H) zijn in twee gevallen (8%) voorgekomen. Zie ‘4.1 bij 3.1.b’.
c. 20% van de (bijna-)ongevallen is te wijten aan gebrekkige pre-dive checks. Zie ‘4.1 bij 3.1.c’
d. Onder militaire duikers vinden minder (bijna-)ongevallen plaats door betere training en betere duikvoorbereiding. Het aantal (bijna-)ongevallen is aanmerkelijk kleiner dan bij de civiele onderzoeksgroep.
e. De slangen van de SIVA-rebreather zijn aanleiding voor een nader onderzoek door hun hoge elasticiteit, wat heeft geleid tot ademgasgebrek omdat de slangen veel zachter en soepeler aanvoelen dan bij andere rebreathers. De kwaliteit van de slang is opmerkelijk goed, alleen de stugheid is een belangrijke factor die moet worden gewogen bij vervanging van het materieel.
f. Functionele checks van rebreathers dienen door onderhoudsdiensten of bedrijven ook plaats te vinden onder operationele omstandigheden. Zie case: 3 - 15 - 24 - 25 (bijlage 6).

5. Aanbevelingen

5.1 Aanbevelingen voor civiele rebreatherduikers

1. Zorg voor een goede rebreather-specifieke opleiding en herhaal veiligheidsoefeningen bij voorkeur tijdens elke duik.
2. Voer op de voorgeschreven wijze preventief onderhoud uit.
3. Voer altijd een pre-dive check uit met een checklist.
4. Hanteer de voorgeschreven gebruikstijden van de scrubber.
5. Zorg dat de instrumenten onder water goed zijn af te lezen.
6. Wijzig niets aan de fabrieksconfiguratie. Door aanpassingen aan de rebreather kunnen onvoorziene problemen optreden.
7. Voer altijd een onderdruk- en overdruktest uit.
8. Pas de oefeningen tijdens de opleiding zo aan dat deze niet in strijd zijn met de wetgeving.
9. Zorg dat er een zuurstofkoffer aanwezig is, de alarmdiensten kunnen worden gebeld en er een taakrisicoanalyse (TRA) en een noodplan is. De TRA kan worden uitgevoerd zoals de NOB de procedure ‘check de stek’ beschrijft. De procedure is te vinden op de website van de Nederlandse Onderwater Sport Bond.
10. Zowel beroepsinstructeurs als sportduikinstructeurs hebben wettelijke plichten. Instructeurs moeten deze wettelijke plichten kennen en hiernaar handelen.

5.2 Aanbevelingen militaire rebreatherduikers

1. Zorg voor een goede rebreather-specifieke opleiding en herhaal veiligheidsoefeningen bij voorkeur tijdens elke duik
2. Voer preventief onderhoud uit volgens het principe Plan Do Check Act. Deze methodiek is de weg naar verbetering van de kwaliteit van het onderhoud
3. Hanteer een pre-dive check met gebruik van een checklist. Informeer duikers waarom een dergelijke methode nut heeft en waarom dit leidt tot minder ongevallen.
4. Voer voorafgaand aan de duik altijd een onderdruk en overdruktest uit.
5. Overweeg waar mogelijk met buddyparen te duiken.
6. De Marine overweegt de aanschaf van nieuwe rebreathers. Als de keuze net als bij de Engelse Marine valt op een ECCR (Electronic Controlled Closed Circuit Rebreather) overweeg dan een kenniskring op te zetten waarin een aantal ervaren burgers samen met de militaire duikers een werkgroep starten om ervaringen uit te wisselen.

6. Literatuurlijst en referenties

- Colenbrander, August MD, Visual Standards aspects and ranges of Vision Loss with Emphasis on Population Surveys ,Affiliate Senior Scientist, Smith-Kettlewell Eye Research Institute, San Francisco Director Emeritus, Low Vision Services, California Pacific Medical Center, 2002
- Duik Ongevallen Statistiek en Analyse, DOSA, Veiligheid ben je zelf, verzie 9-10-2006, publicatie DOSA 005.docx Nassaustraat 12, 3583 XG Utrecht http://www.duikongevallen.nl .
- Hulst RA van, Emmen HH, Muijser H, Neuropsychometric Test in Royal Netherlands Navy Mine-Clearance Divers, Paper presented at the RTO HFM Symposium on 'Operational Medical Issues in Hypo- and Hyperbaric Conditions', held in Toronto, Canada, 16-19 October 2000, and published in RTO MP-062.
- Ministerie SZW, Stelselwijzigingen SZW , gerechtvaardigd vertrouwen in certificatie bij arbeidsomstandigheden, ©Rijksoverheid Oktober 2009, SZW 74S826.Ministerie SZW, Arbeidsinspectie, Arbeidsrisico's bij duikarbeid , Veilig werken boven en onder water, bestelnummer 647 ©Rijksoverheid September 2008.
- Nationaal Duikcentrum NDC, Arbocatalogus Werken onder overdruk ,duikarbeid, caissonarbeid en overige arbeid onder overdruk. Doc.code: AWoO 2010:002 versie 30-03-2010. Goedgekeurd door Arbeidsinspectie 23-12-2009.
- Nationaal Duikcentrum NDC, Beoordelingsrichtlijn Onderhoudssysteem Duik- en Caissonsystemen , versie 01 uitgave 31 maart 2006.
- Nederlandse Onderwater Sportbond NOB, Huishoudelijk reglement , versie augustus 2008.
- Nederlandse Onderwater Sportbond NOB, Sportinstructie en de regelgeving , versie 08.01, 2008.
- Nederlandse Onderwater Sportbond NOB, Check de Stek, maart 2007
- O'Kelly Dr.F.J., Dysbaric Osteonecrosis, The Hong Kong Practitioner, december 1982.
- Schijven J.F., Roda Husman A.M. de, Schatting van de blootstelling van beroepsduikers aan micro-organismen in water , RIVM rapport 330000006 / 2005.
- Shin* Lisa M,1,2 and Liberzon3,4 Israel, The Neurocircuitry of Fear, Stress, and Anxiety Disorders1 Department of Psychology, Tufts University, Medford, MA, USA; 2Department of Psychiatry, Massachusetts General Hospital/Harvard Medical School, Boston, MA, USA; 3Psychiatry Service, Ann Arbor Veterans Affairs Medical Center, Ann Arbor, MI, USA; 4Department of Psychiatry, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.
- Siegert Helger, Kan Joost, Huisman Richard, Verhoeven Arco, Werken onder overdruk Duikarbeid (nat), http://www.arbokennisnet.nl , 21 april 2008.
- Tetlow Dr. Stephen, Formal risk identification in professional SCUBA (FRIPS), Offshore Technology Centre Cranfield University Bedfordshire, 2006.
- Vegte Frank van der, Verzameling wetten Duiken, uitgave 2010.
- Vorosmarti, James Jr. MD* and Vann Richard D, PhD†, Physics, Physiology, and Medicine of Diving, Medical Aspects of Harsh Environments, Volume 2,
  *Captain, Medical Corps, US Navy (Ret); Consultant in Occupational, Environmental, and Undersea Medicine, 16 Orchard Way South, Borden Institute,Walter Reed Army Medical
- Center,Washington,DC,20307, 2002Rockville, Maryland 20854 †Captain, US Navy Reserve (Ret); FG Hall Hypo/Hyperbaric Center, Box 3823, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina 27710, Chapter 30, 2002
- Waldemar Boczek - Jens Hilbert, Tauchen mit Sauerstoff Kreislaufgeräten ©Verlag Stephanie Naglschmid, Stuttgard / Delius Klasing & Co. KG, Bielefeld 2008