

Door het oog van de naald

Gewonden en dodelijke slachtoffers door het gebruik van de verkeerde combinatie kraan en cilinder in de duikindustrie

Abstract:

In 2013 is Nederland opgeschrikt door een aantal ernstige ongevallen met duikcilinders. Twee van deze ongevallen hebben een dodelijk slachtoffer geëist en een aantal personen hebben letsel opgelopen. De ongevallen deden zich voor tijdens het vullen van de flessen met ademgas. Tijdens dit vullen werden de afsluiters van de flessen door de hoge druk uit de duikcilinder gedrukt en een aantal personen werden door de afsluiter geraakt. De explosieve kracht waarmee de afsluiter uit de fles schoot samen met het effect van het ineens vrijkomende ademgas veroorzaakte veel schade en letsel. De oorzaak van deze gebeurtenissen ligt in het feit dat soms de verkeerde afsluiter in een duikcilinder werd geschroefd. De schroefdraden grijpen dan wel in elkaar maar de mechanische verbinding begeeft het door de kracht die optreedt tijdens het vulproces. Dit artikel heeft als doel de oorzaak van montagefouten toe te lichten en informatie te bieden om dergelijk gevaar in de toekomst af te wenden.

Auteur:

Jan Willem Bech, hoger veiligheidskundige, Therebreathersite.nl

Aan dit artikel werkten mee:

Rob Bakker, Commissie Technisch Duiken, Nederlandse Onderwatersport Bond
Frans Meijaard, duikshop Oktopussy Wemeldinge
Caroline Kraaijveld, redactie

Foto's:

Jeroen Gompelman, Hydrogom Respiratory Equipment, Hoofddorp
Dop Koot, EAN divingservice, Ede
John Welzenbach, John Welzenbagh, Senior Medewerker Inspectie en Controle, Team Maritieme Politie, Dienst Infrastructuur, Landelijke Eenheid, Nationale Politie
Jan Willem Bech, hoger veiligheidskundige, Therebreathersite.nl, Oosthuizen
Frans Meijaard, duikshop Oktopussy Wemeldinge

Met dank aan:

Quality Tools Holland, kalibers

Introductie:

Sinds de 50-er jaren wordt in Nederland de duiksport beoefend. Bij het duiken worden cilinders gevuld met een ademgas onder hoge druk. De druk die wordt toegepast is meestal 230 bar maar 300 bar systemen komen steeds meer in gebruik. Dergelijke hogedrukcilinders worden ook beroepsmatig gebruikt door brandweer, douane, politie, aquaria in dierentuinen en bij defensie. Ook worden dergelijke cilinders gebruikt voor bijzondere toepassingen. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik bij paintball, adembescherming bij industriële processen, in de mijnbouw en bijzondere werkatmosferen. Hogedrukcilinders worden in Nederland in grote aantallen gebruikt.

Dit artikel is bedoeld als naslagwerk om de schroefdraad van de kraan en de cilinder te kunnen identificeren en vast te stellen of bestaande combinaties veilig kunnen worden gebruikt. Deze informatie is bedoeld voor iedereen die te maken heeft met duikcilinders voor het gebruik met ademgas of voor andere toepassingen.

Problematiek:

Op de duikmarkt worden nieuwe cilinders vaak aangeboden zonder gemonteerde afsluiter (hierna ook 'kraan' genoemd). De wetgever stelt geen eis dat de duikcilinder en de kraan als stel moeten worden verkocht. De kraan en de cilinder hebben beide een CE markering. Door artikel 7 in het Warenwetbesluit Drukapparatuur is het toegestaan de componenten los te verkopen. De nu gangbare schroefdraad voor kranen is beschreven in de NEN EN 144-1. Er worden drie draadsoorten in de norm beschreven, namelijk M25x2 voor de meeste duikcilinders en M18 x 1,5 voor kleinere cilinders en de oudere klein conisch draad E17. Nieuwe cilinders zijn duidelijk voorzien van een markering die de toegepaste draadsoort weergeeft. Ook op de kranen staat duidelijk welke draadsoort het betreft. Hoe kan het dan dat er ongevallen kunnen plaatsvinden door een verkeerde kraan en cilindercombinatie?

Voordat in 1992 de NEN EN 144-1 werd gepubliceerd werden in Nederland ook veel cilinders met cilindrische draad BSPP ¾" (British Standard Pipe Parallel) toegepast. Deze cilindrische draad wordt in de wandelgangen ook vaak gasdraad genoemd en aangeduid met de letter G. Een dergelijke BSPP schroefdraad staat dus algemener bekend onder G ¾". Een bijbehorende BSPP ¾" kraan past dan ook prima in zo'n cilinder.

Naast de cilindrische draad BSPP ¾" werd in Nederland ook een conische schroefdraad W28,8 x 14 GPI volgens DIN 477 hoek 3:25 toegepast. Deze draad is in duikkringen beter bekend onder de benaming 'grootconisch'. Deze grootconische draad in een duikcilinder heeft niet vaak door verwisseling met andere schroefdraden tot ongevallen geleid. Een cilindrische kraan past namelijk niet in de conische draad van de cilinder. Het kwam wel voor bij toepassing van deze kraan dat de flesdraad uitsleet, of dat de kraanhals beschadigde door een te groot aanhaalmoment. Onder andere om deze reden is men overgegaan op toepassing van een cilindrische schroefdraad met o-ring afdichting.

In Frankrijk werden in de 80er jaren cilinders en kranen geproduceerd in het SI-stelsel (Frans: Système international d'unités). Dit SI-stelsel wijkt af van het metrische stelsel. Later heeft Frankrijk de metrische maatvoering overgenomen. Kranen uit het SI-stelsel werden gemarkeerd met de tekst **25 x 2 SI of met 25 x 200 SI**. De nieuwe metrische kranen die nu verkocht worden daarentegen met **M 25 x 2 ISO**.

In Amerika worden cilinders en kranen geproduceerd met de draad NPSM (National Pipe Straight Mechanical). Cilinders met NPSM draad vinden ook hun weg naar Europa. Deze draad in de cilinder is een fractie groter dan de M25x2.

De ongevallen die zich hebben voorgedaan ontstaan door toepassing van een verkeerde cilinder en kraancombinatie. Sommige kranen en cilinders zijn onduidelijk of niet gemarkeerd en kunnen tot verkeerde combinaties leiden. Deze fouten blijken in de praktijk te ontstaan doordat cilinders en kranen apart worden gekocht. Ook combinaties van oude en nieuwe producten leiden tot deze ongevallen. Duikers reizen veel en kopen vaak hun materialen over de gehele wereld in. Aankopen worden wereldwijd gedaan via internet en er is een levendige handel op veilingwebsites en verkoopsites zoals in Nederland bijvoorbeeld via de websites Marktplaats en eBay.

Deze ingrediënten leiden ertoe dat kranen en cilinders ogenschijnlijk een goede combinatie vormen. Omdat veel amateurduikers de gevaren van een onjuiste passing niet kennen worden kranen soms met zwaar gereedschap in een cilinder gedraaid. De draad kan beschadigen en een onzekere verbinding vormen. Als de cilinder op druk wordt gebracht blijkt in de praktijk bij een druk rond 150-180 bar de kraan door de kracht van het gas op de onderzijde van de kraan met geweld uit de cilinder wordt geblazen.

[intermezzo]

Als de cilinder wordt gevuld met perslucht wordt dit meestal gedaan tot een druk van 230 bar. Na het vullen koelt de fles af en blijft meestal een druk van om en nabij de 210 bar beschikbaar bij kamertemperatuur. De einddruk hangt af van de vulsnelheid en de kamertemperatuur en wordt bepaald door de wet van Boyle en Gay-Lussac. We merken op dat bij toepassing van een verkeerde schroefdraadcombinatie de kraandraad in de praktijk het vaak tussen 150 bar en 180 bar begaf. Om een idee te krijgen met welke kracht het gas op de kraan drukt kunnen we de volgende berekening toepassen:

Het contactvlak van de kraan met het gas wordt bepaald door de flankmiddellijn d_2 van de draaddoorsnede van de kraan (zie afb. 2). Om deze te berekenen nemen we de doorsnede $d = 0,65p$. Hier is $d = 25\text{mm}$, en de spoed $p = 2\text{mm}$. De flankmiddellijn is dan $23,7\text{ mm}$. De oppervlakte van het contactvlak is dus $4,4\text{ cm}^2$. Bij 180 bar druk zal elke cm^2 een kracht van 1800 N uitgeoefend worden. De totale kracht waarmee het gas op de afsluiter zal drukken zou theoretisch daarom $4,4\text{cm}^2 \times 1800\text{N} =$ ongeveer 800 kilo bedragen. Een enorme kracht op deze kraan. Als de kraan het begeeft vormt het een levensgevaarlijk projectiel waarna het gas explosief vrijkomt.

In de onderstaande tabel staan de meeste schroefdraden beschreven die de afgelopen jaren gebruikt worden voor kranen in duikcilinders:

Tabel 1 Uitwendige maten van kranen

Benaming kraandraad	Buitenmaat in mm	Spoed in mm	Spoed in g/inch	Norm	Status	Vorm
M25x2	25	2	nvt	EN 144-1	Modern	cilindrisch
M18x1,5	18	1,5	nvt	EN 144-1	Modern	cilindrisch
E 17 con	17,4 - 19,8	1,814	14 gpi	EN 144-1	Modern	conisch
25 x 2 SI	25	2	nvt	-	Oud	cilindrisch
G 3/4" (BSPP)	26,4	1,814	14 gpi	DIN 259/ EN-ISO 228	Oud	cilindrisch
NPSM ¾ x 14 gpi	26,26	1,814	14 gpi	ANSI/ASME B1.20.1 t6	Modern	cilindrisch
W28,8x 14 gpi	26,441	1,814	14 gpi	DIN 477	Oud	conisch

Omdat tabellen zoals hierboven onvoldoende informatie bieden om de juiste draad in de cilinder te bepalen is meer informatie nodig.

Hoe bepalen we de juiste schroefdraad in de fles?

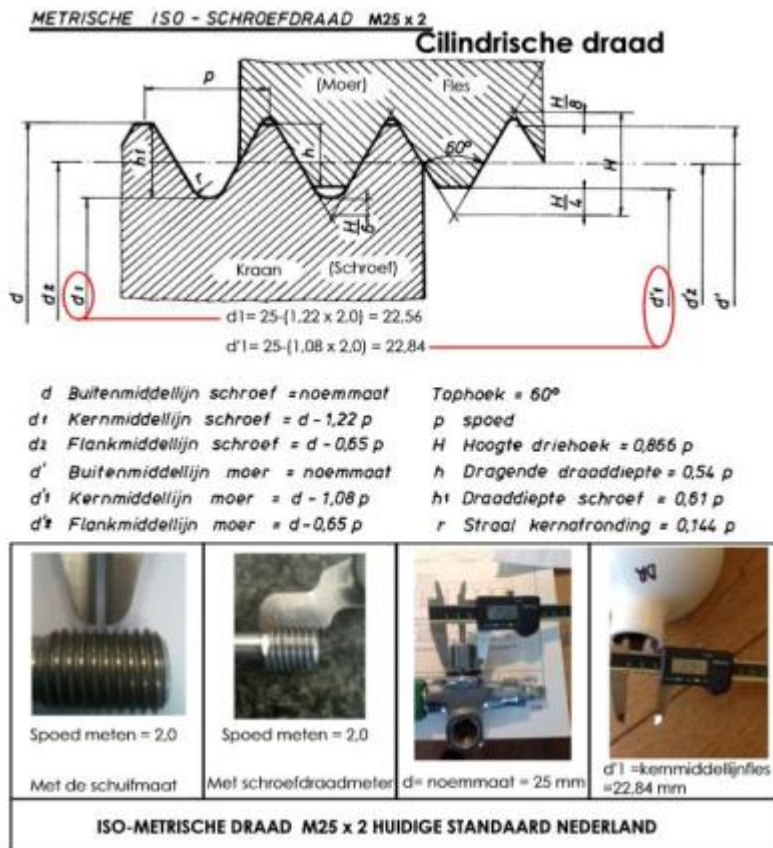
Om vast te stellen of we te maken hebben met een metrische M25x2 kraan of met een ¾"BSPP kraan kunnen we met een schuifmaat eenvoudig de uitwendige diameter meten. De m25x2 kraan meet 25 mm en de BSPP ¾" kraan meet 26,4 mm. Anders wordt het om de juiste draad in de cilinder vast te stellen. Meten we in een cilinder met M25x2 draad is de op een schuifmaat afgelezen maat geen 25 mm. Om vast te stellen met welke schroefdraad we te maken hebben maken we gebruik van een schroefdraadnorm. In afbeelding 2 is een tekening van de metrische schroefdraad te zien. Hier zien we dat juiste en te meten maat in de duikcilinder d'1 wordt genoemd en wordt bepaald door de buitenmiddellijn van de schroef ($d = 25 \text{ mm}$) te verminderen met 1,08 maal de spoed. Dit is $25 - (1,08 \times 2,0 \text{ mm}) = 22,84 \text{ mm}$. Als we in de fles 22,84 mm meten kan het M25x2 zijn maar moeten we nog de spoed met zekerheid vaststellen.



Afb. 1 De inwendige maat van een M25x2 cilinder

Het meten van de spoed.

De spoed meten we met een schroefdraadmeter. Een dergelijke meter is al te koop voor nog geen tien euro. Als de draadkam 2.0 in de schroefdraad past hebben we te maken met een spoed van 2.0 mm.



Afb. 2 Normblad isometrische draad



Afb. 3 Schroefdraadmeter op de kraan

De passing van de kraan in de cilinder is dus een zeer nauwkeurig bepaalde verhouding tussen spoed en tophoek. De conische draden van vroeger en de gasdraad R ¾" hebben een tophoek van 55°. De tophoek van de M25x2 draad is 60°. De spoed bij M25x2 is 2 mm. Dat wil zeggen dat bij elke omwenteling de schroefdraad 2 mm in axiale richting is gestegen. De spoed van de cilindrische oude ¾" draad is 1,81 mm, en dit wordt op de kam weergegeven als 14GPI (14 gangen per inch). De kernmiddellijn van de cilinderdraad van de cilindrische BSPP ¾" cilinder is 24,64.

Tabel 2 Courante maten

Maten in mm	Dkraan uitwendig	Dcilinder inwendig	Spoed in mm	Norm
G3/4"	26,441	24,66	1,814	Din 259
M25x2	25	22,84	2	Din 13-7

Veel van de ongelukken hebben plaatsgevonden omdat een nieuwe M25x2 kraan in een (oude) cilinder met 3/4" BSPP werd gedraaid. De kraan zal pas na 6-8 gangen (omwentelingen) weerstand ontwikkelen waardoor de monteur denkt dat de kraan goed zit gemonteerd. Met een grote bahco of moersleutel wordt de kraan verder vastgedraaid. Zodra de kraan na de laatste twee of drie omwentelingen afdicht op de rand bestaat het idee dat de kraan goed is gemonteerd. Niets is minder waar....



Afb. 4 Levensgevaar, een M25x2 kraan in een G 3/4"fles gaat er bijna helemaal in....

Hoe sluiten we tolerantie fouten uit:

Als een nieuwe kraan op een cilinder moet worden geplaatst moet van beide delen de schroefdraad bekend zijn. Ook moet worden vastgesteld of de schroefdraad binnen de slijtage toleranties valt. Dit geldt voor de cilinderdraad en voor de kraandraad. Hiervoor zijn draadkalibers in de markt verkrijgbaar. Deze relatief goedkope draadkalibers bepalen of de draad nog binnen de veilige toleranties valt. Iedere onderhoudstechnicus of duikzaak zou over dergelijke gereedschappen moeten beschikken. De kaliber wordt in de cilinder gedraaid met de zwarte kant en de kaliber moet dan geheel in de schroefdraad passen (zie afbeelding 6). Daarna wordt de rode zijde van de kaliber ingedraaid (zie afbeelding 7). Als de schroefdraad binnen de toleranties valt loopt de kaliber vast. Als de kaliber ook met de rode zijde geheel in de cilinder past is de draad versleten.



Afb. 5 Goedkeur / Afkeur draadkaliber



Afb. 6 Kaliber past volledig in de cilinder



Afb. 7 Kaliber loopt vast, draad is binnen tolerantie

Dergelijke kalibers zijn ook beschikbaar voor de buitendraad op de kraan en werken volgens hetzelfde principe.



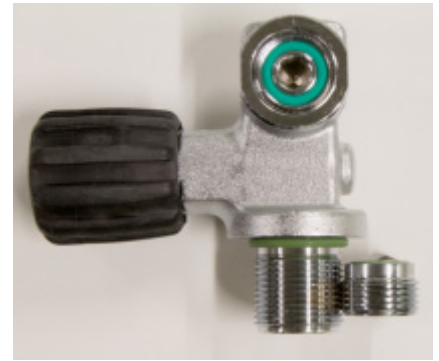
Afb. 8 Ringkaliber past volledig om de kraan



Afb. 9 Ringkaliber loopt vast, draad binnen tolerantie

Trucje om zonder gereedschap snel de spoed te bepalen.

In vrijwel elke kraan zit met een zeskant een 'insert' geschroefd (achter de groene o-ring) waarmee de kraan zowel kan worden gebruikt voor DIN als voor INT ademautomaat aansluitingen. Deze insert is in de kraan geschroefd en heeft altijd een draad met een spoed die overeenkomt met de BSPP 3/4" kraan. Als de insert op de draad wordt gedrukt zien we direct of we met een metrische 2 mm spoed of een 1,814 imperiale spoed te maken hebben. De insert heeft een spoed van 1,814.



Afb. 10 Insert heeft dezelfde spoed als 3/4 " BSPP kraan

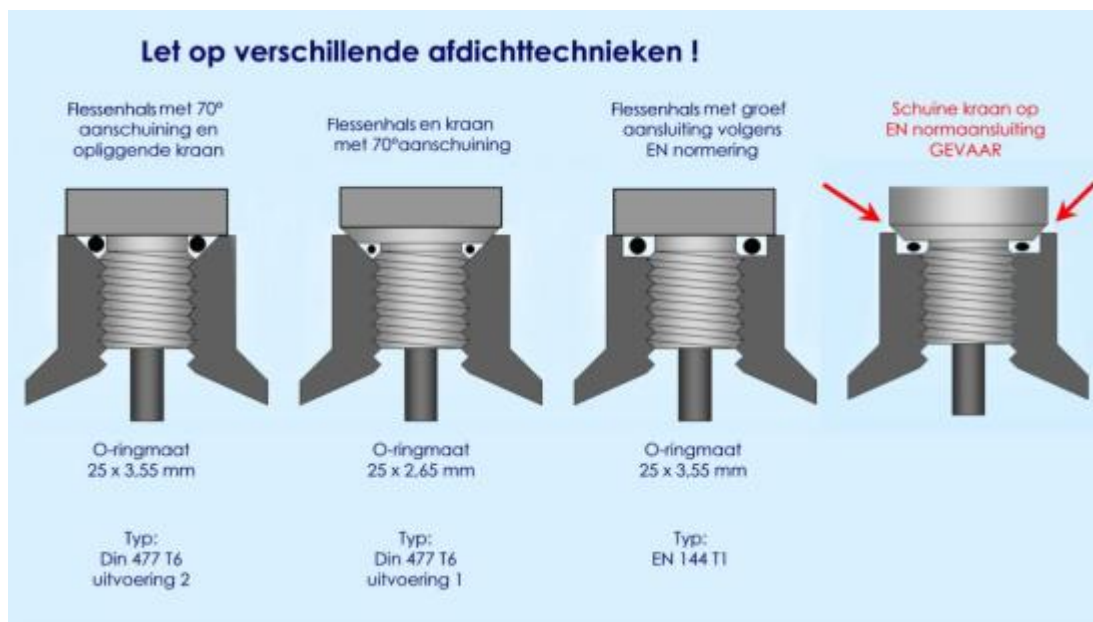


Dit omdat de spoed van een 3/4" kraan perfect aansluit op de spoed van de insert (zie afb. 10). Als de draad niet goed aansluit (zie afb. 11) zien we een verspringing van de draadspoed en kunnen we met een M25x2 kraan te maken hebben. Ook kunnen we een gewone M16 bout (M16 x 2 = de courante M16 maat) gebruiken om de spoed van de M25x2 kraan mee te vergelijken.

Afb. 11 Insert heeft een verspringende spoed

Juiste afdichting

Cilindrische schroefdraden hebben geen afdichtende functie. Hiervoor wordt een o-ring toegepast. De kraan, indien juist gekozen, moet dan ook geheel in de cilinder kunnen worden gedraaid tot de o-ring in de daarvoor bestemde groef wordt gedrukt. Er ontstaat een statische afdichting. De o-ring groef moet overeenkomen met de juiste kraanuitvoering.



Afb. 12 Verschillende o-ring afdichtingen in gebruik voor duikcilinders

Zuurstof en nitroxmengsels



Afb. 13 Uitgebrande kraan door zuurstofbrand

Niet alle kranen die in duikwinkels worden verkocht zijn geschikt voor alle ademgassen. Regelmatig worden kranen voor perslucht aangetroffen op zuurstofcilinders of op cilinders die voor zuurstof verrijkte mengsels gebruikt worden. Deze kranen branden soms volledig uit omdat ze niet voor zuurstof zijn ontworpen. Oorzaak is een inwendige zuurstof brand (zie afb. 13) die kan ontstaan door het snel

openen van de kraan waardoor het gas zeer heet wordt of door vuil, frictie of botsende deeltjes. Als kranen worden gebruikt voor met zuurstofverrijkte mengsels dient deze kraan voor gebruik met zuurstof te zijn ontworpen. Dergelijke kranen hebben maximaal 1 bocht die het gas afbuigt naar de ademautomaat die in de kraan wordt gedraaid. Vraag bij aankoop een schriftelijke garantie van de fabrikant waarin wordt bevestigd dat de kraan geschikt is voor gebruik met zuurstof.

Hiswa

De Hiswa heeft met haar leden een initiatief genomen een veilige cilinder en kraancombinatie te herkennen door deze verzegelen met een druppel blauwe zegellak (Loctite®). Een goed initiatief wat opvolging zou moeten volgen. Helaas is deze extra veiligheid niet door de wetgever geregeld en kan naar keuze wel of niet worden gebruikt. Lees meer over het Hiswa initiatief door de link naar de Hiswa uitleg te volgen.

http://www.hiswa.nl/hiswa.nl/up1/ZefpycaJG_HISWA_Handleiding_verzegelen_van_duikflessen.pdf

Amateurisme

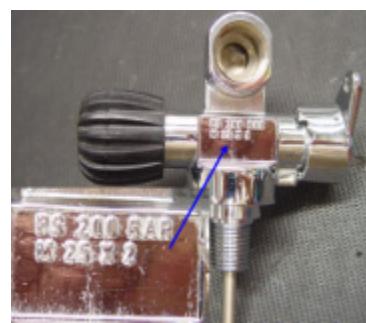
Soms worden kranen of cilinders aangetroffen met geïmproviseerde aansluitingen. Ook kranen met verkeerde opdruk worden regelmatig aangetroffen. Gebruik ze niet.



Afb. 14 Een kraan voorzien van de verwijzing naar de EN 250, de norm voor ademtoestellen....



Afb. 15 Knutselen, kleinconisch in een 3/4" cilinder. De adapter is duurder om te maken dan de prijs van een nieuwe kraan....



Afb. 16 Deze kraan is uitgevoerd met kleinconische E17 draad. De fabrikant vermeldt dat het een M25x2 kraan betreft....

Oude draden uit het SI stelsel

In Frankrijk werden door fabrikanten voor cilinders verschillende schroefdraden gebruikt. Bent u in het bezit van een oude cilinder die u nog gebruikt controleer dan de schroefdraad-kraan combinatie.

Tabel 3 Schroefdraden Franse fabrikanten

Merken	Schroefdraden gebruikt door Franse fabrikanten			
	Voor 1983	1983 / 1984		Sinds 1985
Beuchat	25X200 S.I. R 3/4 DIN 259	25X200 S.I. R 3/4 DIN 259 M25X2 6H ISO		M25X2 6H ISO
	Voor1985	1985		Sinds 1986
Cavalero	R 3/4 DIN 259	Dubbel 2X8,9 L R 3/4 DIN 259	Enkel M25X2 6H ISO	M25X2 6H ISO
	Voor 1987	1987 / 1988		Sinds 1989
Scubapro	R 3/4 DIN 259	R 3/4 DIN 259	M25X2 6H ISO	M25X2 6H ISO
	Aqualung	Voor 1987		Sinds 1987
25X200 S.I.		M25X2 6H ISO		

Tabel 4 Verenigbaarheid en onverenigbaarheid van schroefdraden voor duikflessen

		Afsluiters			
Schroefdraad		25x200 SI	M25x2 ISO	3/4 NPSM	3/4 BSP (P)
Cilinderdraad	25x200 SI	Past	Past niet noot 2	Past niet	Past niet
	M25x2 ISO	Past zonder gevaar	Past	Past niet	Past niet
	3/4"NPSM	Gevaar noot 1	Gevaar noot 1	Past	Past niet noot 2
	3/4"BSP (P)	Gevaar noot 1	Gevaar noot 1	past zonder gevaar	Past
<p>Noot 1: Kan worden gemonteerd als door slijtage de afsluitermaat minimaal is en de cilinderdraad maximaal is: Gevaar</p>					
<p>Noot 2: Kan worden gemonteerd als door slijtage de afsluitermaat minimaal is en de cilinderdraad maximaal is: Geen gevaar</p>					

Samenvatting:

De meeste ongelukken met kranen vinden plaats door onkundig gebruik. Kranen en cilinders mogen apart worden verkocht. Hierdoor plaatsen amateurs zonder kennis van zaken kranen in cilinders waar ze niet in horen. Dit kan leiden tot levensgevaarlijke situaties waarbij in 2013 twee doden en meerdere gewonden zijn gevallen. Ook ontstaan voor duikers gevaarlijke situaties als door een verkeerde kraanafdichting de o-ring het begeeft. Het ademgas kan uit de cilinder ontsnappen en de duiker kan daardoor in een noodsituatie belanden. Tot slot vormt het gebruik van persluchtcransen bij zuurstofverrijkte ademmengsels een verhoogd risico op een inwendige zuurstofbrand in de kraan. Daarom hieronder nog aanbevelingen om verdere ongevallen te voorkomen:

- Laat de controle uitsluitend uitvoeren door een geschoold vakman!
- Controleer of uw cilinder en kraan zijn voorzien van juiste schroefdraad
- Controleer of de schroefdraad van uw kraan niet is versleten of beschadigd
- Als op uw kraan of cilinder geen schroefdraad gegevens zijn weergegeven laat de cilinder leeglopen en laat een inspectie van de draad uitvoeren
- Als u een nieuwe kraan in uw cilinder laat plaatsen verzeker u ervan dat de draden bij elkaar horen en zijn weergegeven op de cilinder en de kraan
- Als een kraan en cilinder met verkeerde draad waren gemonteerd vernietig zowel de cilinder als de kraan omdat de draadsterkte kan zijn aangetast.
- Controleer de o-ring passing aan de hand van de weergegeven figuren voor een juiste passing. Bij twijfel altijd een vakman raadplegen.
- Als met verrijkte mengsels wordt gedoken dient de kraan geschikt te zijn voor zuurstof of zuurstofmengsels. Dit dient op de kraan te zijn aangegeven.



Het hieronder beschreven verhaal werd oorspronkelijk gepubliceerd in het blad Hippocampus van de Belgische duikorganisatie Nelos en wordt met hun toestemming in dit artikel gebruikt. Het wordt als intermezzo of als kolom ingevoegd in het hoofdartikel.

Door het oog van de naald

Maandagmorgen 7 oktober 2013 kreeg ik 4 duikflessen aangeboden om te vullen. Van één van deze flessen was de draaiknop kapot en er werd mij gevraagd om deze te vernieuwen. Ondertussen werden de flessen gevuld tot 200 bar.

Net toen ik op het punt stond de fles met de defecte draaiknop te gaan dichtdraaien gebeurde het. Met een enorme knal is de kraan van de fles afgeschoten.

Je knippert even met je ogen en ziet dan de enorme ravage om je heen. Het plafond ligt beneden op de vloer in een warboel van isolatiemateriaal en andere zaken. Door de openstaande deur trekt de stofwolk weg en langzaam komt het besef terug. Ik kom tot de konklusie dat er lichamelijk niets geraakt is, alleen ben ik een beetje doof aan één oor door de drukgolf. De klanten die iets verder staan mankeren gelukkig niets en zijn alleen enorm geschrokken.

Wat een geluk hebben we, zeker als ik me bedenk dat er in de laatste Onderwatersport van oktober 2013 (tijdschrift van de Nederlandse Onderwatersport Bond NOB) een artikel staat over een dodelijk ongeval bij het vullen van een duikfles op 16 augustus in Havelte.

De fles staat rechtop en de kraan ligt ernaast en zit nog vast aan de vulslang die ongeveer 30 cm langer geworden is. Dan is ook direct de oorzaak te zien. Het blijkt namelijk dat de fles met herkeuring maart 2013 voorzien is van draad $\frac{3}{4}$ " G terwijl de kraan M25x2 draad heeft. Dit grijpt natuurlijk niet goed in elkaar en was daardoor een tijdbom die is afgaan.

(gepubliceerd met toestemming van Frans Meijaard)



Figuur 1 De ravage na de explosie



Figuur 2 De fles met 3/4" draad en M25x2 kraan