



Foto: Tony Oudemans
Foto: Coolshots.

75 jaar ademautomaten

Hoe werkt een eentrapsonspanner?

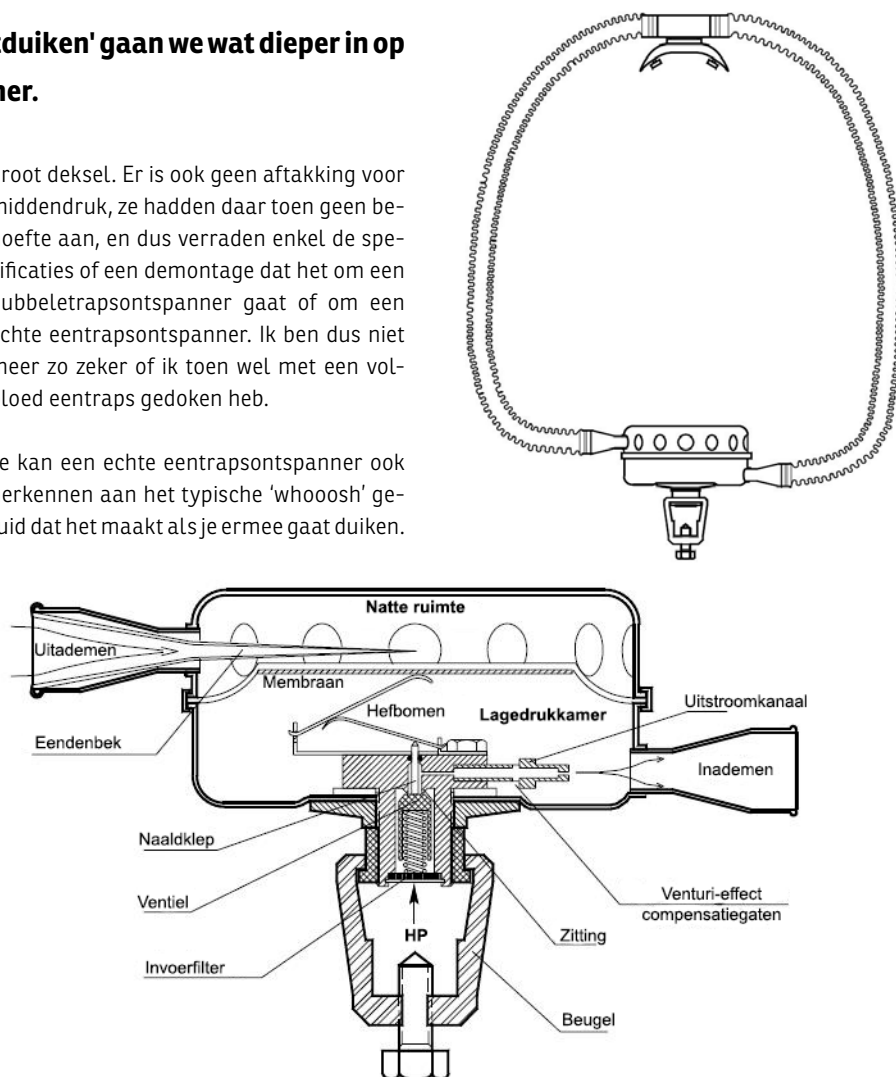
In dit derde artikel over '75 jaar sportduiken' gaan we wat dieper in op de werking van de eentrapsonspanner.

De Mistral eentrapsonspanner is voor de meesten onder ons een beetje zoals een Ford T. We hebben er allemaal van gehoord en over gelezen, maar weinigen hebben ermee gedoken. Nu hoor ik enkelen denken: "Ik heb met een Mistral gedoken!" Dat was ook mijn reactie voordat ik me, voor het schrijven van dit artikel, verdiepte in de materie. Tot voor kort stond een eentrapsonspanner voor mij gelijk aan een groot rond ding op mijn rug met twee dikke darmen aan een mondstuk. De duikervaring met dit apparaat was verrassend stil en anders, door het ontbreken van storende luchtballen die uit je mondstuk ontsnapt en in je gezichtsveld kwamen dwarrelen. Toen was ik onwetend.

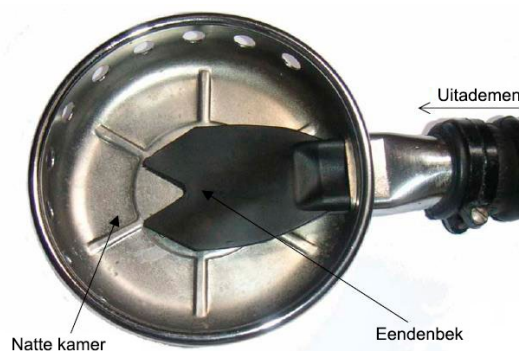
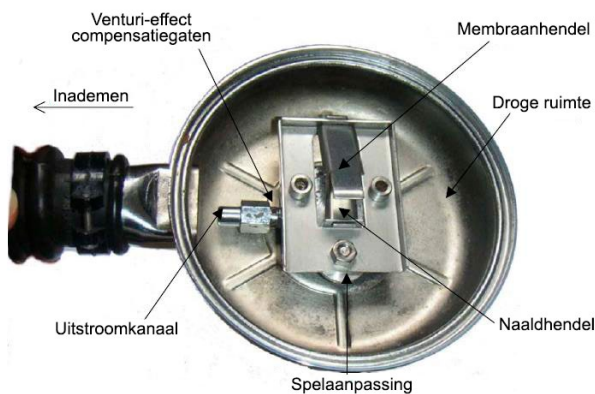
Tijdens mijn onderzoek bleek dat de eentrapsonspanner (figuur 1), ontwikkeld uit het model waar Jean-Jacques Cousteau mee dook en later Mistral gedoopt, al snel getransformeerd werd in een tweetrapsmodel. Jawel, uiterlijk lijken deze modellen op mijn verkeerd beeld van een eentrap, maar het blinkend ding op de rug kan ook twee trappen bevatten zoals in figuur 2. De tweede trap zit dus niet verwerkt in het mondstuk, maar weggestopt onder het

groot deksel. Er is ook geen aftakking voor middendruk, ze hadden daar toen geen behoefte aan, en dus verraden enkel de specificaties of een demontage dat het om een dubbeletrapsontspanner gaat of om een echte eentrapsonspanner. Ik ben dus niet meer zo zeker of ik toen wel met een volbloed eentrap gedoken heb.

Je kan een echte eentrapsonspanner ook herkennen aan het typische 'whoosh' geluid dat het maakt als je ermee gaat duiken.



Figuur 1: Technische voorstelling van de rugontspanner met dubbele darm en één trap.



Dit kenmerkend geluid, geproduceerd door de venturi, heb ik nog niet kunnen testen. Het staat in ieder geval op mijn lijstje om te checken voor het volgend artikel waarin we als tweetrapsduikers het oud model onder water gaan uitproberen en jullie onze ervaringen laten weten.

Vooraleer we met de ontspanner zullen duiken, wou ik het apparaat technisch ontleden en de werking ervan doorgronden. Hierbij wou ik dieper gaan dan de NELOS-cursus en het stadium van een vulgariserende uitleg overstijgen. Aan dat laatste zal ik wel een aantal lijnen spenderen, omdat een algemene kennis van het functioneren de basis voor beter begrijpen vormt en niet iedereen van fysica houdt.

Indien je denkt dat met het internet, de vele gespecialiseerde sites en Wikipedia als virtuele encyclopedie het opvissen van een technische uitleg een fluitje van een cent is, dan steven je af op een teleurstelling. Vele tientallen sites, foto's, tekeningen, pdf-files, ... en nog raakte ik niet voorbij de populaire uitleg van hoe de ontspanner werkte. Het eerste probleem waar ik

mee worstelde als ik de schema's bekeek, was de exacte werking van de eendenbek op de uitlaatkans. Ik zag niet onmiddellijk hoe dat ding bij uitademing de unieke trap kon sluiten. Ik zag mezelf al verplicht om een technische doorsnede te ontleden en zelf de formules op te stellen, toen ik in een wanhoopspoging de vraag aan collega-duiker Dirk Deraedt stelde. Ja, hij had ooit een uitgebreid werk over ontspanners en ander duikmateriaal gevonden. In 't Frans. Dat laatste had ik moeten weten gezien de nationaliteit van het duo Cousteau-Gagnon.

In ieder geval was het werk 'Principes des détendeurs de plongée 2006' van Henri Le Bris de vertrekbasis die ik zocht. Dit was een fantastisch naslagwerk en ik maakte er gebruik van om dit artikel te schrijven. Als je in de 'nitty-critty'-details geïnteresseerd bent, dan raad ik het je sterk aan.

de populaire uitleg

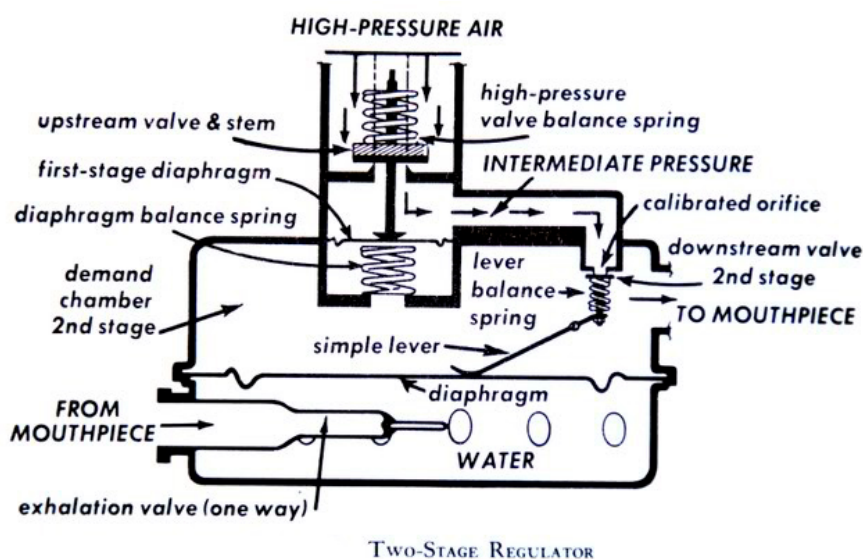
Zoals beloofd start ik met een eenvoudige toelichting die een goede basis vormt om de meer gedetailleerde uitleg te door-

gronden. Voor we daaraan beginnen, wil ik eerst enkele randparameters belichten die de studie ondersteunen. Als duiker weten we dat de lengte van een snorkel beperkt is door onder andere de relatief zwakke kracht van onze borstspieren. Evolutief hebben we als zoogdieren geen sterke borstspieren ontwikkeld, omdat die niet nodig zijn in een atmosferische omgeving. Volgens Darwin is het volledig logisch dat we als gevolg hiervan drukverschillen van amper een tiental centimeter waterdruk oftewel enkele hondersten van een bar kunnen overwinnen. Als we dat vergelijken met de drukken in een duikfles, dan krijgen we een goed idee van de grote verhouding tussen in- (hectobars) en uitlaatdruk (centibars) van een eentrapsontspanner.

Toch mogen we aan de andere kant ook niet overdrijven. In de duikfles van Cousteau zat er door de technische mogelijkheden en fysiologische limieten amper 150 bar en dus was een eentrapsautomaat voldoende om scubaduiken mogelijk te maken. Indien de stichter van CMAS een voor ons intussen vertrouwde 300 bar composietfles op zijn rug zou gedragen hebben, dan hadden we door de problemen vanwege de grote adiabatische afkoeling (verdampingskoeling) waarschijnlijk moeten wachten tot de uitvinding van de moderne tweetrapsontspanner.

Aan de hand van de vereenvoudigde voorstelling van de ontspanner in figuur 3 kunnen we de werking uitleggen. Dit is het meest gebruikte van de twee types zoals geïllustreerd in figuur 5 en tevens dat van de Aqua-Lung ontspanner. 'Aqua-Lung' was de naam gegeven aan het origineel apparaat gepatenteerd door Emile Gagnan en Jacques Cousteau in 1943. Vandaag klinkt de naam 'Aqua-Lung' een beetje ouderwets en gebruiken we eerder de algemene term 'SCUBA'.

Laat ons de tekening bestuderen. In rust duwt de hoge druk in de duikfles de zuiger tegen de zitting waardoor er geen lucht in

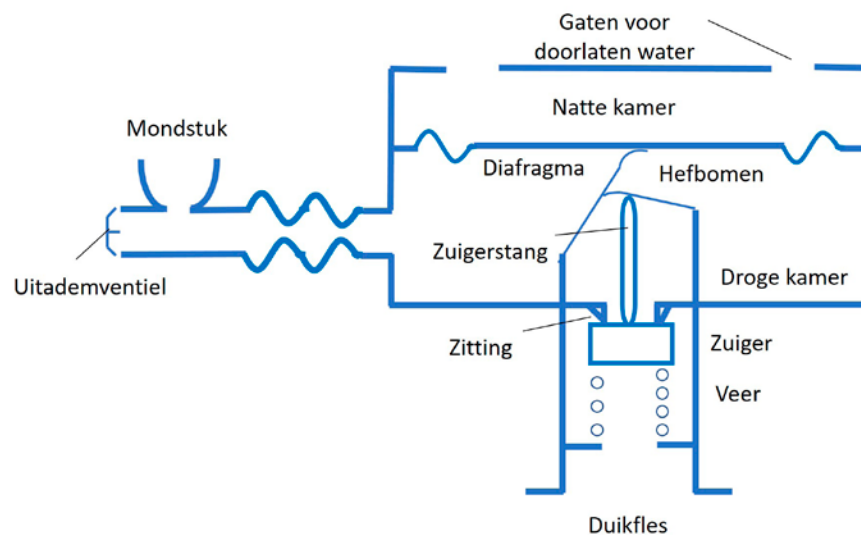


Figuur 2: Technische voorstelling van de rugontspanner met dubbele darm en twee trappen.

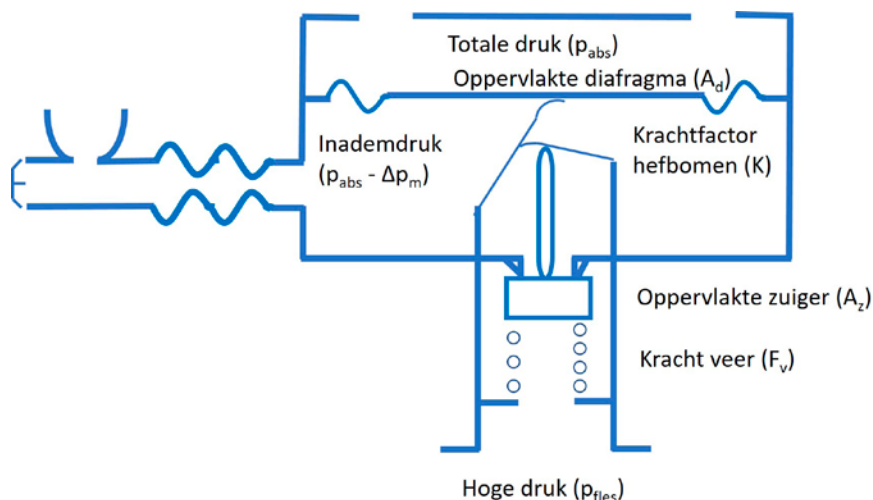
het droog gedeelte van de ontspanner kan stromen. Dit betekent dat de kracht van de veer samen met de kracht uitgeoefend op de klep in evenwicht is met de kracht uitgeoefend door de waterdruk op het diafragma en overgebracht door de hefbomen.

Als de duiker inademt, dan zal de druk in de droge kamer dalen met als gevolg dat het diafragma naar beneden zal bewegen. Als de kracht (via de hefbomen) op de klep groot genoeg is, zal die opengaan en kan de lucht uit de duikfles in de droge kamer binnenstromen. De lucht zal blijven stromen tot het evenwicht hersteld is. Dit komt doordat de duiker niet meer inademt en de druk terug opgebouwd is. Bij uitademing volgt de lucht de weg van de minste weerstand naar het uitademventiel. Dit ventiel is in werkelijkheid een eendenbek in de natte kamer. De luchtbellens ontsnappen gemakkelijk door de grote gaten van de natte kamer en beïnvloeden de beweging van het diafragma niet. Als de duiker stopt met uitademen, is de ontspanner klaar voor de volgende ademcyclus.

Natuurlijk is er nog een ander fenomeen dat het evenwicht der krachten kan verstoren en dat is een verandering van duikdiepte. Stel je even voor dat onze duiker dieper gaat duiken. Hierdoor stijgt de druk in de natte kamer. Die staat immers in rechtstreeks contact met het omringend water, waardoor het diafragma naar beneden zal bewegen. Is de verandering in duikdiepte groot genoeg, dan zal de zuiger bewegen en lucht doorlaten. De hoeveelheid lucht zal zo zijn dat het evenwicht hersteld wordt



Figuur 3: De onderdelen van een eentrapsonspanner.



Figuur 4: De fysische kenmerken van een eentrapsonspanner.

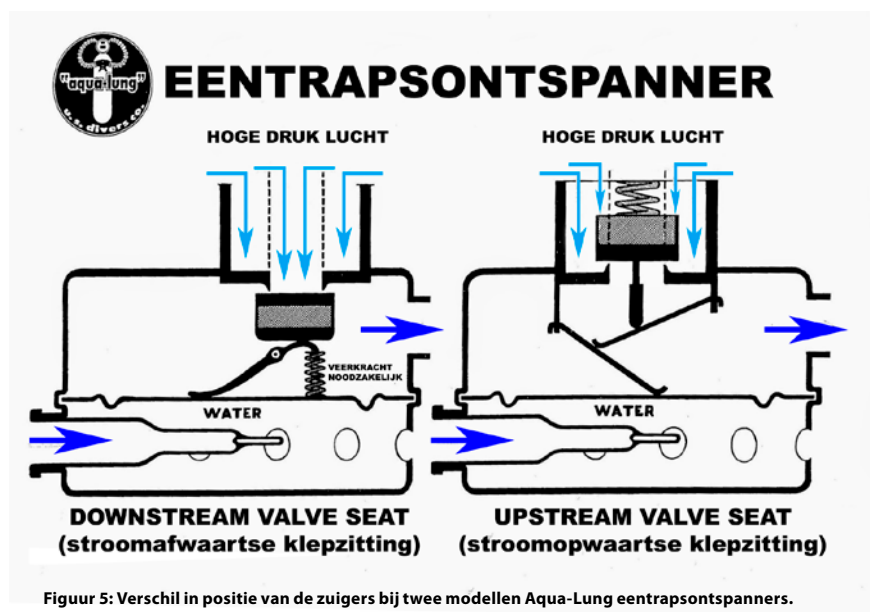
en de luchtdruk in de droge kamer aan de nieuwe omgevingsdruk aangepast is. De vernuftelingen onder ons hebben nog iets anders opgemerkt. Ook de waarde van de hoge druk in de fles speelt een rol. Immers,

het evenwicht is ook afhankelijk van deze druk en dus zal de drukval die nodig is om de zuiger te doen bewegen verminderen met een dalende druk in de fles.

Voor de volledigheid moet ik vermelden dat deze drukval ook verkleint met een toenemende diepte. Er bestaan zelfs combinaties van druk in de fles en duikdiepte waarbij de fles gewoonweg leegloopt. Dit betekent ook dat hoe ondieper je duikt, hoe lastiger het is om te ademen. In feite was de eentrapsonspanner maar ideaal geregeld voor een bepaalde diepte (in combinatie met een bepaalde druk in de fles).

de technische uitleg

Bovenstaande uitleg volstaat voor een initiatie cursus, maar niet voor een artikel over dit onderwerp. In de volgende alinea's gaan we dieper in op de werking en dus zullen we een aantal formules moeten gebruiken. Die zijn gebaseerd op de wetten van de duikfysica waarvan ik veronderstel



Figuur 5: Verschil in positie van de zuigers bij twee modellen Aqua-Lung eentrapsonspanners.

dat je ze als lezer kent. Indien niet, dan is dit een goed moment om je cursusboek op dat hoofdstuk open te slaan en naast je te leggen als naslagwerk. We gaan ons beperken tot de statische werking van de ontspanner, want de dynamische studie zou ons veel te ver leiden en levert weinig extra op.

We gebruiken terug het vereenvoudigd, theoretisch model dat dicht bij de werkelijkheid aansluit. Deze keer bevat figuur 4 een aantal fysische kenmerken van de ontspanner.

De krachten die de zuiger tegen zijn zitting drukt, bestaan uit:

- de kracht van de veer (van de zuiger): F_v ;
- de hoge druk op het oppervlak (A) van de zuiger: $p_{\text{fles}} \times A_z$;
- de druk in de droge kamer tegen het oppervlak van het diafragma: $(p_{\text{abs}} - \Delta p_m) \times K \times A_d$ (waarvan Δp_m de drukval bij het inademen weergeeft, K is de veerconstante uit $F = K \times l$, waarbij F staat voor kracht en l voor de uitrek lengte van de veer).

De krachten die de zuiger van zijn zitting wegduwt is de combinatie van:

- de druk in de droge kamer tegen het oppervlak van de zuiger: $(p_{\text{abs}} - \Delta p_m) \times A_z$;
- de druk in de natte kamer tegen het oppervlak van het diafragma: $p_{\text{abs}} \times K \times A_d$.

Bij evenwicht moeten de twee tegengestelde krachten gelijk zijn:

$$(p_{\text{abs}} - \Delta p_m) \times A_z + p_{\text{abs}} \times K \times A_d = F_v + p_{\text{fles}} \times A_z + (p_{\text{abs}} - \Delta p_m) \times K \times A_d$$

Verder uitwerken leidt in verschillende stappen tot:

$$p_{\text{abs}} \times A_z - \Delta p_m \times A_z + p_{\text{abs}} \times K \times A_d = F_v + p_{\text{fles}} \times A_z + p_{\text{abs}} \times K \times A_d - \Delta p_m \times K \times A_d$$

$$\begin{aligned} \Delta p_m \times K \times A_d - \Delta p_m \times A_z \\ = F_v + p_{\text{fles}} \times A_z - p_{\text{abs}} \times A_z + p_{\text{abs}} \times K \times A_d - p_{\text{abs}} \times K \times A_d \end{aligned}$$

$$\Delta p_m \times (K \times A_d - A_z) = F_v + (p_{\text{fles}} - p_{\text{abs}}) \times A_z$$

$$\Delta p_m = \frac{F_v + (p_{\text{fles}} - p_{\text{abs}}) \times A_z}{(K \times A_d - A_z)}$$

Meestal is A_z verwaarloosbaar tegenover $K \times A_d$ en zo ook p_{abs} t.o.v. p_{fles} . Houden we hier rekening mee dan bekomen we:

$$\Delta p_m = \frac{F_v + p_{\text{fles}} \times A_z}{A_d} \times \frac{1}{K}$$

Met Δp_m bedoelen we het drukverschil door inademing nodig om de zuiger te openen, of kortweg de inademdrukval.

Wat kunnen we uit deze formule besluiten?

- De inademdrukval vermindert als de druk in de fles afneemt. Dit betekent dat de ontspanner nauwkeurig afgesteld moet worden om te voorkomen dat de fles fuseert als de hoge druk door verbruik zeer laag wordt.
- De inademdrukval is omgekeerd evenredig met de oppervlakte van het diafragma. Dit verklaart de grote afmetingen van dit membraam.
- De omgevingsdruk heeft, zo lang die verwaarloosbaar is ten opzichte van de flesdruk, geen invloed op de inademdrukval. Dit is niet het geval op grote diepte met een bijna lege fles.
- Indien de hoge druk daalt, vermindert de ademhalingsinspanning (inademdrukval verkleint).

Voorbeeld:

$A_z = 0,04 \text{ cm}^2$; $F_v = 20 \text{ N}$; $K = 40$; $A_d = 65 \text{ cm}^2$ en $p_{\text{fles}} = 150 \text{ bar}$. Dan bekom je $\Delta p_m = 3,08 \text{ mbar}$ (3,08 cm water).

duiken op papier

Nu we de werking en de gevolgen ervan goed begrijpen, zijn er nog een paar dingen interessant aan de eentrapsontspanner. Om helemaal juist te zijn, is wat hieronder staat in de meeste gevallen ook waar voor alle rugontspanners, ongeacht het aantal trappen. Soms worden de eentraps- en de dubbeledarmontspanners over dezelfde kam geschoren, terwijl het om twee verschillende technieken gaat. Het is evenwel zo dat de meeste eentrapsapparaten met een inadem- en uitademdarm uitgerust zijn, waardoor de verwarring niet onlogisch is.

Waarom een tweede darm? De eerste Aqua-Lung prototypes hadden slechts één darm, maar al zeer snel ondervond Cousteau dat de ontspanner gemakkelijk in 'free flow' ging als het mondstuk zich hoger dan de ontspanner bevond. Geen verrassing als je het resultaat van het voorbeeld hierboven bekijkt. De oplossing van de uitademdarm uitmondend in de natte kamer zorgt ervoor dat de druk aan de uitlaat gelijk is aan de omgevingsdruk ter hoogte van de ontspanner. Deze extra darm bleek geen volledige oplossing, omdat lucht nu een-

maal wil stijgen, maar het was minder erg en als het dan toch gebeurde dan ontsnapte de lucht via de natte kamer in plaats van voor de ogen van de duiker. Dit laatste is een voordeel van de rugontspanner met twee darmen; bellen worden op de rug geventileerd en storen het gezichtsveld van de duiker niet. Ook kruipen de bellen niet langs de oren omhoog waardoor het geluid nog minder is. De echte 'monde du silence' zoals Jean-Jacques pleegde te zeggen.

Maar de dubbele darm heeft ook zijn nadelen. Door de lage druk in de darmen moet de doorsnede groot genoeg zijn om voldoende debiet te leveren voor een normale ademhaling. Het resulterend groot volume aan lucht in de twee darmen trekt het mondstuk omhoog. Als je met een eentraps gaat duiken, dan doe je best iets meer lood om dan bij een moderne ademautomaat. Indien het mondstuk je ontglipt dan zweeft het naar boven en komt het in constant debiet. Natuurlijk kan dit effect vermindert worden door het gebruik van zware darmen en geen gewicht te besparen bij het ontwerpen van het mondstuk. De dikke darmen zorgen ook voor extra weerstand in het water als je zwemt of bij stroming. Door de weerstand trekken ze aan je mondstuk. Je hebt het al begrepen, als het mondstuk niet goed tussen je tanden geklemd zit, dan is de kans groot dat je het verliest.

Zoals reeds verteld, werkt een eentrapsontspanner niet goed met een hoge druk in de fles. Een te grote drukval kan voor problemen zorgen door onder andere de plotsse afkoeling van de lucht (naar verluidt zou Cousteau met een Mistral verbonden aan 330 bar gedoken hebben), maar ook omdat de formule ons leert dat het ademcomfort in het begin heel laag is.

Een ander nadeel is dat er geen midden-druk beschikbaar is. Geen mogelijkheid om een tweede ontspanner aan te koppelen of je trimvest of je droogpak, ... Wil je dit toch doen, dan moet je een extra luchtflesje meenemen.

Omdat je geen tweede ontspanner mee hebt, moet je, in geval van nood, je lucht delen met je eigen mondstuk. Door de gevoeligheid voor constant debiet moet dit zeer gedisciplineerd gebeuren. Je kan eventueel met een draaibeweging de darmen dubbel plooien om zo te verhinderen dat er lucht ontsnapt. De twee darmen bemoeilijken ook het doorgeven van het mondstuk en

door het ontbreken van een purgeerknop is het lozen van water geen kinderspel. Een wisseladem terwijl je samen met je buddy naar de oppervlakte stijgt, vergt dus handigheid en veel oefening.

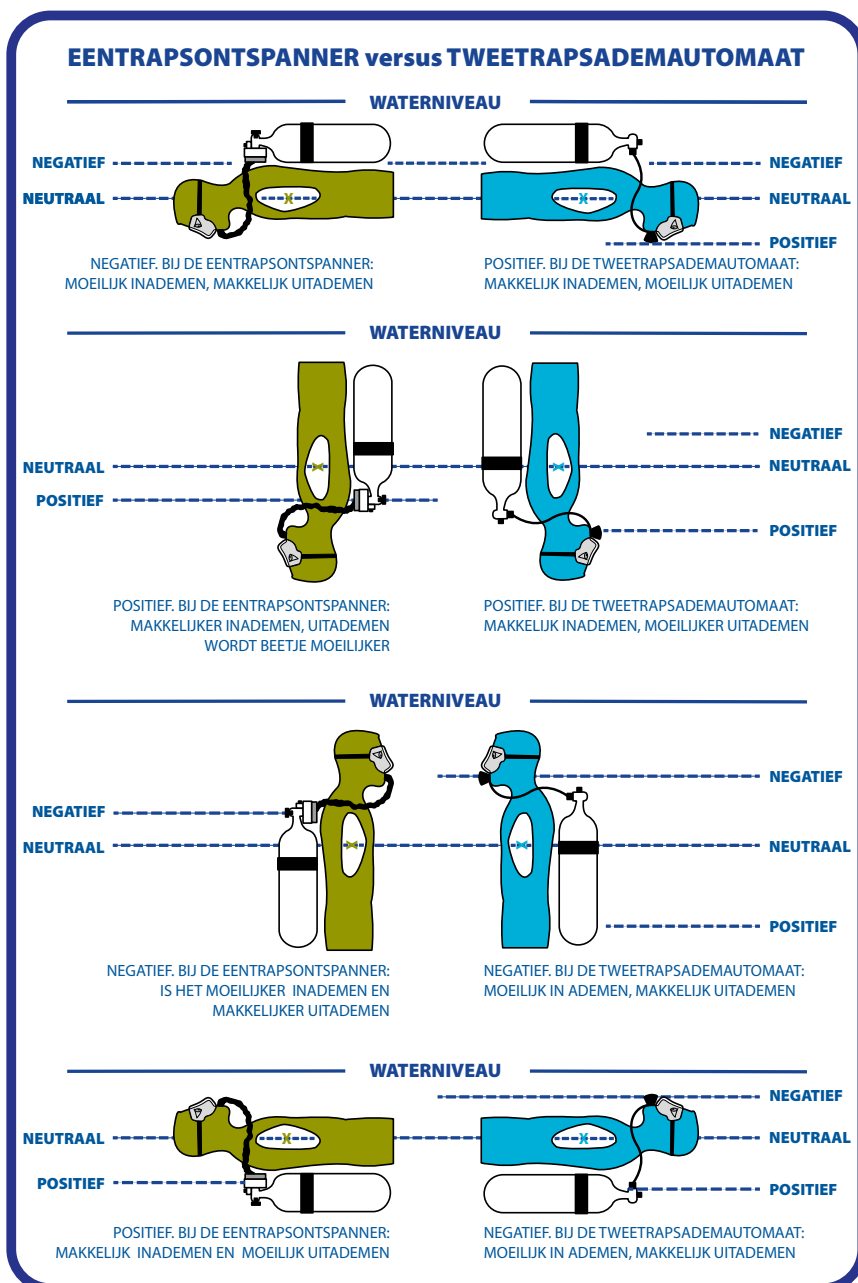
Een laatste nadeel is dat het ademhalingscomfort sterk afhankelijk is van de positie van het mondstuk ten opzichte van de ontspanner. Een verschil van enkele centimeters heeft al een groot effect op dit comfort. Het effect is groter dan bij een tweetrapsontspanner en ook tegengesteld zoals figuur 6 mooi weergeeft.

De grotere ademinspanning zou echter een positief effect op het luchtverbruik hebben. De robuuste uitvoering en de eenvoud van de ontspanner zorgen ervoor dat de eentrapsautomaat een zeer betrouwbaar apparaat is. Zeker met de technologische mogelijkheden van 75 jaar geleden.

klaar voor een echte duik ...

Uitgerust met bovenstaande theoretische analyse zijn we voorbereid op het echte werk: een duik met een eentrapsontspanner. Het was niet eenvoudig om een werkend exemplaar op de kop te tikken - om eerlijk te zijn, was het mij nog niet gelukt op het moment dat ik dit artikel schreef - maar de lokroep van het water was te sterk om de zoektocht op te geven. Benieuwd hoe de droge, technische werking overeenkomt met de natte ervaring? Lees dan deel 4 van deze reeks in de volgende Hippocampus. ■

PATRICK VAN HOESERLANDE



Figuur 6: Ademcomfort in functie van de positie. Tekening: Jan Dieu.

Advertentie

Duikbrillen

met alle mogelijke correcties

Optiek Schellekens
Strijdersstraat 34
2650 Edegem
03 458 36 22
www.duikbril.be

OPS eyewear

Duikloop