



Duikcomputers Een vergelijkend onderzoek naar hun prestaties en veiligheid

Dive computers A comparative investigation of their performance and safety

Partly in English (Summary, Prologue, Conclusions, figures&legends and evaluation per type of dive computer)

Nico A.M. Schellart

With collaboration of met medewerking van

Eduard van Riet Paap

Third edition, 2012 Derde druk, 2012



Disclaimer

The Foundation of Dive Research (SDR) is not liable for claims of manufacturers, distributors and users for any form of damage resulting from the contents of this report. The SDR is not liable for any mistake in the contents of this rapport. All warranties herein are explicitly disclaimed.

De Stichting Duikresearch (SDR) en de auteurs stellen zich niet aansprakelijk voor claims van fabrikanten, distributeurs, verkopers en gebruikers voor elke vorm van schade voortkomend uit de inhoud van dit rapport. De SDR is niet aansprakelijk voor onjuistheden in de inhoud van dit rapport.

Rapport SD October, 2012.....

Summary

Samenvatting

The Dutch Foundation Dive Research (SDR) has tested more than 50 dive computers (DCs) with air-only simulations in 75 sessions under some 10 basic different circumstances. One session considered the application of a Nitrox mixture. The tests were performed in a wet small vessel. The DCs were subjected to multilevel simulations, in general to an equivalent pressure of 45 msw (meter seawater) with a repetitive simulated dive to 27 msw. Several modifications of the 45 msw dive were applied. Also deep dives to 51 msw and shallow dives were made. To establish the degree of conservatism the DCIEM tables were used as reference. Summarizing the results indicates that DCs do not always bear out (entirely) the claims in the manual. Every type appeared to have to some extent one or more shortcomings.

Time, depth and temperature as measured by the DC were generally accurate within specifications. As far as the no-deco limits and no-flying times go, older DCs were far too liberal. On these points, newer models did perform better and the newest DCs were sufficiently conservative. Most DCs of this category corrected to too fast ascents as well but highly variable, from severe to mostly too weak. However, none reacted properly to yo-yo behavior. From time to time unexplainable inconsistencies and/or unstable behavior were found so serious that this must be considered to be intolerable.

When large deviations from the expected behavior of the DC occur or in case of a calamity, such as battery failure it is far better to ascent conservatively and not use the DC any longer. To continue its use may worsen the situation and increase the risk of decompression sickness

Appendix II gives the characteristics of the types of DCs tested. Most of them are frequently used in the Netherlands, in Belgium and other European countries.

Prologue

This report is based on an investigation of the Foundation of Dive Research (SDR) and is performed with an UWATEC miniature compression chamber. The investigation started in December 2002 and still is continued. An important reason of this is that always new types of dive computers are brought out.

The method of testing has been described in an SDR report (Schellart, 2002). The dozens of

De SDR heeft ruim 50 duikcomputers (DCs) getest met gesimuleerde luchtduiken in een klein, met water gevuld drukvat. Eén sessie werd besteed aan de toepassing van een Nitrox mengsel. In ruim 75 sessies zijn allerlei gesimuleerde profielen getest. Ook zijn extreme temperaturen gebruikt. De testen zijn uitgevoerd met meer-niveau-simulaties (voortaan multilevelsimulaties genoemd), meestal naar 45 msw (meter sea water) met een herhalingssimulatie naar 27 msw. Om de mate van conservatisme te beoordelen is als referentie de DCIEM tabel gebruikt.

Kort samengevat komt het resultaat er op neer dat DCs niet altijd (geheel) waar maken wat de handleiding vermeldt. In het algemeen is dit gelukkig wel het geval. Tijd, diepte en temperatuur worden bijna altijd conform de specificaties aangegeven. Wat betreft de nultijden of niet-decolimieten en de niet-vliegtijden zijn oudere DCs onvoldoende conservatief, nieuwere modellen scoren op deze punten beter en de nieuwste DC zijn meestal voldoende conservatief. Een aantal DCs uit deze categorie corrigeren te snelle opstijgingen min (meestal) of meer adequaat, maar een reactie op jojoën was zeer uitzonderlijk en bovendien zwak. Bedenklijk is dat er af en toe bij duiksimulaties onverklaarbaar gedrag is aangetroffen, zo ernstig dat dit eigenlijk ontoelaatbaar is. Bij grote afwijkingen van het verwachte gedrag van de DC of bij sterk verslechterde omstandigheden, van welke aard ook, is het beter de duik volgens de regels af te breken en de DC niet langer te gebruiken. Bij voortgezet gebruik bestaat de kans dat de situatie verergert, dus dat de kans op decompressieziekte groter in plaats van kleiner wordt.

Appendix B (in het Engels) geeft de eigenschappen van de geteste DCs. De meeste van hen worden veel gebruikt in Nederland, België en andere Europese landen.

Voorwoord

Dit rapport berust op een onderzoek van de Stichting Duik Research (SDR) en is uitgevoerd met een UWATEC testvat. Het onderzoek ging in december 2002 van start en wordt nog steeds voortgezet. Een belangrijke reden hiervan is dat steeds weer nieuwe typen duikcomputers worden uitgebracht.

De methodiek van de testen is beschreven in een SDR rapport (Schellart, 2002).

sessions with the test chamber, in which with treads and measures, frequently four or five the dive computers (DCs) including the cumbersome tube models were installed, have been carried out by Drs. Eduard van Riet Paap and the author. Two sessions have been performed in the Carol van Gelderen tank of the foundation Recompressietank Maarsseveen (SRM). This is a 6-person compression chamber, once owned by Smit Internationale. This tank has been originally taken over by the SDR and then by the SRM.

Request

The author has tried to compose this report with care. The reader should discover however omissions, incorrect interpretations or errors, then report is very appreciated of this on e-mail address: n.a.schellart@amc.uva.nl.

Verzoek

De tientallen sessies met het testvat, waarin met passen en meten de duikcomputers(DCs), vaak vier of vijf, inclusief de lastige te hanteren slangmodellen in het testvat geplaatst moesten worden, zijn uitgevoerd door Drs. Eduard van Riet Paap en de auteur.

Twee sessies zijn uitgevoerd in de "Carol van Gelderen" tank van de Stichting Recompressietank Maarsseveen (SRM). Dit is een 6-persoons compressietank, ooit het bezit van Smit Internationale. Deze tank is indertijd door de SDR overgenomen en vervolgens door de SRM.

De auteur heeft getracht dit rapport met zorg samen te stellen. Mocht de lezer echter omissies, onjuiste interpretaties of fouten ontdekken, dan wordt melding hiervan op het E-mail adres n.a.schellart@amc.uva.nl zeer op prijs gesteld.

Table of Contents**Inhoudsopgave**

Summary	Samenvatting	2
Prologue	Voorwoord	2
1. Inleiding		6
2. Duikcomputers		7
Duikcomputers nader beschouwd		7
Essentie van de werking van de duikcomputer		7
Foutief gebruik		8
3. Het testen van duikcomputers		11
Doelstellingen		12
De test-strategie		12
Uitgangspunten van de simulaties		13
Simulatie profielen		13
Enige elementaire gegevens over de modellen van DCs		14
Geavanceerde DCs		14
480DCs		15
320DCs		15
4. Test results	Testresulten	16
Mechanical reliability	Mechanische betrouwbaarheid	16
Readability of the DC screen	Leesbaarheid van DC scherm	16
Display of time	Tijdaflezing	16
Display of depth	Diepte-aflezing	17
Display of temperature	Temperatuuraflezing	17
NDL of 45/6 dive	NDL van 45/6 duik	17
NDL of repetitive dives	NDL van herhalingsduiken	20
27 msw repetitive simulation (m=13, n=70)	27 msw herhalingssimulatie (m=13, n=70)	20
Four simulation at one day (m=1, n=5)	Vier simulaties op een dag (m=1, n=5)	23
45 msw and 27 msw, 2 days repeated (m=1, n=4)	45 msw en 27 msw, 2 dagen herhaald (m=1, n=4)	23
20/40 with 3 msw stop and repetition (m=1, n=3)	20/40 met 3 msw stop met herhaling (m=1, n=3)	23
15 msw, 90 min 5 days repeated (m=1, n=3)	15 msw, 90 min 5 dagen herhaald (m=1, n=3)	23
No-flying time (NFT)	Niet-Vliegtijd (NVT)	25
Inter- and intra "individual" reproducibility	Inter- en intra "individuele" reproduceerbaarheid	26
Inconsistence and instability of NDL	Inconsistentie en instabiliteit van de NDL	27
Special simulations	Speciale simulaties	28
Test of yoyo	Test op jojoën	28
Too fast ascents	Te snelle opstijgingen	32
Deco-dive of 45/10 multilevel; too fast ascent	Deco duik van 45/10 multilevel; te snelle opstijging	34
Deep stop 20/50 and 51/15	Diepe stop, 20/50 en 51/15	35
100 and 50% RGBM	100 en 50% RGBM	35
Skipping of a stop	Overslaan van een stop	36
Influence of water temperature	Invloed van de water temperatuur	36
Effect of personal adjustment	Effect van persoonlijke instelling	37
Nitrox (EAN), 30/40 dive	Nitrox (EAN), 30/40 dive	37
Remaining bottom time (RBT) (m = 1, n = 1)	Overblijvende bodumtijd (RBT)	40
5. PC-faciliteiten		42
6. Handleidingen		43
7. NDLs of dive tables and DCs, and ascent velocity		44
8. Conclusions	Conclusies	47
Test items	Test onderwerpen	47
Most important differences of advanced DCs	Belangrijkste verschillen tussen geavanceerde DCs	50
DCs		50
General remarks	Algemene opmerkingen	50
Acknowledgement	Dankwoord	51
Literature	Lierature	52
Abbreviations	Afkortingen	52
Appendix A Simulated profiles	Gesimuleerde profielen	53
Profiel 45 msw simulatie en 27 msw simulatie als herhalingsduik		53
Profiel: duik naar 24 msw gevolgd door drie herhalingsduiken		53
Appendix B Evaluation per type of DC		55

Sherwood Source	55
Aladin Pro (Scubapro).....	55
XR2 (Aeris).....	55
Aqua Lab (Seac Sub).....	55
Solution and Nitrox version (Suunto).....	55
Companion, Vapor, Vapor Air, SME, Spider, Eon (all Suunto) and Dive Mate	55
Mares Surveyor (and Nitrox version).....	55
Vyper (Suunto, RGBM).....	55
Cobra (Suunto, RGBM)	56
Gekko (Suunto, RGBM).....	56
D6 (Suunto, RGBM)	56
Vyper Air and Vytec.....	56
Trac (Scubapro).....	57
Aladin® Z, Nitrox, Air Nitrox, Air X, Pro and Sport (UWATEC)	57
Mares M1	57
Nemo Sport and Wide (Mares).....	57
Smart Com, Pro, Z and Tec (UWATEC)	57
Galileo Luna	57
General remark about the personal and microbubble settings	58
Appendix C 45 msw simulation with Vyper and 6-fold yoyo-simulation	58

1. Inleiding

Duikcomputers (DCs) bieden vele voordelen boven het gebruik van tabellen. Duiken volgens een tabel gebeurt volgens een strak diepte-tijd regime. De DC geeft veel meer vrijheid want de partiële N_2 -druk van elk compartiment (een fictief weefsel, gekenmerkt door zijn halveringstijd) wordt elke minuut berekend en hieruit volgt de nultijd of beter de Niet-Decolimit (No-deco limit, NDL)¹. Hoe gecompliceerd een duikprofiel er ook uitziet, de DC rekent het allemaal *du moment* door. Veel nieuwe DC typen kunnen duikplanningen maken. Bij het gebruik van tabellen zijn menselijke fouten gauw gemaakt, zoals bijv. bij herhalingsduiken en multilevelduiken. Ook een foutloze uitvoering van de duik volgens het duikplan is geen vanzelfsprekendheid. Met een DC is dat allemaal een stuk makkelijker. De DC speelt in op de actuele situatie, dus ook op onvoorziene omstandigheden waardoor het duikplan moet worden gewijzigd. Dit doet de DC door het deco-schema aan te passen.

DCs geven elk moment (direct of indirect) aan hoeveel tijd nodig is om aan de oppervlakte te komen. Zijn ze lucht geïntegreerd² dan berekenen de DCs elk moment of er voldoende lucht is om aan de oppervlakte te komen. Ze waarschuwen wanneer moet worden opgestegen als de luchtvoorraad onvoldoende dreigt te worden voor de opstijging. Er zijn tegenwoordig ook DCs die met de watertemperatuur rekening houden, d.w.z. de NDL aanpassen.

Het duiken met een DC is om de bovengenoemde eigenschappen en redenen een waar genoegen. Er rijzen echter ook vragen, zoals:

- Is hun onderliggende model conservatiever dan een gerenommeerde tabel zoals DCIEM?
- Kunnen ze nooit falen?
- Zijn ze foutief te gebruiken terwijl het schijnbaar goed gedaan wordt?

De eerste vraag is niet eenvoudig te beantwoorden. Het hangt af van het type duik, van het type DC en de gekozen duiktabel en hoe "veilig" precies gedefinieerd wordt. Dit zal nader worden behandeld in hoofdstuk 3 en later in hoofdstuk 4 en 7.

De tweede vraag ligt wat eenvoudiger. Een DC kan inderdaad falen. Het allerergste voor de individuele duiker is natuurlijk dat de DC tijdens een duik uitvalt waarbij een lege batterij niet de oorzaak is. Dit blijkt vrijwel nooit voor te komen zoals blijkt uit navraag aan tientallen bezitters van DCs. Ernstiger is een fout in de software (het algoritme) of de hardware, wat mogelijk grote aantallen van hetzelfde type DC zal betreffen. Een fout in het algoritme zal meestal niet optreden bij alle duiken maar alleen voor bepaalde typen duiken (bijv. herhalingsduiken). Ook kan het zijn dat de DCs de fabrieksspecificaties niet (geheel) waarmaken.

En wat de derde vraag betreft; dat kan wel degelijk. In het vervolg zal deze laatste vraag worden beantwoord nadat eerst de werking van DCs is behandeld.

Dan volgt de doelstelling van de testen en de methodiek. Besproken zal worden hoe men de elementaire functies met gestandaardiseerde profielen kan testen en ook de meer bijzondere functies en afwijkende profielen. De belangrijkste resultaten zullen worden geëvalueerd van de diverse testprofielen, waaronder éénmalige en herhalingsduiken, deco-duiken, duiken met een te snelle opstijging, jojo-duiken, duiken met persoonlijke instellingen, duiken met Nitrox en duiken bij extreme temperaturen en sterke afkoeling, dit alles verkregen met ca. 40 typen en subtypen van 10 fabrikaten. De profielen zijn beschreven in Appendix A.

Voor de evaluatie zullen ze vergeleken worden met de DCIEM tabel (die ook door de NOB en de Nederlandse mariene gebruikt wordt). Ook zal een onderlinge vergelijking tussen de DC-typen gemaakt worden. Voorts wordt ingegaan op de nauwkeurigheid van de meters, de consistentie van de NDL tijdens de duik en de reproduceerbaarheid.

PC faciliteiten (hoofdstuk 5) en handleidingen (hoofdstuk 6) worden kort besproken voor zover ze betrekking hebben op de testen. De algemene conclusies vindt men in hoofdstuk 7 en de evaluatie per type met aanbevelingen in Appendix B.

¹ Voor de nultijd wordt de afkorting NDL gehanteerd, een term die direct aansluit bij de Engelse literatuur.

² De flesdruk wordt continue geregistreerd waaruit het verbruik op de gekozen diepte berekend wordt.

2. Duikcomputers

Duikcomputers nader beschouwd

Duikcomputers geven indirect inzicht in de mate van N_2 -saturatie tijdens de duik door elk moment de NDL van het eerst toegestane decompressieplafond (meestal de oppervlakte). Als de DC in deco is wordt de stoptijd van de 1^{ste} stop en evt. de totale opstijgtijd aangegeven. Geavanceerde computers kunnen ook de mate van de O_2 -intoxicatiegraad aangeven en de resterende bodemtijd (naast de NDL) geven waarbij luchtverbruik en luchtvoorraad het uitgangspunt is. Deze DCs kunnen dit ook voor Nitrox (sommige zelfs voor andere mengsels), voor abnormale omstandigheden zoals extreme lage temperatuur en voor sterke wisselingen in temperatuur.

Bij het duiken in bergmeren (altitude diving) of bij andere extreme omstandigheden is er zelfs bij vrijwel alle oude typen al een speciale "bergmeerstand", die kortere NDLEN heeft en kortere NDLEN aangeeft. Bij 'afwijkende' persoonlijke eigenschappen (bijv. hoge leeftijd, slechte conditie, minder fit) kan bij de nieuwere DCs gebruik worden gemaakt van één van de "persoonlijke instellingen" of één van de 'micro-bubble' standen. Deze geven kortere NDLEN. Vaak komen deze twee soorten standen (persoonlijke instellingen en bergmeerstanden) exact overeen. Persoonlijke instelling en de bergmeerstand kunnen, indien beide aanwezig, gelijktijdig worden ingesteld.

De kwaliteit van DCs is het afgelopen decennium sterk verbeterd. Ook nu, bij de nieuwste typen, zijn de verschillen in kwaliteit en prijzen groot. Bij de aanschaf moet dus goed overwogen worden waarvoor men de DC wil gebruiken en wat de veiligheidseisen zijn die men zelf stelt.

Hoewel DCs een groot gemak zijn bij het sportduiken zijn het beslist geen duikgidsen die men blindelings moet volgen. Er dient altijd vooraf een duikplan te zijn, waarbij men zich geïnformeerd heeft over de omstandigheden (diepteprofiel, stroming, temperatuur, helderheid), zodat men verzekerd is van voldoende lucht. Sommige typen DCs kunnen helpen bij de duikplanning, een heel nuttige faciliteit. DCs kunnen decoduiken, zeer diepe en extreme duiken goed aan zolang deze volgens de regels gebeuren. Desondanks behoren deze duiken tot de hoogste risicoklasse.

Hieronder zal alleen ingaan op het werkingsprincipe van DCs voor zover dat specifiek is voor het momentaan functioneren.

Essentie van de werking van de duikcomputer

De essentie van de werking is dat het onderliggende model elk moment voor elk compartiment (wisselend van vroeger 6 tot tegenwoordig 10 of zelfs 32) uitrekent hoe lang men op dat moment op de dan aanwezige diepte kan blijven zonder een verplichte decostop te krijgen (in deco gaan). Voor elk (fictief) weefsel of compartiment wordt de (momentane) NDL van het decompressieplafond berekend (zie Schellart 2006a voor nadere uitleg). De NDL die het kortste is wordt op de display weergegeven. Dat betreffende compartiment is dominant. Bij het verstrijken van de tijd op de gekozen diepte wordt de NDL korter, theoretisch elke minuut 1 min. Blijft men op de gekozen diepte dan wordt de NDL tenslotte 0 min en komt men in deco. De 1ste deco-display geeft altijd 3 msw (diepte in meter 'sea water') aan met de decotijd. Wordt nog steeds geen actie ondernomen (actie is opstijgen) dan wordt de decostop op 3 msw steeds langer en tenslotte komt er een diepere stop bij etc. (zie Schellart 2006a voor een nadere uitleg). De meeste typen DCs maken gebruik van een zgn. Neo-Haldaniaans model, waarbij alleen de N_2 in de vloeistoffase beschouwd wordt. Daarnaast zijn er nieuwere typen die berusten op zgn. bellenmodellen. In deze modellen wordt de stikstof in de vloeistof en in de gasfase meegenomen voor de NDL-berekening. Het klassieke Haldaniaanse model stelt dat de partiële N_2 druk (PN_2) van een compartiment nooit meer mag zijn dan een factor twee groter dan de N_2 -verzadigingsdruk op de dan aanwezige diepte. M.a.w. de **a** en **b**³ van Bühlmann (Schellart 2006a) zijn resp. 0 en 1/2 voor alle compartimenten. In het Neo-Haldaniaans model heeft elk compartiment zijn eigen **a** en **b**. Hoe trager het compartiment hoe lager **a** en hoe hoger **b**, en hoe lager de resulterende kritische N_2 saturatiedruk (de $P_{max,i}$, of zijn equivalent, de M-waarde, zie voetnoot 3), die nooit overschreden mag worden. Om te weten hoe ver men van de kritische

³ De coëfficiënten **a** en **b** van Bühlmann bepalen samen de maximale inerte gasdruk, $P_{max,i}$, waar de inerte gasdruk van het weefsel nooit bovenuit mag komen op straffe van belvorming. In formule is dit: $P_{max,i} = a + (0,1d+1)/b$ in bar absoluut met d de diepte (msw). Wereldwijd wordt echter het begrip M-waarde gehanteerd, dat in msw wordt gegeven. Met **a** en **b** wordt dit dan: M-waarde = $10a + (10+d)/b - 10$ msw. Op deze waarde (of $P_{max,i}$) gaat de DC in deco.

saturatiedruk verwijderd is, wordt vaak het begrip %M-waarde gebruikt.⁴ Bij een waarde van 100 van de %M-waarde zit men op de kritische saturatiedruk.

Is de DC gebaseerd op een bellenmodel zoals VPM en RGBM,⁵ dan doet de gasfase ook mee. Er wordt dan uitgegaan van een Neo-Haldaniaanse aanpak maar de gas-vloeistof interactie wordt hierop als het ware gesuperponeerd. De M-waarden⁶ worden echter anders uitgerekend (bijv. met de zgn. P_{ss}^{new} van VPM⁷). Vrijwel alle DCs die niet op een bellenmodel berusten hebben een Neo-Haldaniaans model. Deze modellen kunnen op allerlei wijze uitgebreid of 'gerepareerd' zijn om de gasfase van de bellen toch mee te laten doen. Bij de DCs van UWATEC is dit niet het geval want de basis van de onderliggende tabellen, de Bühlmanns ZH-L8 ADT tabellen zijn gebaseerd op een risicoanalyse van DCZ, waar het gedrag van de bellen vanzelfsprekend in zit. Of met andere woorden, de M-waarden bevatten impliciet de stikstof in de vloeistoffase en in de gasfase.

Foutief gebruik

Triviaal foutief gebruik is natuurlijk het niet opvolgen van instructies op de display, het negeren van waarschuwingen op het display en het negeren van de veiligheidsinstructies van de handleiding. Gezien de mededelingen van duikers komt dit regelmatig voor.

De vraag '*Zijn DCs foutief te gebruiken terwijl ze schijnbaar goed gebruikt worden*' moet helaas bevestigend worden beantwoord. Het volgende theoretische voorbeeld illustreert dit.

Als voorbeeld wordt een hypothetische diepe duik naar 45 msw genomen met als uitgangspunt het steeds net niet in deco komen. Er wordt rechtstreeks met 20 msw/min naar de grootste diepte afgedaald. Het snelste compartiment, volgens Bühlmanns ZH-L16C met een halveringstijd van 5 min, wordt al tijdens de afdaling en de eerste minuten op diepte sterk opgeladen, zoals Fig. 1a toont. De figuur geeft ook de partiële N_2 druk van inademinglucht ($PN_{2,ins}$) en die van de compartimenten met halveringstijden van 12,5, 27 en 54,3 min. Vervolgens wordt met opstijgen gewacht tot de (resterende) NDL bijna (vrijwel tot op de seconde) op 0 min springt. Deze duik wordt de *limietduik* genoemd. De nultijd (NDL) van 7 min (volgens DCIEM) is dan tot op bijna de seconde verstreken. Geen enkel compartiment (hier alleen de genoemde vier) mag de 100% waarde van de %M-waarden bereiken op straffe van een verplichte decostop. Deze %M-waarden zijn berekend voor de situatie dat men onmiddellijk wil opstijgen naar de oppervlakte (0 msw). Het 5 min (ZH-L16C) compartiment, het snelste, heeft op 7 en 8 min vrijwel een waarde van 100 voor de %M-waarde. Daarna zakt deze en bereikt het 12,5 min compartiment de 100%, etc. Het duikgedrag bij de limietduik wordt nu volledig bepaald door de %M-waarden voor het decompressieplafond 0 msw.

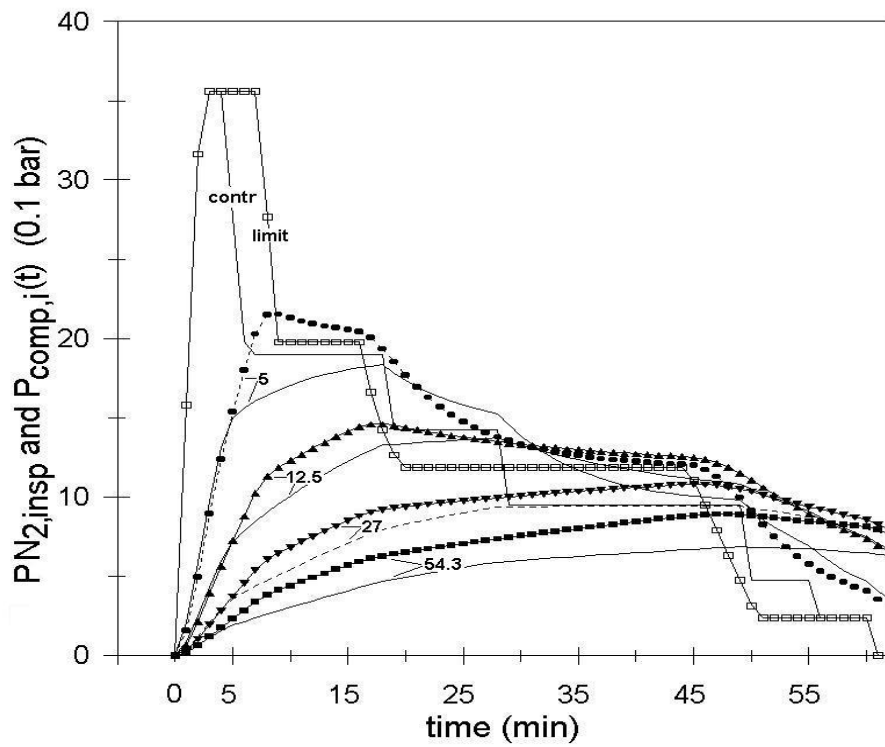
⁴ %M-waarde = 100% maal de partiële gasdruk van N_2 in het compartiment gedeeld door de M-waarde. In formule:
 $\%M\text{-waarde} = 100P_{comp,i}(t)/M\text{-waarde} (\%)$.

⁵ De bekendste bellenmodellen zijn VPM (Varying Permeability Model) en RGBM (Reduced Gradient Bubble Model). Zie voor een nadere bespreking van de bellenmodellen Schellart (2006a). De kortste halveringstijd van RGBM DCs is 2,5 min, iets wat bij de opstijging ten opzichte van een kortste halveringstijd van 5 min veel uitmaakt.

⁶ Zie voetnoot 3.

⁷ Een soort M-waarde die afhankelijk is van diverse constanten van de bel-dynamica, van de halveringstijd, en van de variabelen maximale duikdiepte en de duiktijd tot aan de opstijging.

a



b

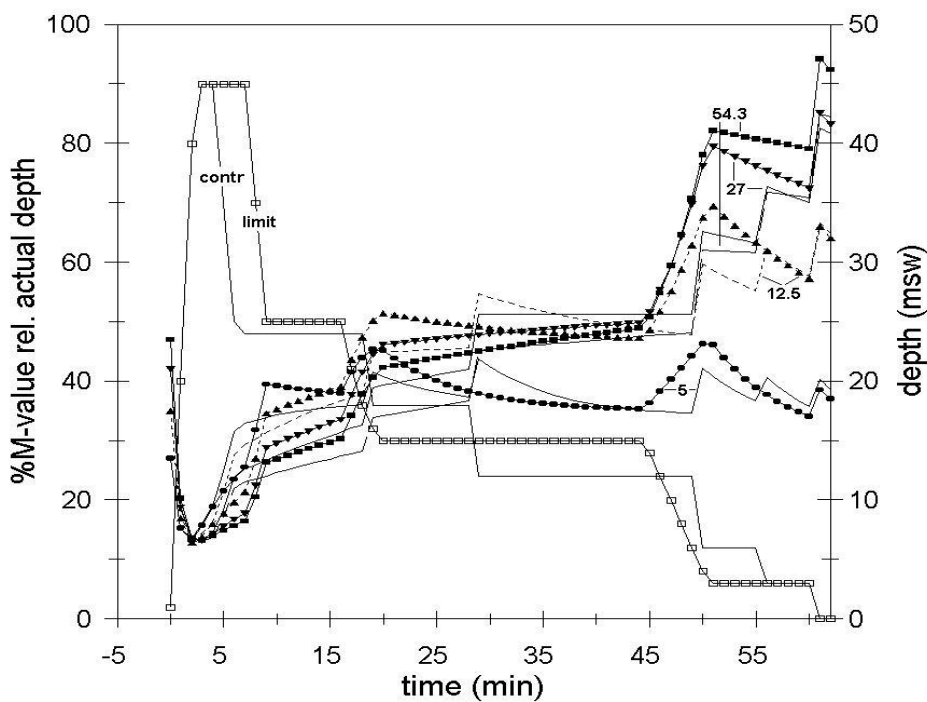


Fig. 1 a) Partial N_2 pressure ($PN_{2,ins}$) of inspired air of all compartments ($P_{comp,i}(t)$). Labels: contr, control (the correct dive); limit, limit-dive; numbers present halftimes. Curves with symbols are for the limit-dive, those without for the control. b) The left vertical axis gives %M-value ($=100P_{comp,i}(t)/M\text{-value}$; M-values calculated with ZH-L16C, see Schellart, 2006a) for the actual depth. They are presented for the 5, 12.5, 27 and 54,3 min compartment. The right vertical axis gives the depth of both profiles, which are labeled with 'contr' and 'limit'. (Calculated with a resolution of 0.5 min, but graphically given with a resolution of 1 min).

De limietduik wordt vergeleken met een duik, de *controle duik*, met een bodemtijd van 4 min dus 3 min korter. Deze duik is een correct uitgevoerde duik omdat enige minuten wordt overgehouden op de nultijd tijdens het verblijf op MDD.

Men stijgt bij de limietduik (met 10 msw/min) na 7 min (de grens van deco) op naar de groots mogelijke diepte waar men net niet in deco gaat. Dit blijkt 25 msw te zijn, daarna naar 15 msw, etc. Het gehele resulterende profiel is geïllustreerd in Fig. 1. Het 5 min compartiment is al vanaf het begin van de opstijging oververzadigd, zoals Fig. 1a laat zien, maar de meest kritische fase is tegen het eind van de opstijging en op het moment van boven komen. Dan bereiken de N_2 -drukken in de compartimenten de grootste fractie van de kritische drukken ($P_{max,i}$), die geldt op de dan aanwezige diepte. Deze fracties zijn de eerder genoemde %M-waarden. Fig. 1b geeft deze %M-waarden, die een (kwalitatief) beeld geven hoe kritisch de duik is voor het krijgen van DCZ. Dit blijkt inderdaad vrij kritisch. Immers, de twee trage compartimenten (27 en 54,3 min) komen net boven een %M-waarde van 80%. Vlak na beëindiging van de duik komt het 54,3 compartiment zelfs boven de 90% (Fig. 1b). Na 45 min en later liggen de waarden voor de controle simulatie altijd 3-8% lager. Dit lijkt niet veel, maar is wel veel, want het gaat om het verschil met 100%. Het risico op DCZ neemt progressief toe met het naderen van de 100%.

Zoals al eerder opgemerkt, berekent de DC steeds per compartiment de %M-waarde van het decompressieplafond en extrapoleert hoe lang het duurt voordat de waarde van 100% bereikt wordt. Deze NDL wordt weergegeven op de DC. Het compartiment met de kortste tijd, dus de NDL, is het dominante compartiment. Het dominante compartiment gaat nu het gedrag van de duiker bepalen. Hoe ver de andere compartimenten zijn opgeladen en hoe hoog hun %M-waarde nu is, is voor de berekening van NDL niet relevant.

Als de zojuist genoemde geëxtrapolerde tijd bereikt is, dan is de heersende stikstofdruk van het dominante compartiment (ongeacht hoe diep men zit) gelijk aan de M-waarde (100%) van het plafond. Het plafond is feitelijk altijd ondieper dan de actuele diepte (maar het verschil kan zeer klein zijn). Hoewel voor de NDL alleen het dominante compartiment relevant is, zijn de nadere compartimenten voor de duiker wel degelijk relevant, want alle opgenomen N_2 in *alle* weefsels moet er zoveel mogelijk tijdens de opstijging en daarna wel uit. Het risico op (stille) bellen en dus op DCZ (decompressieziekte) neemt toe met de totale hoeveelheid N_2 in belvorm in het hele lichaam. Met de limietduik is die hoeveelheid een veelvoud.

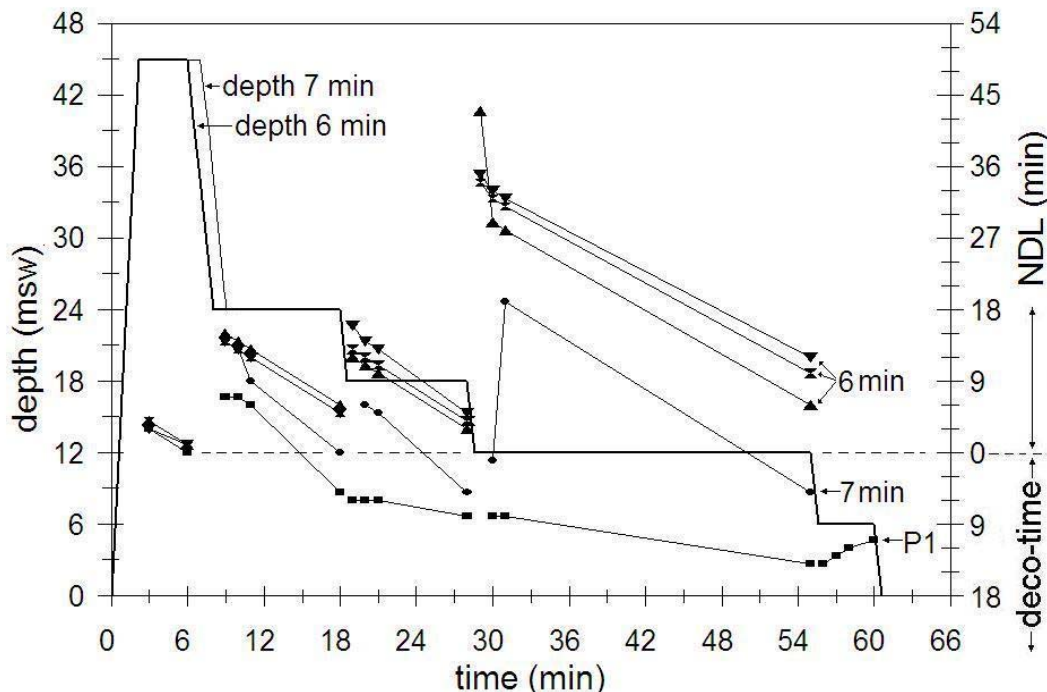


Fig. 2 Influence of bottom time, P1 setting compared to P0, and reproducibility of a Cobra. Labels: 6 min, standard profile with 6 min at 45 msw; 7 min, with 7 min at 45 msw; P1, 6 min with personal setting P1. After arrival at 6 msw, the NDL jumps to the maximal value of 199 min (6 and 7 min simulation). Solid straight lines of the NDL curves without data points do not give actual values. Notice that deco-times are depicted downward along the right vertical axis.

Uit de DC testen blijkt nog veel overtuigender dat er een groot verschil is tussen een limietduik en een bijna-limietduik, zoals Fig. 2 aangeeft. Verlenging van 6 naar 7 min blijkt bij de Cobra (en ook andere DCs) een aanzienlijke verkorting van de NDL in te houden (Fig. 2). Aan het eind van het 18 en 12 msw niveau gaat de Cobra zelfs in deco.

Bij een vierkant (emmervormig) duikprofiel neemt de kans op DCZ snel toe naarmate het restant van NDL kleiner wordt. Op de grens van deco is dit bij de DCIEM tabellen met een stijgsnelheid van 18 msw/min ca. 0,5% en bij MDD < ca. 25 msw 1-2% hoger. Hoewel het geen vierkante (emmervormige of bounce-) duik betreft, is bij de limietduik wel drie maal de %M-waarde van het plafond gedurende meerdere minuten vrijwel 100% geweest, namelijk bij 45, 25, 15 msw. Het DCZ risico van de limietduik is daarom een aantal malen groter dan van de controleduik. Het risico wordt dus sterk verlaagd door 3 minuten bodemtijd in te leveren.

Qua duikplezier is de limietduik ook inferieur: elke halve minuut moet de display afgelezen worden op NDL en diepte omdat de hele duik een deco dreigt. Bij de correcte duik hoeft dat maar af en toe. Men kan zijn diepte dan goed in de gaten houden door visueel contact met de omgeving (bijv. de wand onder de drop off).

Behalve het bovenstaande is er een ander, groot nadeel van 'op de limiet' duiken. Als er maar iets onverwachts gebeurt (plotselinge stroming, buddy breathing e.d), dan kan luchtgebrek het gevolg zijn. Een te snelle opstijging (bijv. een noodopstijging) en DCZ kan het resultaat zijn.

Is het zo dat de handleidingen aanleiding geven tot bovenstaand foutief gedrag?

Zeker niet. Bijna altijd wordt geadviseerd ten minste 2 min NDL of NDL over te houden (en bij de 320Suunto modellen zelfs 5 of 10 min). Bij de modellen die de laatste 10 jaar zijn uitgekomen wordt bij niet-ideale omstandigheden *altijd* een persoonlijke instelling geadviseerd of ten minste meer dan 2 min NDL op

MDD over te houden. Bedenk: *ouder* dan 45 jaar is een niet-ideale conditie, dus iets verkleinen van MDD betekent en inkorten van NDLEN (Schellart, 2006b).

Wat is dan wel verstandig gebruik?

Bij een diepe vierkante duik (bounce dive), bijv. op een wrak, op MDD minimaal 2 min op NDL overhouden en dan opstijgen om de veiligheidsstop (of decostop(s)) te maken. Op basis van wetenschappelijk onderzoek van DCZ en het optreden van stikstofbellen in het bloed niet kon worden aangetoond dat de diepe stop, ongeacht het duikprofiel, altijd werkt.⁸ Een diepe stop bij een MDD van 20 msw of minder werkt echter contraproductief. De totale stoptijd zomaar verlengen door extra stops te maken dieper dan 6 msw geeft eerder een verhoging van de kans op DCZ dan een verlaging. Beter is de stop op 3 en eventueel die van 6 msw ook te verlengen. *Een duik op gegeven MDD wordt echter vooral veiliger door de bodemtijd te verkorten.*

Bij een diepe duik langs een helling is het verstandig in één keer de diepte flink te verminderen, dus opstijgen naar 20-30% van MDD. Daar ca. 5 min overhouden op NDL en vervolgens verder stapsgewijs opstijgen. Hoe meer kortdurende stappen, hoe beter, althans theoretisch, want de pieken in de curven van de %M-waarde (zoals te zien in Fig. 1c) worden afgevlakt. Maar met te kleine stappen moet men te vaak op de DC kijken en bovendien verliest men het overzicht. Stappen in veelvoud van 3 msw zijn nog goed uitvoerbaar. Ondieper dan 9 msw is het aan te raden de stappen te verfijnen tot 2 msw en vanaf de laatste stop (bijv. veiligheidstop) voor het bovenkomen 2 min uit te trekken. Door dit gedrag worden de pieken in de M-waarde versus tijdcurven (zie Fig. 2b) sterk afgevlakt, wat belgroei vermindert. Met een dergelijke multilevelduik houdt men een goede controle op het profiel. Als er iets gebeurt, is er nog reserve om N₂ op te nemen en er is ook nog een luchtreserve. Als de DC uitvalt (wat zelden gebeurt) kan men de duik veilig afmaken. Men is ook meer gewapend tegen inconsistent gedrag van de DC (zie verder).

3. Het testen van duikcomputers

⁸ Het is vermoedelijk voordelig op ½(MDD—decompressieplafond) van 1-2 min te houden, al is het maar voor de drukfysiologie van de sinusholten en het middenoor, en mentaal even herbezinnen op het vervolg van de opstijging. En eventueel nadeel zal beperkt zijn.

Doelstellingen

Er zijn een aantal algemene doelstellingen, die overigens niet altijd geheel los van elkaar staan.

1. Werkt de DC technisch gesproken zonder storingen? Dit heeft betrekking op een storingsvrije weergave van diepte, duiktijd, NDL, stopdiepte en stopduur, desaturatietijd, niet-vliegtijd (NVT), temperatuur etc.
2. Is het gedrag conform de specificaties in de handleiding? Dit betreft niet alleen voldoende nauwkeurigheid van de diverse weergaven (zie 1.), maar ook hoe de DC bijv. decoduiken, herhalingsduiken en sterke afkoeling verwerkt. Tenslotte is de vraag van belang hoe gereageerd wordt op ongewenst gedrag van de duiker, zoals te snelle opstijging, stops overslaan, niet afmaken van een stop en jojoën.
3. Hoe is het gedrag ten opzichte van een gekozen standaard of norm? Dus de vraag naar de mate van conservatisme of veiligheid.
4. Hoe verhoudt het gedrag van DC's zich ten opzichte van elkaar.

Te onderzoeken aspecten:

- Mechanische betrouwbaarheid
- Leesbaarheid display.
- Tijdaflezing.
- Diepteaflezing.
- Temperatuuraflezing.
- NDLEN.
- NVT en desaturatietijd.
- Herhalingsduiken.
- Meerdaags duiken.
- Decoduiken.
- Bescherming tegen te snelle opstijging.
- Effect diepe stop (diepte is helft van verschil MDD en decoplafond, inbegrepen de veiligheidsstop).
- Bescherming tegen jojoën.
- Bescherming tegen extreme temperatuur en afkoeling.
- Effect van persoonlijke instelling
- Gebruik van Nitrox (Ean).

De test-strategie

Voor het testen van DC's bestaan geen internationale consensus profielen. Het aantal simulaties waarmee men een test kan uitvoeren, zelfs diepten met veelvouden van de gebruikelijke 3 of 5 meter, en alle tijden in hele minuten is zeer groot. Het aantal mogelijkheden wordt kolossaal als men ook nog combinaties van simulaties maakt (herhalingsduiken). Het is dus zaak bij het ontwerpen van de simulatieprofielen zich te beperken. Een andere complicerende factor is dat de eenvoudige vraag of de ene DC beter is dan de andere DC niet eenduidig is te beantwoorden (zie ook Diver Tests Extra, 1999). De vraag moet tenminste geëxpliciteerd worden naar het type duik, in de zin van diepte en duur, decoduik of niet-decoduik, en of het om een herhalingsduik gaat. De ene DC kan namelijk (zeer) veilig zijn bij diepe duiken, terwijl de ander juist (zeer) veilig is bij een serie herhalingsduiken. Ondanks bovenstaande complicaties dienen de simulaties en combinaties van simulaties bovendien goed aan te sluiten bij de gangbare duikpraktijk. Maar tevens moet de DC door de simulatie werkelijk op de proef gesteld worden. Dit is te bereiken door bepaalde aspecten van het gebruik in verschillende testen sterk te benadrukken, zoals grote diepte, vele herhalingsduiken etc.

Als vergelijkende standaard is gekozen voor de NOB versie van de DCIEM tabellen 1992 (NOB-sportduiktabellen 1995). Dit betekent dat diepten van de simulaties waarden zijn in veelvouden van 3 msw. Deze zijn goed in te stellen omdat de diepteweergave van DC's de eerste decimaal van meters geeft.

De te testen parameter is allereerst de grootte van de NDL. Deze wordt elke gehele minuut met de diepte geregistreerd. De NDLEN worden geëvalueerd met de DCIEM-NDL als referentie en ze worden onderling vergeleken. Voorts wordt de aangegeven diepte en temperatuur vergeleken met de werkelijke gesimuleerde diepte en de werkelijke watertemperatuur. Ook wordt de NVT en de desaturatietijd, voor zo ver weergegeven, geregistreerd en geëvalueerd.

Uitgangspunten van de simulaties

De DC behoort bij voorkeur getest te worden met simulaties die weliswaar realistisch zijn maar dan wel voor (zeer) geoefende duikers (bijv. CMAS 3*). Geen van de simulaties mag echter:

- de 60 min overschrijden (de grens die sportduikbedrijven vaak stellen is 50 min);
- dieper dan 51 msw gaan;
- meer dan 1800 nL⁹ vergen (sportduikbedrijven eisen vaak dat de reservedruk bij een 12 L fles minimaal 50 bar is) en bij meer dan twee herhalingsduiken per dag een luchtverbruik van meer dan 1500 nL vergen;
- bij een herhalingsduik op dezelfde dag dieper zijn dan de voorgaande;
- een stijgsnelheid van meer dan 10 msw/min hebben (10 msw/min wordt aangehouden);
- de veiligheidsstop van 3-5 min op 3-6 msw (gekozen is voor 6 msw) overslaan. (Als een stop op 3 msw verplicht is, wordt hiervoor meestal 6 msw gekozen met soms daarna 3 msw. De NDL op 60 min wordt beschouwd als de laatste NDL, dus de eind-NDL van de simulatie, maar bij speciale simulaties als te snelle opstijgingen (zie 4. Testresultaten, speciale simulaties) werd vaak langer geregistreerd.)

De simulatie hebben voorst:

- een daalsnelheid van 20 msw/min;
- de grootste diepte aan het begin van de duik en voorts steeds afnemende niveaus.

De simulaties worden uitgevoerd als multilevelduiken.

Multilevelduiken behoren tot de mogelijkheden van de DCIEM-tabellen. Echter, de tabellen schrijven voor dat de niveaus minimaal 6 msw uit elkaar liggen en dieper dan 30 msw minimaal 9 msw. In dit rapport wordt voor diepten ≤ 30 msw 6 msw aangehouden. Het aantal niveaus is door DCIEM beperkt tot vier. Gebruikt men er meer, dan is met de DCIEM systematiek de NDL van het eerstvolgende niveau niet meer uit te rekenen. De NDLEN van DCIEM zijn niet exact overgenomen. De berekening van de NDLEN van de niveaus volgens DCIEM, zoals hier gehanteerd, is iets te conservatief, omdat de verblijfsduur op de MDD van de standaardduik, te weten 45 msw is 6 min, terwijl de NDL van DCIEM 7 min is. Via interpolatie is dit gecorrigeerd. Gebleken is dat deze correctie beperkt bleek tot 2 min tussen 24 en 12 msw, en het verschil DCIEM - DC dus maar weinig verkleinde. (Een nadere behandeling van interpolatiemethoden is behandeld in Schellart 2002).

Simulatie profielen

In het SDR rapport dat de methodiek van het testen beschrijft (Schellart, 2002) wordt vooral veel aandacht besteed aan de multilevelduik en herhalingsprocedures van de NOB duiktabellen 1995. Op de stijgtijd na (10 msw/min) komen die geheel overeen met de DCIEM luchttabellen 1992 (stijgsnelheid 18 msw/min). In genoemd rapport is onderzocht hoe de procedures van DCIEM toegepast konden worden bij de multilevelduiken waarbij ook niveauverschillen van 3 meter en interpolatietechnieken bekeken zijn. Geconcludeerd werd dat het strikt volgen van de DCIEM procedure de enig juiste aanpak was.

Er zijn meerdere profielen gebruikt:

A1. 45/6 met levels&stop en A2. 27/10 met levels&stop

Het standaard profiel is een multilevel, (zeer) diepe bijna deco-duik naar 45 msw, bodemtijd 6 min (verkorte schrijfwijze 45/6), te zien als een speciale duik gevolgd door een matig lang herhalingsinterval van 4 uur en een herhalingsduik op de redelijk grote diepte van 27 msw (27/10 + levels, zie voor nadere beschrijving Appendix A). De 45 msw simulatie is afgebeeld in Fig. 2. Het profiel is zodanig ontwikkeld dat volgens DCIEM dit paar (45&27 msw) elke dag herhaald kan worden zonder dat de NDL langer worden (en het 45&27 paar zou daarmee geschikt zijn voor weekend- duiken en duikvakanties).

B. Herhalingsduiken 24/9, OI 1h45min 21/11 OI 2h30min 18/20, OI 5h 15/20 min, met levels&stop

Het tweede profiel betreft vier lichte duiken die echter op één dag gemaakt worden (zie voor nadere beschrijving Appendix A). De test met vier simulaties op één dag legt meer nadruk op de trage compartimenten. Ook hier geldt dat deze vier simulaties elke dag herhaald kunnen worden (live-aboard duikcruises met meer dan twee duiken op een dag zijn vrij gangbaar).

⁹ 1 nL is 1 liter bij 1 bar en 0 °C.

C. 51/10 met diepe stopD. 30/7 met levels&stop

Incidenteel is een profiel gebruikt met een diepte van 30 msw (simulatie van enkelvoudige duik).

E. 20/40 met 3 msw stopF. 15/90 met 3 msw stop, 5 dagen herhaald

Alle andere testen zijn variaties op deze profielen.

Aangenomen wordt dat de profielen, behalve F, in het water uitgevoerd kunnen worden bij een verbruik van 14 L/min, wat een zwemsnelheid van ca. 4 m/min mogelijk maakt (Schellart, 2002). Dit impliceert bij een duikfles van 12 (200 bar) dat het verbruik binnen het maximale verbruik van 1800 nL moet vallen om aan de gangbare eis van de reservedruk van 50 bar te voldoen.

Indien slechts één simulatie wordt uitgevoerd, kan de simulatie van 30 msw gebruikt worden omdat dit in alle opzichten een gangbare duik is voor de goed geoefende duiker (3* CMAS, dive master PADI). Wil men de DC aan een zware enkelvoudige test onderwerpen dan is de 45 msw simulatie heel geschikt. Deze stelt hoge eisen aan de DC vanwege de grote duikdiepte en de opstijging naar bijna de halve MDD. Er is een sterke competitie om de dominantie van de snellere compartimenten tussen de 20 en 10 msw vanwege de sterke supersaturatie (dit betekent $PN_{2,ins} < PN_{2,compartiment} < 100\%$ M-waarde) van compartimenten. Alle profielen worden geacht ernstige afwijkingen van het DCIEM model bij de DC te achterhalen.

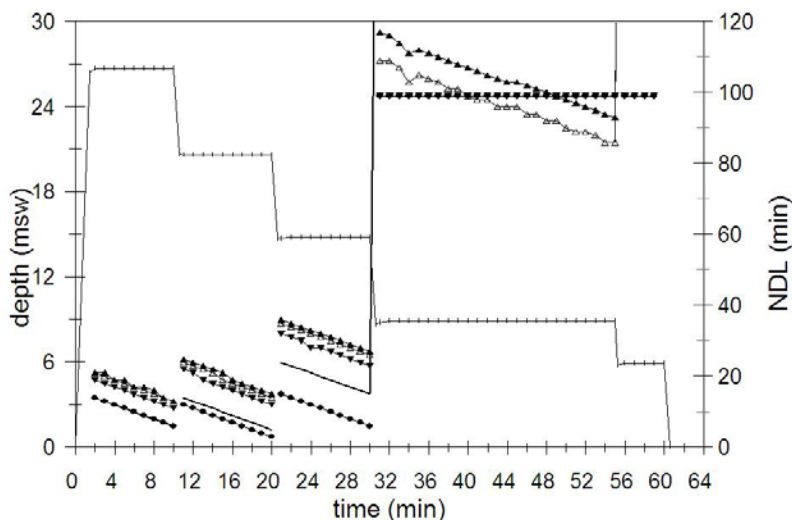


Fig. 3 NDLS as a function of time of four old types of DCs recorded during the 27 msw repetitive simulation (profile A2). Depth is along the left vertical axis. The staircase solid line with vertical dashes (each minute) is the recorded depth of the Companion. The right axis gives NDLS, indicated by symbols. ▲ Companion, ▼ Favor, △ Aladin Pro, ● Trac, and by a solid thick line DCIEM. During the ascent from 15 to 9 msw, the DCIEM NDL becomes 115 min and those of Aladin Pro and Trac 99 min (the maximal value displayed). During surfacing, Companion and Favor obtain the maximal value of 199 min.

Enige elementaire gegevens over de modellen van DCs

In dit rapport worden, min of meer arbitrair, drie klassen van DCs onderscheiden.

Geavanceerde DCs

Dit zijn DC's met een langste t_{half} van 635 min of meer, of tenminste 480 min, maar dan met RGBM. Hieronder worden kort de geteste DCs genoemd die hier onder vallen.

De UWATEC (Scubapro) Aladin® en Smart DCs gebruiken ZH-L8 ADT en hebben 8 compartimenten, die wat parameters betreft ongeveer een geïnterpoleerde subset zijn van ZH-L16C. Hun halveringstijden zijn 5, 10, 20 min etc. t/m 640 min. Alle Smart typen, Aladin® Z en Aladin® Nitrox,

Aladin® Air Nitrox, Aladin® Air X, Aladin® Pro en Aladin® Sport hebben een temperatuur correctie op de halveringstijden van de “weefsels” huid en spier. Wat de verschillen tussen de Aladin® typen zijn, is afgezien van gewone zaken als het ‘hebben’ Nitrox, flesdruk via slang of zender e.d., onduidelijk. De NDLEN zijn uit de DCs te halen.

De nieuwere Suunto's, zoals de Mosquito, Vyper, Gecko, Cobra en de nieuwste, D6 en D9 hebben 9 compartimenten, beginnend bij 2,5 min, vervolgens 5, 10, 20 min etc. t/m 320 min en dan eindigend bij 480 min halveringstijd. Ze hebben alle RGBM. Hun NDLEN worden in de handleidingen opgegeven.

De Mares M1, Mares Nemo Sport and Mares Nemo Wide hebben RGBM en 10 compartimenten en als enige de diepe stop geprogrammeerd. Halveringstijden en NDLEN worden niet opgegeven (NDLEN zijn wel te vinden in de simulatie modus).

De Trac van Scubapro (11 jaar oud) heeft een langste t_{half} van 700 min met 9 compartimenten.

480DCs

Hun langste t_{half} is 480 min en het aantal compartimenten is minimaal 8. Ze hebben echter geen RGBM. De Suunto typen SME, Solution, Eon, en Spider vallen hieronder en tevens de Mares Surveyor (9 compartimenten, beginnend bij 2,5 min).

320DCs

Deze DCs zijn meestal ontwikkeld in de late 80-er en begin 90-er jaren. Hun langste t_{half} is 320 min en het aantal compartimenten is maximaal 8. Onder meer de 320Suunto's (Companion, Vapor en Vapor Air) en de 320Aladin Pro van Scubapro vallen hieronder.

Tabel 1 (Appendix C) vat een aantal kenmerken en testresultaten van de diverse typen DCs samen.

4. Test results

In the period of December 2002 up to January 2012, 55 DCs of 39 (sub)types of 10 fabricates have been tested in 109 sessions. 345 DC profiles have been retrieved (approx. 20000 NDL-times and depths). On average this means about 4 DCs per session. However, it is noticed that the number of types depends on the definition of a type. Unfortunately manuals give no insight at all in performed modifications of some type, but they certainly are there. Fig. 3 gives an example of the procedure of a session (27 msw repetitive simulation performed with old types). Each minute the depth of one of the DCs and the NDLs of all four DCs is presented, as well as those of DCIEM at the start of each ascent to the next level.

If a session concerns a special profile (for example too fast ascent) for comparison always a control session is carried out (same profile, but now with regular ascent pace). The control profile is generally the standard profile of 45 msw.

Below, types of DCs - if not indicated by name - are appointed to their class or to the compartment with the longest half time. For example a RGBM-480DC is a DC with RGBM with the longest half time of 480 min.

Mechanical reliability

Leakage has never been communicated by the owner or found during testing. The keys/contacts have not been systematically tested, but up to that point this happened they worked well.

Except with the Mares M1 it works somewhat laboriously. Shock resistance was not checked. Once there was no display without a low-battery warning previously (Aladin®). Depth, dive time, NDL, stop depth and stop duration, desaturation time, no-flying-time (NFT), temperature etc. were always displayed without flaws.

Unfortunately, with many RGBM Suunto types the display of the temperature disappears from the default screen during the dive (i.e. deeper than 1.2 msw).

Readability of the DC screen

Many types have rather small letter fonts on the screen, what can be an important disadvantage for older divers. Examples of well readable screens are the (large-size) UWATECs and Mares Nemo Wide.

Display of time

Testresulten

In de periode van december 2002 tot januari 2012 zijn 55 DCs van 39 typen van 10 fabricaten getest in 109 sessies. 345 DC profielen zijn uitgelezen (ca. 20000 Niet-stoptijden en diepten). Dit betekent gemiddeld bijna 5 DCs per sessie. Het aantal typen hangt overigens af van de definitie van type. Helaas geven handleidingen geen enkel inzicht in modificaties van een type, maar die zijn er wel.

Fig. 3 geeft een voorbeeld van de uitwerking van een sessie (een 27 msw herhalingssimulatie met oude typen). Elke minuut is de diepte van één van de DCs en de NDLen van alle vier DCs weergegeven, alsmede die van DCIEM.

Als een sessie een speciaal profiel betreft (bijv. te snelle opstijging) dan wordt ter vergelijking ook altijd een controle sessie uitgevoerd (zelfde profiel, maar nu met normale stijgsnelheid). Het controle profiel is meestal het standaardprofiel van 45 msw.

Hieronder worden typen DCs indien niet bij name genoemd, benoemd naar hun klasse of naar het compartiment met de langste halveringstijd. Bijv. een RGBM-480DC is een DC met RGBM en met als langste halveringstijd 480 min.

Mechanische betrouwbaarheid

Lekkage is nooit gemeld of aangetroffen tijdens het testen. De drukknopen/contacten zijn niet systematisch getest, maar zover dit wel gebeurde werkten ze goed. Alleen bij de Mares M1 gaat het wat moeizaam. Schokbestendigheid is niet gecontroleerd.

Eenmaal was er geen display, zonder dat in een eerder stadium een "low-battery" signaal was gegeven (een Aladin®). Diepte, duiktijd, NDL, stopdiepte en stopduur, desaturatietijd, niet-vliegtijd (NVT), temperatuur etc. werden altijd storingsvrije weergegeven. Helaas verdwijnt bij veel RGBM Suunto's typen bij de duik zelf (d.w.z. dieper dan 1,2 msw) de temperatuurweergave uit het standaardscherm.

Leesbaarheid van DC scherm

Veel typen hebben vrij kleine letters op de display, wat voor oudere duikers een belangrijk nadeel kan zijn. Een voorbeeld van goed afleesbare displays zijn de (fors uitgevoerde) UWATECs en Mares Nemo Wide.

Tijdaflezing

The resolution on the screen is 1 min for all indications of times. Mares Nemo, D6 and Galileo displays seconds for the 3 safety msw stop.

The NFT is indicated with a precision of hours or minutes. The resolution of the algorithm is much smaller than 1 min, depending on the type and sometimes adjustable (D6). Display accuracies are mostly amply sufficient and irregularities were not noticed.

Display of depth

In general, the accuracy of the depth is within the product specification and if not then there is a small, not relevant deviation (a single exception showed a deviation of ample 0.5 m.). According to the product specification the depth has been corrected for the temperature and generally this proves to be the case (with the exception of a deviation at 45 msw of 0.5-1.0 msw of a 320DC, the Companion).

Display of temperature

Generally, this is within the specification (deviation < 1 or 2 °C). However, because of the slow processing of the current water temperature, with changing temperature this is not precise (the delay has a half time of even some 3 min). Accuracy and speed are obsolete seen the current, cheap technical possibilities. As these temperature values are used for the corrections of depth and NDL, this gives extra inaccuracies. Because of this, NDLs possibly may deviate sometimes 1 or 2 min. Deze valt i.h.a. binnen de specificatie (afwijking

NDL of 45/6 dive

45 msw simulation (19 sessions (m), 95 profiles (n), temperature between 15 and 20 °C). This simulation with the profile and the results of a lot of sessions are presented in Fig. 4. Herein, the several types distinguish to their class. Each class has its own symbol. The differences between the several types are large and larger as the depth decreases (see Fig. 4; Sherwood (Source), Dive Mate, Musquito, Mares Nemo/Sport, D6, Vyper Air, Vytec and Galileo not depicted). The sophisticated DCs (635DCs and RGBM DCs) are on average (see the open symbols in Fig. 4) somewhat more conservative (i.e. smaller NDL) than 480DCs and these latter something more than 320DCs. However, these averages do not differ significant, except on 6

De resolutie op het display is 1 min voor alle tijdsaanduidingen. Mares Nemo, D6 en Galileo geeft seconden voor de 3 msw veiligheidsstop.

De NVT is in een nauwkeurigheid van uren of minuten. De resolutie van het rekenprogramma is echter veel kleiner dan 1 min, afhankelijk van het type en soms instelbaar (D6). De nauwkeurigheden zijn meestal ruimschoots toereikend en onregelmatigheden zijn nooit gesignaleerd.

Diepte-aflezing

In het algemeen valt de nauwkeurigheid van de diepte binnen de productspecificatie en zo niet dan is er een kleine, niet relevante afwijking (op een enkele uitzondering na: afwijkingen tot ruim 0,5 m). Volgens de productspecificatie is de diepte gecorrigeerd voor de temperatuur en i.h.a. blijkt dit ook zo (bij uitzondering een afwijking op 45 msw van 0,5-1,0 msw bij een 320DC de Companion).

Temperatuuraflezing

< 1 of 2 °C). Echter, vanwege de trage verwerking van de actuele watertemperatuur is deze bij verandering niet nauwkeurig (de vertraging heeft een halveringstijd van liefst ca. 3 min). Snelheid en nauwkeurigheid blijven daarmee ver achter bij de huidige, goedkope technische mogelijkheden. Als deze temperatuurwaarden gebruikt worden voor de correcties van diepte en NDL, dan geeft dit extra onnauwkeurigheden. Wellicht wijken de NDLen hierdoor soms 1 of 2 min af.

NDL van 45/6 duik

msw where the Smart and Mares M1 were in deco. ¹
45 msw simulatie (19 sessies (m), 95 profielen (n), temperatuur tussen 15 en 20 °C). Deze simulatie met het profiel en de resultaten van vele sessies zijn weergegeven in Fig. 4. Hierin is zijn de diverse typen onderscheiden naar hun klasse. Elke klasse heeft een eigen

¹ De deco-diepte die ze oplegden was echter in alle gevallen 3 msw, maar werd altijd uitgevoerd op 6 msw. (Dit om in overeenstemming te blijven met het DCIEM multilevel voorschrift.) Hierdoor zakte op 6 msw vanzelfsprekend na het verstrijken van elke minuut de weergegeven decotijd *niet* met een minuut. Het duurde vaak 2 of meer minuten voor er 1 minuut afgang.

symbool-vorm. De verschillen tussen de diverse typen zijn groot en groter naarmate de diepte afneemt (zie Fig. 4; Sherwood (Source), Dive Mate, Musquito, Mares Nemo/Sport, D6, Vyper Air, Vytec en Galileo niet weergegeven). De geavanceerde DCs (635DCs en RGBM DCs)

zijn gemiddeld (zie de open symbolen in Fig. 4) iets conservatiever (d.w.z. kleinere NDL) dan 480DCs en deze laatste iets meer dan 320DCs. Deze gemiddelden verschillen echter niet significant, behalve op 6 msw waar de Smart en Mares M1 in deco zijn.

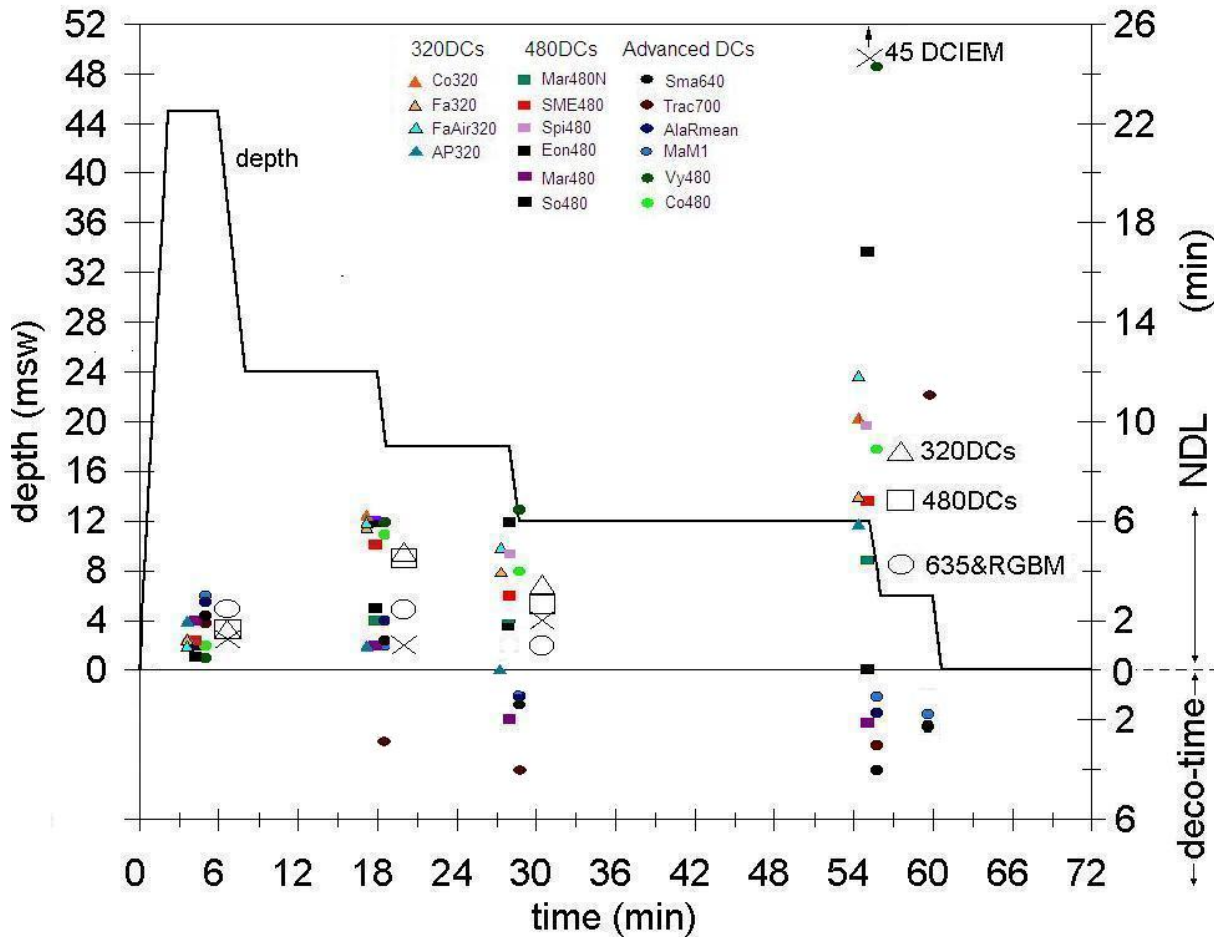


Fig. 4 NDLs and deco-times of the different types of the three classes of DCs with 45 msw standard simulation. Dive profile indicated by the thick solid line. Depth is along the left vertical axis. The right axis gives in upward direction NDLs and downward the deco times at 3 msw. The three classes are indicated by different symbol-shapes. The large open symbols represent class means, while the large X gives the DCIEM values. For clarity, means and DC symbols of two classes are slightly shifted over the time axis. The labels of the symbols mostly indicate the first letters of the name of the DCs. Further is: AP, old Aladin Pro (Scubapro); Mar, Mares; AlaRmean, mean off all 6 Aladin® DCs. At the end of the 12 msw level DCIEM's NDL is 45 min. At 6 msw most DCs display the maximum NDL (99 or 199 min). The recent DCs D6, Smart and Mares Nemo They are all more conservative then their predecessor (Cobra, M1 and Aladin® respectively).

Nearly all other DCs give the maximum NDLs at 6 msw. Trac, Smart and Mares M1 are most conservative at 24 msw and more shallow. By comparison, the Suunto's with RGBM, also classified as sophisticated DCs, are relatively not conservative. This applies certainly to three

of the four tested Vypers, which showed much too long NDLs at moderate depths (see Fig. 4). The three classes differ slightly because on the one hand their DCS became available on the market over a lot of years and on the other hand the NDL of a particular fabricate is e.g. much

more conservative than of the other, despite that they belong to same class.

Vrijwel alle andere DCs geven op 6 msw de maximale NDLEN. Trac, Smart en Mares M1 zijn vanaf het niveau van 24 msw en ondieper het conservatiefst.

De Suunto's met RGBM, ook ingedeeld bij de geavanceerde DCs, zijn hiermee vergeleken

echter niet conservatief. Dit geldt zeker voor drie van de vier geteste Vypers, die op middelmatige diepten veel te lange NDLEN gaven (zie Fig. 4). De drie klassen verschillen weinig omdat enerzijds hun DCS over vele jaren op de markt kwamen en anderzijds doordat de NDL het ene fabrikaat conservatiever is dan van het andere ook al zitten ze in de zelfde klasse.

As a result, there are e.g. between the Smart and Trac on the one hand and RGBM Suunto on the other hand enormous differences, for example up to 30 min at 12 msw. With Suunto's going to the 'limit' is therefore irresponsible, whereas that is less serious with the Smart. From 18 msw and deeper DCIEM is more conservative. Not considering the distinction in classes and adopting DCIEM as the standard with a tolerance of 2 min, then the following is noticed:

- at a depth of 45 msw all DCs satisfy the DCIEM standard;
- at 24 msw approximately half satisfies, with only the Trac in deco;
- at 18 msw six decompression computers do not fulfill the standard. The Trac, Mares M1 and Mares Nemo, the Aladin® types, Smart and Galileo Luna of UWATEC are in deco;
- at 12 msw all decompression computers come up largely to the standard and the earlier-mentioned types are in deco;
- at 6 msw the Smart, Galileo and Nemo are in deco, Trac has a rather small NDL and all others have the maximum value. DCIEM has 415 min as outcome of NDL.

However, DCIEM is not conservative for MDDs less than approx. 20 msw (see Schellart, 2006b). Then the risk on DCZ is larger than ½ % (with 10 msw/min ascent speed), what actually would have to be the standard. For this reason the conservatism of a lot of DCs on 18 and especially 12 msw is flattered. On the whole, the order with decreasing safety with regard to NDL-values is: , Mares Nemo, Galileo, M1, Smart, Aladin®, D6, Trac, DCIEM, 480 RGBM DCs, 480 DCs, Aladin pro, 320 DCs. As first simulation (therefore with a clean DC) also MDDs of 51, 30 and 24 msw were chosen. It was proven that with decreasing MDD the differences in NDLS decrease. The findings of other researchers are similar (Huggins 2004, Lippmann, 2004).

NDL of repetitive dives

27 msw repetitive simulation (m=13, n=70)

At 27 msw (MDD) and 21 msw all DCs have NDLS larger than DCIEM and at 15 msw this applies to approximately half of the DCs. Also now, the variation increases with decreasing depth, with a difference of approximately maximal 12 min at 27 msw to almost 60 min at 9 msw. A salient example of a large difference is that between the Trac and the Cobra (and DCIEM) at 15 msw: almost 20 min. None of the DCs went in deco, but indeed this was not expected on the basis of the NDLS calculated with DCIEM (see also appendix A).

Daardoor zijn er bijv. tussen de Smart en Trac enerzijds en RGBM Suunto's anderzijds enorme verschillen, bijv. tot 30 min op 12 msw. Met Suunto's tot de 'limiet' gaan is dus onverstandig, terwijl dat met een Smart minder ernstig is. DCIEM is vanaf 18 msw en dieper conservatiever.

Als de klassen buiten beschouwing worden gelaten, en DCIEM is de norm met een tolerantie van 2 min, dan valt het volgende op:

- op 45 msw voldoen alle DCs aan de DCIEM norm;
- op 24 msw voldoet ongeveer de helft, waarbij alleen de Trac in deco is;
- op 18 msw vallen er zes DCs buiten de norm. De Trac, de Mares M1 en Mares Nemo, de Aladin® types, Smart and Galileo Luna van UWATECS zijn in deco;
- op 12 msw voldoen alle DCs ruimschoots aan de norm en de eerder genoemde typen zijn in deco;
- op 6 msw zijn Smart, galileo en Nemo in deco, Trac heeft een vrij geringe NDL en alle anderen hebben de maximale waarde. DCIEM komt op 415 min.

DCIEM is echter niet conservatief voor MDDs minder dan ca. 20 msw (zie Schellart, 2006b). Het risico op DCZ is dan groter dan ½% (met 10 msw/min stijgsnelheid), wat feitelijk de norm zou moeten zijn. Het conservatisme van vele DCs op 18 en vooral 12 m is daarom geflatteerd.

Over het geheel genomen is de volgorde met aflopende veiligheid qua NDL-waarden: Mares Nemo, Galileo, M1, Smart, Aladin®, D6, Trac, DCIEM, 480 RGBM DCs, 480 DCs, Aladin Pro, 320 DCs.

Als eerste simulatie (dus met een 'schone' DC) zijn ook MDDs van 51, 30 en 24 msw gekozen. Gebleken is dat naarmate MDD afneemt de verschillen afnemen.

De bevindingen van andere onderzoeken zijn soortgelijk (Huggins 2004, Lippmann, 2004).

NDL van herhalingsduiken

27 msw herhalings simulatie (m=13, n=70)

Op 27 msw (MDD) en 21 msw hebben alle DCs grotere NDLEN dan DCIEM en op 15 msw geldt dit voor ongeveer de helft. Ook hier neemt de variatie weer toe met afnemende diepte, van ongeveer maximaal 12 min verschil op 27 msw naar bijna 60 min op 9 msw. Een saillant voorbeeld van een groot verschil is dat tussen de Trac en de Cobra (en DCIEM) op 15 msw: bijna 20 min. Geen van de DCs ging in deco, maar dat was ook niet verwacht, gezien de met DCIEM uitgerekenende NDLEN (zie ook Appendix A).

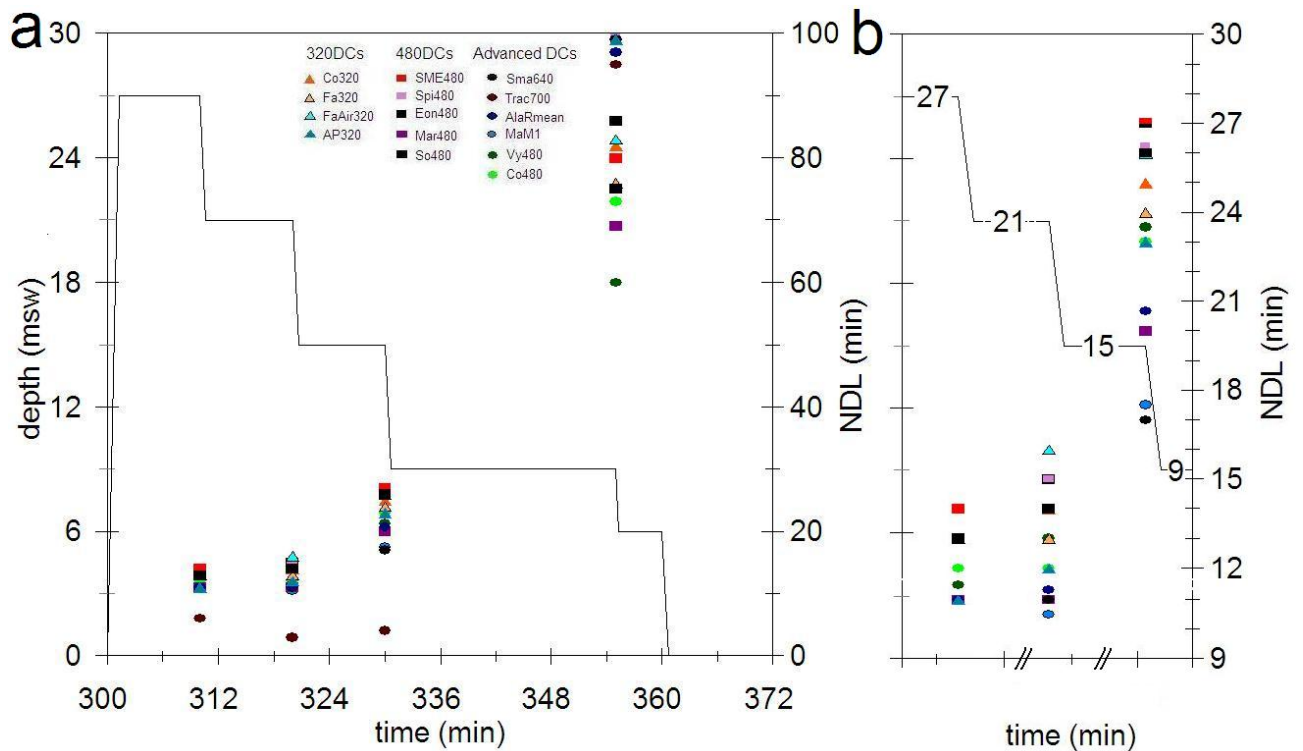


Fig. 5 NDLS and deco-times of the different types of the three classes of DCs with 27 msw standard simulation A2. a) Similar depicted as Fig. 4. b) The time scale and NDLS scale is extended to make the symbols more visible. Notice that the time axis is two times interrupted, that the depths are indicated in the levels and that the symbols of the Trac are below the horizontal axis.

In Fig. 3, that gives some results, the NDLS of the three classes of DCs and DCIEM are indicated each minute. At constant depth, the NDLS appear to decrease 1 min/min, but at 9 msw the Companion and Favor show an irregularity on $t = 34$ min. 320DCs (and also other old DCs) shows this behavior more often at large NDLS-values. With regard to NDLS the order with decreasing safety is: D6, Smart, Aladin®, M1, Trac, DCIEM, 480 DCs, Aladin pro, 320 DCs. This applies at 27, 21 and 15 msw (and rather well also at 9 msw). The differences increase with decreasing depth.

In Fig. 3, die enkele resultaten geeft, zijn de NDLS van de drie klassen DCs en DCIEM elke minuut aangegeven. Deze blijken op constante diepte 1 min/min af te nemen, maar op 9 msw vertonen de Companion en Favor op $t=34$ min een onregelmatigheid. Bij 320DCs (en ook wel andere oude DCs) komt dat bij grote NDLS-waarden vaker voor.¹ De volgorde met aflopende veiligheid qua NDLS-waarden is D6, Smart, Aladin®, M1, Trac, DCIEM, 480 DCs, Aladin Pro, 320 DCs. Dit geldt op 27, 21 en 15 msw (en wellicht ook op 9 msw). De verschillen nemen toe met aflopende diepte.²

¹ De oorzaak is mogelijk het krappe aantal bits per 'woord'.

² Als twee DCs dezelfde set halveringstijden hebben, maar bij een set is de **a** waarde steeds iets kleiner en de **b** waarde steeds iets groter (dus de M-waarde kleiner en daardoor conservatiever), dan blijkt bij afnemende diepte het verschil in %M-waarde van het dominante compartiment, dat een steeds hoger rangnummer krijgt, toe te nemen. Het dominante compartiment heeft te maken met oplopende e-machten, die divergeren. Hierdoor neemt het verschil in NDLS toe.

Four simulation at one day (m=1, n=5)

These four simulations have been carried out with the Companion and Favor, the Vyper (480RGBM; a well functioning copy), the Trac and the old Aladin pro of Scubapro (6 compartments, to 320 min). See for the profiles Fig. A.1 of Appendix A. The maximum differences in NDL at the levels 24, 18 and 12 msw amounted to about 12 min with NDLs in the range of 10-30 min. Hence, the differences are considerable. The Trac, always the most conservative one, was followed by the Vyper, which, however, started just as other Suunto's, most liberally.

45 msw and 27 msw, 2 days repeated ((m=1, n=4), n=4)

The 2nd day, the Companion, the Aladin® Nitrox and the Aladin® Sport showed none or nearly no shortening of the NDL for both simulations (Aladin 0-2 min longer deco times; there were however with both Aladins stability problems, particularly with the Sport.) The two NFTs of the Companion, were unchanged. In spite of unchanged NDLs of the Aladins, NFTs of both were respectively 2 and 1 hour longer at the 2nd day. The NDLs of the Cobra were reduced with 1 min (45 msw) to 10 (12 msw) min but the second simulation gave no consistent picture: from the deeper levels to 9 msw shortening but during the complete 9 msw level a lengthening. Both NFTs of the Cobra are the 2nd day longer (approx. 3 and 1.5 hour).

20/40 with 3 msw stop and repetition (m=1, n=3), n=3)

Both D6 and Smart went at 40 min in deco and the AquaLab already at 36 min dive time. The last DC finished deco as last one (at 48 min) with a NFT of 24h04min, whereas the NFT of D6 was 2 hours and that of The Smart 7 hours shorter. At the repetition with a SI of 2h30min, on average the DCs went in deco 2 min earlier and finished the deco-stop 3 min later.

15 msw, 90 min 5 days repeated (m=1, n=3)

This test has been performed with a Companion, D6 and Smart COM. The Companion had a deco-stop of 9 min on 3 msw at the end of the 5th day and finished its stop 8 min earlier than D6. D6 had a 3 msw stop of 17 min (including the safety stop) and the Smart prescribed a stop of 11 min (lacks security stop). Hence, D6 is at the end of the 5th dive 6 min more conservative

Vier simulaties op een dag (m=1, n=5)

Deze vier simulaties op een dag zijn uitgevoerd, met de Companion en Favor, de Vyper (480RGBM; het goed werkende exemplaar), de Trac en de oude Aladin Pro van Scubapro (6 compartimenten, tot 320 min). Zie voor de profielen Fig. A.1 van Appendix A. De maximale verschillen in NDL op de niveaus 24, 18 en 12 msw bedroegen rond de 12 min op NDLen in de range van 10-30 min. De verschillen zijn dus aanzienlijk. De Trac was blijvend de conservatiefste, gevolgd door de Vyper, die met de andere Suunto's wel het meest liberaal begon.

45 msw en 27 msw, 2 dagen herhaald (m=1, n=4)

Bij de Companion, de Aladin® Nitrox en Sport gaf de 2^{de} dag bij beide simulaties geen of vrijwel geen verkorting van de NDL. (Aladin® Nitrox 0-2 min langere stoptijden; er waren echter met beide Aladins stabiliteitsproblemen, met name met de Sport.) De beide NVTen van de Companion, waren onveranderd. Ondanks gelijkblijvende NDLen van de Aladins waren de niet-vliegtijden van beide resp. 2 en 1 uur langer op de 2^{de} dag. De NDLen van de Cobra waren verlaagd, oplo-pend van 1 min (45 msw) naar 10 min (12 msw), maar de herhalingsimulatie gaf geen consistent beeld: tot 9 msw verkorting maar het hele 9 msw niveau een verlenging. Beide NVTen van de Cobra zijn de 2^{de} dag langer (ca. 3 en 1,5 uur).

20/40 met 3 msw stop met herhaling (m=1, n=3)

D6 en Smart gaan beide op 40 min in deco en de AquaLab al op 36 min duiktijd. De laatste gaat als laatste uit deco (op 48 min), en heeft als NVT 24h04min, terwijl NVT van D6 2 uur en die van Smart 7 uur korter is. Bij de herhaling met een OI van 2h30min gaan de DCs gemiddeld 2 min eerder in deco en komen er 3 min later uit.

15 msw, 90 min 5 dagen herhaald (m=1, n=3)

than the Smart, thanks to 3-min the security stop. The NFT of D6 (21h) is 5h longer than that of the Smart. Starting at the 4th day Mares Nemo Sport participated.

Deze test is uitgevoerd met een Companion, D6 en Smart COM. De Companion had aan het einde van de 5^{de} dag een decostop van 9 min op

3 msw en was 8 min eerder uit deco dan de D6. De D6 had een 3 msw stop van 17 min (inclusief de veiligheidsstop) en de Smart een stop van 11 min (kent geen veiligheidsstop). De D6 is aan eind 6 min conservatiever dan de Smart, mede

dank zij de 3-min veiligheidsstop. De NVT van de D6 (21h) is 5h langer dan van de Smart. Vanaf de 4^{de} dag deed een Mares Nemo Sport mee.

The 4th day this DC finished 2 min earlier than the D6, but the 5th days 3 min later with a 3.5 hour longer NFT

After the 5th day another day was added with a 12 msw dive of 3 h 05 min. The sequence with increasing conservatism was now: Smart, Mares Nemo Sport, Companion, D6. For the NFT the next values were found: Smart 21 h , D6 and Mares Nemo Sport 30 h.

The general conclusion is that for long shallow dives repeated during many days the Mares Nemo Sport and D6 are very suitable, that the Companion is acceptable and that the Smart is least suitable.

No-flying time (NFT)

Objective Examining whether NFTs are sufficient.

Recent standard The relation between NFT and DCS risk have been hardly examined (Bühlmann 1989, Millar, 1996, Vann et al. 2003). For this reason, an international, widely used standard, like with the ascent pace, is not available. The standard chosen, based on recommendations from literature (Millar, 1996), leads to the following very safe rule. Here, it is called, the 12-24-36 hours rule (25 years ago the 12-24 hours rule): 1. one single no-deco dive has a minimum NFT of 12 hours, however at large effort 24 hours (it is better always to wait at least 24 hours); 2. single deco-dive; minimum 24 hours; 3. one or more no-deco repetitive dives with the last dive most shallow: minimum 24 hours; 4. multi-day repetitive dives or more than one deco-dive in the last 48 hours and all other remaining conditions: minimum 36 hours, preferably 48 hours. In the majority of the cases this rule will be often very conservative but maximizing the NFT at 24 hours is not always safe enough.

Findings In general, only advanced DCs display the NFTs with an indication of waiting time, often with an accuracy of minutes). The other DCs suffice with displaying an aircraft icon, so that you yourself must pay attention when the icon disappears. Also the Gekko (Suunto, with RGM) works like this. Many DCs, particularly the older ones, do not follow the standards, but Suunto's do or approach them rather well (see Table 1).

The test with 4 dives within one day (1st to 24 m.) resulted in NFT of approx. 20 hours with 320DCs , 28 hours with a 640DC and only 6 hours with the old Aladin Pro (a 320DC), an unsafe low period. After repeating a 2nd day the 45 msw plus 27 msw profile, the NFTs of successively Companion (320DC of Suunto), UWATEC Aladin® models and Cobra were 17,

De 4^{de} dag was deze 2 min eerder boven dan de D6, maar de 5^{de} dag 3 min later met een 3,5 uur langere NVT.

Na de 5^{de} dag werd een duik toegevoegd (6^{de} dag) van 3h05min op 12 msw. De volgorde in oplopend conservatisme van NDL was nu: Smart, Mares Nemo Sport, Companion, D6. Voor de NVT werd gevonden: Smart (21h) , D6 en Mares Nemo Sport (30h).

De algehele conclusie is dat Mares Nemo Sport en D6 zeer geschikt zijn voor lange ondiepe duiken gedurende vele dagen herhaald, dat de Companion acceptabel is en dat de Smart het minst geschikt is.

Niet-Vliegtijd (NVT)

18 and 24.5 hour respectively. With respect to the 1st day the first two DCs showed a 1 hour longer NFT, but the Cobra 3 hours.

Doel Nagaan of de NVTen toereikend zijn.

Gangbare norm De relatie tussen NVT en DCZ risico is nauwelijks onderzocht (Bühlmann 1989, Millar, 1996, Vann et al. 2003), Een internationale, breed onderschreven norm, zoals bij de stijgsnelheid, is er daarom niet. De gekozen norm, een nadere uitwerking van aanbevelingen uit de literatuur (Millar, 1996), leidt tot de volgende zeer veilige regel, hier de 12-24-36 uur regel genoemd (25 jaar geleden was de 12-24 uur regel gangbaar): 1. eenmalige niet-deco duik minimaal NVT 12 uur, echter bij grote inspanning 24 uur (beter is altijd tenminste 24 uur aan te houden); 2. eenmalige decodruk minimaal 24 uur; 3. één of meer niet-deco herhalingsduiken met laatste duik het meest ondiep: minimaal 24 uur; 4. meerdaagse herhalingsduiken of meer dan één deco-duik in laatste 48 uur en alle overige condities: minimaal 36 uur, bij voorkeur 48 uur.

In het merendeel van de gevallen zal deze regel erg conservatief zijn maar de NVT maximeren op 24 uur is niet altijd veilig genoeg.

Bevindingen In het algemeen geven alleen geavanceerde DCs de NVTen (in uren of minuten nauwkeurig). De andere DCs volstaan meestal met het displayen van een vliegtuig icoontje, zodat je zelf moet opletten wanneer dat uitgaat. Ook de Gekko (Suunto, met RGM) doet dit.

Veel DCs, met name de oudere, halen deze normen niet, maar Suunto's wel of komen er het dichtst bij zoals Tabel 1 en onderstaande waarnemingen illustreren.

Bij de test met 4 duiken op een dag (1ste naar 24 m) gaven de 320DCs een NVT van ca. 20 uur, een 640DC 28 uur en de 320Aladin Pro slecht 6 uur, wat veel te weinig is. Na herhaling op de 2de dag van het 45 msw plus 27 msw

profiel waren de NVTen van achtereenvolgens Companion (320DC van Suunto), UWATEC Aladin® modellen en Cobra resp. 17, 18 en 24,5

The Smart is more conservative than the Aladin® DCs, but frequently the NFTs nevertheless are smaller than the 12-24-36 hour rule.

DCs sorted with increasing NFTs show the sequence Aladin pro, Aladin®, Smart, 320DCs, M1, 480DCs, Vyper and Cobra, D6, AquaLab.

Inter- and intra "individual" reproducibility reproduceerbaarheid

Objective: to examine to what extent a type shows reproducible behavior.

This depends on the accuracy of the hard- and software and the profile. Advanced DCs (640DCs and DCs with RGBM), concerning the total simulation, generally differ intra-individually less than 6 minutes (see Fig. 2). The UWATECS perform best. An exception was the >25 years old Aladin Pro (320DC) with an average difference of approx. 20 min for a couple of levels of the 45 msw simulation.

Doel: nagaan in hoeverre een type

uur. Ten opzichte van de 1^{ste} dag was er bij de eerste twee DCs 1 uur bijgekomen, maar bij de Cobra 3 uur.

De Smart is conservatiever dan de Aladin® DCs, maar vaak zijn de NVTen toch kleiner dan de 12-24-36 regel.

NVT's gerangschikt van kort naar lang zijn: Aladin Pro, Aladin®, Smart, 320DCs, M1, 480DCs, Vyper and Cobra, D6, AquaLab.

Inter- en intra "individuele"

reproduceerbaar gedrag vertoont.

Dit is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de hard- en software en het profiel. Bij geavanceerde DCs (640DCs en DCs met RGBM), genomen over de hele simulatie, zijn de intra-individuele verschillen meestal minder dan 6 min (zie Fig. 2). De UWATECS zijn het best. Een uitzondering was de >25 jaar oude Aladin Pro (320DC) met een gemiddeld verschil van ca. 20 min op een paar niveaus van de 45 msw simulatie.

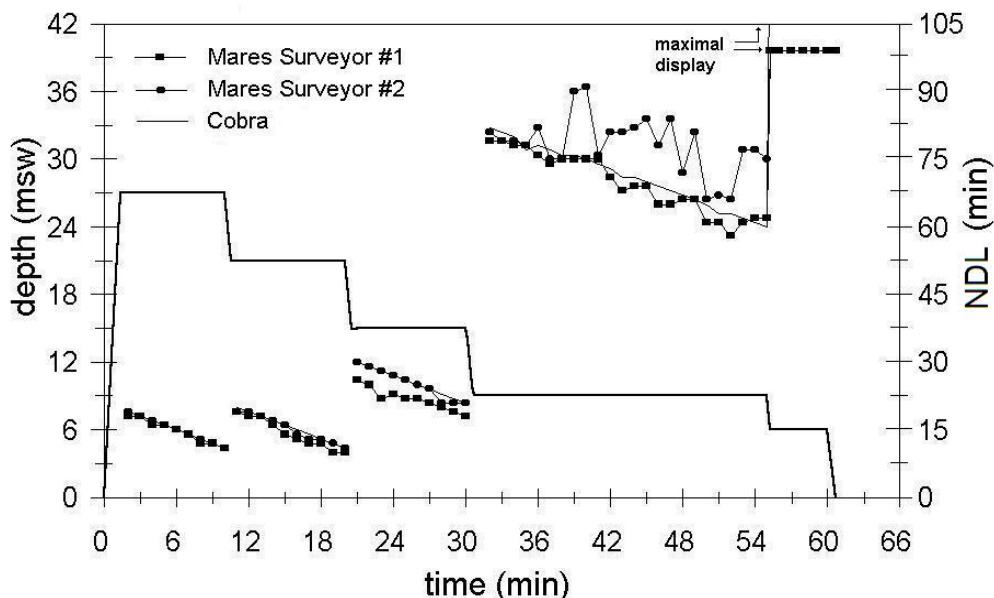


Fig. 6 Unstable behavior of two Mares Surveyor DCs during the repetition simulation at 27 msw. (For some five years, this DC is not anymore commercially available).

Inter-individual differences are approximately twice as high. With the same test with the same types of UWATEC the mutual differences are almost always 0-1 minutes. For the Mares Surveyor and Mares M1 they are 1-4 minutes and for 320DCs still more. The 4 Vypers showed variable results: as already mention one specimen was signaling more conservative than

the Cobra, but three were much more liberal than the Companion (see Fig. C1 in Appendix C). The average flaw in adjusting the depths is of the order of 0.1 msw. This cannot explain these data. Is the cause a failure of the algorithm of these 3 Vypers?

De inter-individuele verschillen zijn ongeveer het

dubbele. Bij dezelfde test van het zelfde typen van UWATEC zijn de verschillen onderling bijna altijd 0-1 min. Bij de Mares Surveyor en Mares M1 is het 1-4 min en bij de 320DCs nog meer. De 4 geteste Vyper gaven een zeer wisselend beeld: zoals al vermeld was één exemplaar beduidend conservatiever dan de Cobra, maar

Inconsistence and instability of NDL

Objective: to examine whether the NDL decrease with one minute each real minute. When this (within the error of 1 min) holds, then the NDL behaves itself consistently. This was always found for all Suunto types, Smart, Trac, Mares M1 and Dive Mate. But not with all simulations with other DCs. Two specimens of the Mares Surveyor and Mares Surveyor Nitrox exhibited stepwise decrements but also variable increments (inconsistency) of the NDLs (with one DC decrements up to 5 min and increments up to 3 min, with the other DC one up to 15 min up and down at 9 msw and at larger depths less). Fig. 6 gives results of these tests. With seven of the 9 tested DCs of the UWATEC Aladin® series the NDL appeared to jump back and forth between two values. When presented graphically a saw tooth pattern appeared. Within each minute its maxima and minima decreased one minute as represented in Fig. 7. This continuous decrease may be mentioned consistent behaviour, but after all the display is unstable. These DCs underwent 2 up to 6 simulations and the fault appeared reproducible and was found with several profiles. The chance on occurrence of this undesirable behaviour is much larger during a repetitive dive. The defect is most extreme after yoyo-ing during the stay on first next shallower constant level (of 45 the msw profile). With one Aladin X®Pro New Generation and two Aladin®.Air (X and Z) Nitrox the "jumping" of the NDL was most extreme. The NDL display of the Aladin®'s could change rapidly such as Fig. 7 indicates. This is quite different from the drifting behaviour of the Mares Surveyor that lasts over minutes. Supposedly the deviations of the Mares DCs and UWATECS will not be notable during the dive. This behaviour, resigned on a 'bug', in my opinion actually unacceptable, has been never communicated by a user.

drie waren een stuk liberaler dan de Companion (zie Fig. C1 in Appendix C). De gemiddelde instellingsfout van het profiel is van de orde van 0.1 msw en kan de gemeten verschillen niet verklaren. Is de oorzaak een fout in het algoritme van deze 3 Vypers?

Inconsistentie en instabiliteit van de NDL

Doel: nagaan of de NDL met één min per werkelijke minuut afneemt. Als dit (binnen de foutenmarge van 1 min) geldt, dan gedraagt de NDL zich consistent. Dit gold altijd voor alle Suunto typen, Smart, Trac, Mares M1 en Dive Mate. Maar niet bij alle simulaties met andere DCs. Bij twee specimens van de Mares Surveyor en een Mares Surveyor Nitrox werden sprongsgewijze verlagingen maar ook variabele *verhogingen* (*inconsistentie*) van de NDL gevonden (bij de een tot 5 omlaag en 3 min omhoog, bij de ander tot 15 min omhoog en omlaag op 9 msw en bij grotere diepten minder). Fig. 6 geeft van deze testen resultaten. Bij 7 van de 9 geteste DCs uit de UWATEC Aladin® serie bleek de NDL tussen twee waarden heen en weer te springen. Grafisch weergegeven werd een zaagtand patroon gevonden waarvan de toppen en dalen wel elke minuut een minuut dalen, zoals afgebeeld in Fig. 7. Dit zou men misschien consistent gedrag kunnen noemen, maar de display is wel *instabiel*. Deze DCs ondergingen 2 tot 6 simulaties en het euvel bleek reproduceerbaar en is bij verschillende profielen gevonden. De kans op optreden van dit ongewenste gedrag is veel groter bij een herhalingsduik. Het euvel is het extreemst na jojoën tijdens het verblijf op het eerst volgende ondiepere constante niveau (van het 45 msw profiel). Bij een Aladin®Pro New Generation en twee Aladin® Air (X en Z) Nitrox was het "springen" van de NDL het ergst. De NDL display van de Aladin®'s kon snel wisselen zoals Fig. 7 aangeeft. Dit is heel anders dan het 'zwalkend gedrag' van de Mares dat zich over minuten uitstrekt. Vermoedelijk zullen de afwijkingen van de Maressen en UWATECS tijdens de duik niet opvallen. Dit gedrag, berustend op een mijns inziens feitelijk onaanvaardbare 'bug', is nooit door een gebruiker gemeld.

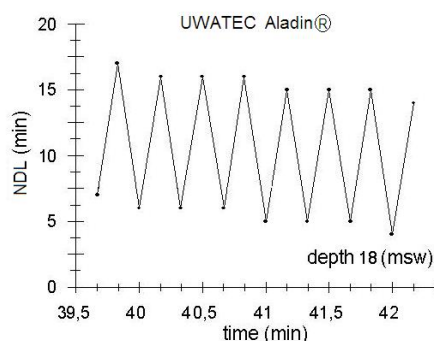


Fig. 7 Instability of an Aladin® after yo-yo's at 24 msw. The manufacturer could not give a satisfactory explanation for this behavior.

Special simulations

Test of yoyo

Objective: to examine to what extent the DC protect against and (m=7, n=29).

According to the traditional theory (Neo-Haldanian), which does not take into account the interaction bubbles-liquid, (as does RGBM of 480- and more advanced Suunto's and Nemo's) a symmetrical yoyo around a certain depth will result at the end of the yoyo in nearly the same PN_2 as the dive without the yoyo¹. This applies to all compartments, as it is checked with calculations of the N_2 saturation. (Two profiles of which the yoyo is exactly in counterphase give on average the saturation values of the control.)² NDLs and deco times will be nearly identical after the yoyo (at the most a 2 min difference) with DCs based on purely Haldanian a model. The model of the Aladin® series and the Smart is traditional whereas that of the RGBM Suunto also considers bubble formation, a reason to compare the behaviour of these DCs on yoyo's. However, it is noticed that not one manual of RGBM DCs claims to protect the diver against the consequences of yoyo's. A description of the term yo-yo is even often lacking in the manuals. In this report, a yoyo occurs when depth is increased after having reached 6 the msw (all with the correct paces). Certain fabricates use however a minimum depth difference of 12 m. Seven sessions with yoyo's have been spent.

¹ De grootte van deze kleine afwijking is afhankelijk van de amplitude van de jojo en de duur ten opzichte van de halveringstijd. De afwijking wordt steeds kleiner naarmate de jojo vaker herhaald wordt.

² De twee halve PN_2 signalen tijdens de jojo zijn tegengesteld (als afgezien wordt van de bijdrage in PN_2 t.g.v. het niveau). De eigenschappen van lineaire systemen verklaren meteen dat de twee tegengestelde jojo's samen de PN_2 van het niveau geeft (denk ook aan het superpositiebeginsel).

Speciale simulaties

Test op jojoën

Multiple yoyo's (2 up to 6) has been used and also single yoyo's (Fig. 8). The yoyo was sinusoidal (in fact trapezoidal) around one of the levels (12, 18 or 24 msw) of the standard test profile, among which sessions with few sinusoids but with large amplitudes, and sessions with small amplitudes but more often. The minimum depth of the yoyo was mostly 6 msw and two times 0 msw. The maximum depth of the yoyo varied between 20 and 48 m. The maximum yoyo time (return towards the level) was 10 minutes and peak-to peak differences 6 to 48 msw. The descent pace was always 20 msw/min and the ascent pace 10 msw/min.

Doel: nagaan in hoeverre de DC beschermt tegen jojoën (m=7, n=29).

Volgens de "klassieke" theorie (Neo-Haldaniaans), die met de bellen-vloeistof interactie geen rekening houdt, (zoals RGBM van de 480Suunto's wel doet) zal een symmetrische jojo rond een bepaalde diepte na de jojo vrijwel dezelfde PN_2 aan het eind van de jojo geven als de duik zonder de jojo¹. Dit geldt voor alle compartimenten, zoals met N_2 saturatieberekeningen gecontroleerd is. (Twee profielen waarvan de jojo precies in tegenfase is geven gemiddeld de saturatiewaarden van de controle.)² NDLen en decotijden zullen na de jojo vrijwel identiek zijn (hooguit 2 minuten schelen) bij DCs berustend op een zuiver Haldaniaans model.

Het model van de Aladin® serie en de Smart is "klassiek" terwijl dat van de RGBM Suunto's belvorming mede beschouwd, een reden om het gedrag van deze DCs op jojoën te vergelijken. Wel wordt opgemerkt dat geen enkele handleiding van een RGBM computer zegt te beschermen tegen jojo-gedrag. Een omschrijving van het begrip jojoën ontbreekt zelfs meestal in de handleidingen. In dit rapport

wordt onder een jojo verstaan het opnieuw 6 msw dieper gaan, vanzelfsprekend met de correcte snelheden. Bepaalde fabricaten hanteren echter een minimaal diepte verschil van 12 m. Zeven sessies zijn aan jojo-en besteed.

Zowel meervoudige (2 tot 6) als een enkelvoudige (Fig. 8). jojo's zijn gebruikt. De jojo's waren sinusachtige veranderingen (in feite trapezium) rondom één van de niveau's (12, 18 of 24 msw) van het standaard testprofiel, waaronder sessies met weinig 'sinussen' maar met grote uitslagen, en sessies met minder grote uitslagen maar vaker. De minimale diepte

van de jojo was meestal 6 msw en tweemaal 0 msw. De maximale diepte van de jojo was 48 m en de maximale jojo-tijd (heen en terug naar het niveau) zeven minuten. De afdaalsnelheid was steeds 20 msw/min en de stijgsnelheid 10 msw/min.

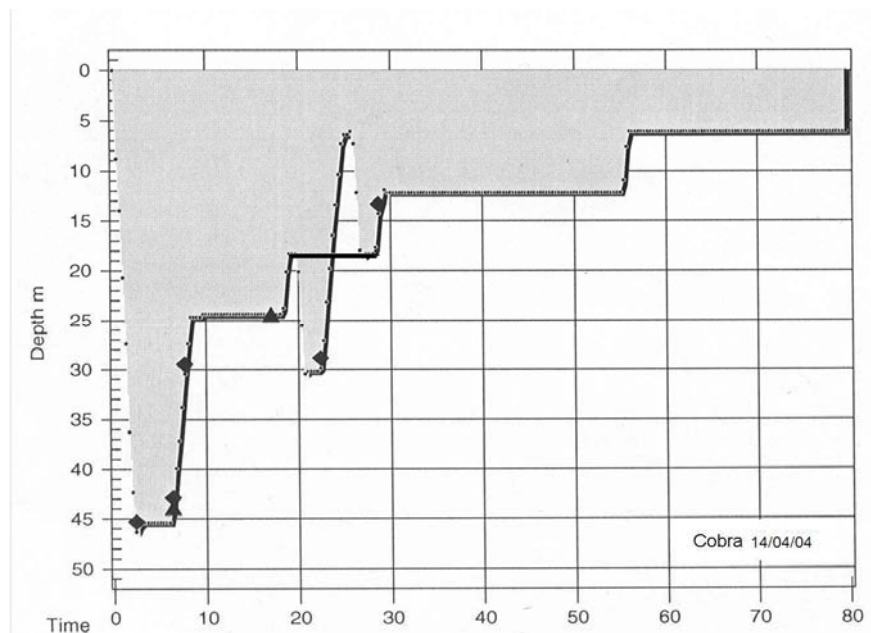


Fig. 8 A single yo-yo around the level of 18 msw of the control simulation (profile A1), depicted with the thick horizontal line at 18 msw. The peak-trough difference of the yo-yo is 24 msw.

As a control the standard test profile without yo-yo was used.

During the yo-yo's the NDL continuously changes with the depth. This indicates that the fastest compartment (of course) determines the NDL. The UWATEC Aladin® DCs and the Smart showed NDL deviations from the control which were not in the same direction or there was no change and the same applies to the Cobra. Other Suunto type and the Mares Surveyor showed the same results.

The reason for not responding to a yo-yo is probably that %M-values were too low to induce bubble formation and bubble grow. Intuitively it remains surprisingly that 1 yo-yo of 24 msw, 2 and 3 of 12 msw and 5 of 6 msw around on average fixed level has no consequences for bubble dynamics.

Finally, a yo-yo simulation was performed with

complete multiple ascents to the surface. A single yo-yo cycle was: in 1 min to MDD (maximum dive depth) of 20 msw, 2.5 stay at the bottom, in 2 min ascent to the surface, followed by a surface interval of 2.5 min before the next descent to 20 msw. Consequently, one yo-yo cycle lasted 8 min. This was repeated seven times with one Smart, two Mares M1, one Cobra and two Companions. At 0 msw the NDLs always amounted to the maximum values.

Als controle diende het standaardtestprofiel zonder jojo's.

Tijdens de jojo's gaat de NDL voortdurend met de diepte op en neer. Dit duidt er op dat het snelste compartiment (vanzelfsprekend) de NDL bepaalt. Bij de UWATEC Aladin® DCs en de Smart waren de NDL afwijkingen t.o.v. de controle niet in dezelfde richting of er was geen

verandering en het zelfde geldt voor de Cobra. Andere Suunto typen en de Mares Surveyor gaven hetzelfde beeld.

De reden van het uitblijven van een reactie is vermoedelijk dat de %M-waarden te laag waren om tot verhoogde belvorming of groei te komen. Intuïtief blijft het verrassend dat 1 jojo van 24 msw, 2 en 3 van 12 msw en 5 van 6 msw rond een gemiddeld vast level niets doet op de bel-dynamiek.

Tenslotte is een jojo-simulatie uitgevoerd waarbij

wel steeds naar de oppervlakte werd teruggekeerd. Een enkele jojo-cyclus was: in 1 min naar een MDD (*maximale duikdiepte*) van 20 msw, 2,5 min verblijven, in 2 opstijgen naar de oppervlakte waar 2,5 min verbleven wordt tot de volgende afdaling, dus cyclusduur 8 min. Dit is zeven maal herhaald met een Smart, twee Maressen M1, één Cobra en twee Companions. Op 0 msw bedroegen de NSTen altijd de maximale waarden.

The last time at 20 msw, both M1s showed a NDL of 18.5 min (interpolated over time), the two Companions 17.5 min, the Cobra and Smart both 15.5 min. At 20 msw, DCIEM gives after a stay of 7 (1+2.5) = 25 min a NDL of 15 min (interpolated between 18 and 21 msw). A response to yoyo's was only found for the Cobra after the yoyo's between 0 and 20 msw in the form of a recommended safety stop. Because the medium compartments are dominant, such as concluded from a calculation with ZH-L16C, the stop has a futile impact on the wash out (see Appendix C, Fig. C2). Moreover the bubble stress is nearly the same (only 3 msw difference). The impact of 3 the msw is in this case therefore disputable. After the 7 yoyo's only the Smart displayed a dive time which corresponds to the really expired time (7x8 -2,5 min). All other DCs do not count the time spent shallower than 1.20 msw, thus finish on a dive time, which is 15 min shorter than that of the Smart. The NFTs were 10-11 hours, only the Smart gave 5 hours. Possibly for certain DCs yoyo's influence NDLs of a repetitive dive (the same or next day) without responding at the end stage of the dive himself, but that was not examined. A limited number of times the NFTs were registered. No indications were found that these deviate from the NFTs of the control.

De laatste keer op 20 msw gaven de beide M1s een NDL van 18,5 min (over de tijd geïnterpoleerd), de beide Companions 17,5 min, de Cobra en Smart ieder 15,5 min. DCIEM geeft op 20 msw na een verblijf van 7(1+2.5) = 25 min een NDL van 15 min (geïnterpoleerd tussen 18 en 21 msw). Een reactie op jojoën is alleen gevonden bij de Cobra na de 6 jojo's tussen 0 en 20 msw in de vorm van een aanbevolen veiligheidsstop¹. Omdat de middellange compartimenten dominant zijn, zoals bleek uit een berekening met ZH-L16C heeft de stop op uitwassen een onbeduidend effect (zie Appendix C, Fig. C2). Bovendien is de bellenstress vrijwel hetzelfde (slechts 3 msw verschil). Het effect van de 3 msw is in dit geval derhalve discutabel. Alleen de Smart gaf na de 7 jojo's een duiktijd op die overeen kwam met de werkelijk verstreken tijd (7x8 -2,5 min). Alle andere DCs tellen de tijd doorgebracht ondieper dan 1,20 msw niet mee, dus eindigen op een duiktijd die 15 min korter is dan van de Smart. De NVTen waren 10-11 uur, alleen de Smart gaf 5 uur op. Wellicht heeft jojoën bij bepaalde DCs wel invloed op een herhalingsduik (dezelfde of volgende dag) zonder een reactie te geven in de eindfase van de duik zelf, maar dat is niet nagegaan. Een beperkt aantal malen is de NVT geregistreerd. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat deze afwijkt van de NVTen van de controle.

¹ Suunto kent de aanbevolen en de verplichte veiligheidsstop. Dit wat ongelukkige woordgebruik kan tot verwarring aanleiding geven omdat men de handleiding er wel goed op moet nalezen. De aanbevolen veiligheidsstop geldt voor elke duik zonder overtreding is beperkt tot 3 min (geen overschrijding stijgsnelheid). De verplichte veiligheidsstop duurt langer en omvat ook de aanbevolen veiligheidsstop van 3 min. Hij wordt anders aangegeven. Hiernaast is er de gewone verplichte stop, die al op diepte worden aangegeven, want die wordt veroorzaakt door de NDL geheel te verbruiken. Het niveau van 6 msw was bij de testen voor de RGBM, UWATEC en Mares DCs (de laatste twee fabricaten geven de diepte in zoet water aan) enkele decimeters dieper, zodat dit niveau buiten de marge van de veiligheidsstop valt. Het is mogelijk dat bij de directe opstijging van 6 naar 0 msw een eventueel aanbevolen veiligheidsstop bij de Suunto's niet altijd is opgemerkt.

Too fast ascents

Objective: to examine to what extent the DC protect against a too fast ascent (m=3, n=13). According to DCIEM, a too fast ascent must be followed by a 3 msw-stop. The manual of Suunto RGBM DCs ensures that with too fast ascents “extra security” is implied by taking into account the formation of many silent bubbles. The penalty consist of an obligatory or recommended safety stop. Also manuals of UWATEC DCs, (Aladin®, Smart) describe a sanction on too fast ascents. It was examined whether a (extra) decostop or at least 2 min lengthening of an existing decostop was imposed.

The too fast ascents from 45 msw to generally 24 msw was performed with 50-75 msw/min. According to DCIEM, this is not an emergency ascent because the too fast ascent is to a depth deeper then 21 msw. With an emergency ascent without the experience of complaints, one must return to half the MDD, stay at this depth for 3 min next to ascent to the first stop that is determined, on the basis of the then current total dive time (therefore everything including), which should be regarded as bottom time. This protocol assumes that the surface is reached, which does not holds here. For this reason the too fast ascent to 24 msw is not seen as an emergency ascent.

All examined DCs of the several types give an auditory and visual alarm. 320- and 480DCs do not protect against a too fast ascent. On the contrary, their NDL are frequently somewhat longer (as a result of the slightly faster wash out as calculated by the implemented algorithm). But also Suunto RGBM DCs (Vyper, Gecko and Cobra) give consistently longer NDLs of 1 or 2 min during the consecutive levels. At 3 msw only a safety stop (of 3 min) was recommended by the Cobra and Gecko, but by the Vyper and D6 an obligatory stop of 3 or 5 min. The Aladin® DCs and especially the Smart reacts, as the manual promises, here with one or two deco-stops. The Mares M1 has a slightly longer NDL and a more liberal stop-time regime then the control simulation. Therefore it shows counter-productive behaviour. All NFTs are ½ - 1 hour shorter.

Summarizing, for a deep dive it can be concluded that a too fast ascent to approx. ½ MDD the UWATECS correct strong, but the RGBM Suunto's have a too light penalty. Older DCs do not penalize at all, but lengthen NDL!! For an ascent up to 6 msw with 60, 90 and 150! msw/min all Suunto's and Mares DCs penalize

Te snelle opstijgingen

totally inadequate, whereas the Luna do not penalize strong enough although the give a dive prohibition for 1-1.5 day, but only 1 h NFT (Smar 16h!).

Doel: nagaan in hoeverre de DC beschermt tegen een te snelle opstijging (m=3, n=13). Bij een te snelle opstijging is volgens DCIEM een 3 msw-stop verplicht. De handleidingen van Suunto RGBM DCs zeggen “extra veiligheid” te geven door rekening te houden met te snelle opstijgingen, rekening gehoudend met het ontstaan van veel “silent bubbles”. De straf bestaat uit een verplichte of aanbevolen veiligheidsstop. Ook die van UWATEC (Aladin® DCs, Smart) zeggen een sanctie op te snelle opstijging te bieden. Getoetst is het opleggen van een (extra) decostop of tenminste 2 min verlenging van een bestaande decostop. De te snelle opstijgingen vanaf 45 msw naar meestal 24 msw ging met 50-75 msw/min. Omdat dit dieper is dan 21 msw is dit volgens DCIEM geen noodopstijging. Bij een noodopstijging dient men, bij uitblijven van klachten, terug te keren naar de halve MDD, daar 3 min te verblijven, dan op te stijgen naar de 1^{ste} stop die bepaald wordt op grond van de huidige totale duiktijd (dus alles inclusief), die als bodemtijd wordt aangemerkt. Dit protocol gaat er vanuit dat de oppervlakte bereikt is, en daar is verre van sprake van. Daarom moet de te snelle opstijging naar 24 msw niet als noodopstijging worden aangemerkt.

Alle onderzochte DCs van de diverse typen geven auditief en visueel alarm, De 320DCs (Companion) maar ook de 480DCs Spider, Solution en Maris Surveyor beschermen niet tegen een te snelle opstijging. In tegendeel, hun NDL is vaak wat langer geworden (tengevolge van het iets snellere uitwassen zoals het algoritme berekent). Suunto's Vyper, Gecko en Cobra geven tijdens de achtereenvolgende niveaus echter ook systematisch 1 of 2 min langere NDLen. Op 3 msw was bij de Cobra en Gecko alleen een aanbevolen veiligheidsstop geadviseerd, maar bij de Vyper en D6 een verplichte stop van 3 of 5 min. De Aladin® DCs en vooral de Smart reageren, zoals de handleiding belooft, hier met één of twee decostops. De Mares M1 heeft een net iets langere NDL- en lichter stoptijden-regiem dan de controle simulatie, dus contraproductief gedrag. Alle NVTen zijn ½-1 uur korter.

Geconcludeerd kan worden dat bij een te snelle opstijging bij een zeer diepe duik naar ca.

½MDD de UWATECS goed corrigeren maar de RGBM Suunto's geven extra NT, straffen niet of te licht. Bij opstijging tot 6msw met 60 of 150

msw/min reageren alle RGBM DCs heel veel te licht en licht te licht, hoewel 1-1,5 dagen duikverbod, maar NVT is 1 uur! (Smart 16 uur!).

Deco-duik 45/10, 18/8, further standard A1

Objective: to determine the degree of conservatism ($m=1$, $n=7$).

All DCs have implemented deco-dives in their algorithm. According to DCIEM the deco-times (at 3 msw) at the end of the levels 45, 24 and 18 msw are 9, 5 and 10 min respectively and for the levels 12 and 6 msw the NDLS are 60 and 295 min respectively. At 45 msw the DCs Mares Surveyor, Solution, Companion, Vyper, Spider and Aladin® have a 8, 3, 3, 1, 4 and 7 min shorter deco time respectively compared to DCIEM. This trend continues on 24 and 18 msw, be it that the Aladin® reduces the difference with DCIEM. However at 12 and 6 msw all DCs are more safe than DCIEM, since they remain all in deco. After ascending to 3 msw the Companion and Spider are the first to end deco and as the last and much later the Surveyor and Aladin®.

Also three sessions with simulations to 51 msw were made. This was primarily done in order to test the deep stop (see Deep stop). With a bottom time of 15 min DCIEM prescribes stops at 9, 6 and 3 msw of 5, 7 and 11 min respectively. Since the NDLS of the ascending phase of the M1 were chosen to lead the simulation, the behavior of the Smart, Cobra and Companion could not be assessed well during the ascent. The M1 was allowed to ascent to 6 msw, but the other DCs had to perform a stop at 9 msw (or close to 9 msw; the Cobra has a continuous deco-ceiling).

All types apprehend still to the (safety) stop at 3 msw, whereas it is simple to program as depth of the shallowest stop 4 or 5 msw. Also at a considerable swell this is in general sufficient. Attractive is the stepless decompression procedure of the Cobra and D6 (Vyper not tested). During the ascent the decompression ceiling, which slowly diminishes, is continuously displayed. The advantage is that the peaks in the %M-value curve disappear and this will diminish the generation of bubbles. The disadvantage is watching all the time the DC display.

Doel: conservatisme vaststellen ($m=1$, $n=7$).

Deco-dive of 45/10 multilevel; too fast ascent opstijging

Objective: to examine to what extent the DC protect against a too fast ascent during a deco-dive ($m=1$, $n=5$).

A simulated too fast ascent was carried out within a deco-dive simulation (see also preceding subject), the stop at 3 msw skipped.

Deco-dive 45/10, 18/8, voorts standard A1

Alle DCs hebben decoduiken in hun algoritme geïmplementeerd. Volgens DCIEM zijn de decotijden (op 3 msw) en NDLEN aan het eind van de niveaus 45, 24, 18, 12 en 6 msw respectievelijk 9, 5 en 10 min decotijd en dan 60 en 295 min NDL. De DCs Mares Surveyor, Solution, Companion, Vyper, Spider en Aladin® komen op 45 msw respectievelijk 8, 3, 3, 1, 4 en 7 min tekort aan decotijd ten opzichte van DCIEM. Deze teneur zet zich door op 24 en 18 msw, zij het dat de Aladin® het verschil verkleint. Echter op 12 en 6 msw zijn alle DCs veiliger dan DCIEM, daar ze alle in deco blijven. Na opstijgen tot 3 msw gaan Companion en Spider het eerst uit deco en als laatste en veel later de Surveyor en Aladin®.

Ook zijn drie sessies met simulaties naar 51 msw gemaakt. Dit was in het kader van het testen van de zgn. diepe stop (zie aldaar). Bij een bodemtijd van 15 min schrijft DCIEM stops voor op 9, 6 en 3 msw van respectievelijk 5, 7 en 11 min. Omdat NDLEN van de M1 de eindfase van de simulaties bepaalde, kunnen de Smart, Cobra en Companion niet goed op hun gedrag bij dit profiel beoordeeld worden. De M1 mocht direct naar 6 msw, maar de andere DCs hadden een stop op 9 msw of vrijwel 9 msw (cobra, met variabel deco-plafond).

Alle typen houden nog steeds vast aan de (veiligheids)stop op 3 msw, terwijl het toch eenvoudig is te programmeren om als ondiepste stop een diepte van 4 of 5 msw aan te houden. Ook bij behoorlijke deining is dit in het algemeen voldoende.

Aantrekkelijk is de straploze decompressie procedure van de Cobra en D6 (Vyper niet getest). Gedurende de opstijging wordt het decompressieplafond, dat langzaam verminderd, continu weergegeven. Het voordeel hiervan is dat de pieken in de curve van %M-waarde worden verdwijnen. Dit zal de ontwikkeling van bellen verminderen. Het nadeel is steeds op je DC te moeten kijken.

Deco duik van 45/10 multilevel; te snelle

The penalty was more severe than that of the too fast ascent alone because of 10 the min bottom time. Aladin® DCs (Smart not tested.) reacted with the strictest sanctions (e.g. with a wet decompression).

Doel: nagaan in hoeverre de DC beschermt

tegen een te snelle opstijging bij een deco-duik (m=1, n=5).

Een gesimuleerde te snelle opstijging is ook uitgevoerd binnen een decodruk-simulatie, met overslaan 3 msw stop. De reactie was vergelijkbaar met die van de 'gewone' te snelle

Deep stop 20/50 and 51/15

Objective: to examine to what extent a deep stop is effective (m=2, n=6)

Performed with Mares M1 (2 specimen), D6 (all with RGBM), with as reference Companion, Cobra, Aladin Air and Smart Com.

Mares M1 The deep stop was not indicated on the display of the Mares M1 with a deco-dive of 20 msw of 50 min, but it was indicated with a simulation to 51 msw during 15 min (and one of 10 min) and therefore it is a heavy deco-dive. The deep stop lasted 1 min. With the control the deep stop was skipped. It appeared that the time of ascent from 6 msw (1st stop) to 3 msw was the same within 10 s. The total dive time, after accomplish of the safety stop, was exactly the same.

D6 The deep, adjusted on 2 min, was indicated and was made at 29 msw and 18 msw. These stops extended the dive 8 min compared to control dive without deep stops.

Cobra A 1 min 20 msw stop gives a 3 min longer deco time..

Companion No change.

Smart After a deep stop of 1 min on 20 msw the total ascent time was 3 min shorter. With 2 min stops on 29 msw and 18 msw the shortening was at least 11 min!

Aladin air With the double deep stop the shortening was at least 3 min.

Conclusion Surprisingly, after 1 or 2 deep stops the UWATECs showed a shortening of the total ascent time, whereas, in contrast to the expectation, RGBM DCs did not appear to shorten the total dive after the deep stop. From recent research concerning bubble formation after a 60 msw dive the deep stop had no influence (Blatteau et al., 2005). With a 20/40 dive a deep stop even increased bubble formation (Schellart et al., 2008). But lowering has also been described in literature.

100 and 50% RGBM

With a first dive, a difference in the ascent profile between both settings of D6 was not observed (51/15 and standard profile). However, Vytec and Vyper Air showed 1-2 min
Een verschil in het opstijgingsprofiel tussen beide instellingen van de D6 werd niet

opstijging, maar 'strenger'. Aladin® DCs (Smart niet getest) reageerde met de strengste sancties. Sancties kunnen een natte decompressie inhouden

Diepe stop, 20/50 en 51/15

Doel: nagaan in hoeverre een diepe stop effectief is (m=2, n=6)

Uitgevoerd met Mares M1 (2 stuks), D6 (beide met RGBM), met als referentie Companion, Cobra, Aladin Air en Smart Com. De diepe stop werd door de Mares M1 display niet aangegeven bij een decodruk op 20 msw van 50 min, maar wel bij een simulatie op 51 msw gedurende 15 min (en één van 10 min), dus een heel zware decodruk. De diepe stop duurde 1 min. Bij de controle waar de diepe stop werd overgeslagen bleek dat de tijd van opkomen van 6 msw (de 1^{ste} stop) naar 3 msw binnen 10 s dezelfde was. De totale duiktijd, na volbrengen van de veiligheidsstop, was exact gelijk.

D6 De diepe stop, ingesteld op 2 min werd aangegeven en gemaakt op 29 msw en 18 msw. Deze stops verlengen de duik 8 min vergeleken met de referentie-duik zonder diepe stops.

Cobra Een 1 min 20 msw stop geeft een 3 min langere decotijd.

Companion Geen verandering.

Smart Na een diepe stop van 1 min op 20 msw was de totale opstijgtijd 3 min korter. Bij 2 min stops op 29 msw en 18 msw was de verkorting tenminste 11 min!

Aladin Air Bij de dubbele diepe stop is de verkorting tenminste 3 min.

Conclusie Curieuzerwijs gaven de UWATECS een verkorting van de totale opstijgtijd na 1 of 2 diepe stops. Bij de RGBM DCs bleek de diepe stop de totale duikduur in tegenstelling tot de verwachting dus niet te verkorten. Uit recent onderzoek over belvorming bij een 60 msw duik had de diepe stop geen invloed (Blatteau et al., 2005). Bij een 20/40 duik verhoogde een diepe stop zelfs de belvorming (Schellart et al., 2008). Maar verlaging is ook in de literatuur beschreven.

100 en 50% RGBM

geconstateerd. (51/15 en standaard profiel). Echter, Vytec en Vyper Air geven 1-2 min verschil.

Skipping of a stop

Aim: to establish the sanction on skipping a stop (m=5, n=9).

After skipping a stop (examined after a too fast ascent in a 51 msw simulation), UWATECs and RGBM Suunto's direct the diver to the depth of the skipped stop (or stop one stop deeper).

When this

Doel: nagaan wat de sanctie is op het overslaan van een stop (m=5, n=9)

UWATECs en RGBM Suunto's sturen de duiker bij overslaan (onderzocht na te snelle opstijging, na 51 msw simulatie) terug naar de overgeslagen stop (of een stop dieper). Wordt

For the RGBM Suunto's the Error mode results in finishing calculating stop times. From then on, only depth and time are displayed. The Error mode and SOS mode, and the associated NFTs last 48 hours. In the manual of the RGBM Suunto's is not clearly described whether skipping of an obligatory 3 msw stop leads to the Error mode.

Influence of water temperature

Aim: to examine to what extent cold and cooling down is corrected for (m=6, n=32).

A lower, constant temperature gives according to the theory shortening of NDL, and extension of the time of deco-stops. During a dive the body cools (nearly) always down, particularly in the 2nd half of the dive where there is frequently also a light diminishing of the core temperature. This gives reinforcement of the effects. The causes are slowing down of the diffusion, raised solubility and especially worsening of the circulation.

Tests have been carried out with DCs from all three DC classes. Because the temperature compensation has been only implemented in the UWATEC Aladins® and the Smart extra attention has been given to these types. Seven different constant temperatures between 0 and 36 °C were used. Because of the cooling during an actual dive also sessions were performed with decreasing temperature: one with a start temperature of 37 °C going down to 1 °C and a test going from 15 to 3 °C. At a constant water temperature below 20 °C the Smart (and Aladin® Nitrox) behaves qualitatively such as to expect from the theory and also in accordance with the specifications in the manual, i.e. shorter NDLs and longer stop times. There is no difference in NDL between a constant temperature of 21 °C and a constant

Overslaan van een stop

dit tijdens de duik protocol is not succeeded during the dive then the DC directs the diver to a larger stop depth (UWATEC). UWATEC DCs give stop times but Suunto DCs do not. When this is also ignored and one ascends, then the DCs proceed in the Error (Suunto) or SOS (UWATEC) mode. niet opgevolgd dan stuurt de DC de duiker terug naar een grotere stopdiepte (UWATEC). UWATEC DCs geeft stoptijden aan maar Suunto DCs niet. Wordt dit ook genegeerd en stijgt men op, dan gaat de DC in de Error (Suunto) of SOS (UWATEC) mode.

Bij de RGBM Suunto's resulteert dit in het beëindigen van het uitrekenen van stoptijden, waarbij alleen diepte en tijd nog worden weergegeven. De Error en SOS mode, en de bijbehorende NVT duren 48 uur. Bij de RGBM Suunto's is het in de handleiding niet duidelijk of het overslaan van een "verplichte veiligheids"stop leidt tot de Error mode.

Invloed van de water temperatuur

temperature of approx. 30 °C. At a decreasing water temperature the effect was 0-2 min longer stop times, depending on the depth. This seems rather small, such as appeared from a global calculation with a physiological temperature model of the body, in which an estimate is made of the circulatory flow and the resulting change of the half-times. The temperature correction does not take into account the actual body temperature (core, mantel, skin, etc.). This can be strongly different with the same water temperature. The usefulness of the correction is therefore rather limited.

Doel: nagaan in hoeverre gecorrigeerd wordt voor koude en afkoeling (m=6, n=32).

Een lagere, constante temperatuur geeft volgens de theorie verkorting van NDL, en verlenging van de tijd van decostops. Tijdens een duik koelt het lichaam altijd af, met name in de 2^{de} helft van de duik waarbij er vaak ook sprake is van een lichte daling van de kerntemperatuur. Dit geeft versterken van de effecten. De oorzaken zijn vertraagde diffusie, verhoogde oplosbaarheid en vooral slechtere doorbloeding.

Testen zijn uitgevoerd met DCs uit alle drie klassen. Omdat de temperatuur compensatie alleen is ingebouwd in de UWATECS is aan deze typen extra aandacht geschonken. Zeven verschillende constante temperaturen

tussen de 0 en 36 °C zijn gebruikt. Vanwege de afkoeling tijdens een feitelijke duik zijn ook sessies gehouden bij aflopende temperatuur: een waarbij een temperatuur van 37 °C terugliep naar 1 °C en een test teruglopend van 15 naar 3 °C.

Bij een constante watertemperatuur onder de 20 °C gedraagt de Smart (en Aladin® Nitrox) zich kwalitatief zoals te verwachten volgens de - Haldaniaanse theorie en ook conform de specificaties, d.w.z. kortere NDLEN en langere stoptijden. Er is geen verschil in NDL tussen een constante kamertemperatuur en een constante

temperatuur van ca. 30 °C. Bij een dalende watertemperatuur was het effect 0-2 min langere stoptijden, afhankelijk van de diepte. Dit lijkt aan de kleine kant, zoals bleek uit een globale berekening met een fysiologisch temperatuur model van het lichaam, waarin een schatting gemaakt is van de doorbloeding en daaruit de verandering van de halveringstijden. De correctie houdt geen rekening met de feitelijke lichaamstemperatuur (kern, schil, e.d.). Dit kan sterk verschillend zijn bij dezelfde water temperatuur. Het nut van de correctie is dus vrij beperkt.

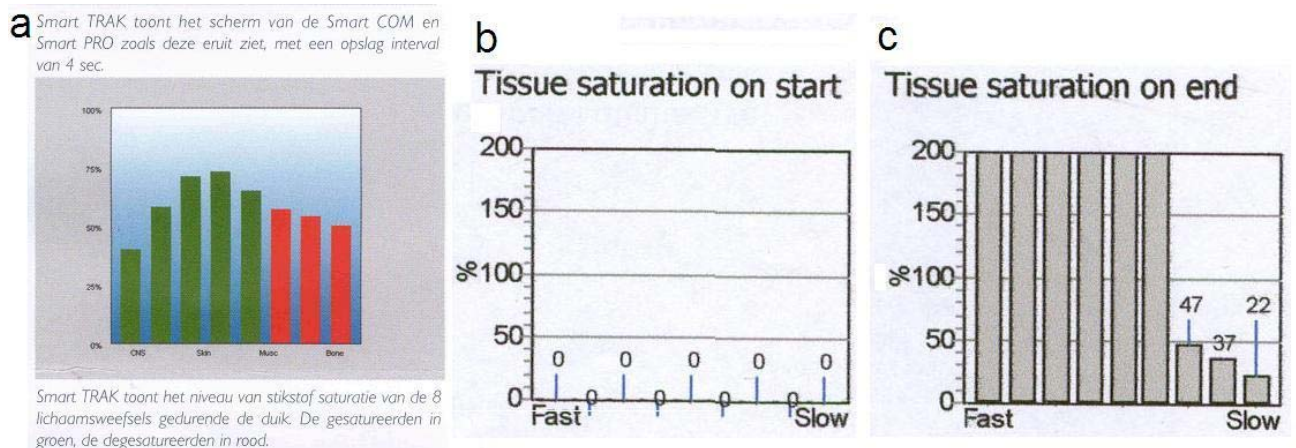


Fig. 9 a. %M-values of the actual depth of a Smart, calculated with absolute pressures. From to left to right pairs of bars present central nervous system, skin, muscle and bone. b, c %M-values at 0 msw of a RGBM Suunto, calculated with relative pressures. c is after a surface interval of 90 min.

Effect of personal adjustment

This has only examined for the Gecko and the Cobra, both Suunto RGBM DCs. These adjustments (P1 and P2) are equal to the altitude adjustments (A1 and A2). This is fundamentally incorrect, because altitude adjustment must rely on atmospheric pressure. The correct way is to make the underlying coefficients of the M-value more conservatively. The impact of P1 is already very large. With the standard profile the NDL with PO can be for instance 20 min whereas P1 indicates a stop of 10 to min. This makes diving with a buddy more cumbersome. More settings are recommended, also in between P0 and P1, and in between P1 and P2.

UWATEC solved this more appropriate by introducing the microbubble settings (which change the coefficients of the M-value).

Nitrox (EAN), 30/40 dive

With 36% Nitrox, the Gekko and D6 give much shorter NDLS (26 and 32 min respectively) than the NOAA Nitrox II 2004 table (at 30 msw 50 min). With 40% Nitrox, the NDL of D6 is 7 min longer. NFT of almost 17h seems realistic.

Effect van persoonlijke instelling

Dit is alleen nagegaan voor de Gekko en de Cobra, beide Suunto RGBM DCs. Deze instellingen (P1 en P2) zijn gelijk aan de bergmeestellingen (A1 en A2). Dit is principieel onjuist is, want nu wordt gerekend met de luchtdruk van de omgeving terwijl de coëfficiënten waarop de M-waarden gebaseerd zijn conservatiever zouden moeten worden. Het effect van P1 is al zeer groot, bij het standaardprofiel. In PO kan de NDL bijv. 20 min zijn terwijl de P1 stand 10 min deco aangeeft. Dit maakt het duiken in buddy-verband lastig. Instellingen tussen 0P en P1 en tussen P1 en P2 zouden ook moeten bestaan. UWATEC heeft dit met de microbellenstanden beter opgelost (wel aanpassing van de coëfficiënten).

Nitrox (EAN), 30/40 dive

UWATEC DCs are approximately 7 min less conservative in their NDL times and the NFTs are 5 h shorter. CNS% appears to increase linearly with time.

The repetitive dive (21/14, 15/37, 12/68, 11/263) with 36% Nitrox and surface interval of 10 min resulted in a linearly increasing CNS% up to 100% (Smart). At 100% CNS% the Smart responded in accordance with the manual. Then the simulation was ended.

min langer. Een NFT van bijna 17h lijkt realistisch.

UWATEC DCs zijn ongeveer 7 min minder conservatief in hun NDL tijden en de NFT is 5 h korter. Het CNS% blijkt lineair met de tijd op te lopen.

Een herhalingduik (21/14, 15/37, 12/68, 11/263) met 36% Nitrox en oppervlakte interval van 10 min resulteerde in het lineair oplopen van CNS% tot 100% (Smart). Op 100% CNS% reageerde de Smart conform de handleiding werd en de simulatie werd vervolgens afgebroken.

Gebruik van 36% Nitrox bij Gekko en D6 geeft veel kortere NDL (resp. 26 en 32 min) dan de NOAA Nitrox II 2004 tabel aangeeft (bij 30 msw 50 min). Met 40% Nitrox is de NDL van de D6 7

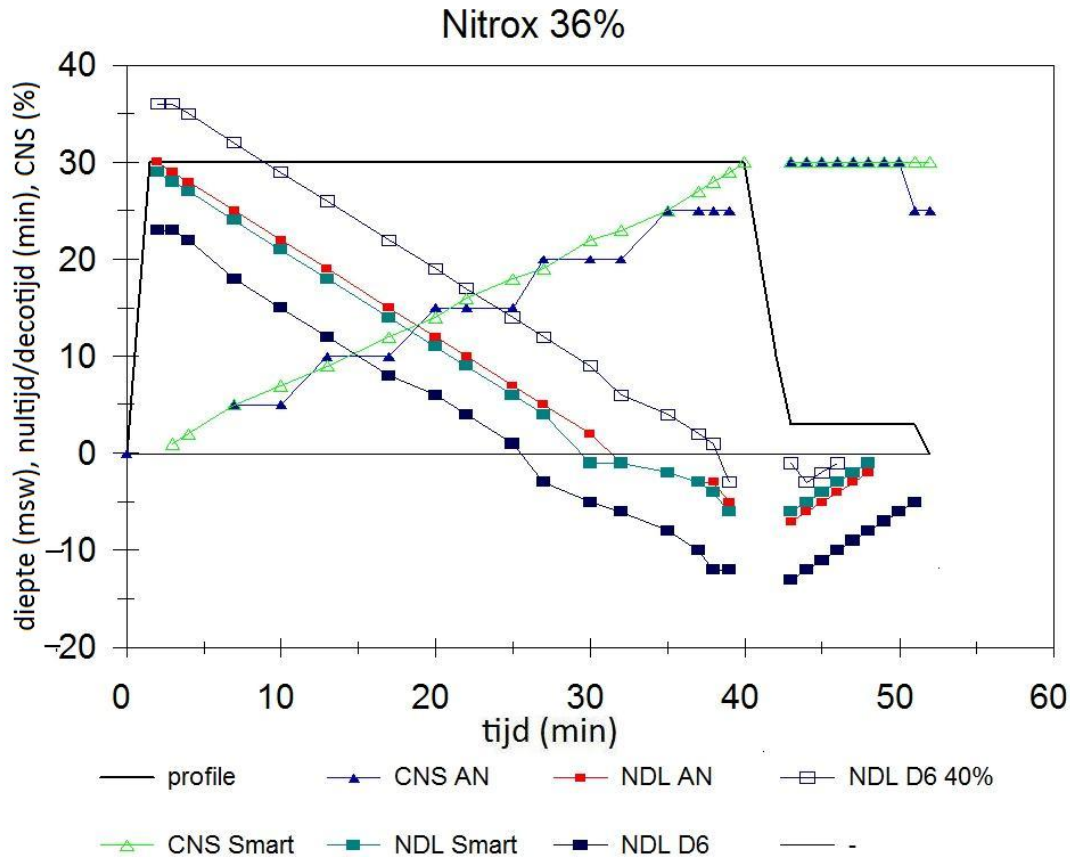


Fig. 9a De negatieve waarden op de verticale as geven de decotijd op 3 msw. De grotere nultijd met 40% is een gevolg van de lagere M-waarden, niet van de iets geringere zuurstof belasting.

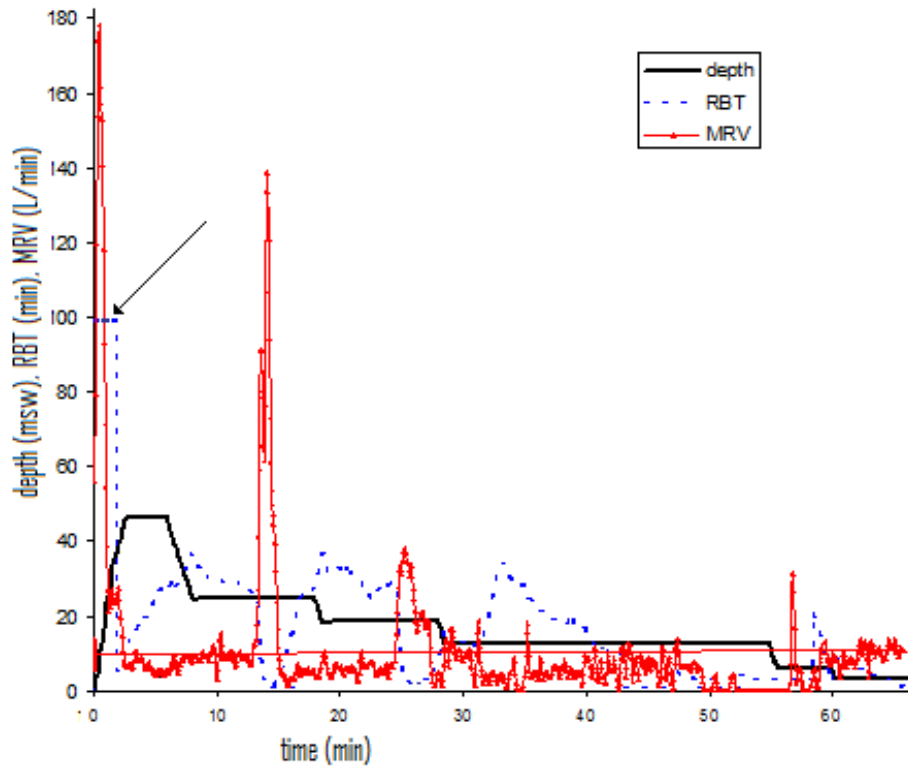


Fig. 10. The profile is the standard 45 msw multilevel dive (A1). During the descent, a large consumption is adjusted. Despite this, during about two minutes an RBT of 100 min is given (indicated by arrow), possibly as a kind of default at the start? Arrived at 45 msw, RBT increases only slowly. The Smart RBT algorithm seems to have a hysteresis: fast lowering with increase and slow enhancing RBT when decreasing the consumption.

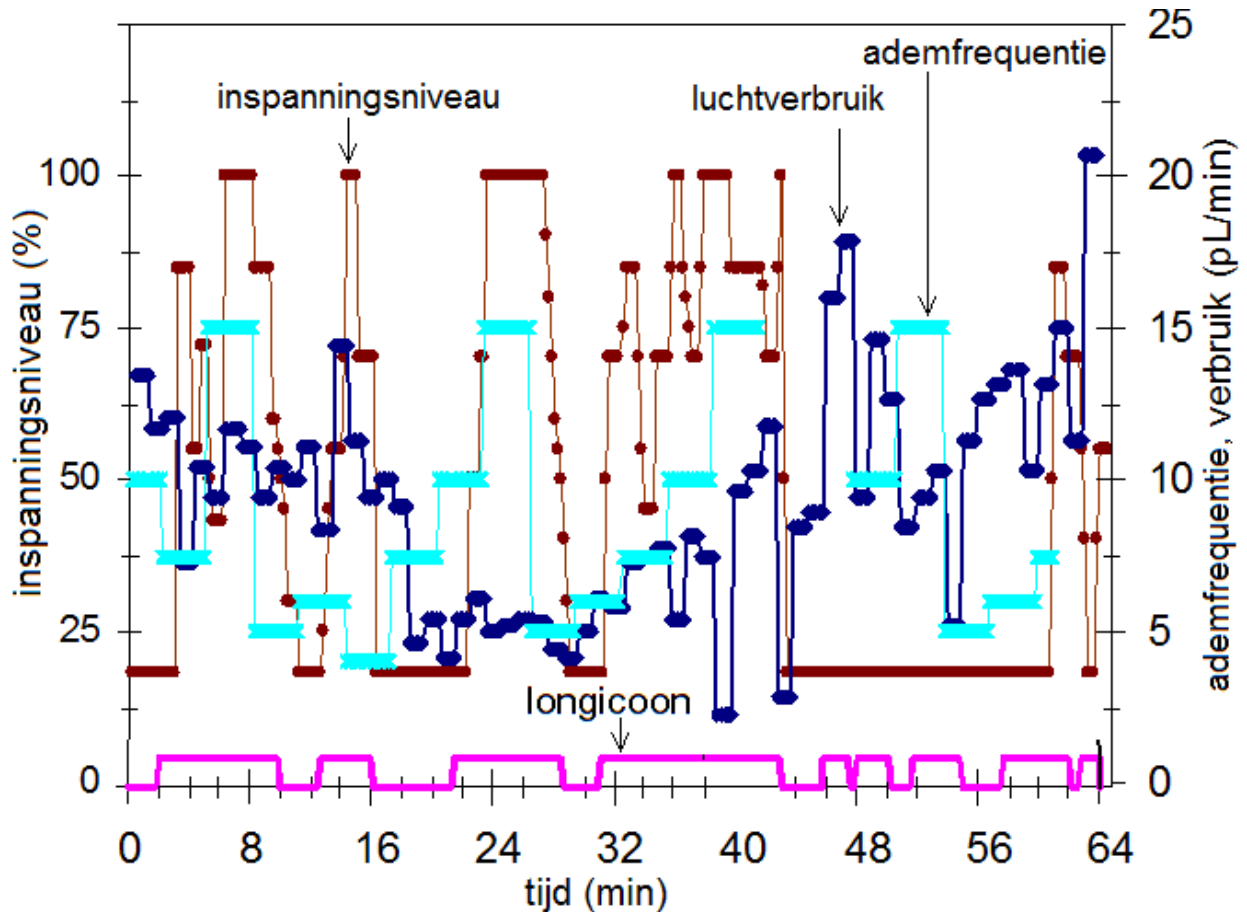


Fig. 10a. Simulation of the effort level as displayed in the download of the Galileo Luna with effort signal (% , inspanningsniveau) and the lung-icon signal. Also the respiration rate (ademfrequentie) and the actual consumption (lucht verbruik) are given.

The D6 displayed until the end of this dive only 1.6 bar O₂ and no OLF value, what was expected seen the manual. (This D6 is one of the first specimens. Possibly, the OLF value is given in the newer copies.) After surfacing, CNS% of the Smart decreases exponentially with a halve time of approx. 95 min.

Remaining bottom time (RBT) (m = 1, n = 1)
The Smart, Galileo, Vytec and Vyper air measure the momentaneous air consumption. The DC calculates the remaining bottom time, RBT. Generally, the change of RBT reflects the consumption well. With an extrapolated shortage (minimal bottle pressure adjustable) the arrow indicating the obligate ascent is blinking. Just

De D6 gaf tot het eind van deze duik alleen 1.6 bar O₂ aan en geen OLF waarde, wat gezien de handleiding wel verwacht was. (Deze D6 is een van de eerste exemplaren. Wellicht wordt het OLF signaal nu wel gegeven.) Na opkomen neemt de CNS% van de Smart exponentieel af met een halveringstijd van ca. 95 min

Overblijvende bodumtijd (RBT)
before blinking a visual warning sign (and beeps) is given in the form of dive bottle symbol De Smart Z, Galileo, Vytec and Vyper meten het momentane luchtverbruik. Hieruit berekent de DC de resterende bodumtijd, RBT. De verandering van RBT geeft i.h.a. het luchtverbruik goed weer. Bij een geëxtrapolerd tekort (limiet flesdruk instelbaar) knippert de

opstijgpijl. Vlak voor het zover is wordt een waarschuwingsteken (met geluidssignaal) in de that will blink at a still tighter air stock. But in case one is in deco this indicator is not given, so that one must utilize, if necessary, the reserve air.

Despite of these comments RBT gives important information during the dive.

Effort level calculated from respiration frequency

The effort level generates in the DC (in an unknown way) the ascent profile.

From the inspiration frequency with the first 90 seconds of the dive as reference, Smart and Galileo calculate the effort level, indicated by a scale in % (7 levels) in the download and by a low-high signal indicated by a lung icon (with in addition sound signal during the dive). The effort level (%-scale), the lung symbol and the inspiration frequency appear mutually poorly correlated. However, they are not correlated at all with the real air consumption, measured in ambient liters per minute (see Fig. 10a). The difference between maximum and minimum value of the effort level seems to be too small on the basis of the range of the air consumption. Exercise level was also analyzed of various open sea dives of two Smarts and Galileo Luna. The analysis confirmed above findings.

Conclusion: the exercise level measured from the respiration should not be used since it generates incorrect ascent profiles.

Effort level measured with the cardiometer of the Galileo Luna

When the heart rate setting is 'on' then the DC display gives the heart rate in beats/min, in the air as well as submerged. In general, this occurs only incidentally with a flaw, which is presented in the download by a sharp positive or negative peak with unrealistic rate values (Fig. 10b).

From the heart rate the effort level is determined, which in turn determines the ascent profile. With 4 simulations it was established that the effort level indeed determines the length of the 3 msw stop. A very low level, in fact rest, gives a shorter 3 msw stop than the default setting (i.e. cardiometer setting off). The differences in length are roughly in accordance with the Bühlmann model.

Conclusion The cardiometer signal is a valuable extension since it gives insight during and after the dive in the effort level (and so air consumption), but also about mental stress.

vorm van een flessymbooltje gegeven dat bij nog krappere luchtvoorraad

gaat knipperen. Maar als men in deco is wordt dit signaal niet gegeven, zodat men zo nodig de reservelucht moet aanspreken.

Ondanks deze kanttekeningen geeft RBT belangrijke informatie tijdens de duik

Inspanningsniveau berekend uit de ademfrequentie

Het inspanningsniveau genereert (op onbekende wijze) het opstijgprofiel.

Uit de ademfrequentie met de eerste 90 seconde van de duik als referentie berekent de Smart en Galileo het inspanningsniveau dat wordt weergegeven met een schaal in % (7 niveau's) en een laag-hoog signaal aangeduid met een long-symbooltje (met tijdens de duik een geluidssignaal). Het inspanningsniveau in %, het signaal met het long-symbooltje en de ademfrequentie blijken onderling niet goed samen te hangen. Bovendien hangen ze helemaal niet samen met het werkelijke luchtverbruik (zie Fig. 10a). Het verschil tussen maximale en minimale waarde van het inspanningsniveau (% schaal) lijkt te klein op grond van de range van het verbruik.

Het inspanningsniveau werd ook geanalyseerd bij meerdere open water duiken van twee Smarts en Galileo Luna. De analyse bevestigde bovenstaande bevindingen.

Conclusie: het inspanningsniveau gemeten met de ademhaling moet niet worden gebruikt omdat het incorrecte opstijgprofielen genereert..

Inspanningsniveau gemeten met de cardiometer van de Galileo Luna

Met het hartsignaal 'on' geeft de DC display de hartslag in slagen/min, onderwater maar ook in de lucht. Soms treedt een fout op, die zich in de download uit als een scherpe positieve of negatieve peak met onrealistische waarden (Fig. 10b).

Uit het hartslagsignaal (slagen/min) wordt de inspanning bepaald, die op zijn beurt het opstijgprofiel bepaald. Met een 4-tal simulaties is vastgesteld dat het niveau van de inspanning inderdaad de duur van de 3 msw stop bepaald. Een zeer lage inspanning, feitelijk rust, geeft een kortere 3 msw stop dan de default setting, d.w.z. cardiometer stand uit. De verschillen in stopduur zijn globaal in overeenstemming met het Bühlmann model.

Conclusie Het cardiometersignaal is een zeer waardevolle aanvulling, omdat men tijdens de duik en achteraf inzicht krijgt in de inspanning (dus ook luchtverbruik) maar het geeft ook

informatie over mentale stress.

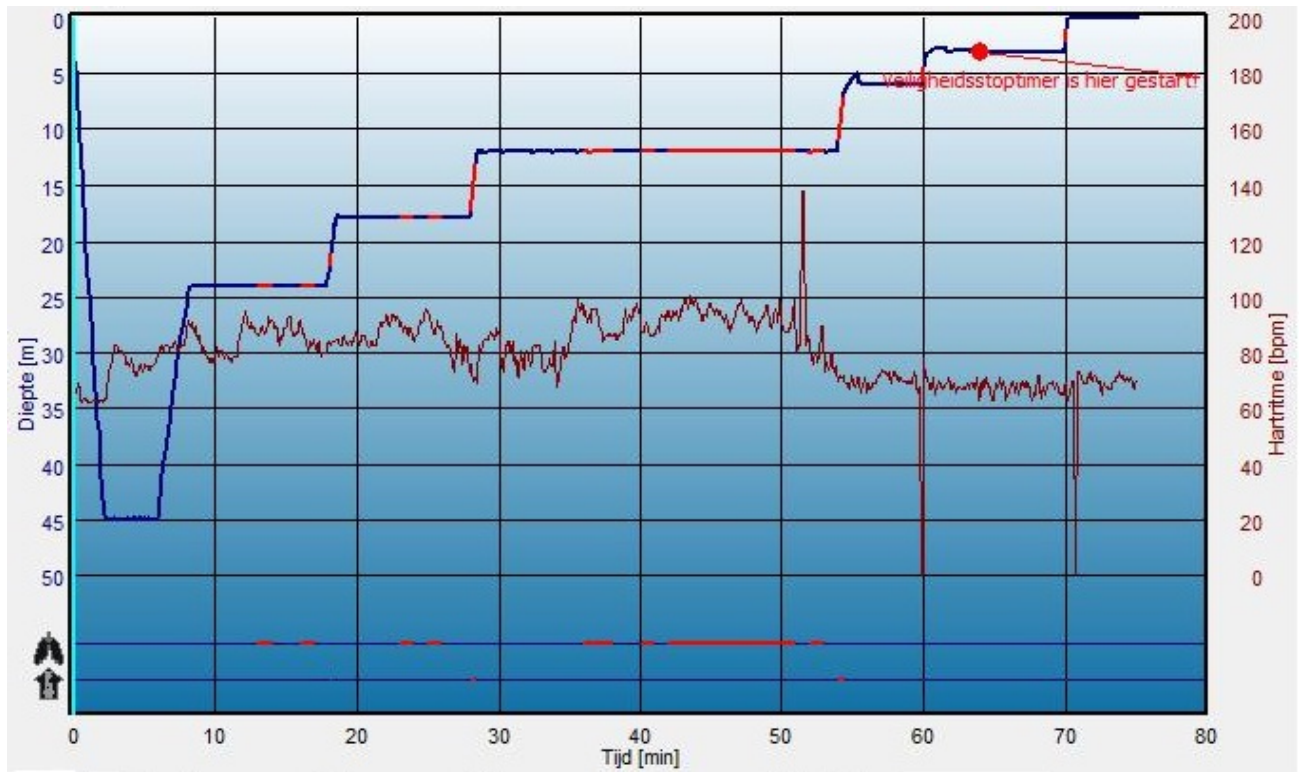


Fig. 10b Simulation with the Galileo Luna in the test chamber and the cardiometer measuring the effort level of a subject. Profile (left vertical axis) and cardiometer signal (right vertical axis). The bottom trace gives the signal of the yes/no high effort level.

5. PC-faciliteiten

Geavanceerde DCs hebben vaak de mogelijkheid het gemaakte duikprofiel en bijbehorende bijzonderheden uit te lezen met een PC. Dit kan bijv. met de Smart, de nieuwere Suunto's, en met de nieuwe Mares versies vanaf M1. Bij een aantal van deze DCs is het ook mogelijk, "het niveau van de stikstof saturatiegraad" (Smart) of de "Tissue saturation" te bekijken. Beide grootheden zijn feitelijk de %M-waarde van de diverse 'weefsels'¹. Met een cursor-lijn kan elke minuut (of vaker) van de ingelezen duik of simulatie de %M-waarde bekeken worden aan de hand van een staafhistogram (zie Fig. 9). De 5 linker staven van Fig. 9a geven volgens de Smart handleiding de gesatureerde en de rode de gedesatureerde compartimenten aan. Beter is het te spreken van respectievelijk de supergesatureerde (ontgassende) en de subgesatureerde (opnemende) compartimenten. Als de waarde boven de 100% komt wordt de staaf paars. Het vooraf (planning) of achteraf (gemaakte duik) bekijken van de %M-waarden *behorend bij de actuele diepte*, zoals geldt bij de Smart en de Suunto RGBM DCs is niet zo leerzaam. Van meer belang is te weten hoe op bijv. MDD of andere diepte niveaus van waaruit werd/wordt opgestegen de %M-waarden ten opzichte van de oppervlakte of liever, het decoplafond oplopen/oplopen. Wil men het staafdiagram echt kunnen gebruiken dan is het wel nodig het begrip %M-waarde van het decoplafond te kennen. Bij de D6 en de Cobra (Fig. 9c) bleken de %M-waarden enkele tientallen minuten na het ingaan van het oppervlakte interval opnieuw zeer sterk op te lopen. Bij een Haldane model kan dit niet. Voor meerdere compartimenten werden echter merkwaardigerwijs %M-waarden van tot wel 200% weergegeven, zelfs bij heel lichte duiken. Dit zal veroorzaakt worden door een programmeerfout.

¹ Beide benamingen zijn gebrekkig. Gesproken moet worden over "de mate van kritiek zijn" (in %) van de saturatie van de 'weefsels'.

De PC-weergave van de jojo-simulatie van 7 maal 20-0 msw met de Cobra gaf geen weergave van de tussenliggende oppervlakte intervallen ondieper dan 1,20 m. Of deze onvolkomenheid zich beperkt tot een cosmetische fout is onduidelijk, of dat real-time en bij de "play back" de berekening ook niet helemaal goed is, kon niet worden nagegaan.²

De D6 heeft de diepe stop (kleinste stopdiepte 18 msw). De diepe stop heeft als (oorspronkelijke) bedoeling dat de duik niet langer mag duren dan zonder diepe stop. Dit is getest met meerdere simulaties (diverse MDDs). Met de diepe stop lagen de %M-waarden echter iets hoger. De %M-waarden hebben echter allen betrekking op de opgeloste stikstof. Het belvolume (in weefsels en bloed) zou na de diepe stop wel kunnen zijn afgenomen. Deze volumina weergegeven zou heel instructief zijn.

De diepten en tijden zijn van Suunto RGBM DCs t/m de oude Cobra niet te exporteren, die van de Mares M1 en nieuwere Mares modellen en UWATECS vanaf Smart wel.

6. Handleidingen

Een ander punt van zorg is de kwaliteit van de handleidingen. Vele handleidingen geven erg weinig informatie over het onderliggende model. Ook is de informatie over de feitelijke werking van de DC vaak mager. Een voorbeeld is dat bij de Mares M1 onvermeld blijft bij welke duiken een diepe stop wordt geadviseerd (op de display) en dat de Cobra ook decostops heeft die geen veelvouden zijn van 3 msw zijn. Geen enkele UWATEC handleiding geeft de halveringstijden en een NDL-tabel, maar de laatste is wel uit de DC te halen. UWATEC handleidingen zeggen dat ook bellenberekeningen geïmplementeerd zijn, maar met wat voor model (VPM, RGBM, fase equilibrium, diffusieve bubble growth, etc.) is onduidelijk. De met name genoemde vier bellenmodellen zouden leiden tot een diepe stop, iets wat de UWATEC DCs niet kennen. Literatuurverwijzingen komen niet voor en trefwoordenregisters vaak ook niet. Het weergegeven van testresultaten volgens gangbare normen wordt zelden gedaan en als dat zo is (bijv. Smart), is het zo incompleet dat het weinig zeggend is. Wellicht is fabrieksgeheim de oorzaak, maar dat is dan wel extreem door gevoerd.

Hoe men de diverse programma's (logboek, plannen) in de DC moet gebruiken is vaak (te) summier of onduidelijk beschreven.

Op het gebied van consumentenvoorlichting schieten alle fabrikanten wat betreft hun informatie over het onderliggende decompressie model min of meer tekort, waarbij UWATEC de minste informatie geeft. De handleiding van de Smart is een duidelijke verbetering ten opzichte van voorgaande UWATEC handleidingen (ook al zijn er nog onduidelijkheden over het model). De Suunto handleidingen en die van de Galileo voldoen.

² De auteur slaagde er niet in de file, elders gemaakt, in te lezen, nog lukte het om het logboek van deze Cobra uit te lezen op de PC.

7. NDLs of dive tables and DCs, and ascent velocity

No deco limits

Safety or conservatism of dive tables and DCs is in the first place determined by no-deco limits of square dives. But also NDLs of multilevel dives and deco-stop times are of importance. Other important factors are the strategy for repetitive dives and multiday diving, altitude diving and NFTs.

NDLs of dive tables for square dives are quite different. This can result in two stops for the conservative table and no stop for the liberal table. Fig. 11 gives NDLs for six often used tables for square dives. The sequence of increasing conservatism for dives between 12 and 39 msw is: USN08, PADI, NAUI, SSI, Bühlmann/DCIEM.

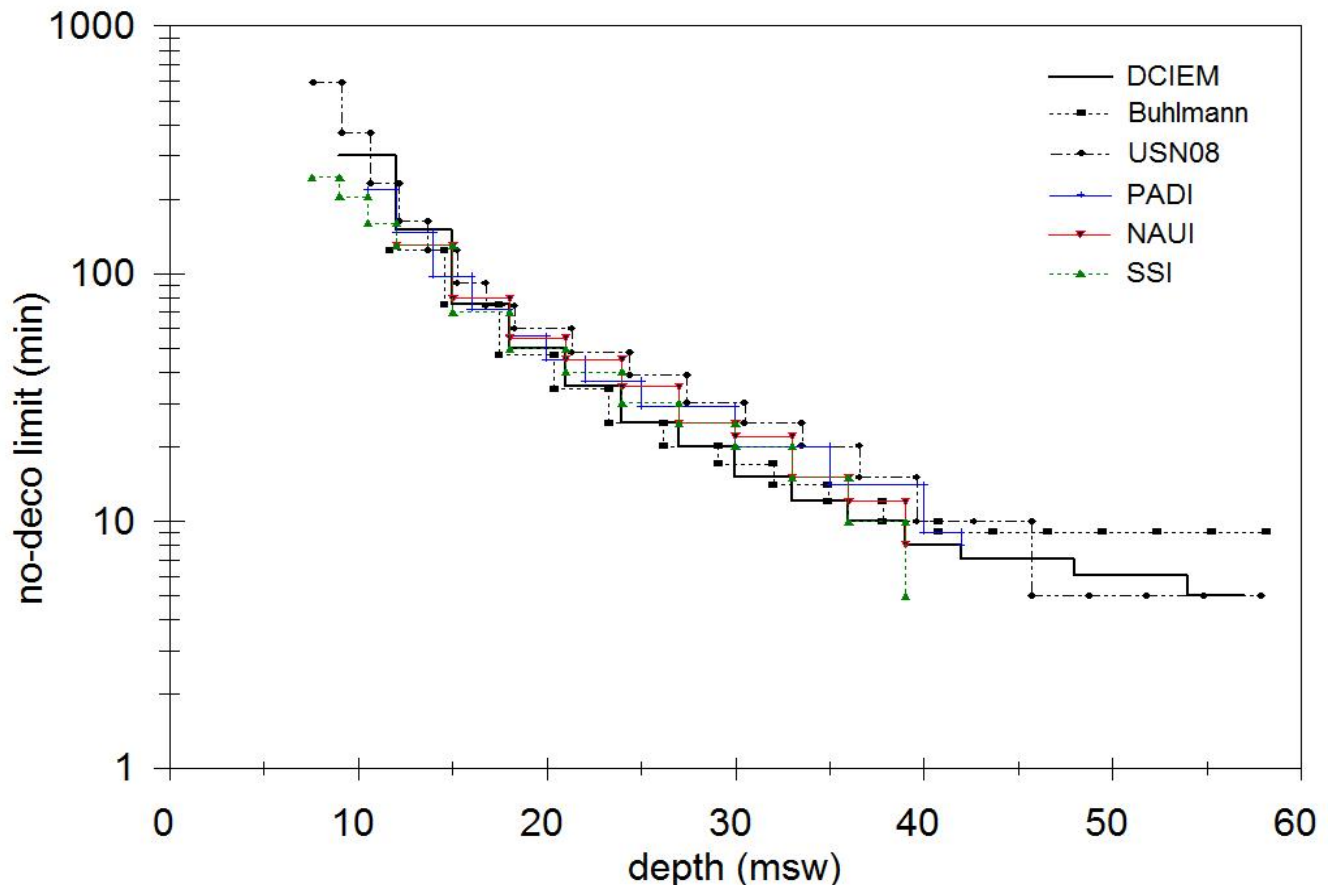


Fig. 11. NDLs of square dives of six well known decompression tables. The USN08 (2008) and Bühlmann table is based at DCS prevalence, and DCIEM and SSI are based at Doppler measurements of venous gas embolism.

NDLs of square dives of DCs show less variability, but still considerable, as shown in Fig. 12. The two US-made DCs, Source and the XR2 of Aeris have obsolete NDLs, whereas the Finish Companion, developed in about the same time, has not. Most conservative between 12 and 39 msw are the Swiss made Smart and US-made Aqualab. The classical 50-rule in case of break down of the DC and not having a dive table, shows to give a save escape.

Much more important for the variability between DCs is the NDL during the ascent of non-square dives, e.g. multilevel dives or more complicated profiles. Also, as shown in the previous paragraphs is large variability found for repetitive and multiday diving.

Ascent pace

For a long time the velocity of the ascent was 18 msw/min or close to that. However, in the eighties the scientists and technicians developing diving tables and the first dive computers concluded from the

statistics of DCS that 18 msw/min was anyway for the whole ascent to fast, and especially for the most shallow depths.

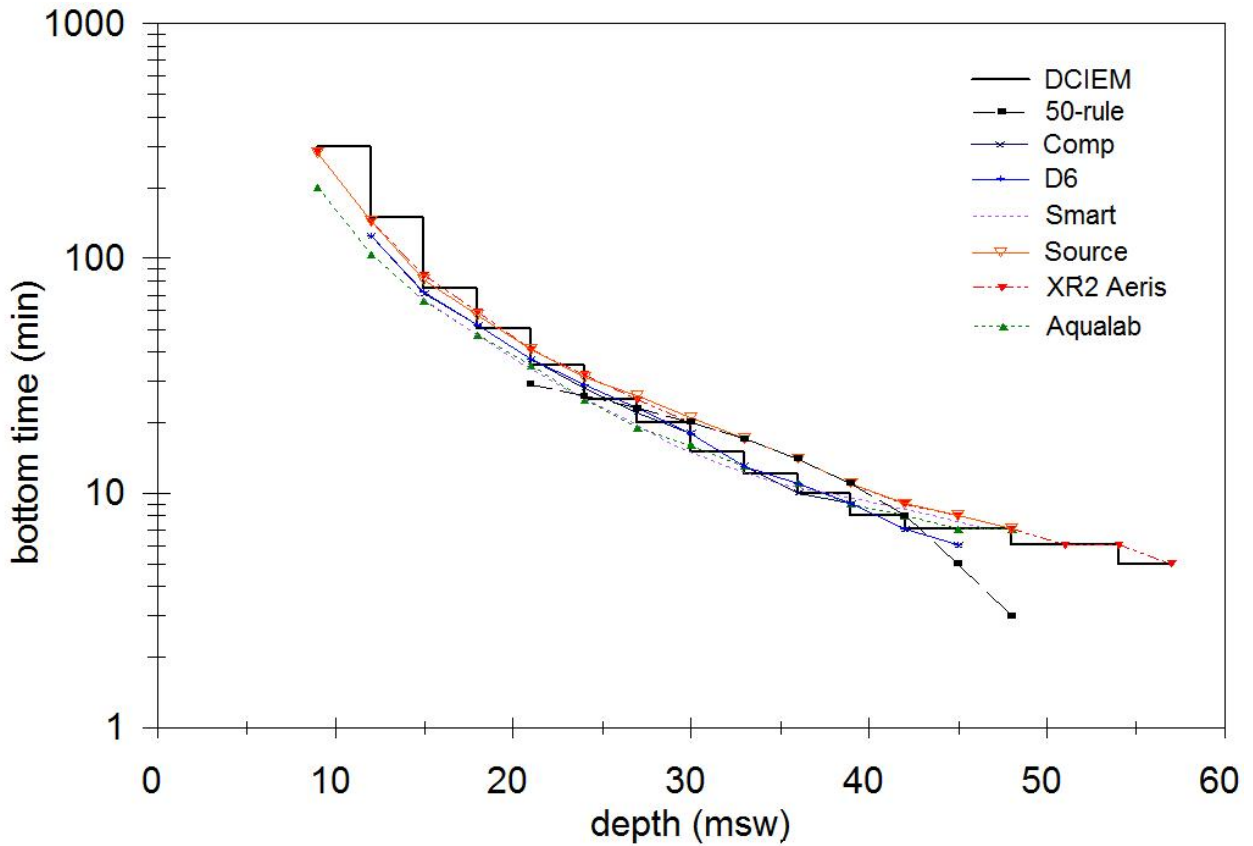


Fig. 12 NDLs of square dives for DCIEM, some DCs and the classical 50-rule for emergency.

Nowadays recommended fixed paces between 9 and 12 ms^w/min are found, but variable paces too (UWATEC). DCIEM and all organizations using DCIEM reduced mostly the velocity to 10 ms^w/min, but sometimes faster (Koninklijke Marie [Royal Dutch Navy]).

In my opinion, taken the experimental (bubble and DCS occurrence) and theory (bubble formation) scientific literature into account, the velocities used by the UWATEC DCs can be considered as very close to the theoretical optimum, so it is practically ideal. Fig. 13 gives ascent profiles performed such that the recommended velocity (100% at the display) is as best as approached.

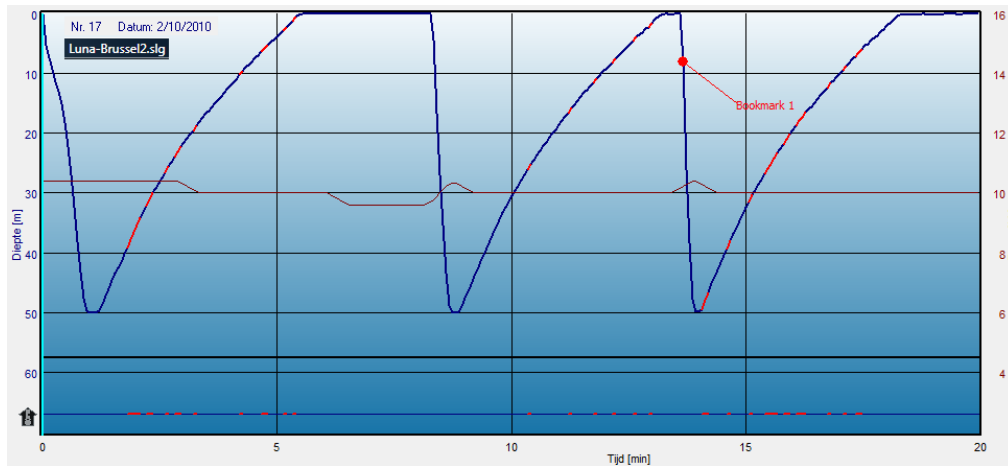


Fig. 13 three ascent profiles with 100% ascent velocity according to UWATEC Gallileo Luna.

Fig. 14 gives the velocity as function of depth for the 3 ascents averaged.

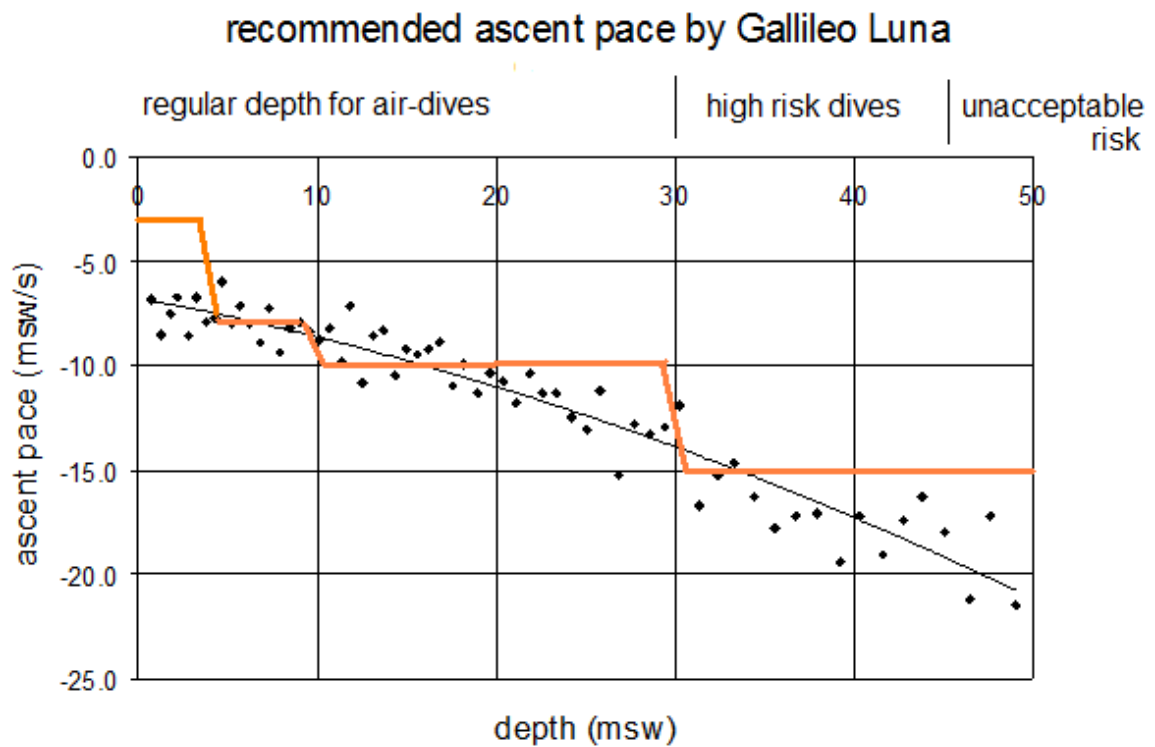


Fig. 14 The experimentally determined ascent velocity as function of depth according to Gallileo Luna. The smooth curve approaches this velocity very well. However, ascent paces >15 msw are not recommended by the author. Moreover, shallower than 6 msw, ascent paces should be reduced to 3 msw/min to prevent bubble stress.

8. Conclusions

Test items

Conclusions mentioned below only respect the few specimens of a (sub)type (1 to 4) and are based at rather few simulations (only occasionally more than 5). It is possible that other specimen and other simulations lead to other conclusions.

Display Depths (with a single exception) and times were correctly given, but the temperature with small accuracy and with most types 2-3 min delayed after a change.

NDL of the 45 msw dive According to the current standards 320DCs are insufficiently conservative. The 480DCs are slightly more conservative.

NDLs of the Trac, Aladin® UWATECs, RGBM Suunto's and RGBM Mares's developed in the 90thies differed on depths around 20 msw several minutes and that increased at 12 and 6 msw to at least 25 min! With a deep dive, in the second half of the multilevel dive, these DCs appeared sufficiently conservative except the RGBM Suunto's (not D6) and shallower than 15 msw more conservative than DCIEM. Suunto's are relatively liberal at levels shallower than 20 msw, particularly the Vyper (3 out of 4).

Repetitive dive The Trac (especially), Smart, Mares's up to M1 and Aladin® DCs are also with a repetitive dive most conservative but the difference with the RGBM Suunto had become smaller. All Vypers (RGBM) were now, however, conservative. The test of the 3-fold repetition with shallow dives shows that the Trac is sufficiently conservative, but the Suunto models older than 1995 were too liberal with respect to DCIEM.

Multiday repetitive diving 320- and 480 DCs, and the Dive Mate are unsuitable for multiday repetitive diving. The Cobra is safe (NDL and NVT), but this holds less for the Aladin® sub-type. Moreover, also the DCIEM tables are too liberal. D6 and Mares Nemo were most conservative.

Reproducibility of the same DC and between DCs of the same (sub)type This varied from very well (UWATECS, Mares M1), via reasonable (Cobra) and moderately (Mares Surveyor) to very moderate or unacceptable for older types. The Vyper probably has two versions, one conservative (correct) and one operation deformity, some without reproducibility. Smart behaved well reproducible This item was not examined with Mares Nemo, Suunto D6 and Galileo.

Instability of NDL The Aladin® types showed instability of NDL display and that was consistent for all performed sessions. The Mares Surveyor (Nitrox) showed inconsistency of the NDL.

Conclusies

Test onderwerpen

Onderstaande conclusies hebben alleen betrekking op de weinige exemplaren (1 tot 4) van een (sub)type en vrij weinig simulaties (alleen bij uitzondering meer dan 5) die hiermee gedaan zijn. Het is mogelijk dat andere exemplaren en andere simulaties tot andere conclusies leiden.

Weergave Diepten (op een enkele uitzondering na) en tijden werden correct weergegeven, maar de temperatuur met geringe nauwkeurigheid en meestal sterk achterlopend bij verandering.

NDL van de 45 msw duik De 320DCs zijn volgens de huidige normen onvoldoende conservatief. De 320Aladin Pro was slecht reproduceerbaar. De 480 DCs zijn conservatiever maar minder dan de geavanceerde DCs. De Mares Surveyor is als enige 480DC conservatief te noemen.

De NDL van de Trac, UWATECs, RGBM Suunto's en Mares M1 verschilden op diepten rond de 20 msw meerdere minuten en dat liep op 12 en 6 msw op tot ruim 25 min! Bij een diepe duik bleken deze DCs behalve de Suunto's (niet D6) voldoende conservatief in de tweede helft van de duik en ondieper dan 15 msw conservatiever dan DCIEM. Suunto's zijn bij levels ondieper dan 20 msw relatief liberaal, met name de Vyper (3 van de 4).

Herhalingsduik De Trac (vooral), Smart, Maessen en Aladin® DCs zijn ook bij een herhalingsduik het conservatiefst maar het verschil met de RGBM Suunto's was kleiner geworden. Alle Vypers (RGBM) waren nu wel conservatief. Bij de test met de 3-voudige ondiepe herhaling was de Trac voldoende conservatief maar de Suunto modellen van voor 1995 waren te liberaal ten opzichte van DCIEM.

Meerdaagse herhalingsduiken De 320 and 480DCs en de Dive Mate zijn ongeschikt voor multiday diving. De Cobra is veilig bij meerdaagse herhalingsduiken (NDL en NVT), maar dit geldt iets minder voor de Aladin® subtypen. Overigens zijn ook de DCIEM tabellen te liberaal. D6 en Mares Nemo zijn het meest conservatief.

Reproduceerbaarheid van dezelfde DC en tussen DCs van hetzelfde (sub)type. Dit varieerde van zeer goed (UWATECS, Mares M1), via redelijk (Cobra) en matig (Mares Surveyor) naar zeer matig (of onacceptabel voor) voor oudere typen. Bij de Vyper lijken er twee versies te zijn, een goede conservatieve en een mis-product. Ze vertoonden soms helemaal geen reproduceerbaarheid. Smart was goed

reproduceerbaar. Mares Nemo, Suunto D6 en Galileo werden niet onderzocht.

Instabiliteit van NDL De Aladin® typen vertoonde instabiliteit van de NDL display en dat was bij alle sessies reproduceerbaar. Bij de Mares Surveyor (Nitrox) was er inconsistentie van de NDLen.

Reliability The Suunto D6 and later, UWATEC starting with Smart and Mares starting with M1 were the most reliable.

Deco-diving All but XR2 DCs performed deco-dives regularly, but they were at moderately deep levels less conservative than DCIEM.

Too fast ascending With 60 msw/min to approx. ½ MDD, 320DCs and 480DCs without RGBM produced auditory and visual alarms but raised the NDL instead of reducing. Suunto with RGBM (Cobra and Gekko) only displayed a recommended safety stop or obligatory stop (Vyper). UWATECs reacted more strictly. With all DCs, also D6 too fast ascents to 6 msw, even at a speed of 150 msw/min, were penalized (much) too weakly. Smart behaves best.

Yo-yo behavior A response to the 7-fold yoyo between 0 and 20 msw (Fig. C2) is only found with the Cobra in the form of a recommended safety stop. Possibly the other yoyo profiles were not heavy enough to evoke a response. But even not a 51msw peak-to-peak yo-yo was not or insufficiently penalized. Manuals seldom address yo-yo's, but when they do, they are advised against.

Deep stop With shallow dives (< 25 msw), the deep stop gives on the best no lengthening of the ascent time. Using RGBM computers (Mares M1, Suunto D6), with a (very) deep long dive the deep stop seems counter-productive (total ascent time longer). UWATEC DCs shorten the ascent time. This is unexpected since the deep stop is nowhere mentioned in the manual.

Temperature correction At constant low temperatures, the DCs with ZH-L8 ADT perform a correction to the tight side. This applies the more with a continuously strongly decreasing temperature. Other DCs had no correction at all. With strong cooling the manuals of other DCs recommend, correctly, shortening the NDL (strongly), and otherwise using the 1st personal setting.

NFT After the 1st dive (45 msw) NFT was generally close to the value of the 12-24-36 hour rule, but after light dives the NFTs were generally too tight. 320DCs have (much for old Aladin Pro) too short NFTs. After 7 yoyo's between 0 and 20 msw the Smart reacted with a much too small NFT of 5 hours. Suunto DCs with RGBM proved to be most safe. UWATECs and the Mares M1 do not fulfill the standard, but in the most of cases they are sufficiently safe.

Personal and microbubble settings The effect is in accordance with the manual. For Suunto's the theoretical basis is incorrect. The only 2 settings of these DCs **needs** extension. The microbubble settings (5 choices) of UWATECs work adequately.

Bedrijfszekerheid Suunto's vanaf D6, UWATECS vanaf Smart en Mares vanaf M1 waren het meest bedrijfszeker.

Deco-duiken Alle DCs behandelden deco-duiken als gebruikelijk, maar waren op de matig diepe niveaus minder conservatief dan DCIEM.

Te snelle opstijging 320DCs en 480DCs zonder RGBM gaven wel alarm bij opstijgingen met 60 msw/min naar ca. ½MDD., maar verhoogden de NDL i.p.v. deze te verlagen. Suunto's met RGBM gaven slechts een aanbevolen veiligheidsstop (Cobra en Gekko) of een verplichte stop (Vyper) aan. UWATECs reageerden strenger. Te snelle opstijgingen naar 6 msw werden bij alle DCs, ook D6, (veel) te weinig bestaft, zelfs bij een snelheid van 150 msw/min. Smart is nog het beste.

Jojoën Een reactie op de 7-voudige jojo tussen 0 en 20 msw (Fig. C2) is alleen gevonden bij de Cobra na in de vorm van een aanbevolen veiligheidsstop. Mogelijk waren de andere jojo-profielen niet zwaar genoeg om een reactie te mogen verwachten. Maar ook een 51msw peak-to-peak gaf geen of nauwelijks straf. Handleidingen reppen zelden over jojo-en. maar als dat wel zo is dan worden jojo's ontraden

Diepe stop De diepe stop geeft bij ondiepe duiken (< 25 m) op zijn best geen verlenging van de opstijgtijd. Bij (zeer) diepe lange duiken met RGBM computers (Mares M1, Suunto D6) lijkt de diepe stop contraproductief (duiktijd verlenging). Bij UWATEC DCs verkort de diepe stop verrassenderwijs (item komt in handleiding niet voor) wel de opstijg tijd.

Temperatuurcorrectie Deze lijkt in de DCs met ZH-L8 ADT bij constante lage temperaturen aan de krappe kant en dat geldt nog sterker bij een sterk dalende temperatuur. Andere DCs hadden geen correctie. Bij sterke afkoeling adviseren de handleidingen van andere DCs, geheel juist, de NDL (sterk) in te korten of anders de 1^{ste} persoonlijke stand te gebruiken.

NVT Na de 1ste duik (45 msw) was deze meestal redelijk dicht bij de waarde van de 12-24-36 uur regel, maar bij lichte duiken was de NVT meestal te krap. 320DCs hebben (veel voor oude Aladin Pro) te korte NVTen.. Na 7 jojo's tussen 0 en 20 msw reageerde de Smart met de veel te kleine NVT van 5 uur. Suunto DCs met RGBM bleken het veiligst. UWATECs (vanaf Smart) en de Mares (vanaf M1) halen weliswaar meestal niet de norm, maar zijn in de meeste gevallen voldoende veilig.

Persoonlijke instelling en microbellenstand Het effect is conform de handleiding. Bij Suunto is de theoretische basis incorrect. Er zouden meer standen moeten zijn (nu 2). De microbellen-stand van UWATECs (5 stuks) werkt adequaat.

Nitrox Suunto RGBM DCs show (very) conservative behaviour, compared to the NOAA 36 Nitrox tables. The half time of 95 min (UWATEC) is insufficient.

Manuals The Manuals, particularly those of UWATEC and Mares, give too few information about the underlying decompression model. Instructions for the retrieval of DC-logged dives are not always clear (Suunto).

PC software The explanation concerning and the meaning of the software of simulations and performed dives is frequently insufficient. This applies especially to the explanation of the graphs. Depths and times are not exportable with old Suunto RGBM DCs, those of M1 and Smart, and newer types are. Making PC connections and reading out the dives is not always easy (especially with Suunto).

Most important differences of advanced DCs DCs

- UWATECs and the Mares M1, Nemo Sport and Wide are most conservative for 1st the dive.
- UWATECs and the Mares M1, Nemo Sport and Wide are most conservative for a repetitive dive on the same day.
- UWATECs penalize a too fast ascent, but to weakly. Other types penalize inadequate.
- UWATECs punish skipping a stop heaviest.
- RGBM CDs are more suitable for multiday repetitive diving.
- RGBM CDs have the longest NFTs.
- RGBM CDs produce a counter-productive extension of the total ascent time at insert of deep stops. The UWATEC Smart appears to reduce total ascent time.
- All Suunto DCs have a (very) small display, what reduces the readability, the more since many information is displayed. Especially for older divers the small screen may be a disadvantage.

General remarks

The DCs released from 2004 are good or almost ideal appliances. If really ALL instructions and warnings of the manual and the instructions and warnings on the DC-display are followed, and moreover a too fast ascent, heavy deco-diving, yo-yo-ing and a reversed profile is not performed, then the risk on DCZ will be minimal. This means, however, that only the ideal, healthy (cardiovascular, pulmonal, exercise-physiologic) diver younger than 40 years meets no restrictions when diving under normal (and therefore also sub-ideal) circumstances (DCS risk ca. 0.2%). All other divers must shorten more or less their NDl and should use the

Nitrox Suunto RGBM DCs vertonen (zeer) conservatief gedrag vergeleken met de NOAA 36 Nitrox tabellen. DE halfwaardetijd van 95 min (UWATEC) is onvoldoende.

Handleidingen De handleidingen, met name die van UWATEC en Mares geven (erg) weinig informatie over de gebruikte modellen. Instructies voor het gebruik van logboek zijn niet altijd duidelijk (Suunto).

PC software De uitleg over het gebruik en de betekenis van de software van simulaties en gemaakte duiken is vaak onvoldoende en dit geldt vooral voor de toelichting bij de grafieken. Diepten en tijden zijn van oude Suunto RGBM DCs niet te exporteren, die van de M1 en Smart en latere typen wel. PC verbindingen maken en inlezen van files wil niet altijd lukken, especially with Suunto.

Belangrijkste verschillen tussen geavanceerde

- UWATECs en de Maressen M1, Nemo Sport S en Wide zijn het conservatiefst voor de 1^{ste} duik
- UWATECs en de Maressen M1, Nemo Sport en Wide zijn het conservatiefst voor een herhalingsduik op dezelfde dag.
- UWATECs bestraffen een noodopstijging, maar wel te zwak. Andere typen zijn inadequaat.
- UWATECs bestraffen het overslaan van een stop het zwaarst.
- RGBM CDs zijn het meer geschikt voor multiday herhalingsduiken.
- RGBM CDs hebben de langste NVTen.
- RGBM CDs geven een contraproductieve verlenging van de totale opstijgtijd bij inlassen van diepe stops. De UWATEC Smart blijft echter een verkorting te geven.
- Alle Suunto DCs hebben een (erg) kleine display, te meer daar veel informatie wordt weer gegeven. Het kleine scherm is kan een nadeel zijn voor oudere duikers

Algemene opmerkingen

'personal setting' or 'microbubble setting' (with their gradations) of their DCs. However, it is much more effectively to reduce De DCs vanaf 2004 zijn goede of bijna ideale hulpmiddelen. Als echt ALLE instructies en waarschuwingen van de handleiding en de instructies en waarschuwingen op de DC-display worden opgevolgd, en bovendien van te snelle opstijging, jojoën, zware decoduik, jo-joën of een omgekeerd profiel geen sprake is, dan zal het risico op DCZ minimaal zijn. Dit betekent wel dat alleen de ideale, gezonde (cardiovasculair, pulmonaal, inspanningsfysiologisch) normduiker jonger dan 40 jaar die onder normale (dus ook

sub-ideale) omstandigheden duikt zich geen beperkingen hoeft op te leggen. (DCZ risico ca. 0.2%). Alle anderen dienen hun NDL meer of minder in te korten door een 'microbellenstand'

MDD in addition to shortening NDL. A global rule is: each year in excess of 45 years, diminish MDD with one meter starting with 45 msw. Better is to apply "Tables with shortening of zero times for older divers (see for a detailed explanation Schellart, 2006b; www.duikresearch.org ;). Until now, DCs do not have MDD restrictions for older divers.

Only if the above restrictions are taken into account and the additional rules followed, the use of a DC is recommended.

Acknowledgement

The UWATEC test chamber is a precious gift of the firm Hytech at Raamsdonkveer, The Netherlands. Without this gift this research had been supposedly not realized. For this reason, the SDR is Hytech very grateful. Suunto Benelux is acknowledged for borrowing a D6, Vyper Air and Vytec.

In te stellen. Echter, het is bij het ouder worden nog veel doeltreffender de MDD te verkleinen in aanvulling op de NT verkorting. Een globale vuistregel is: elk jaar boven de 45 één meter ondieper, gerekend vanaf een MDD van 45 msw. Beter is "Tabellen met verkorting van nultijden voor oudere duikers" toe te passen (zie voor nadere uitleg Schellart, 2006b; www.duikresearch.org ;). DCs kennen tot op heden geen dieptebeperking voor oudere duikers.

Alleen als aan bovenstaande beperkingen wordt voldaan en de extra regels opgevolgd is het gebruik van een DC aan te raden.

Dankwoord

Het UWATEC testvat is een kostbare gift van de firma Hytech te Raamsdonkveer. Zonder deze gift was dit onderzoek vermoedelijk niet mogelijk geweest. De SDR is Hytech daarom zeer erkentelijk. Suunto Benelux wordt bedankt voor het uitlenen van een D6,.

De SDR dankt de SRM voor de geboden gastvrijheid om de hectische temperatuurtesten met kokend water en grote partijen ijsblokjes in een bijna-waterballet uit te voeren.

De auteur dankt Ir. Harry van Grol voor zijn vele commentaar, dat de leesbaarheid van het rapport zeker ten goede is gekomen.

Literature

Lierature

- Blatteau JE, Hugon M, Gardette B, Sainty JM, Galland FM. Bubble incidence after staged decompression from 50 or 60 msw: effect of adding deep stops. *Av. Space Env Med Bubble Aviat Space Environ Med.* 2005, 76:490-2.
- Bühlmann A.A. Diving at altitude and flying after diving. In: *The physiological basis of decompression*, Vann R.D. (ed.) UHMS Workshop, 411-432, Bethesda, 1989
- Diver Tests Extra, Does your computer run at your speed, <http://www.divernet.com/gear/comps699/main699.htm> June 1999.
- Handleiding NOB-sportduiktabellen, Nederlandse Onderwatersportbond, 1995.
- Huggins KE. Performance of dive computers exposed to profiles with known human subject results. UHMS ASM 2004, abstract X304
- Lippmann: P. Comparing dive computers. UHMS ASM 2004, abstract G112.
- Marchand P, Duc G en Monot D. Tous les ordinateurs du marché, *Plongeurs*, 2010; Juillet&Août, 50-72.
- Millar I. Post diving altitude exposure. *SPUMS J.* 1996, 26:135-140.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration US Dept. of Commerce) 2004 Nitrox tables. <http://www.ndc.noaa.gov/pdfs/>
- Schellart Nico A.M. Het testen van een decocomputer middels een testapparaat met uitgewerkte testprofielen, SDR Memo SD-01-2002.
- Schellart N.A.M. Neo-Haldanian and bubble models, Bühlmann, bubble grow and Bubble dynamics, <http://www.duikresearch.org>, 35 pg, 2006a.
- Schellart N.A.M. Predisponerende factoren voor belvorming in relatie tot duikprofielen en hoe hun effecten te voorkomen, <http://www.duikresearch.org>, 35 pg, 2006b.
- Schellart N.A.M. Brandt Corstius J.-J., Germonpré P. and Sterk W. Bubble formation after a 20-m dive: deep-stop vs. shallow-stop decompression profiles. *Aviat, Space Environ Med* 2008, 79:88-94.
- Vann R.D., Gerth W.A., Denoble P.J., Pieper C.F., Thalmann E.D. Experimental trials to assess the risks of decompression sickness in flying after diving. *Undersea Hyperb Med.* 2004, 31:431-444. <http://www.divernetextra.com/gear/dtest296.htm>.

Abbreviations

Afkortingen

DC	dive computer, duikcomputer
DCIEM	Canadian Forces Decompression Tables 1992
DCS	decompression sickness
DCZ	decompressieziekte
HF	herhalingsfactor
MDD	maximal diving depth (msw), maximale duikdiepte (msw)
M-value	maximal allowed compartmental inert gas tension (bar)
M-waarde	, maximaal toegestane inerte gasdruk in compartiment (bar)
NDL	no-deco limit, niet-decolimiet (min)
NFT	no-flying time (h or min)
NVT	niet-vliegtijd (h of min)
OI	oppervlakte interval
RBT	remaining bottom time (min), resterende bodemtijd (min)
RF	repetition factor
SDR	Stichting Duik Research
SI	surface interval (h and min)

Appendix A Simulated profiles**Gesimuleerde profielen****Profiel 45 msw simulatie en 27 msw simulatie als herhalingsduik**

Opzet: diepe niet-deco simulatie van 6 min op 45 msw gevolgd door een matig diepe niet-deco simulatie van 10 min op 27 msw, oppervlakte-interval 4 uur, waarbij op grotere diepten de NDLEN (vrijwel) maximaal zijn en de totale duiktijd toch tot 60 min beperkt blijft. Voor deze totale duiktijd is gekozen omdat er per dag twee duiken gemaakt worden. Bovendien moeten dezelfde simulaties de volgende dag weer mogelijk zijn¹.

Het profiel met MDD van de 45 msw simulatie is hieronder beschreven waarbij achtereenvolgens wordt aangegeven de niveau-tijd inclusief de tijd om daar te komen, de duikdiepte en de NDL (volgens DCIEM), met tussen haakjes de NDL na interpolatie vanwege de 1 min die volgens DCIEM over is op 45 m)²: Fig. 1 en 4 geven beide testprofielen.

Profiel 45 msw: 6 min 45 msw 1 min (1 min), 12 min 24 msw 0 min (1 min), 10 min 18 msw 0 min (2), 27 min 12 msw 43 min (45 min) en 5 min 6 msw 415 min (415 min).

Profiel 27 msw: 10 min 27 msw 6 min, 10 min 21 msw 5 min, 10 min 15 msw 15 min, 25 min 9m 155 min en 5 min 6m 245 min. Het testprofiel is afgebeeld in Fig. 3 en 5.

Profiel met te snelle opstijging: 45 msw simulatie met te snelle opstijging vanaf 45 msw naar 24 msw met ca. 60-80 msw/min.

Profiel van deco-duik: 45 msw simulatie met bodemtijd van 10 min en inkorting van de levelverblijftijd van 12 naar 8 min.

Profiel van deco-duik met te snelle opstijging: 45 msw simulatie met decostop en te snelle opstijging

Profiel: duik naar 24 msw gevolgd door drie herhalingsduiken

Opzet: ondiepe simulaties met aflopende maximale duikdiepte, waarbij op de MDD de NDLEN net voor het opstijgen nog groot zijn, zodanig dat de volgende dag³ dezelfde simulaties mogelijk zijn. De totale duiktijd is steeds 50 min. Multilevelduiken met diepteverschillen van 6 meter (of 3 msw, alleen tussen 9 en 6 m). Fig. A.1 geeft de profielen.

De 1ste duik is 9 min naar 24 msw met volgens DCIEM een NDL van 16 min.

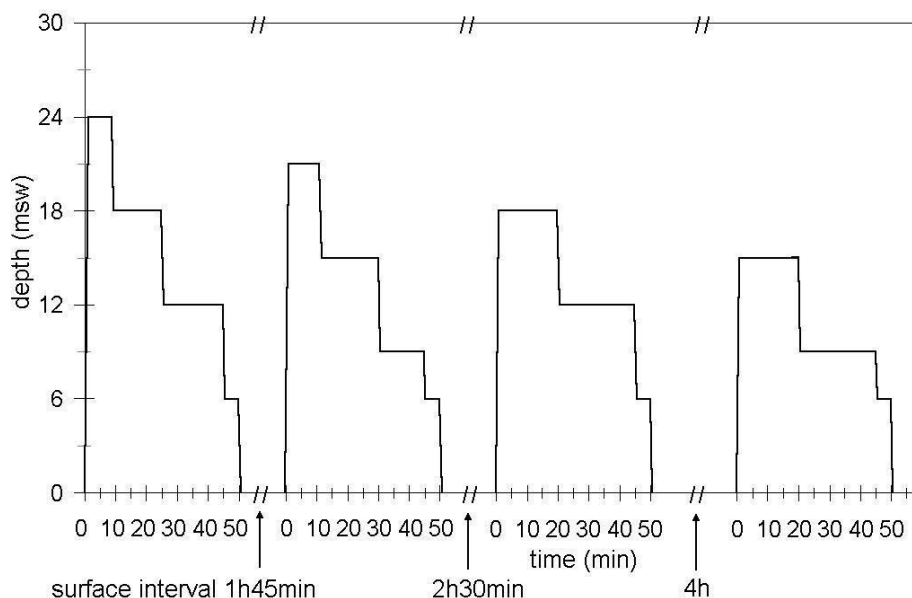


Fig. A.1 Simulation profile of the 24/9 (depth/duration at bottom) multilevel dive and the three repetitive dives 21/11, 18/20 and 15/20 (DCIEM repetition factors 1.6, 1.5 and 1.4 respectively). After the 4th dive, a RF of 1.1 needs a

¹ Bij de tweede dag wordt de N₂-rekentijd 7 min (N₂-rekentijd = Herhalingsfactor x Levelverblijftijd = 1.1 x 6 = 7 min), dus precies op de nul tijd. Luchtverbruik 940 nl. De waarde van de Herhalingsfactor is te vinden in NOB tabel B als het oppervlakte interval bekend is.

² De nul tijd op 45 msw is 7 min. De niveau-verblijftijd is echter 6 min. Als de NDLEN via interpolatie hiervoor worden gecorrigeerd worden ze alle bij de lagere niveaus iets hoger.

³ Bij de volgende dag betekent dit dat HF x Levelverblijftijd = 1.1 x 9 = 10 min, dus ruim binnen de nul tijd van 15 min.

According to DCIEM, after 11h25 this series of 4 dives can be repeated exactly. Whether this is really true is a little dubious since DCIEM does not take into account sufficiently (according to present standards) accumulation of N_2 in the slow compartments (tissues).

Appendix B Evaluation per type of DC

For the following evaluation, it is underlined that the results of the standard test (45 msw and repetition 27 msw) per type is generally based on one, often two tests and at most three, the Companion, Cobra, D6 and Galileo Luna excluded. It is possible that other specimens of the same type perform different. It is also possible that with other simulation profiles the performance is basically different, leading to other conclusions and recommendations. In the description it is indicated how to correct NDLS and NFTs in order to improve safety of the dive. The given numbers are rough estimates.

The descriptions are concluded with: DISAPPROVED, NOT APPROVED AND APPROVED. DISAPPROVED means that SDR claims that the respected DC type is not sufficiently safe according to present insights. NOT APPROVED means that SDR noticed an inconsistent performance or other serious limitation/shortage. APPROVED means that SDR did not find one serious negative characteristic for safe diving.

Sherwood Source

This DC has been developed before 1990. Its NDLS are too long and NFT (no flying time) is not displayed. On the basis of the present insight about NDLS and NFT it is *recommended not to use* this DC anymore.

DISAPPROVED.

Aladin Pro (Scubapro)

This DCs was developed before 1990. Despite this, NDLS were reasonable. NFTs (no flying time) were much too short. Reproducibility was bad.

DISAPPROVED.

XR2 (Aeris)

This DC was still sold in 2006. It seems to have an algorithm developed in the eighties. It is even much less conservative than the Suunto Companion. With multilevel dives at levels shallower than 15 msw NDLS are tens of minutes longer than advanced DCs. Stops are not indicated when necessary according to DCIEM tables and many other types of DCs. Emergency ascent don't have any consequence for the surface schedule.

It is concluded that this DC, anyway this specimen, is not useful.

DISAPPROVED.

Aqua Lab (Seac Sub)

For shallow dives this DC is more conservative than D6 and Smart. For very deep dives the reverse holds. This DC doesn't adapt its deco schedule after an emergency ascent. NFTs are relatively long but with some dives (e.g. short dives) shorter than the 12-24-36h rule.

APPROVED.

Solution and Nitrox version (Suunto)

Specific tests were not performed. A reduction of NDLS with 3 min at all depths is sufficient to make the DC conservative. NFTs should be increased with 4-16 hours according to the 12-24-36 hour rule.

This DC can be used (with remarks).

APPROVED.

Companion, Vapor, Vapor Air, SME, Spider, Eon (all Suunto) and Dive Mate

These DC's have too long NDLS And (dangerously) increase NDLS after a too fast ascent. In accordance with their model, these DCs does not protect against any kind of yo-yo's. These DCs have not been developed for multiday-repetitive diving. NFTs should be increased many hours according to the 12-24-36 hour rule.

The use of these DCs is subjected to various serious limitations.

DISAPPROVED.

Mares Surveyor (and Nitrox version)

This DC is since about 2002 not anymore commercially available. Although it is conservative, this DC has the same features as the above group with respect to a too fast ascent and yo-yo's, but in addition, its NDLS can be *instable and inconsistent* (found with all three tested specimens). NFT should be increased with ca. 4-8 hours according to the 12-24-36 hour rule.

Summarizing *Although this DC can be used for a first dive, during a repetitive dive (and after excessive yoyo's) there is a risk that the DC displays NDLS which are some 25% to large.*

DISAPPROVED.

Vyper (Suunto, RGBM)

Surprisingly, three of the four specimens of this DC (with RGBM) showed 2-6 times long NDLS at depths

less than 20 msw, and especially at 12 msw after a simulation at 45 msw when compared to the well performing 4th one and other Suunto RGBM DCs (released before 2000). The too fast ascent (from 45 to 24 msw, 60 msw/min) resulted in a comparatively mild penalty (5 min obligate safety stop at 3 msw). NFTs seem correct.

Summarizing This DC is useful, but with deep dives, the diver should be aware of the above shortcoming which may occur (and in that case considerably shorten the displayed NDLS shallower than 20 msw). This seems to occur with a part of the produced specimens.

NOT APPROVED.

Cobra (Suunto, RGBM)

With the first dive, the Cobra was less conservative (as also holds for other RGBM Suunto's released before 2004) with respect to NDLS than for instance Mares M1 and the Aladin® DCs. These DC can be used when NDLS of the first dive are reduced with 2 min between 40 and 30 msw, and every shallower range of 10 msw 2 min more. This holds during the stay at MDD and during the ascent. The Cobra is slightly more conservative with a *repetitive dive* and becomes most conservative with *multiday diving*. Its response to *omitting a stop* is adequate (imposing a deeper stop). The penalty at a too fast ascent was too mild; only an advised safety stop. This DC (weakly) penalizes yoyo's only with extreme yoyo-behavior. NFTs are good or close to the norm. With heavy dives, the deco-ceiling is continuous. This reduces the bubble grow. Instructions for the use of the logbook etc. are not all/always clear. Making a PC connection and retrieving files is not always successful.

This DC is useful (with a remark).

APPROVED.

Gekko (Suunto, RGBM)

With a first dive, the Gekko is less conservative with respect to NDLS (No-decolimits) than the Cobra and more advanced D6, UWATEC DCs, RGBM DCs of Mares and other advanced DCs. Therefore, for NDLS of the first dive a diver older than 40 years is advised to reduce NDLS with 2 min between 40 and 30 m, and every shallower range of 10 m two more min. For divers older than 40 years see www.duikresearch.org, Correctie voor leeftijd en conditie as the strongly recommended alternative for P1 and P2 settings.

The performance with Nitrox is correct. It gives NFT not as a time interval but indicates flying prohibition with a airplane icon. NFTs are too short: use the 12-24-36(-48)h rule. The penalty at a too fast ascent was absent or too mild. Instructions in the manual are not always clear. Downloading of dives is impossible.

This DC is useful (with remarks).

APPROVED.

D6 (Suunto, RGBM)

The D6 and the (old) Cobra perform very similar. The design is beautiful and it can also be used as a wrist watch with a compass included. For diving it gives much info on its display (many icons) but one should have eyes with good acuity.

With the 45 msw standard test the D6 behaved the same as the Cobra. This holds also for the 27 msw repetition dive (except for a 10 min longer NDLS at the end of the 9 msw level). With Nitrox, it behaves conservative.

The response to a too fast ascent (45 to 6 msw, 60 msw/min) showed an obligate stop of 5 min at a chosen depth of 5.9 m. The stop at 3.1 msw was the same (4 min)? Surface interval was lengthened to ca. 2.5 h. An ascent with 150 msw/min! resulted in only an obligate stop at 3 msw for 3 min and a safety stop.

As all Suunto DCs with RGBM, the RGBM feature seems not to work during the first dive. Consequently, the 50% and 100% RGBM setting resulted in the same ascent procedure. The benefit of RGBM for repetitive diving and multiday diving is limited (and absent for long shallow dives, although it works after some 4 days repeated).

This DC is recommended (with some remarks).

APPROVED.

Vyper Air and Vyttec

These DC's with a pressure transmitter and the remaining bottom time (RBT) indication have been studied. RBT values can be calculated from the Excell file of the downloaded dives in the dive manager. The calculated values agree rather well with the displayed values (which show a slight delay and some hysteresis; fast decrease of air consumption is not immediately validated). Further behaviour is rather well comparable with the old Cobra, but these DCs are slightly more conservative. Reversed profiles (two dives) have more conservative ascent profiles than with any UWATEC DC.

Cobra 1-3 is not studied, but the performance probably similar as Vyper Air.

APPROVED

Trac (Scubapro)

A NDL reduction is not needed but the NFT should be extended by 4-8 hours.

Specific tests were not performed. One should limit the ascent speed to 10 msw/min. (Ignore the manual at this point).

With the consequent reserve, this *DC despite its release in the nineties is certainly useful.*

APPROVED.

Aladin® Z, Nitrox, Air Nitrox, Air X, Pro and Sport (UWATEC)

These DCs can be called at least conservative. Its response to *skipping a stop* is adequate (imposing a deeper stop). These DCs should and do protect against *too fast ascents* and against decrease of body temperature by shortening NDLs, or lengthening deco-times. However, both responses are too weak. These DCs do not penalize any of our yoyo-simulations. For this DC, NFT may be lengthened by 4 to 8 hours according to the 12-24-36 hour rule.

In the 10-20 msw depth range with many types of dive profiles, the majority of the specimens can show long lasting *instability* of the displayed NDLs of ca. 10 min. This shortcoming possibly only occurs under laboratory conditions.

These DCs are not recommended due to the noticed instability.

APPROVED (WITH REMARKS).

Mares M1

With respect to NSLs this DC appeared to be conservative to very conservative for the first and a repetitive dive. The optional safety stop was also displayed after the last obligate stop at 3 msw. The deep stop, implemented in the underlying model, is optional. When executed, it is expected (theoretically) to shorten total diving time but this was not the case. A penalty at our too fast ascent could not be established. This DC did not penalize any of our yoyo-simulations. It is suggested to lengthen NFTs by 4 to 8 hours.

This DC is recommended (but with some remarks).

APPROVED.

Nemo Sport and Wide (Mares)

With respect to NDLs this DC appeared to be very conservative for the first and a repetitive dive, even more than Mares M1. The optional safety stop was also displayed after the last obligate stop at 3 msw. Conservatism holds for deep dives (multilevel), shallow dives, and very long dives. A penalty at a too fast ascent could not be established. This DC did not penalize any of our yoyo-simulations. It is suggested to lengthen NFTs by 4 to 8 hours.

This DC is recommended (with some minor remarks).

APPROVED.

Smart Com, Pro, Z and Tec (UWATEC)

With respect to NDL this DC was very conservative for the first and repetitive dive. Applying a microbubble mode comprising a stop at 9 msw and higher is supposed to be not without some risk for DCS (on-gassing of many compartments) and one should be critical in using them. It is much safer and more effective to shorten bottom time. Its response to *skipping a stop* is adequate (imposing a deeper stop). This DC should and does protect against *too fast ascents* (adequately). For such an ascent over about half MDD the penalty is a deco-stop and an emergency ascent over nearly the whole MDD (from 45 to 6 msw) resulted in a stop and a dive prohibition. (This holds also for Aladin® Air). This DC also protects against decrease of body temperature (a little moderate) by shortening NDLs, or lengthening deco-times. This DC did not penalize any of our yoyo-simulations. For this DC it is suggested to lengthen NFTs by 4 to 8 hours according to the 12-24-36 hour rule.

These DC's is recommended (with some very minor remarks).

APPROVED.

Galileo Luna

This DC generates RBT values that can be reconstructed more or less from the tank pressures of the Excell file of the downloaded dives in the dive manager.

It is advised against using the workload mode switched on in the respiration setting, since the calculated ascent profiles are incorrect (generally much too conservative). In contrast, it is recommended to use the workload mode in the heart+ setting, with the respiration setting switched off. This gives valuable information about the level of exercise and the mental stress. The Galileo is very conservative, but it is a little less with severe multi-day diving and with reversed profiles of two dives. PDIS increases total ascent time.

APPROVED

General remark about the personal and microbubble settings

First of all, precautions have to be made to minimize DCS risk. These are optimizing the physiology (such as hydration, protection against cold, minimizing exertion during the dive), optimizing the profile (such as critical considering MDD of a dive and stay at MDD, and total stay at deco-depths > 9 msw). If not sufficient, due to dive conditions and personal circumstances, personal and microbubble settings can be used. These settings should be done with great care. Nitrogen loading of slow tissues during stops deeper than 9 msw should be avoided. However, reducing of MDD together with shortening NDL is much more effective than applying microbubble and personal settings, since these modes do not reduce diving depth (see Schellart 2002, 2006b).

Applying a microbubble setting comprising a stop at 9 msw and higher is supposed to be not without some risk since for the far majority of dives the moderately slow and slow compartments are still saturating at 9 msw. During a stepwise ascent, compartment dominance shifts from fast to slow. The slower tissues are more vulnerable for the evolution of large persisting bubbles. Also choosing unnecessarily high microbubble modes will lengthen NFT.

Using the personnel setting P1 of Suunto and Mares DCs gives a very (actually too) substantial lengthening of total ascent time and even more for P2. They have originally been developed for altitude diving and therefore they do not optimal correct for a high age or poor physical condition of the diver or heavy environmental conditions.

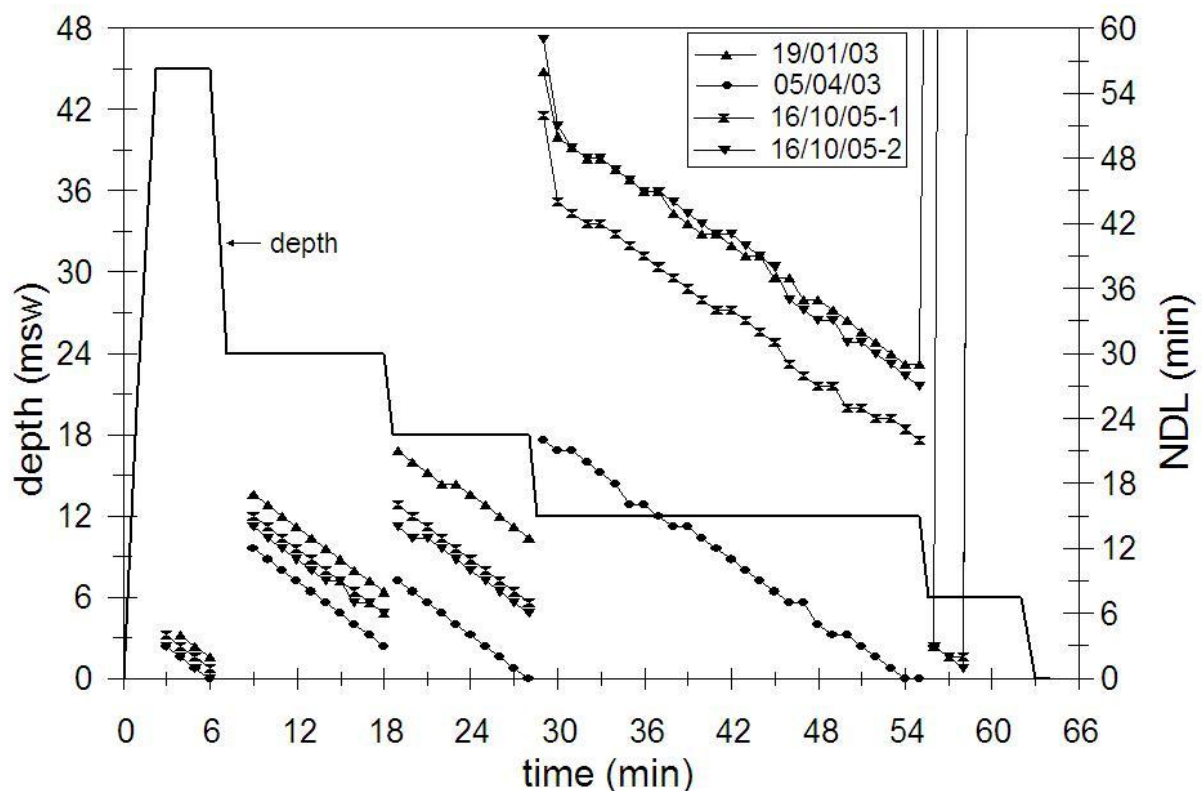
Appendix C 45 msw simulation with Vyper and 6-fold yoyo-simulation

Fig. C1 NDL with 45 msw standard simulation of 4 specimen of Vypers. The mean difference in depth over the whole simulation among the four specimen is only a few decimeter. Only the Vyper of 05/04/03 behaves correctly. The other three are unreliable.

The importer of the Benelux countries could not give an explanation for the differences between the Vyper specimens. The Vyper tested at 19/01/2003 was tested again some years later. Then, it did show a incorrect behavior, but 5 min less NDL at end 12 msw ("aging"?). See also the narrative text "Inter- and intra "individual" reproducibility Inter- en intra "individuele" reproduceerbaarheid".

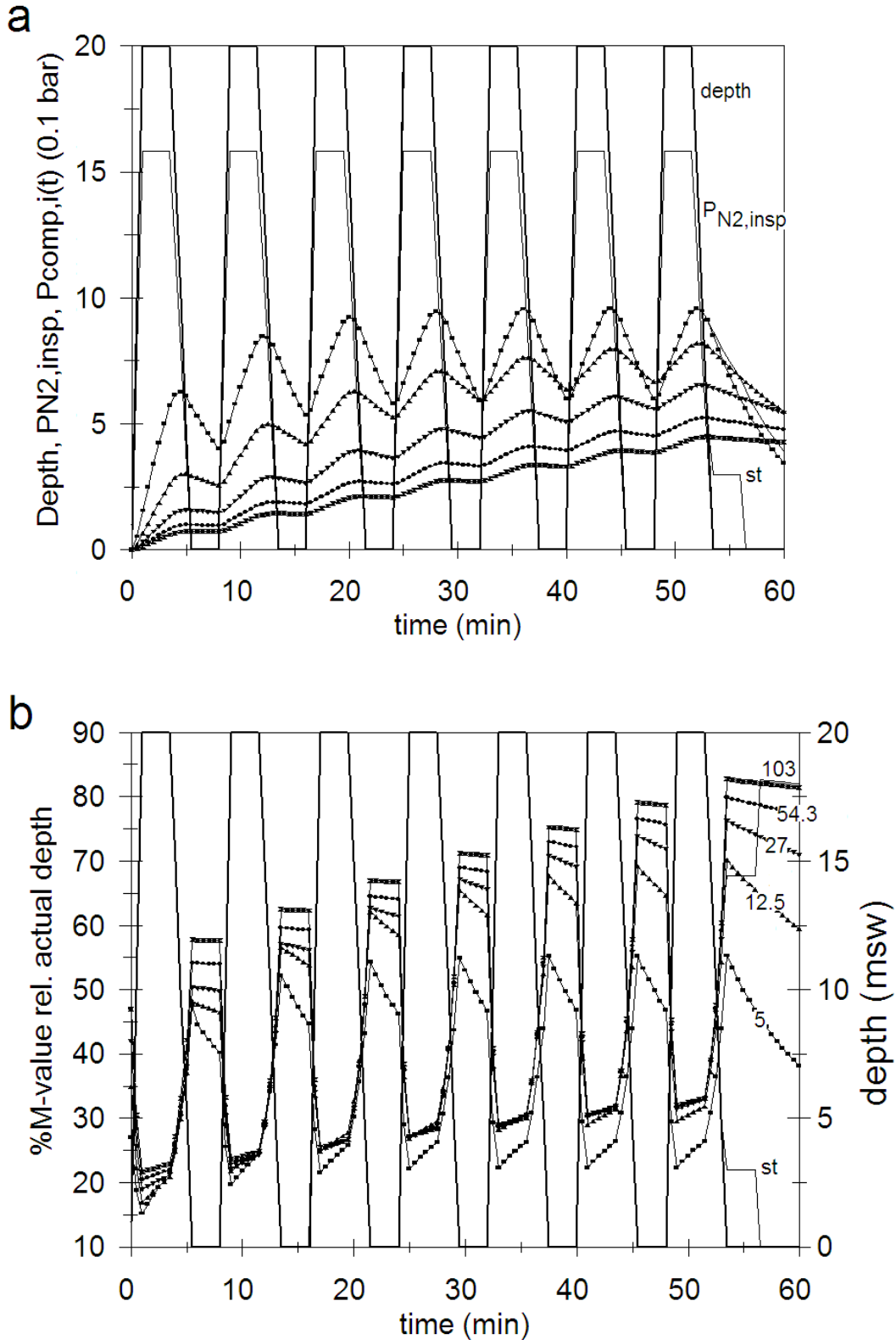


Fig. C2 Compartment saturations and %M-values (rel. actual depth) to a yo-yo between 0 and 20 msw, seven times repeated. Period time per yoyo is 8 min. The last yo-yo was not or just followed by a 3 min stop at 3 msw, indicated by st. a) Thin drawn meander line represent the PN₂ of inspired air (PN_{2,insp}). Thin curve at the right gives the PN_{2,comp(t)}(t) of the 5 min compartment when the 3 msw stop is made. For the compartments with higher halfvalues the both conditions are (hardly) indistinguishable. b) Thin drawn line represents %M-value of 107 compartment when the 3 msw stop is made after the 7th yoyo.

Fig. C2a clearly shows that the oscillatory transient of the 5 min compartment lasts about 30 min (asymptote 0.79 bar). Fig. C1b suggests that from the point of view of the ZH-L16C model the stop at 3 msw has no effect. A bubble effect is also not likely since an ascent of 17 and 20 msw hardly differ.