Artikel fra Dykkehistorisk Tidsskrift nr. 8 - 1999

Fenzy DC55 blandingsgasapparat

Sven Erik Jørgensen

DYKKEHISTORISK SELSKAB

Dykkehistorisk Selskab har fået doneret et antal DC55 apparater fra Bjarne Henriksen / Søværnet, Korsør.

Selskabet har i denne anledning „dykket“ ned i historien om apparatet, og den teknik der ligger bag det apparat, som indførte blandingsgas-dykningen i Danmark.

Umiddelbart efter 2. verdenskrig nedsatte den franske marine „Groupe de Recherches Sousmarines“, først forkortet til G.R.S. og senere til G.E.R.S. Gruppens chef var Capitain de Frégate Philippe Tailliez og næstkommanderende var Capitain de Corvette Jacques-Yves Cousteau. Kemikeren Dufau-Casanabe var tilsluttet dykkerteamet og arbejdede på et projekt for et blandingsgasapparat til brug for den franske marinens kampfrømænd. Den 27. december 1949 kunne Dufau-Casanabe færdiggøre rapporten over hans arbejde og de test, som var udført med en prototype af apparatet. Rapporten blev tilsendt admiralitetet. Prototypen arbejdede med en fast gasblanding og var beregnet for dykning på dybder fra 0 til 25 meter.

Rapportens konklusion angiver: „Til trods for visse uhensigtsmæssigheder ved den nuværende konstruktion er apparatet, som vi har konstrueret, resultatet af flere års forskning. Apparatet muliggør at opnå alle de resultater som teorien forudsiger. Apparatet giver mellem 0 og 25 meters dybde en total sikkerhed, samt en åndedrætsmæssig komfort, der kan sammenlignes med et Cousteau-Gagnan autonom dykkerapparat af nyeste konstruktion.

Ved et dyk af moderat varighed er den absolutte maksimale grænse 30 meters dybde, hvilket giver en sikkerhedsmargin, som bestemt er tilfredsstillende.

Testdyk med DC55 i Århus Bugt 1967. Dykkeren er Bruno Müller, til venstre ses løjtnant Børge Holm og til højre orlogskaptajn Poul Jarlskov

Anvendt som dykkerapparat til en militær frømand, garanterer apparatet uden problemer 2 timers ophold under vandet, forudsat man anvender 4 liters flaske med en ilt-kvælstof blanding ved 200 kg tryk. Apparatet opfylder endvidere de vitale krav til diskretion, som gælder for militært udstyr.

Anvendt som kommercielt dykkerapparat kan apparatet bruges til mangfoldige formål. Apparatets store frihedsgrad samt dets mulighed for at foretage dyk af længere varighed uden stop under opstigningen gør, at det er særdeles velegnet til forskningsmæssigt arbejde på moderat dybde.“

Den franske marine accepterede projektet, og lod i 1952 fremstille et mindre antal apparater - ca. 20 stk. Disse apparater blev betegnet DC52 efter Dufau-Casanabe og året for første produktion. Efter 2 års test ændrede G.E.R.S. og Dufau-Casanabe nogle tekniske og designmæssige forhold ved apparatet, og resultatet blev det blandingsgasapparat vi kender i dag. Projektet var hemmeligt.

Fra 1955 og til midt i 80' producerede det franske firma Fenzy apparatet dels til den franske marine og dels udenlandske mariner, herunder den danske marine. Apparatet havde nu fået betegnelsen DC55.

I midten af 80' blev Fenzy’s dykker- division solgt til La Spirotechnique, der fortsatte produktionen af DC55.

Apparatet fremstilles stadigt af Spirotechnique/Aqualung.

Efter 2. verdenskrig opstod der i Søværnet et behov for at kunne dykke på akustiske og magnetiske miner.

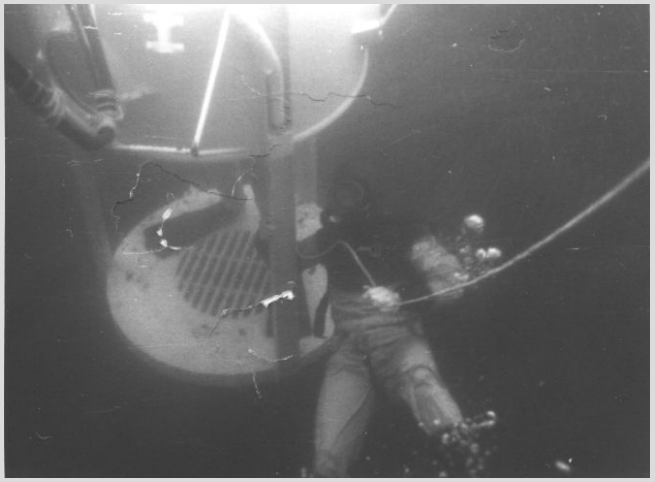
De daværende trykluftapparater var magnetiske og støjende, og kunne ikke anvendes til dette formål.

Omkring 1960 indkøbte Søværnet et trykluftapparat med umagnetiske flasker produceret ved Aqua-Lung i USA. Apparatets umagnetiske egenskaber viste sig at være utilstrækkelige, og udåndingen gav for meget støj til arbejde på akustiske miner. Søværnet så sig derfor om efter et mere lydsvagt og umagnetisk apparat. Blandingsgasapparater i umagnetisk udførelse var et naturligt valg, ud fra bl.a. følgende forhold: Apparaterne lukkede kun i begrænset omfang gas ud i vandet. Apparaterne sikrede et højt iltpartialtryk i åndeluften, og gav som følge heraf et tilsvarende lav kvælstofpartialtryk, som sikrede en længere dykketid inden dekompression i forhold til luftapparater med atmosfærisk luft. Brugstiden blev også forøget som følge af genåndingsprincippet, hvor en del af luften blev genbrugt. Det lave kvælstofpartialtryk sænkede tilsvarende grænsen for dybthavsrusen. Fordelene ved denne apparattype var således indlysende.

Markedet blev undersøgt, og valget kom til at stå mellem det fransk producerede DC55 fra Fenzy og det tysk producerede FGT I (FertigGasTauchgeräte) fra Drägerwerk.

Begge apparater var halvåbne kredsløbsapparater, men med hver sit doseringsprincip. I FGT sørgede en reduktionsventil og en dyse for, at der blev tilført åndesækken en bestemt mængde blandingsgas per tidsenhed. For DC55 vedkommende var dosering demandstyret af dykkerens respiration.

DC55 blev prøvedykket i Århus Bugt i sommeren 1967. Dykningen foregik fra minelæggeren Lougen, der var udrustet til dykkerskib. Fra Søværnets Dykkerskole deltog chefen for Dykkerskolen orlogskaptajn C. Busck og løjtnant Børge Holm. Orlogskaptajn Poul Jarlskov var også med. Desuden var der to franske ingeniører fra Fenzy med. Prøvedykningen af DC55 blev foretaget af bl.a. minedykker Bruno Müller. En dykkerklokke med en standby dykker blev ophængt 40 meter under Lougen. Samtidig med afprøvningen af DC55 blev Dräger FGT I afprøvet. Apparaterne blev også afprøvet for deres akustiske og umagnetiske egenskaber af ingeniører fra Søminevæsenet.



Bruno Mülller med DC55 på vej ind i klokken på 42 meters dybde

Bruno Müller på vej til overfladen, Århus Bugt

DC55 blev indkøbt til Søværnet i 1974, og et nyt kapitel på det indlæringsmæssige område på Søværnets Dykkerskole blev påbegyndt. Uddannelseskompendiet skulle udbygges med blandingsgasteori, og den meget anderledes apparatopbygning skulle beskrives. Dykkerskolen havde tidligere kun beskæftiges sig med trykluftapparater og iltapparater. Suppleringen af Lærebog i Dykning blev forfattet af den daværende chef for dykkerskolen orlogskaptajn Viggo Theill.

De nyindkøbte apparater blev modificeret ved, at der blev monteret forskruninger på forbindelsesrørene til kalkboksen, således at det var muligt at afmontere denne uden værktøj.

Da apparatet var indført i Søværnet, blev det kun udleveret til minedykkerne og frømændene i forbindelse med øvelser og opgaver, og efter endt anvendelse og inden apparaterne skulle lægges i depot, skulle dykkeren selv servicere apparaterne. Apparaterne var ikke øremærkede til dykkerne, og dykkerne fik dermed ikke nødvendigvis udleveret det apparat, de selv havde serviceret. Der var enkelte eksempler på, at de apparater der blev udleveret, ikke var blevet serviceret. I disse tilfælde har der været stillet for store krav til moralen. Den manglede service spændte fra, at apparatet ikke var tømt for kalk, og til at det var fyldt med vand. Dette var naturligvis utilfredsstillende for dykkerne. Det forhold, at apparaterne ikke var til rådighed ved de ugentlige rutinedykninger, begrænsede i væsentlig grad dykkernes mulighed for at opnå en god rutine med apparatet og lære dette at kende på godt og ondt.

Om det var den manglende rutine i anvendelse af apparatet eller andre forhold, som var årsag til de uheld, der fulgte med apparatet, er ikke kendt.

Det første uheld indtrådte under uddannelsen af de første blandingsgasdykkere i Århus Bugt i 1974. Det var den almindelige opfattelse, at apparatet ikke gav tilstrækkelig luft ved hårdt arbejde. Minedykker Edward Jelen husker, at han og frømand Jørgen Scheel ville afprøve apparatet under hård belastning på 40 meter vand. Straks de kom ud af klokken, svømmede de derfor det bedste de kunne. Efter få minutters svømning, hvor de blev godt stakåndede, fik Jelen et blackout. Scheel fik bjerget Jelen ind i klokken, hvor han vågnede op. Jelen var noget skræmt over uheldet, men havde ingen mén, og dykkede dagen efter til samme dybde uden uheld.

Frømand Orla Aagaard var udsat for et blackout med apparatet, da han var under uddannelse på apparatet ved Søværnets Dykkerskole. Uheldet indtraf få minutter efter, at Aagaard var sprunget i vandet fra ubådsbroen. Aagaard mindes, at han var ved at lukke luft ud af dragten, da han pludselig blev sløv og ligesom faldt bagover i et sort hul. Aagaard blev trukket ind til bolværket og holdt fast i livlinen. Aagaard var kun bevidstløs et kort øjeblik. Da han kom til sig selv i vandet, havde han ingen umiddelbare mén så som hovedpine eller lignende. Aagaard og apparatet blev undersøgt og testet på Panuminstituttet, uden at det lykkedes at finde årsagen til uheldet.

Frømand Bent Skovgaard fik et blackout under rutinedykning fra Søværnets skib Læsø i Århus Bugt omkring 1978. Skovgaard var med frømand Nuppenau nede på 40 meter vand, og skulle netop til at begynde opstigning efter en dykning, som havde varet 30 - 35 minutter. Skovgaard husker, at de var ved at samle søgelinen sammen, da der gik 2 kraftige stød gennem ham, og han var klar over, at noget var helt galt og begyndte straks opstigningen. På vej mod overfladen mistede Skovgaard bevidstheden, men til alt held var makkeren hurtig, og fik blæst Skovgaards opstigningsvest op. Skovgaard nåede overfladen og kom til sig selv uden mén. Turen op kunne ellers let have resulteret i en lungeskade.

De angivne uheld er aldrig blevet fuldt opklarede.

Apparatet var kendt for at kunne blive utæt, for at være mekanisk sart, og for at give for lidt luft ved hårdt arbejde. Utæthederne opstod bl.a. i forbindelse med samling af apparatet, når dette havde været adskilt efter en lækage. Det var ikke altid let at få apparatet tæt, og når det endelig var tæt, var dykkerne tilbageholdne med at adskille det igen. Med tiden blev apparatet upopulært blandt nogle af dykkerne. Der er dog stadig dykkere som finder, at DC55 er et godt apparat, og at den egentlige årsag til, at det blev udskiftet, mere var ukendskab til apparatet end fejl ved apparatet.

Da Søværnet i 1989 indkøbte det svenske blandingsgasapparat ACSC (Alternativ Closed - Semi Closed) fra AGA til erstatning for DC55, blev ACSC apparatet udleveret til dykkerne, som så selv havde ansvaret for at servicere deres eget apparat. ACSC blev fra indførelsen af anvendt ved alle dykninger, fra egentlige opgaver til rutinedykninger, og der blev hurtigt opnået en god rutine med apparatet, som stadig anvendes og er populært blandt dykkerne.

Udformning

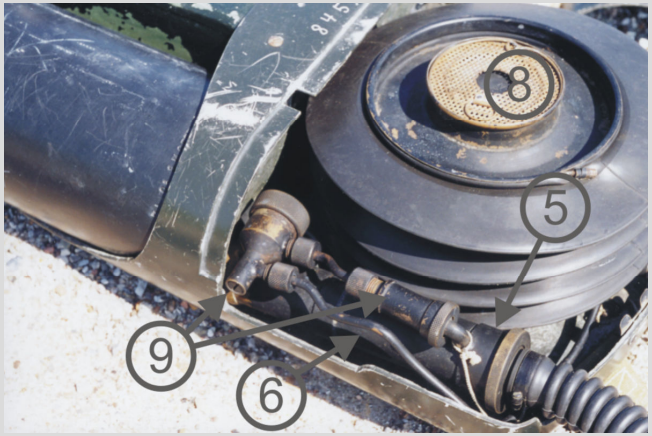
DC55 er forsynet med 2 forrådsflasker (1) på hver 3 liter udført af en letmetallegering og med et arbejdstryk på 150 bar.

Åndesækken (2) er udformet som en stor harmonikabælg, hvori der en indbygget en mindre bælg. Demandventilen er placeret i bunden af bælgen.

En dybdekompenseret reduktionsventil (3) efter forrådsflaskerne sørger for at reducere trykket over demandventilen til 12 bar over vandtrykket.

Kalkboksen (4) som indeholder åndekalken, der renser udåndingsluften for kuldioxid, er monteret mellem flaskerne.

Ventiler (5) der er indbygget før kalkboksen og efter åndesækken sørger for at udåndingsluften passerer gennem kalken, før den fylder bælgene, og at indåndingsluften trækkes direkte fra den store bælg. Umiddelbar efter bælgene er der indbygget et filter (6), der skal tilbageholde små kalkpartikler, inden de gennem mundstykket (7) finder vej til dykkerens mund og lunger. Mundstykket kan lukkes



således, at der ikke er adgang for atmosfærisk luft eller vand til åndekalken. I lukket tilstand er mundstykket åbent til atmosfæren, således at dykkeren kan trække vejret gennem det lukkede mundstykke.

Den luft, der undviger fra apparatet, slipper ud gennem en ventil (8)placeret mellem den lille bælg og vandet.

Denne ventil fungerer tillige som overtryksventil. Som ekstraudstyr for dykning til over 24 meter findes en injektor (9), der påbygges apparatet.

Hele apparatet er indbygget i en glasfiberkasse. Kassens øvre del er perforeret med mange små huller. Gassen som undviger fra apparatet, lukkes ud umiddelbar under perforeringen, og findeles af denne, således at ingen store bobler røber dykkeren på overfladen, eller afgiver støj, som evt. kan aktivere en akustisk mine.

Glasfiberafdækningen over bælgene er aftagelig. Når apparatet skal transporteres, skrues slangerne af og anbringes sammenrullede under glasfiberafdækningen. Herved forhindres transportskader på slangerne.

Apparatet er ikke udstyret med trykmåler eller bypass ventil. Det er dog muligt at påskrue en prøvetrykmåler på reduktionsventilens højtryksside for at kontrollere flasketrykket. Apparatet vejer på land 24 kg og under vandet ca. 4 kg.

Gasblandinger / dykkedybde

Apparatet er beregnet for anvendelse af tre Nato standardiserede iltkvælstofblandinger.

- Blanding „A“: 60/40 ~ 60% ilt og 40% kvælstof
- Blanding „B“: 40/60 ~ 40% ilt og 60% kvælstof
- Blanding „C“: 32,5/67,5 ~ 32,5% ilt og 67,5% kvælstof

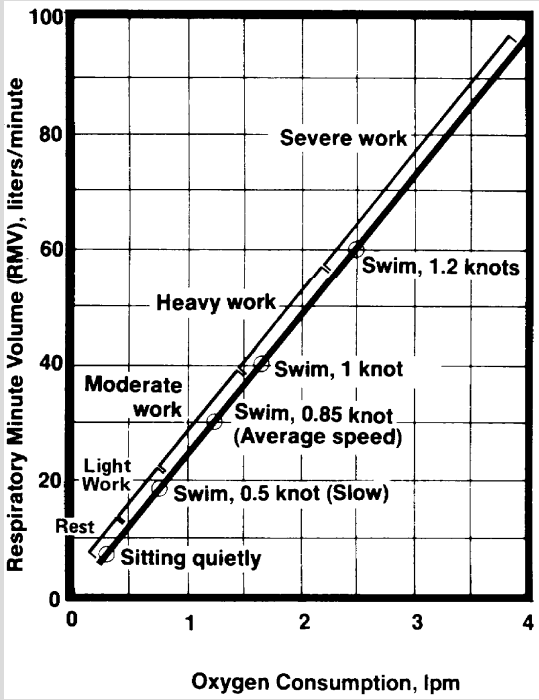
Valg af blanding er afhængig af den ønskede dykkedybde.

- Blanding „A“: Dykkedybde 0 – 24 meter
- Blanding „B“: Dykkedybde 20 – 42 meter
- Blanding „C“: Dykkedybde 30 – 54 meter

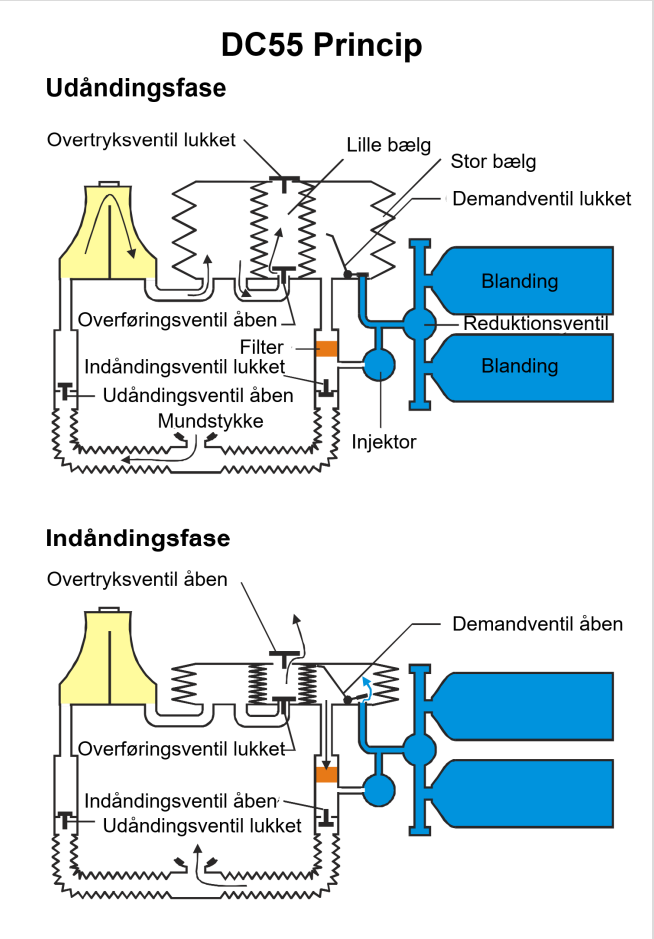
Blandingerne er afstemt med dybden således, at iltens partialtryk i bælgen ligger mellem 2 bar og 0,2 bar.

De 2 bar er det iltpartialtryk, der på daværende tidspunkt var opfattet som det kritiske tryk for iltforgiftning. Som følge af erfaringer indvundet efterfølgende sættes grænsen i dag til 1,6 bar. Tilsvarende er de 0,2 bar ansat som nedre grænse for iltmangel. Denne grænse sættes i dag til 0,16 bar. Fenzy har ved de beregninger, der ligger til grund for apparatets konstruktion ansat respiration og iltoptagelse for en person der udfører let arbejde til 13,2 l/min hhv. 0,5 l/min. De samme værdier er for moderat arbejde ansat til 33,7 l/min hhv. 2 l/min.

US Navy Diving Manual (1975) angiver en respiration på 11,5 l/min ved en iltoptagelse på 0,5 l/min, og en respiration på 47,8 l/min ved en iltoptagelse på 2 l/min. Set i forhold til US Navy har Fenzy ansat lavere iltoptagelse ved let arbejde, og en højere iltoptagelse ved moderat arbejde. Dette



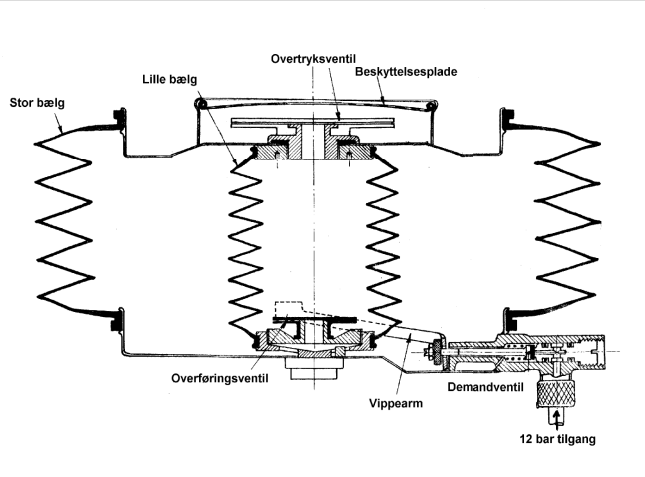
Forhold mellem respiration og iltoptagelse iht. US Navy Diving Manual 1975



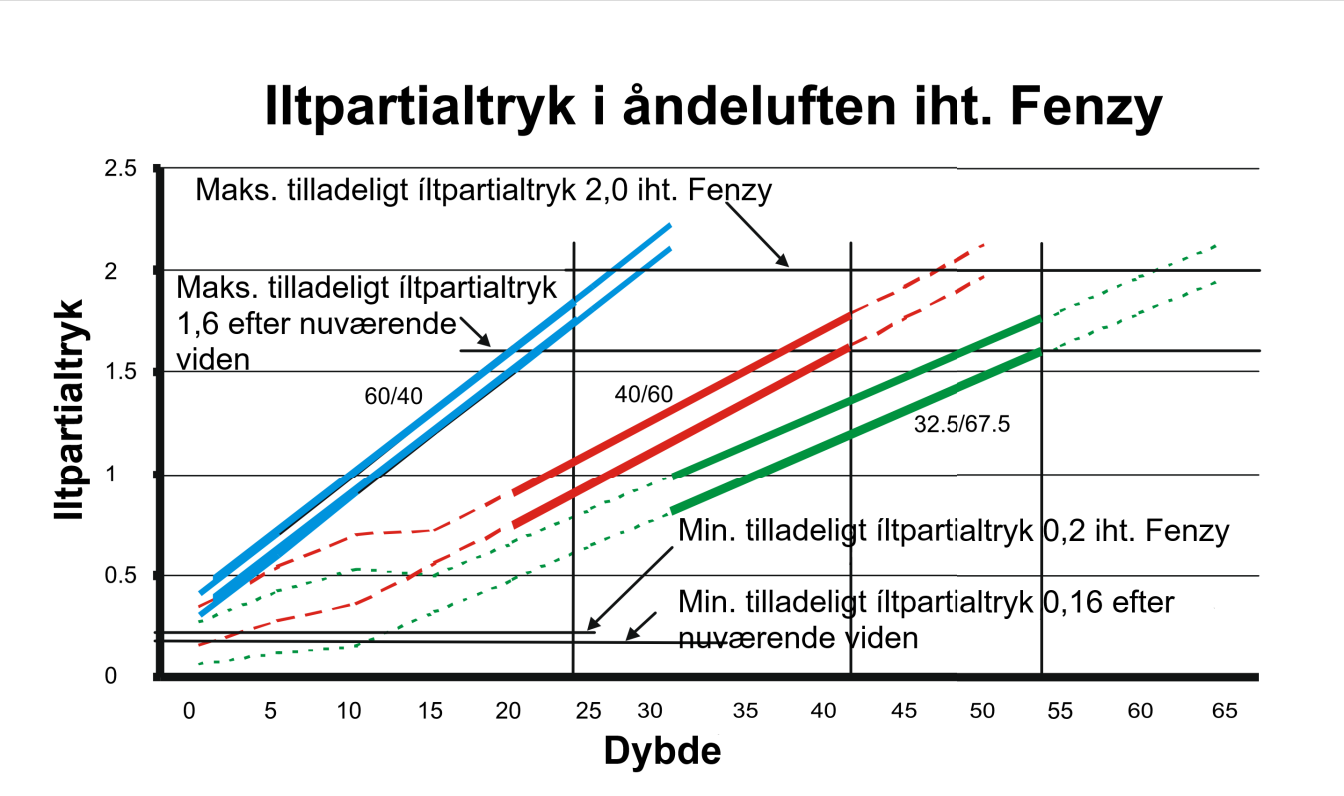
giver en spredning af iltpartialtrykket, som i nogen grad tager hensyn til de variationer, der i praksis vil være fra den ene person til den anden.

Funktion

Dykkerens udåndingsluft passerer gennem åndekalken, hvor kuldioxiden bindes. Kalkboksen er placeret før bælgene, hvor docering med frisk gas foregår. Dette skyldes, at kalken er mest effektiv ved en stor kuldioxidprocent, og ved placering efter bælgene vil kuldioxidindholdet i udåndingsluften være blevet fortyndet med frisk gas fra demandventilen, hvorved kalkens effektivitet vil falde. Kalkboksen indeholder 2 liter kalk, som er tilstrækkelig



Bælgkonstruktion med demandventil



til 3 timers dykning. Placeringen af kalkboksen på udåndingssiden øger dog faren for, at vand fra mundstykket opfugter kalken, hvorved kalkens effektivitet kan nedsættes. Ved dykning med alle former for apparater med kuldioxidabsorber er det derfor vigtigt, at dykkeren er opmærksom på, at der ikke slipper vand ind mellem læber og mundstykke, eller at apparatet på anden måde er utæt.

Det dobbelte bælgsystem er konstrueret således, at der ved hver indånding lukkes 1/12 af respirationsvolumenet ud i vandet. En løbende udledning af luft fra sækken er nødvendig, for at gasblandingen kan styres af doseringen fra forrådsflaskerne. Den lille bælg er via en ventil i bunden forbundet til den store bælg. Ventilen tillader kun gas at strømme fra den store bælg til den lille og ikke omvendt. Den lille bælg er i toppen forsynet med en fjederbelastet ventil, som tillader gassen at strømme ud i vandet og ikke omvendt. De to bælge er indbyrdes mekanisk forbundet i top og bund. Når udåndingen udvider den store bælg, udvides også den lille bælg, hvorved der via overføringsventil i bunden suges luft fra den store bælg til den lille. Ved indånding, hvor den store bælg suges flad, vil også den lille bælg blive klemt sammen. Luften i den lille bælg, som derved bliver komprimeret, kan kun undvige til vandet gennem ventilen i toppen. Demandventilen er anbragt under den store bælg, således at bælgens top rammer demandventilens vippearm, når bælgen suges flad. Bælgene flader således kun sammen, indtil vippearmen påvirkes og åbner demandventilen, hvorved der strømmer gas fra forrådsflaskerne ud i den store bælg, indtil vippearmen ikke længere påvirkes af bælgen. Den mængde gas, der doceres til bælgen ved hver åndedrag, svarer til mængden af den gas der lukkes ud i vandet, plus den mængde ilt der optages i dykkerens lunger. Dette er stort set korrekt, da mængden af ilt, som dykkeren optager, med god tilnærmelse svare til mængden af kuldioxid som dykkeren udskiller til åndeluften, og som så bindes i kalken. Volumenforholdet mellem iltoptagelse og kuldioxidafgivelse kaldes respirationskvotienten og ligger omkring 0,85.

Anvendelse af injektor

Til dykning fra 0 til 24 meter anvendes blanding „A“ med 60% ilt og 40% kvælstof. Ved dykning til større dybde end 24 meter med blanding „A“ vil der være overhængende fare for iltforgiftning. På disse dybder anvendes blandingerne „B“ og „C“, som har et lavere iltindhold. Disse blandinger har dog et for lavt iltindhold til, at de umiddelbart kan anvendes nær overfladen, hvor iltpartialtrykket vil stabilisere sig langt under minimumsgrænsen på 0,16 bar. For at kompensere herfor, skal apparatet ved anvendelse af blanding „B“ og „C“ ombygges ved, at der mellem reduktionsventilen og bælgens indåndingsside monteres en injektor. Injektoren vil, så snart flasken åbnes dosere gas ind i bælgen. En vandtryksventil sørger for, at doseringen aftager jævnt med dybden for helt at ophøre ved ca.18 meters dybde. Herefter sker doseringen alene over

demandventilen. Flowet hæver iltpartialtrykket i åndeluften. Iht. Søværnets anvisninger skal doseringen ligge mellem 5 og 9 l/min.

Apparatet skal ikke være forsynet med injektor ved anvendelse af blanding „A“, da injektoren kun vil øge gasforbruget.

Iltforgiftning

Af diagrammet „Iltpartialtryk i åndeluften“ ses, at iltpartialtrykket ved dybdegrænsen for de enkelte blandinger ligger over det iltpartialtryk på 1,6 bar, vi i dag betragter som forsvarligt. Iltpartialtrykket ligger dog indenfor den af Fenzy forudsatte grænse på 2,0 bar for iltpartialtrykket. Denne grænse var almindelig anerkendt på det tidspunkt hvor apparatet blev udviklet. Det skal dog bemærkes, at i den rapport Dufau-Casanabe i 1949 sender til admiralitetet, angiver han et iltpartialtryk på 1,7 bar som det maksimalt tilladelige.

Risiko for iltforgiftning set på baggrund af et iltpartialtryk på 1,6 bar kan elimineres ved at reducere dykkedybden for blanding „A“ til 18 meter, hhv. 37 meter for blanding „B“ og 48 meter for blanding „C“.

Følsomheden overfor iltforgiftning varierer fra den ene dykker til den anden. En iltforgiftning kan bl.a. fremkalde ukontrollerede bevægelser og resultere i bevistløshed, og dermed være fatal under vandet.

Kuldioxidforgiftning

Ved dykning med genåndingsapparater hvori kuldioxiden bindes i åndekalken, skal åndedrættet være behersket og jævnt, således at åndeluften befinder sig længst muligt i åndekalken, hvori kuldioxiden bindes. Høj og stødende respiration reducerer åndekalkens effektivitet, hvorved kuldioxidindholdet i åndeluften øges. En ophobning af kuldioxid kan føre til kuldioxidforgiftning af dykkeren. Genåndingsapparater er generelt ikke egnede til hårdt arbejde med hurtig respiration.

Søværnets anvisninger for anvendelse af DC 55 angiver da også, at dykkerens arbejdsbelastning aldrig må være mere end moderat, dvs. at dykkeren aldrig må få en fornemmelse af at være i åndenød. Åndedrætsfrekvensen pr. minut bør aldrig overstige 15 ved normal dyb vejrtrækning. Endvidere angives, at i tilfælde af „stakåndethed“ skal al aktivitet ophøre, og dykkeren skal ligge afslappet på siden, således at bælgen kommer til at ligge på højde med lungerne, hvorved åndedrætsmodstanden minimeres. Arbejdet genoptages, når åndedrættet er kommet i ro.

Kalkboksen på DC55 er ikke som på mange andre tilsvarende apparater forsynet med en fjederbelastet plade, der holder kalkpartiklerne sammen, og dermed forhindre, at kalken falder sammen, og der skabes kanaler, som udåndingsluften vil søge ud i, med en væsentlig reduktion af kuldioxidudskilningen til følge. Ved påfyldning af kalk på DC55 skal man derfor være omhyggelig med at få fyldt beholderen, og ved at slå let på denne få skabt en naturlig tæt lejring af kalkpartiklerne.

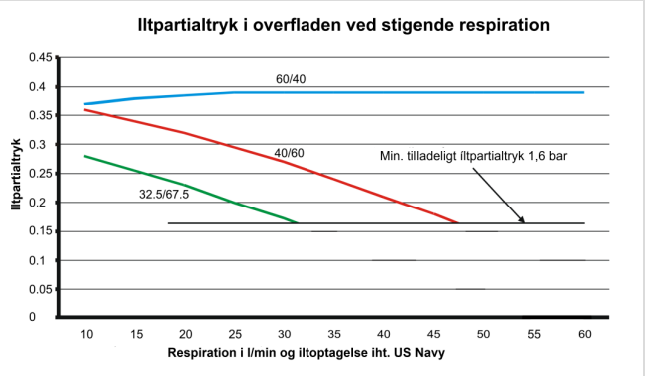
Kuldioxidens giftvirkning tiltager proportionalt med dybde, dvs. at forgiftningsvirkningen af 4% kuldioxid i overfladen svarer til forgiftningsvirkningen af 1% kuldioxid på 30 meters dybde. Det er derfor indlysende, at man ved dykning på større dybde skal være yderst varsom med ikke at overbelaste åndekalken ved hurtig respiration. Forgiftningen kan bl.a. fremkalder åndenød, hovedpine og bevidstløshed.

Iltmangel

Som det fremgår af diagrammet „Iltpartialtryk i åndeluften“ vil der ved stigende respiration nær overfladen være risiko for iltmangel ved anvendelse af blanding „C“ og i mindre grad også ved anvendelse af blanding „B“. Risikoen optræder dog først ved en respiration svarende til moderat arbejde. Diagrammet „Iltpartialtryk i overfladen ved stigende respiration“ angiver på baggrund af forhold mellem respiration og iltoptagelse iht. US Navy, hvorledes en stigende respiration reducerer iltindholdet i åndeluften.

Lægges en rolig og behersket respiration, som angivet i Søværnets anvisninger, til grund for anvendelsen af DC55, vil risikoen for iltmangel i overfladen være begrænset.

Endvidere angiver Søværnets anvisninger, at der roligt - men alligevel kvikt - skal dykkes mod dybden ved anvendelse af blanding „B“ og „C“.



Iltmangel giver kun svage varsler i form af bl.a. svimmelhed og træthed, inden bevidstløsheden indtræder.

Ofte er der dog ingen varsler, inden et blackout indtræder.

Minimumskravet til iltindhold i åndeluften falder med tiltagende vanddybde. Dette ses bl.a. af, at minimumskravet til iltindhold i åndeluften er udtryk som et iltpartialtryk på 0,16 bar. I overfladen vil kravet til iltindhold således være 16%, hvorimod minimumskravet til iltindhold på 30 meter vil være 4% (iltpartialtryk = 4 bar x 0,04 = 0,16).

En dykker kan således leve af en gasblanding med kun 4% ilt på 30 meters dybde, men forsøger han at svømme mod overfladen, vil iltpartialtrykket falde til under 0,16 bar, og dykkeren vil miste bevidstheden som følge af iltmangel. Denne form for iltmangel, hvor iltpartialtrykket reduceres til under eksistensminimum ved svømning mod overfladen, kaldes Shallow Water Blackout.

Anvendelse af apparatet, kan under følgende særlige omstændigheder, medføre iltmangel: Under udførelse af de foreskrevne afprøvninger af apparatet umiddelbart inden dykningen, blæses bælgene op med lungeluft, for at undersøge om de er tætte. Prøven sker med lukket mundstykke. I denne tilstand er der altså kun udåndingsluft med et reduceret iltindhold i apparatet, og bælgene er blæst helt op. Tager dykkeren nu apparatet på, og sætter det lukkede mundstykke i munden, kan han ånde gennem en åbning i mundstykket. Ved at dreje en

ventil på mundstykket lukkes åbningen til det fri, samtidig med at mundstykket åbnes til apparatet. Dykkeren trækker nu vejret i apparatet, som kun indeholder udåndingsluft. I opblæst tilstand indeholder bælgene ca. 3 liter luft, og der skal ske en volumenreduktion på ca. 2,5 liter, inden bælgen synker så meget sammen, at den store bælgs top rammer demandventilen, som så vil blæse frisk gas ind i apparatet.

Ved en respiration på 13 l/min og en iltoptagelse på 0,5 l/min vil dykkeren skulle ånde i apparatet i 1,6 minut, før iltoptagelsen og apparatets udblæsning af 1/12 af respirationen har reduceret luftvolumenet i apparatet så meget, at bælgens top når demandventilen. Luftvolumen i apparat og dykker vil typisk være 10,5 liter. I løbet af de 1,6 minutter der går, før doseringen træder i kraft, vil iltindholdet i denne mængde luft falde fra ca. 17% til ca. 12% og et blackout som følge af iltmangel er en mulighed.

Kvælstofnarkose

Kvælstofnarkose også kaldet dybhavsrus optræder ved indånding af atmosfærisk luft under tryk. Det tryk hvorved forgiftningen optræder, varierer lidt fra den ene dykker til den anden. De fleste vil dog erkende forgiftningen fra et tryk på ca. 4 bar svarende til en vanddybde på 30 meter. På denne dybde er kvælstoffens partialtryk 3,2 bar. Forgiftningen fremkalder en ruslignende tilstand. Da iltpartialtrykket generelt er øget i apparatet og kvælstofpartialtrykket dermed reduceret, vil dybhavsrusen optræde på forholdsvis dybere vand. Ved blanding „B“ typisk på 38 meters dybde og ved blanding „C“ typisk på 32 meters dybde.

Reservesystem

I mangel af manometer og reserve- luftventil foreskrives venstre flaske anvendt som reserveforråd. Under transport er flaskeventilerne dækket af en gummikappe, som forhindrer utilsigtet åbning af ventilerne. Ved dykningens start afmonteres gummikappen på den højre flaskeventil, og ventilen åbnes. Gummikappen forbliver på den venstre flaske, der skal fungere som reserveluft.

Ved anvendelse af blanding „A“ kan der dekanteres en gang når højre flaske er tom, og der mærkes åndedrætsmodstand. Dette sker ved, at den venstre flaskeventil åbnes, således at gassen strømmer over i den højre flaske. Efter ca. 1 minut lukkes den venstre flaskeventil igen, og der kan dykkes videre, indtil der igen mærkes åndedrætsmodstand, hvorefter der uddykkes. Den venstre luftflaske fungerer nu som reserveluft, og kan åbnes efter behov.

Ved anvendelse af blanding „B“ dekanteres ikke, men dykningen afbrydes når højre flaske er tom. Venstre flaske fungerer som reserve.

Ved anvendelse af blanding „C“ indeholder den venstre flaske ren ilt til dekompression. Ved anvendelse af blanding „C“ er der således ikke nogen reserveluft på dybder over 10 meter (i dag 6 meter), hvor anvendelse af ren ilt kan forårsage iltforgiftning.

Dekompression

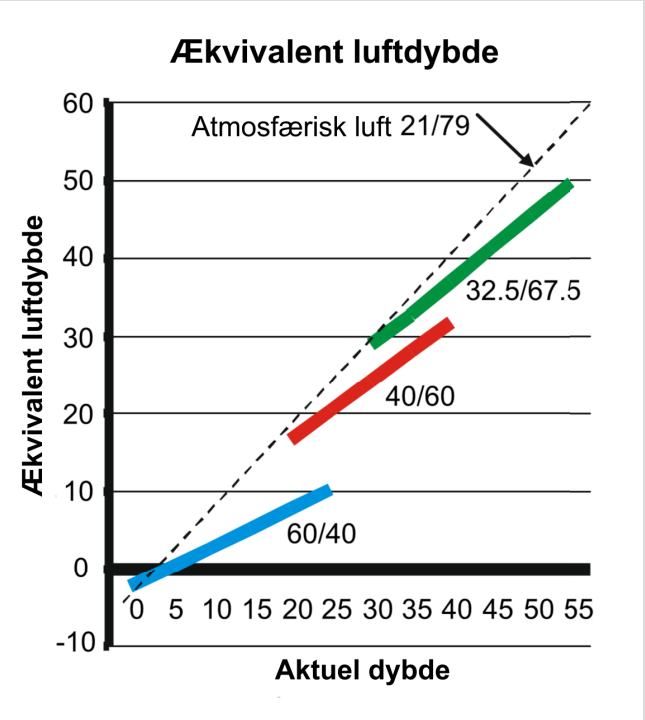
Det generelt lavere kvælstofpartialtryk reducerer kvælstofoptagelsen i forhold til en dykning med atmosfærisk luft.

Korrektionen, for at kunne anvende dekompressionstabeller baseret på indånding af atmosfærisk luft, er simpel. Korrektionen sker ved, at man beregner en ækvivalent luftdybde, og anvender denne i dekompressionstabellen. Den ækvivalente luftdybde (ædl) findes ved følgende formel: Æld = „Kvælstofprocent i åndeluften“ / „kvælstofprocent i atmosfæren“ x (dybden + 10) - 10

Ved dykning med blanding „A“ til 24 meters dybde vil kvælstofprocenten i åndeluften vil være 48,5% og den ækvivalente luftdybde vil blive 48,5 / 79 x (24+10) - 10 = 10,9 meter. På denne dybde har dykkeren en bundtid før dekompression på ca. 130 minutter. Ved moderat arbejde strækker luftforrådet til ca.1 timer og i hvile til ca. 160 minutter.

Af diagrammet „Ækvivalent luftdybde“ kan sammenhængen mellem den fysiske dybde og den ækvivalente luftdybde ses for de 3 gasblandinger.

Ved anvendelse af blanding „C“ foretages dekompression på ren ilt fra den ene flaske, når dykkeren når op til en dybde af 10 meter (i dag 6 meter). På denne dybde lukker dykkeren for den højre flaske og åbner for den venstre, som i dette

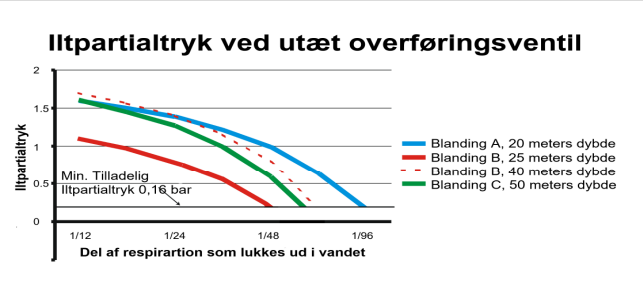


tilfælde er fyldt med ren ilt. Dekompression i en ren iltatmosfære reducerer dekompressionstiden væsentligt. For at sikre at dykkeren er i en 100% iltatmosfære, skal kvælstoffen skylles ud af lunger og apparat. Dette sker på samme måde, som når et iltapparat opstartes til dykning. Dykkeren suger gassen ud af apparatet og ånder ud gennem næse. Efter ca. 10 åndedrag, og tilsvarende dosering med rent ilt i bælgen, vil der ikke være meget kvælstof tilbage, og dykkeren kan ånde normalt.

Iltpartialtryk i åndeluften

Det dobbelte bælgsystem i kombination med demanddoseringen er genialt udtænkt.

Så længe der er proportionalitet mellem respiration og iltoptagelse, som det er tilfældet iht. US Navy, vil iltpartialtrykket i åndeluften stort set være uafhængig af arbejdsbelastningen, og kun stige med dybden. Dette forudsætter dog, at injektoren ikke er monteret, eller apparatet anvendes på dybder over 18 meter, hvor injektoren ophører helt



med at dosere gas til åndebælgen. Denne umiddelbare fordel skyldes alene demandsystemt. Anvendes et system med konstant dosering som f.eks. Dräger FGT I, vil iltindholdet og dermed iltpartialtrykket i sækken falde med stigende respiration og iltforbrug.

Forskellen mellem den konstante dosering og demanddoseringens påvirkning af iltpartialtrykket ved varierende respiration kan ses af diagrammet: „Iltpartialtryk i overfladen ved stigende respiration“. Det ses, at iltpartialtrykket stort set er uafhængig af respirationen ved anvendelse af blanding „A“, hvor injektoren ikke er monteret. Ved anvendelse af blanding „B“ og „C“ er injektoren monteret, og doseringen fra denne er så stor, at bælgene er blæst op til kontakt med glasfiberkassen, hvorved demandsystemet ikke kan aktiveres. På denne dybde virker apparatet som et apparat med konstant dosering, og det ses, at iltprocenten falder med stigende respiration.

Såfremt der ikke er proportionalitet mellem respiration og iltoptagelse, vil iltpartilatrykket ikke være uafhængig af respirationen. Såfremt dykkeren øger respirationen uden dette er begrundet i en større arbejdsbelastning og dermed større iltoptagelse, vil iltpartialtrykket i åndeluften stige, da den øgede respiration øger doseringen. Undertrykker dykkeren derimod åndedrættet, selv om arbejdsbelastningen og dermed iltoptagelsen øges, vil iltpartialtrykket falde.

Fordele

Apparatets princip med den dobbelte bælg er som sagt genialt, og systemet styrer iltpartialtrykket godt. Apparatet har alle genåndigsapparatets fordele, med deduceret dekompressionsbehov, reduceret gasforbrug, øget dykkedybde før kvælstofnarkosen optræder. Modsat det almindelige trykluftapparat, ændrer dykkerens vejrtrækning ikke opdriften, da luften blot flytter mellem lunger og bælg. Apparatets flade design, og et virkelig godt seletøj sikrer, at apparatet ligger godt på ryggen.

Svagheder

Demandsystemet doserer kun gas svarende til den mængde ilt, der optages af dykkerne plus den 1/12 af respirationsvolumenet, som lukkes ud i vandet. Dette forhold er afgørende for, at iltindholdet kan styres indenfor de fastsatte grænser.

I denne forbindelse rummer det dobbelte bælgsystem en skjult fare. Denne ligger i overføringsventilen i bunden af den lille bælg. Bliver denne utæt, således at bælgene er i mere eller mindre åben forbindelse med hinanden, vil udledning af luft til vandet blive reduceret, og doseringen med frisk gas vil blive reduceret tilsvarende. Herved vil iltprocenten i bælgene reduceres. Bortset fra, at der ikke længere vil slippe luft ud af overtryksventilen, er der ingen varsler om fejlen. Søværnets anvisninger angiver da også, at ventilens tæthed skal kontrolleres inden dykningen ved udførelse af en simpel prøve. Søværnets anvisninger angiver tillige, at man under dykningen skal kontrollere, at der slipper luft ud af overtryksventilen. Diagrammet „Partialtryk ved utæt overføringsventil“ illustrerer problemet ved en respiration på 30 l/min og et iltforbrug på 1,25 l/min for 4 forskellige blandinger/-dybder. Det ses, at såfremt overføringsventilen er så utæt, at der ikke lukkes 1/12 ud i vandet med kun 1/96, vil der for alle eksemplerne optræde et utilstrækkelig iltpartialtryk. Det skal hertil bemærkes, at kurverne viser tilstanden på dybden. Ved opstigning vil iltpartialtrykket falde med aftagende dybde, og uanset reduktionen af iltpartialtrykket kan accepteres på dybden, kan et reduceret iltindhold medføre et Shallow Water Blackout efterhånden som vanddybden mindskes og iltpartialtrykket reduceres yderligere. Nu kan de øvrige ventiler i apparatet også blive utætte, men da disse ventiler påvirkes af dykkerens fulde respiration, vil de lettere kunne bevare tætheden end overføringsventilen, som kun påvirkes af 1/12 af respirationen.

Herudover udgør de mange mekaniske samlinger er risiko for lækage. Kalkboksen er vanskelig at fylde, og mangler et system som kan sikre mod, at kalken falder sammen.

Tak til: Philippe Rosseau, Jørn-Peder Larsen, Christian Koudal, Viggo Theill, Bruno Müller, Orla Aagaard, Edward Jelen og Bent Skovgaard for bistand i forbindelse med artiklen.

Forfatteren med DC55