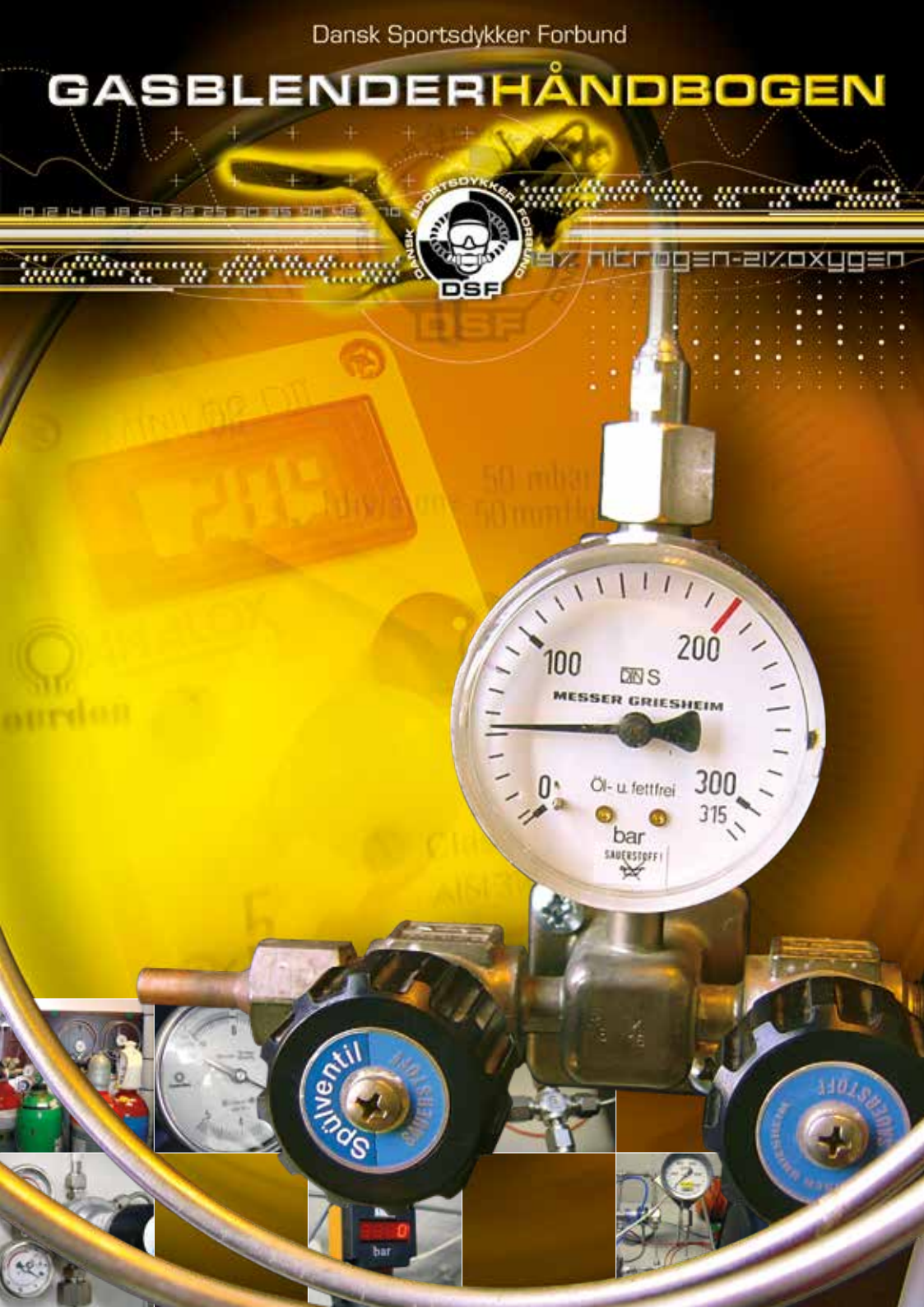
Dansk Sportsdykker Forbund

GASBLENDERHÅNDBOGEN



GASBLENDER HÅNDBOGEN

Retningslinier for fremstilling af nitrox og trimix samt oxygenservicering af udstyr

Dansk Sportsdykker Forbund 2014
4. Udgave

Copyright © Dansk Sportsdykker Forbund · Tegninger: Hovmark Reklamebureau · Foto: Jan Rasmussen & Adam Rubin
4. udgave 1. oplag · Oplag: 500 · Omslag & grafisk tilrettelægning: Hovmark Reklamebureau
Tryk: PRinfoHolbæk-Hedehusene-Køge A/S · ISBN: 978-87-90305-37-6

Forord

Denne håndbog udgør undervisningsmaterialet til Dansk Sportsdykker Forbunds kurser "CMAS Nitrox Gasblender" og "CMAS Trimix Gasblender". Bogen er som udgangspunkt skrevet som baggrundsmateriale til ovennævnte kurser, men er samtidigt forsøgt gjort så dækkende, at den efterfølgende kan benyttes som opslagsbog. Bogen kan ikke bruges til selvstudium og erstatte deltagelse på et kursus, dertil er emnet alt for komplekst og konsekvenserne - hvis noget går galt – er for alvorlige.

Håndtering af gasser – især oxygen – under tryk, er potentielt farligt. Dette kompliceres af, at der ikke er klare grænser mellem hvor det går godt, og hvor det går galt. Dette betyder også, at man forskellige steder kan møde forskellige retningslinier, der kan være direkte modstridende. Det er derfor forsøgt at fokusere mere på de grundlæggende fysiske forhold, der ligger til grund for retningslinierne, end på selve retningslinierne, for derved at sætte kursisten i stand til selv at vurdere og forstå, hvor det er særligt vigtigt at være omhyggelig.

Selv om bogens indhold er baseret på et grundigt forarbejde med kildestudier, skal det understreges at bogens anbefalinger til enhver tid skal holdes op imod andre kilders anbefalinger, samt den til enhver tid gældende lovgivning. Kommentarer og rettelsesforslag til bogen kan sendes til litteratur.tu@sportsdykning.dk

Til slut skal lyden en stor tak til Mogen Braee og Jan Rasmussen for deres sparring og hjælp omkring bogens tilblivelse gennem arbejdet i Dansk Sportsdykker Forbunds nitroxgruppe.

September 2004
Forfatter

Adam Rubin

3. udgave er bearbejdet af: Lars Norup, Flemming Holm og Jan Borris
4. udgave er bearbejdet af Søren Bergh Jensen

Indhold

Forord 4

1. ANSVAR OG KOMPETENCER FOR EN CMAS GASBLENDER 9
Hvad er en gasblender? 10
CMAS Nitrox Gasblender uddannelsen 10
Færdigheder som certificeret CMAS Nitrox Gasblender 11
Kompetencer som CMAS Nitrox Gasblender 11
CMAS Trimix Gasblender udddannelsen. 11
Færdigheder som certificeret CMAS Trimix Gasblender 12
Kompetencer som CMAS Trimix Gasblender 12
Ansvar som Gasblender. 12

2. REGLER OG LOVE FOR FYLDEANLÆG. 13
Hvorfor skal vi overholde reglerne? 14
Regler for fyldestationer 15
Administrative procedurer. 15
Tekniske krav. 15
Andre love og regler 16

3. FYSIK 17
Gasserne 18
Oxygen. 18
Nitrogen. 18
Helium 18
Kuldioxid. 18
Argon 19
Industriel fremstilling af rene gasser 19
Daltons lov - partialtryk 20
Gaslovene 22
Idealgaslovene 22
Boyles lov 22
Charles lov. 23
Guy-Lussacs lov 24
Den generelle idealgaslov 24
Når idealgaslovene ikke gælder 26
Van der Waals 26

4. OXYGENKOMPATIBILITET 31
Atmosfærer med forhøjet indhold af oxygen 32
Hvorfor brænder det? 33
Brandbart materiale 33
Oxygen 34
Varme 34
Antændelse af en oxygenbrand 35
Partikelsammenstød 35
Friktion 35
Kompressionsvarme 35
Oxygenkompatibel 37
Oxygenservice 39
Hvornår skal komponenter være i oxygenservice? 39
Oxygenrengøring 42
Udstyr 42
Trin for trin 43
Forberedelser 43
Grovrengøring 43
Finrengøring 44
Kontrol 46
Samling 46
Mærkning 47
Bevarelse af udstyr i oxygenservice 47
Oxygenkompatibel luft 48
Jævnlig vedligeholdelse 49

5. BLANDEMETODER 51
Fremstilling af nitrox 52
Blanding med partialtryk fyldemetoden 52
Blanding efter vægt 54
Kontinuerlig blanding 55
Membranfiltrering 56
Pressure Swing Adsorption 57
Blanding med helium 58
Simpelt anlæg til fyldning med helium 58
Brug af boosterpumpe 59
Kend dit fyldeanlæg 60

6. ANALYSE AF GAS 61
Analyse af oxygenfraktion - brændselselement 62
Kalibrering 63
Oxygensensorens trykfølsomhed 64
Nøjagtighed af analysen 64
Helium analyse 65

7. GASBLANDING I PRAKSIS 67
Gasser til blanding af åndegasser 68
Oxygen 68
Helium 68
Blanding af nitrox med partialtryk fyldemetoden 69
Fyldning af tom flaske 69
Fyldning af flaske der allerede indeholder gas - recut 69
Blandetabel 71
Den praktiske fyldning med partialtryk fyldemetoden 72
Kontinuerlig blanding af nitrox 74
Fyldning af tom flaske eller flaske med samme blanding 74
Fyldning af flaske med en anden blanding 74
Brug af blandetabeller 76
Den praktiske fyldning med kontinuerlig fyldemetode 79
Blanding med helium 80
Heliair 81
Trimix 83
Mere komplicerede trimixberegninger 84
Gasforbrugsberegninger 85
Fyldejournal 86

APPENDIKS 87
Appendiks A Krav til fyldeanlæg 88
Appendiks B Anlæg til fremstilling afoxygenberiget luft (nitrox) 96
Rumlig opbygning 96
Tekniske specifikationer på installationen 97
Procedurer for brug af Anlæg til fremstilling af oxygen beriget luft (nitrox) 98
Opstart af anlæg 99
Nedlukning af anlæg 100
Fyldning af flaske 100
Appendiks C Rengøringsmetoder 102
Generel grovrengøring af komponenter 102
Fjernelse af rust i stålflasker 102
Fjernelse af kalk og salt aflejringer 103
Finrengøring 103
Appendiks D Blandetabel for nitrox 106
Appendiks E Fyldejournal 109
Se næste side 109
Appendiks F Formelsamling 111
Kapitel 3 – Fysik 111
Kapitel 7 – Fyldeformler 113
Appendiks G Ordforklaring 116
Appendiks H Udvalgte referencer 118

1. ANSVAR OG KOMPETENCER FOR EN CMAS GASBLENDER

Hvad er en gasblender?

Før vi kommer rigtigt i gang, bliver vi nødt til at få hold på, hvad vi mener med en gasblender. Udtrykket er som det fremgår taget direkte fra engelsk, og da det er så indarbejdet et udtryk i det tekniske dykkermiljø, har vi valgt ikke at oversætte det til dansk. Direkte oversat betyder ordene noget med at blande eller mikse gas, og det er lige hvad det handler om. Som gasblender skal du kunne blande den åndegas, du skal bruge på dine dyk. I praksis vil det som oftest betyde, at du skal have færdigheder i at håndtere gasser, herunder oxygen, under højt tryk. Desuden får du som CMAS gasblender færdigheder i, hvordan udstyr sættes i oxygenservice. Det er her meget vigtigt at understrege, at kurset ikke giver kompetancer i vedligeholdelse og service på udstyr. Denne viden skal erhverves andetsteds under hensyntagen til den enkelte leverandørs anvisninger. Forkert samling eller justering af udstyr er potentielt livsfarligt.

Adskillelse og servicering af udstyr kræver, at operatøren har viden og kompetence til på forsvarlig vis at udøve denne service. Hvis i tvivl - så lad være!

CMAS Nitrox Gasblender uddannelsen

Denne uddannelse er baseret på CMAS standarden "CMAS Nitrox Gasblender".

Den eneste forudsætning for at påbegynde uddannelsen som CMAS Nitrox Gasblender er at, du er fyldt 18 år. Det er således ikke nødvendigt at være uddannet dykker.

For yderligere oplysninger om CMAS nitroxuddannelsen henvises til Dansk Sportsdykker Forbunds nitrox lærebog "Nitroxhåndbogen".

Færdigheder som certificeret CMAS Nitrox Gasblender

Når du har gennemført Dansk Sportsdykker Forbunds CMAS Nitrox Gasblender kursus har du opnået følgende færdigheder:

- Omfattende kendskab til risici ved gasblanding og fyldning af trykflasker, specielt omkring håndtering af ren oxygen ved høje tryk.
- Den teoretiske viden og færdigheder i at beregne hvordan den ønskede nitroxblanding opnås
- Praktisk erfaring med blanding og kontrol af nitrox
- Viden om, og færdigheder i, kontrol af fremstillet gas, samt mærkning af flasker.
- Kendskab til helbredsrisici ved forkert og uhensigtsmæssig blanding af åndingsgas.
- Færdigheder i oxygenrengøring af udstyr, samt kontrol af dette.

Kompetencer som CMAS Nitrox Gasblender

Som CMAS Nitrox Gasblender kan du:

- Fremstille alle blandinger af oxygen og nitrogen, såfremt du er instrueret i brugen af det konkrete fyldeanlæg
- Sætte udstyr i oxygenservice, såfremt du i øvrigt er kompetent til at foretage service på udstyret.

CMAS Trimix Gasblender udddannelsen

Denne uddannelse er baseret på standarden "CMAS Trimix Gasblender".

Den eneste forudsætning for at påbegynde uddannelsen som CMAS Trimix Gasblender er at du er certificeret CMAS Nitrox Gasblender.

Færdigheder som certificeret CMAS Trimix Gasblender

Når du har gennemført Dansk Sportsdykker Forbunds CMAS Trimix Gasblender kursus har du opnået følgende færdigheder:

- Beregning af "best mix"
- Den teoretiske viden og færdigheder i at beregne hvordan den ønskede trimixblanding opnås.
- Praktisk erfaring med blanding og kontrol af trimix

Kompetencer som CMAS Trimix Gasblender

Som CMAS Trimix Gasblender kan du:

- Fremstille alle blandinger af oxygen, nitrogen, helium og argon – såfremt du er instrueret i brugen af det konkrete fyldeanlæg.
- Sætte udstyr i oxygenservice, såfremt du i øvrigt er kompetent til at foretage service på udstyret.

Ansvar som Gasblender

Dykkere er totalt afhængige af den gas, de indånder. Har gassen et forkert oxygenindhold, eller er den blevet forurenet under fremstillingen, kan det have fatale konsekvenser. Den enkelte dykker er altid selv ansvarlig for at sikre sig, at den gas der benyttes til en bestemt dykning, er egnet.

Som gasblender har du et medansvar for, at selve fyldningen sker under sikkerhedsmæssigt betryggende forhold. Der er meget energi i komprimeret gas, så ulykker under fyldning kan få alvorlige konsekvenser. Som ved alt anden dykning er det vigtigt, at du siger fra over for ting, du ikke kan stå inde for eller er usikre på.

2. REGLER OG LOVE FOR FYLDEANLÆG

Når vi fylder dykkerflasker, er vi underlagt en række love og regler. Disse love og regler har to primære formål:

1) Hindre at vi selv eller andre kommer til skade under fyldningen

2) Sikre at den gas der er kommet på dykkerflaskerne, er som ønsket og sikker at ånde

De regler, der gælder, er typisk udarbejdet til brug i industrien og kan derfor virke meget strenge, restriktive og ikke mindst dyre at implementere.

Hvorfor skal vi overholde reglerne?

Rundt om i det danske dykkermiljø er der i tidernes løb blevet lavet mange kreative og snedige løsninger, især når det gælder udstyr til gasblanding og fyldning af flasker. Heldigvis har vi været forskånet for alvorlige ulykker, men samtidig er der opstået den holdning, at dykkere ikke er underlagt den samme lovgivning som alle andre, og at vi kan gøre stort set, som vi vil. Dette er selvfølgelig ikke rigtigt, de regler, der gælder for alle andre, gælder også for dykkere. Denne opfattelse ændrer ikke ved, at der er to altoverskyggende grunde til at følge den lovgivning der gælder, og som er beskrevet senere i dette afsnit:

1) Ved at følge lovgivningen reducerer vi risikoen for alvorlige ulykker

2) Ved at tilsidesætte lovgivningen risikerer vi, at pådrager os et personligt ansvar, hvis der sker en ulykke

Den første gode grund er altså, at langt de fleste regler bygger på sund fornuft og erfaring i, hvor det er, at anlæggene er farlige, og hvordan de hermed forbundne risici reduceres. Når vi følger de opstillede regler, er vi derfor nogenlunde sikre på, at anlægget er konstrueret hensigtsmæssigt og betjenes hensigtsmæssigt.

Selv når man føler, at der ikke er nogen tekniske argumenter, der taler for at følge lovgivningen, så er der altid den anden gode grund – nemlig at man pådrager sig ansvar, hvis man ikke gør det. Det gælder i første omgang klubbestyrelser, forretningsindehavere eller andre, der ejer og driver anlæggene, men også brugere der tilsidesætter instrukser, vil risikere at blive holdt ansvarlige.

Regler for fyldestationer

I Danmark er det Arbejdstilsynet der har ansvaret for reglerne for fyldning af tryk-flasker. Reglerne er beskrevet i bekendtgørelse 289 – ***Bekendtgørelse om transportabelt trykbærende udstyr*** og yderlige specificeret i At-vejledning B.4.5 fra April 2007 ***- Fyldestationer til fyldning af flasker***

Overordnet kan man opdele indholdet i reglerne i en administrativ del, der har med anmeldelse og tilsyn af fyldeanlæg at gøre, og en teknisk del, der har med anlæggenes opbygning og virkemåde at gøre.

Administrative procedurer

Fra myndighedernes side taler man om ***fyldestationer,*** når man taler om anlæg, der kan fylde trykflasker. Disse anlæg består af kompressor(er), rørføring og ventiler og evt. tilførsel af andre gasarter end luft – når det gælder anlæg til fremstilling af nitrox, er dette selvsagt oxygen.

Fyldestationer skal altid anmeldes til Arbejdstilsynet, inden de tages i brug. Med anmeldelsen skal følge en beskrivelse af fyldeanlægget samt instruktioner for brug af anlægget. Arbejdstilsynet foretager ikke en egentlig godkendelse af anlægget blot en registrering.

For at kunne bruge anlægget skal det inspiceres årligt af et bemyndiget prøvnings-organ – i praksis af Force Technology (www.forcetechnology.com) eller Jebru Inspek-tion (www.jebru.dk). Ved kontrolbesøg sikres at fyldningen sker i overensstemmelse med Arbejdstilsynets regler, og der rapporteres tilbage til Arbejdstilsynet. Prisen for et kontrolbesøg er ca. kr. 3000 - 4000 (2009). Tidligere var mobile anlæg undtaget fra bestemmelsen om kontrolbesøg, dette er ikke længere tilfældet. **Alle kompressorer uanset om de er ejet af privatpersoner, klubber eller erhvervsdrivende, skal inspiceres årligt af et bemyndiget prøvningsorgan.**

Tekniske krav

Overordnet set skal fyldeanlæg ifølge bekendtgørelse 289 være konstrueret således, ***at fyldning kan foregå forsvarligt.*** Det er jo et vidt begreb, så der er selvfølgelig en række specifikke krav der skal opfyldes:

- Anlægget skal give åndegas af en vis renhed
- Anlægget skal være sikret mod overfyldning
- Der skal være udarbejdet procedure for fyldning samt for drift og vedligeholdelse af anlægget

For anlæg til atmosfærisk luft har Force Technology udarbejdet en liste over delkrav, der skal opfyldes af et anlæg, for at det lever op til bekendtgørelsen. Kravene findes i appendiks A.

Anlæg til nitrox skal selvfølgelig overholde de samme krav som anlæg til atmosfærisk luft. Derudover stilles der krav om, at udstyr, der kommer i kontakt med oxygenberiget luft, er i oxygenkompatible materialer og rengjort til oxygen service. Endvidere skal gasser, der benyttes i fyldningen, være frie for olierester.

Dansk Sportsdykker Forbund har skitseret et typisk fylde anlæg til fyldning af nitrox ud fra partialtryk fyldemetoden. Endvidere er der udarbejdet en procedure for betjening af dette anlæg. Beskrivelsen af dette anlæg er forelagt Arbejdstilsynet til udtalelse, og de finder, at det lever op til kravene i bekendtgørelse 289. Dette anlæg er detaljeret beskrevet i appendiks B.

Andre love og regler

Ovenstående er beskrevet regler for selve fyldeanlægget. Almindeligt dykkerudstyr, der benyttes til nitrox, er også underlagt regler og normer. Disse regler vil ikke blive omtalt her, idet der henvises til ***Nitroxhåndbogen*** samt løbende information fra myndigheder og Dansk Sportsdykker Forbund.

Det er desuden vigtigt at være opmærksom på, at regler og love ændres løbende, og at man som blender selv har ansvar for at holde sin viden ajour.

3. FYSIK

Når vi fremstiller gasblandinger er vi underlagt fysikkens love. Ligegyldigt hvad er det den ultimative reference på, om vi har båret os fornuftigt ad eller ej. Derfor er et kendskab til fundamentale fysiske principper nødvendig. Meget af dette vil være repetition fra den grundlæggende dykkeruddannelse, men et par nye områder og begreber vil blive introduceret.

Gasserne

Når vi snakker åndingsgasser til dykning, er der tale om oxygen blandet med en eller flere inerte gasser. En inert gas er en gas, der ikke reagerer kemisk med andre stoffer. De inerte gasser i åndingsgasser er typisk nitrogen og/eller helium. Udover åndingsgasser vil vi som dykkere også kunne møde kuldioxid og argon.

Oxygen

Oxygen er en farveløs, ugiftig og lugtfri gas, hvis indhold i atmosfærisk luft er 20,95 %. Oxygen hedder på dansk også ilt og har den kemiske betegnelse O_2. Oxygen er en brandnærende gas, men er ikke i sig selv brandbar.

Nitrogen

Nitrogen er en farveløs, ugiftig og lugtfri gas, hvis indhold i atmosfærisk luft er 78,08 %. Nitrogen hedder på dansk også kvælstof og har den kemiske betegnelse N_2. Nitrogen er ikke brandbar og er inert under de forhold, hvor den findes i forbindelse med dykning.

Helium

Helium er en farveløs, ugiftig og lugtfri gas, der findes i meget små mængder i atmosfærisk luft. Helium er en ædelgas, det vil sige, at den er inert overfor andre stoffer. Den kemiske betegnelse for helium er He. Helium kan anvendes i dykning som inert gas,til erstatning for kvælstof, primært på grund af den meget lave narkotiske virkning.

Kuldioxid

Kuldioxid kendes bedst ved dens kemiske betegnelse CO_2. Indholdet i atmosfærisk luft er 0,03 %. Ved stuetemperatur og atmosfæretryk er kuldioxid en farveløs og ugiftig gas med let stikkende, sur smag og lugt. Ved ca. 60 bar kondenserer den til en væske.

Kuldioxid kendes også som fast stof i form af tøris, der ved –79 °C sublimerer, hvilket betyder, at det går fra fast form til gas form uden at blive en væske. Kuldioxid er et affaldsprodukt fra forbrænding og forhøjet indhold i indåndingsluften påvirker åndedrætsfunktionen.

Argon

Argon er en farveløs, ugiftig og lugtfri gas, hvis indhold i atmosfærisk luft er 0,93 %. Argon er som helium en ædelgas, og den kemiske betegnelse er Ar. Argon har en lav termisk ledningsevne, og kan derfor med fordel benyttes ved teknisk dykning som dragtgas i tørdragte for at opnå større isoleringsevne.

Industriel fremstilling af rene gasser

Den mest anvendte industrielle fremstilling af oxygen (O_2), nitrogen (N_2) og argon (Ar) sker ud fra atmosfærisk luft. Når luft køles ned til næsten minus 200 °C kondenserer den, d.v.s. fra at være en gas bliver den til en væske. Kogepunktet for oxygen, nitrogen og argon er forskellig. Ved 1 bar koger oxygen ved minus 183,0 °C, nitrogen ved minus 195,9 °C og argon ved minus 185,9 °C. Denne forskel i kogepunkter udnyttes til at adskille luften i dens bestanddele ved såkaldt destillation. Dette sker i en destillationskolonne, hvor forskel i kogepunkt gør, at kvælstof med det laveste kogepunkt, først vil gå på gasform, derefter argon og til sidst oxygen. Forenklet fortalt betyder det, at man i princippet kan tappe ren kvælstof ud i toppen af destillationskolonnen, og ren oxygen i bunden. Argon fås ved oprensning af en fraktion fra midt i kolonnen.

Moderne industrianlæg kan ved denne metode producere gasser med en meget høj renhed. Typiske renheder er: oxygen ≥ 99,5%, nitrogen ≥ 99,998% og argon ≥ 99,996%.

I og med at oxygen, nitrogen og argon fremstilles ved at oprense atmosfærsik luft, er det nemt og billigt at fremstille. Anderledes er det med helium. En stor del af verdens heliumreserve findes i lille område i Texas USA. Naturgassen i området indeholder helium der udvindes ved at køle naturgassen ned til mere end minus 200 °C. Herved er det kun helium, der er på gasform De øvrige komponenter i naturgassen er kondenseret til væske.

Daltons lov - partialtryk

Daltons lov siger: *"**Totaltrykket af en gasblanding er lig summen af de enkelte komponenters partialtryk".*** Partialtryk betyder deltryk, det vil sige det tryk den enkelte gas ville have alene, hvis den udfyldte hele rumfanget. Hvad dette tryk er, kan meget nemt regnes ud, idet det er den procentdel af totaltrykket, som den enkelte gas udgør.

Dette kan skrives på en formel, men før vi gør det, skal vi lige have nogle forkortelser på plads. For det første vil vi altid forkorte tryk med ***p***. Det kommer fra det engelske ***pressure***. Hvis vi taler om et partialtryk vil vi skrive efter ***p'***et, hvad det er for et partialtryk – f.eks. skriver vi for oxygens partialtryk p_{O2}, eller hvis det er total trykket p_{Total}. Det næste vi har brug for, er procentdelen en given gas udgør af gasblandingen. Her bruger vi ***F*** for ***fraktion*** efterfulgt af, hvilken del af gasblandingen vi taler om – f.eks. andelen af oxygen i en blanding skrives: F_{O2}. Vi kan nu skrive formlen for oxygens partialtryk op i en gasblanding:

$$p_{O2} = F_{02} \times p_{Total}$$

Eksempel

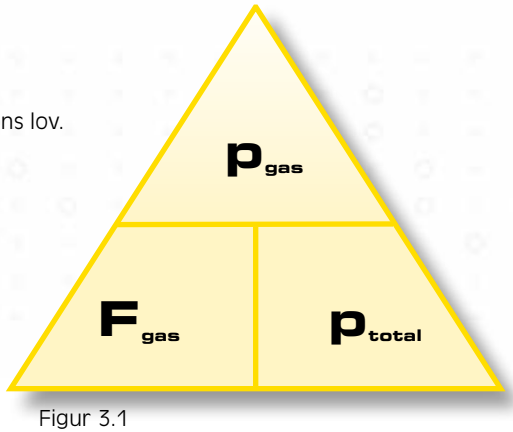
Tager vi en dykkerflaske fyldt til 200 bar med atmosfærisk luft, ved vi at der ca. er 21% oxygen og ca. 79% nitrogen i flasken. Derved bliver F_{O2} = 0,21 og F_{N2} = 0,79. Da totaltrykket er 200 bar er p_{Total} = 200 bar. Partialtrykket for oxygen og kvælstof regnes ud ved brug af formlen:

p_{O2} = 0,21 X 200bar = 42bar

p_{N2} = 0,79 X 200bar = 158bar

En god måde at huske Daltons lov på og udregne partialtryk, er ved at bruge tryk T'et. Tryk T'et holder styr på, om der skal ganges eller divideres. Ting, der står ved siden af hinanden, skal ganges, ting der står over hinanden skal divideres.

Tryk T'et gør det nemt at bruge Daltons lov.



Figur 3.1

Eksempel

Vi ønsker at dykke til 25 meter med et maksimalt oxygen partialtryk på 1,4 bar. Det vil sige totaltrykket p_{Total} = 3,5 bar og p_{O2} = 1,4 bar. Fra tryk T'et kan vi se, at oxygen fraktionen F_{O2} er oxygen partialtrykket delt med totaltrykket:

$$F_g \mid \frac{1,4}{3,5}$$

$$F_{O2} = \frac{p_{O2}}{p_{TOTAL}} = \frac{1,4\text{bar}}{3,5\text{bar}} = 0,40 = 40\%$$

En nitrox 40 blanding vil således give et oxygen partialtryk på 1,4 bar ved dykning til 25 meter.

Gaslovene

Når man dykker, men også når man skal lave gasblandinger, er det vigtigt at vide, hvordan gasser opfører sig, når de komprimeres og opvarmes. Dette fortæller gaslovene noget om.

Idealgaslovene

Boyles lov

Du kender allerede til én gaslov, nemlig Boyles lov. Som bekendt siger den, at ***"tryk og rumfang er omvendt proportionale".*** Med det forstås at, hvis for eksempel trykket stiger, så må rumfanget blive mindre, og gør man rumfanget for en gas større, så vil trykket falde, forudsat at temperaturen er konstant.

Dette kan vi skrive op som $p \times V = k$, hvor p igen er trykket, ***V*** er rumfanget (fra engelsk volume) og ***k*** er en konstant. En anden måde at skrive det op på, er som:

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

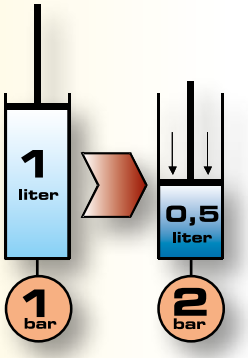
Her er ***p*** og ***V*** igen tryk henholdsvis rumfang. 1 og 2 refererer til gassen i to forskellige situationer.

Eksempel

Ser vi på en cylinder, der indeholder 1 liter gas ved 1 bars tryk, kan vi bruge Boyles lov til at bestemme, hvor stort trykket er blevet, hvis gassen presses sammen til at fylde ½ liter. Hvis vi tænker os, at situation 1 er før gassen komprimeres, og situation 2 er efter fås:

$$1bar \times 1liter = p_2 \times 0{,}5liter$$

$$p_2 = \frac{1bar \times 1liter}{0{,}5liter} = 2bar$$



Charles lov

En anden gaslov er Charles lov. Den fortæller noget om sammenhængen mellem temperatur og rumfang ved konstant tryk. Vi har allerede en fornemmelse af, at køler vi en gas af, vil den trække sig sammen, og rumfanget altså blive mindre. Omvendt hvis vi varmer den op, så vil gassen udvide sig, og rumfanget altså øges.

Dette kan vi skrive op som:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

V er fortsat rumfanget, og ***T*** er den absolutte temperatur. Absolut temperatur regnes i Kelvin, og har nulpunkt ved –273 °C. Temperaturen i Kelvin kan regnes ud ved at lægge 273 til temperaturen i Celsius:

***T*(K) = *T*(°C) + 273.**

For at få en fornemmelse af, hvor meget gas udvider sig, kan vi prøve at regne ud, hvad der sker, hvis vi varmer 1 liter gas op fra 0 °C til 100 °C og forudsætter, at trykket holdes konstant. Først regner vi T_1 og T_2 ud:

T_1 = 0 + 273 = 273 K

T_2 = 100 + 273 = 373 K

Sætter vi ind i formelen fås:

$$\frac{1}{273} = \frac{V_2}{373} \Rightarrow V_2 = \frac{373}{273} = 1{,}37 liter$$

Vi kan altså se, at volumen af en gas udvides med 37%, når gassen opvarmes fra 0 til 100 °C.

Guy-Lussacs lov

Som Charles lov fortæller noget om sammenhængen mellem rumfang og temperatur, fortæller Guy-Lussacs lov om sammenhængen mellem tryk og temperatur ved konstant rumfang. Vi ved allerede, at hvis vi øger temperaturen på en gas i en lukket beholder, vil trykket stige og omvendt, hvis vi køler gassen af, vil trykket falde. Matematisk skrives dette op som:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Som tidligere er ***p*** trykket, og ***T*** den absolutte temperatur – altså temperaturen regnet i Kelvin.

Eksempel

Lad os se, hvad det betyder, hvis vi lader en dykkerflaske ligge i bagagerummet på en bil i solen. Temperaturen i bagagerummet kan let nå op på 60 °C. Hvor stort vil trykket blive for en flaske fyldt til 200 bar ved 20 °C? Først udregnes T_1 og T_2 i Kelvin:

$$T_1 = 20 + 273 = 293\ K \qquad T_2 = 60 + 273 = 333\ K$$

Sætter vi ind i Guy-Lussacs formel fås:

$$\frac{200}{293} = \frac{p_2}{333} \Rightarrow p_2 = 333 \times \frac{200}{293} = 227 bar$$

Trykket i flasken i bagagerummet vil altså været steget til 227 bar.

Den generelle idealgaslov

Boyles-, Charles- og Guy-Lussacs lov er alle flere sider af samme sag og kan derfor kombineres i en generel idealgaslov. Denne lov kan vi skrive op på flere måder. Den simpleste måde er hvis vi holder mængden af gas konstant:

$$\frac{p_1 \times V_1}{T_1} = \frac{p_2 \times V_2}{T_2}$$

Som før er ***p*** trykket, ***V*** er rumfanget og ***T*** er den absolutte temperatur i Kelvin.

Den generelle idealgaslov er endnu mere nyttig, hvis den også giver mulighed for at tilføre eller fjerne gas til det system, man regner på. For at gøre det er det praktisk at indføre en måde at tælle mængden af gasmolekyler, der er i en given mængde gas. Til dette bruger vi betegnelsen ***n*** og måleenheden mol. Mol er en meget brugt kemisk måleenhed for antallet af gasmolekyler. 1 mol er en hulens masse gasmolekyler, nærmere bestemt $6{,}023 \times 10^{23}$ molekyler. For at regnestykket skal gå op, skal vi også bruge en konstant – den universelle gaskonstant ***R***. Hvis vi regner trykket i bar, rumfanget i liter, temperaturen i Kelvin og gasmængden i mol, så er ***R*** = 0,0831 (bar×liter)/(mol×K). Den generelle idealgaslov kan så opskrives som:

$$p \times V = n \times R \times T$$

Hvor ***p*** er trykket, ***V*** er rumfanget, ***n*** er antallet af gasmolekyler, ***R*** er den universelle gaskonstant og T er den absolutte temperatur.

Eksempel

En 15 liters flaske fyldes til 200 bar. Lige efter fyldningen er gassen 40 grader varm. Hvor mange mol gas er der i flasken?

Først bestemmes den absolutte temperatur:

T=40+273 = 313 K

Derefter benytter vi idealgasloven til at bestemme mængden (n) af gas på flasken:

$$p \times V = n \times R \times T \Rightarrow n = \frac{p \times V}{R \times T} = \frac{200 \times 15}{0{,}0831 \times 313} = 115 \ mol$$

Der er altså 115 mol gas på flasken.

Når idealgaslovene ikke gælder

I det forudgående er der opstillet en række love, som vi samlet kalder idealgaslovene. Disse love er forholdsvis simple, og beskriver de fleste gassers opførsel forbløffende godt ved moderate temperaturer og lave tryk. De er således fuldt tilstrækkelige, hvis vi skal beregne, hvordan vi blander oxygen og nitrogen til nitrox og fylder op til 200 bar.

Idealgaslovene er dog kun en simpel måde til at beskrive samspillet mellem tryk, temperatur og volumen. Når trykket og temperaturen stiger, vil gasser opføre sig mere og mere forskelligt, fra den måde idealgaslovene forudsiger. Der er derfor udviklet en lang række modeller, der beskriver gassers opførsel bedre end idealgaslovene. For dykkere er det kun relevant at tage andre forhold, end dem der beskrives af idealgaslovene i betragtning, hvis vi benytter helium eller blander til tryk væsentligt over 200 bar.

Van der Waals

En af de mest anvendte forbedringer af idealgasloven er Van der Waals tilstandsligning:

$$p = \frac{n \times R \times T}{V - n \times b} - a\left[\frac{n}{V}\right]^2 = \frac{R \times T}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2}$$

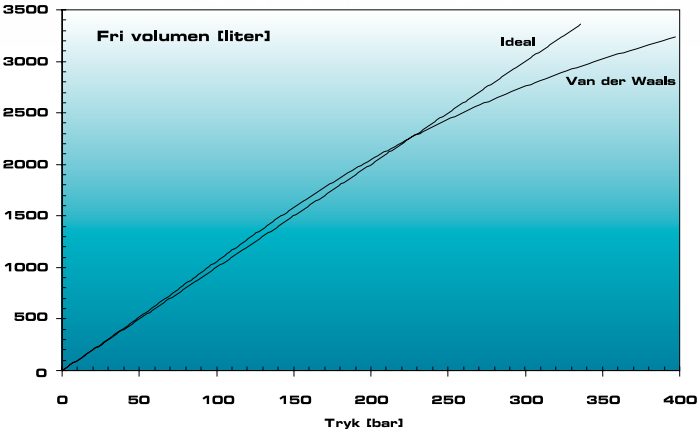
Hvor V_m er det molære volumen (volumen af én mol gas), og ***a*** og ***b*** er to konstanter specifikke for hver enkelt gas.

For at bruge Van der Waals ligning, er det nødvendigt at kende konstanterne ***a*** og ***b*** for de gasser, man undersøger. Tabel 3.1 indeholder konstanter for relevante gasser for dykkere.

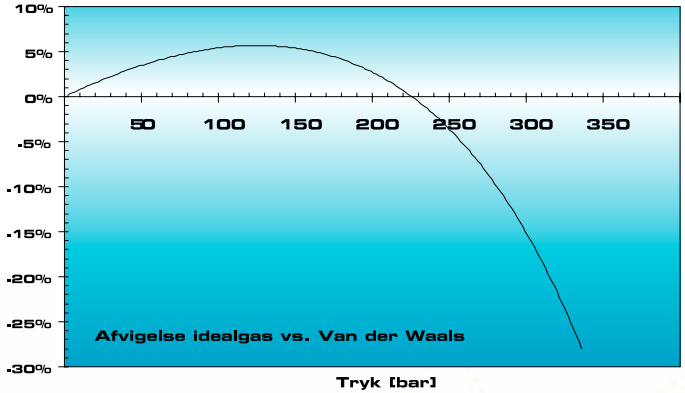
Tabel 3.1 Van der Waals konstanter for gasser relevante for dykkere.

Van der Waals konstanter		
Gas	$a \left[\frac{(liter)^2 \times bar}{(mol)^2}\right]$	$b \left[\frac{liter}{mol}\right]$
O_2	1,378	0,03183
N_2	1,408	0,03913
Ar	1,363	0,03219
CO_2	3,640	0,04267
He	0,03457	0,02370
Luft	1,402	0,0375

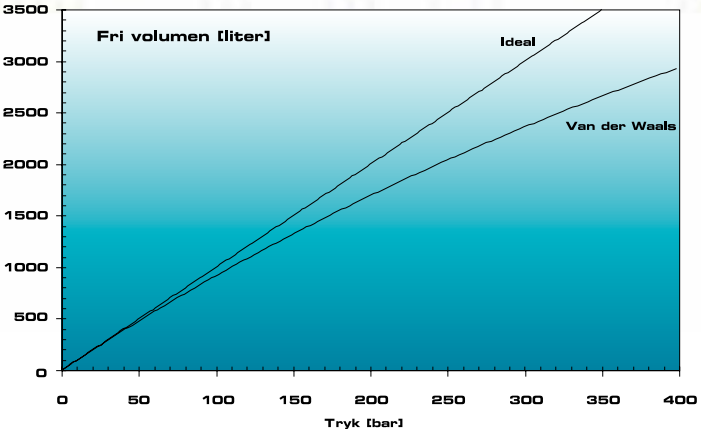
For at få en fornemmelse af, hvornår idealgasloven ikke længere forudsiger gassers opførsel tilfredsstillende, indeholder Figur 3.2 til Figur 3.5 en række plot. Figur 3.2 viser, hvor mange liter fri luft, der er i en 10 liters flaske ved stigende tryk udregnet med idealgas loven og med Van der Waals tilstandsligning. Figur 3.3 viser forskellen i procent mellem idealgasligningen og Van der Waals tilstandsligning som funktion af trykket (kurverne forudsætter at temperaturen holdes konstant). Af kurverne kan man se at for atmosfærisk luft vil idealgasligningen forudsige gassens opførsel inden for en afvigelse af ca. 5% helt op til et tryk på 260 bar.



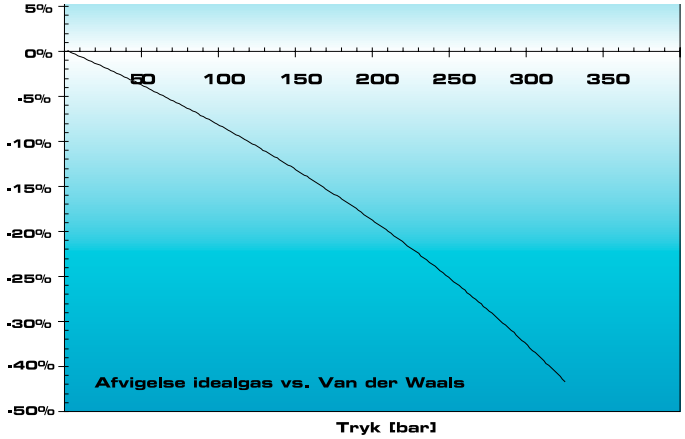
Figur 3.2 Liter fri volumen af atmosfærisk luft ved 20 °C i en 10 liters flaske ved brug af idealgasligningen og Van der Waals ligning.



Figur 3.3 Afvigelse i procent mellem idealgasligningen og Van der Waals ligning som funktion af trykket for atmosfærisk luft ved 20 °C.



Figur 3.4 Liter fri volumen af helium ved 20 °C i en 10 liters flaske ved brug af idealgasligningen og Van der Waals ligning.



Figur 3.5 Afvigelse i procent mellem idealgasligningen og Van der Waals ligning som funktion af trykket for helium ved 20 °C.

Figur 3.4 og Figur 3.5 viser tilsvarende kurver blot for helium. Af disse kurver fremgår det, at helium afviger væsentligt mere fra idealgasligningen end atmosfærisk luft. Således vil helium allerede ved et tryk på ca. 50 bar afvige mere end 5% fra idealgas-ligningens forudsigelser.

Som tidligere nævnt er idealgasloven sædvanligvis fuldt ud tilstrækkelig til normalt brug ved udregning af blandeforhold af gasser, når blandingerne kun indeholder oxygen og nitrogen (nitrox). Ønskes derimod blandinger med helium (typisk trimix eller heliox), kan det i nogen tilfælde være en fordel at tage højde for afvigelserne fra idealgasligningen og for eksempel benytte Van der Waals tilstandsligning.

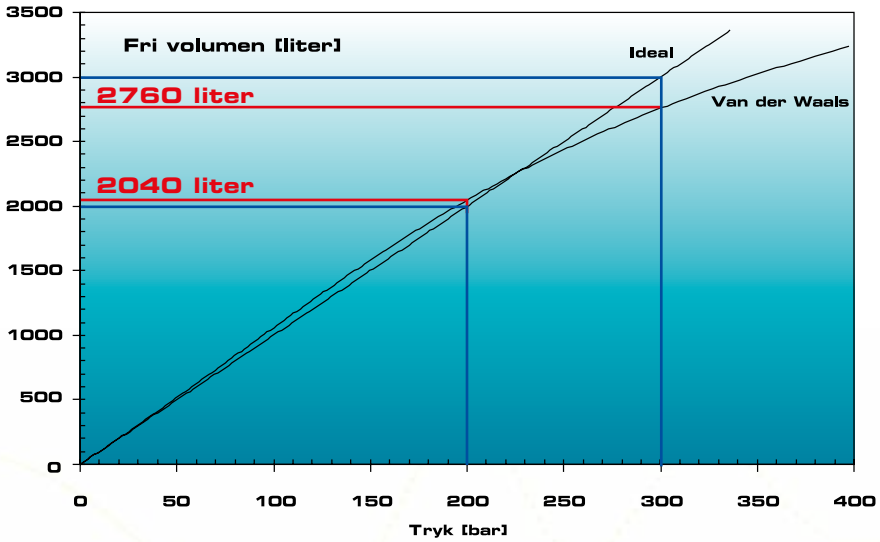
Eksempel

Hvor mange liter fri atmosfærisk luft er der i en 10 liters dykkerflaske ved 200 bar og 300 bar?

Bruger vi Boyles lov, er svaret 2000 liter ved 200 bar og 3000 liter ved 300 bar

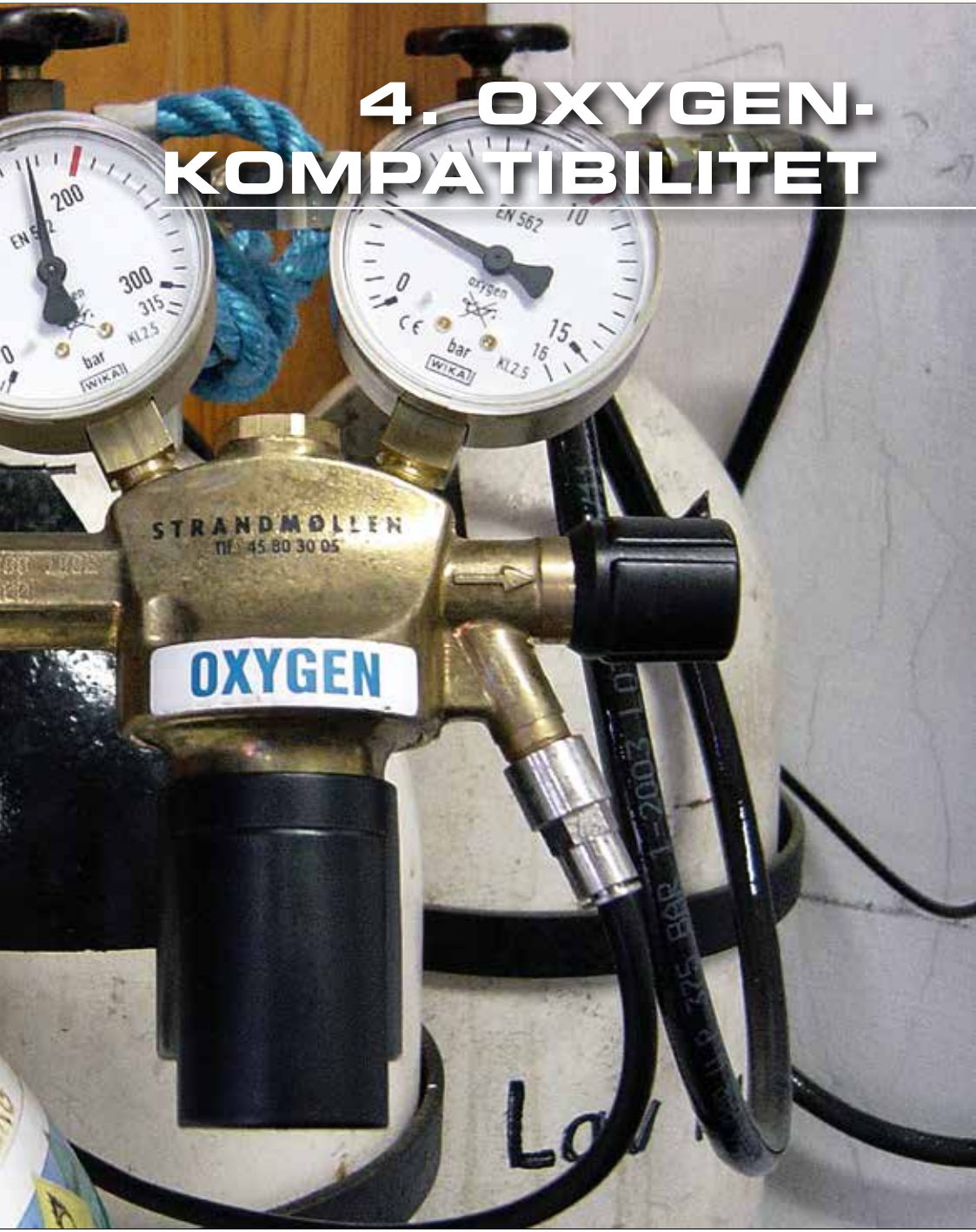
Foretages udregning med Van der Waals (aflæs på figur 3.2), er svaret 2040 liter ved 200 bar og 2760 liter ved 300 bar.

Med andre ord har vi 40 liter fri luft mere i flasken ved 200 bar og 240 liter fri luft mindre i flasken ved 300 bar, end vi forventer. Forskellen ved 200 bar er ubetydelig, men vi har kun fået ca. 75% af den forventede ekstra luftmængde ved at fylde de sidste 100 bar fra 200 til 300 bar.



Mikkel AUG
100
FS 21/95
Batch Date
21.05.2004
Udlebedato
20.05.2007
C161188

4. OXYGEN-KOMPATIBILITET



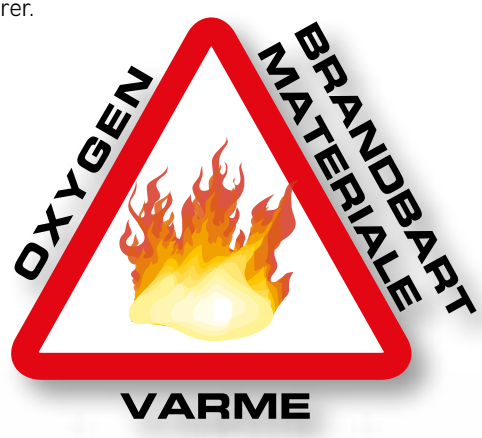
Som det er bekendt fra den grundlæggende nitroxuddannelse, stilles der nogle særlige krav til vores udstyr, for at det kan bruges til nitrox. Dette afsnit vil se nærmere på, hvorfor vi stiller særlige krav til udstyr, der skal håndtere oxygen, samt hvordan vi indfrier disse krav.

Atmosfærer med forhøjet indhold af oxygen

Siden hele konceptet med blanding af nitrox er at forøge indholdet af oxygen i åndegassen, vil vi komme til at arbejde med gasblandinger, hvor den procentvise andel af oxygen er højere end i atmosfærisk luft.

Som nævnt tidligere er oxygen ikke brandbar, men brandnærende i og med den er stærkt oxiderende. Oxidering kan være, når oxygen reagerer med jern og danner rust eller med gummiet i en o-ring, så den nedbrydes og bliver hård og sprød. Ved oxidering vil der typisk blive frigivet varme. Forløber oxideringen hurtigt, taler vi om en forbrænding. Endelig kan oxideringen forløbe så hurtigt, at der er tale om en eksplosion.

Ved selv en beskeden forhøjelse af oxygenindholdet i forhold til atmosfærisk luft, vil forbrændingsreaktioner forløbe væsentligt hurtigere, og materialer, der ikke er brandbare i almindelig luft, kan blive det. I ren oxygen er selv metaller brandbare ved forhøjede temperaturer.



Figur 4.1

Til at starte og holde en brand i gang, skal der bruges tre ting: 1) Brandbart materiale, 2) oxygen og 3) varme.

Hvorfor brænder det?

Til at starte og holde en brand i gang, skal der bruges tre ting: 1) Brandbart materiale, 2) oxygen og 3) varme. Ved at fjerne en af de tre faktorer kan man slukke en brand, eller forhindre den i at opstå. Ved at sprøjte vand på et bål, vil man køle det af og dermed fjerne varme. Herved slukkes ilden. En skumslukker kvæler ilden ved at fortrænge tilførslen af oxygen. Endelig ville ilden aldrig være opstået, hvis den ikke var blevet antændt ved en eller anden form for varmetilførsel, eller hvis der ikke havde været noget brandbart materiale.

Generelt gælder, at jo mere oxygen der er i atmosfæren, des bedre vil ting brænde. Ligeledes vil ting brænde bedre i en given atmosfære ved stigende tryk. Brandrisikoen afhænger derimod ikke direkte af oxygens partialtryk, som det ellers vil være nærliggende at tro. Forklaringen på dette skal findes i at ved opblanding af oxygen med en inert gas (for eksempel nitrogen eller helium) vil den inerte gas virke kølende, og dermed reducere brandbarheden.

Til et system til at håndtere oxygen eller oxygenberiget luft (nitrox) under tryk har vi altså et system med en større brandrisiko end et tilsvarende system til atmosfærisk luft. For at fjerne risikoen for brand fuldstændigt skulle én af de tre faktorer; brandbart materiale, oxygen eller varme fjernes fuldstændigt. Lad os se på, hvordan hver af de tre faktorer er til stede i vores system:

Brandbart materiale

Brandbart materiale lader sig ikke fjerne, idet selv metal kan vise sig brandbart, men især gummi- og plastmaterialer brugt til ventilsæder, o-ringe og andre tætningsformål brænder forholdsvis godt. Endelig vil urenheder i form af hydrocarboner (oliefilm) og smøremiddel (for eksempel silikonefedt) kunne brænde særdeles godt.

For at sammenligne forskellige materialers brandbarhed kan vi kigge på selvantændelsestemperaturen. Dette er temperaturen, hvor et materiale spontant vil begynde at brænde i en given atmosfære. Tabel 4.1. indeholder udvalgte selvantændelsestemperaturer i ren oxygen.

	Materiale	Selvantændelses--temperatur i 100% oxygen
Metal	-	900 - 2000 °C
Gummi	Teflon	378 - 434 °C
	Viton	268 - 322 °C
	Butyl	208 °C
	Nitril	173 °C
	EPDM	159 °C
Forurening	Siliconefedt	218 °C
	Hydrocarbon	185 °C

Tabel 4.1
Selvantændelsestemperaturer ved 1 bar ren oxygen for forskellige materialer. Kilde: ASTM G63 og ASTM G94.

Jo laverer en selvantændelstemperatur et materiale har, jo nemmere vil det alt andet lige bryde i brand.

Oxygen

Vi kan selvfølgelig ikke fjerne oxygen fra vores system, da hele pointen jo netop er, at systemet kan håndtere oxygen.

Varme

Tilførslen af for meget varme er det der antænder en oxygen brand. Som vi tidligere har set, vil betingelserne for at kunne antænde en brand være til stede. Vi har både brandbart materiale og oxygen. Det gælder altså om at undgå den varme, der kan antænde branden.

Varmetilførsel er det ikke muligt at eliminere fuldstændigt. Flow af gas i rør vil kunne give en vis friktionsvarme, komprimering af gasser betyder ligeledes opvarmning og partikler i gasstrømme vil også føre til opvarmning ved sammenstød med vægge.

Konklusionen er, at vi ikke kan fjerne risikoen for brand fuldstændigt. Vi må derfor gøre en indsats for at mindske risikoen.

Antændelse af en oxygenbrand

Som nævnt ovenfor skal der dannes varme i vores system for at få antændt en brand. En oxygenbrand starter som regel meget lokalt, men kan under de rette betingelser udvikle sig voldsomt og hurtigt. En lille smule materiale antændes ved tilførsel af en lille mængde energi. Dette materiale brænder, og varmen fra denne lille brand sætter omgivelserne i brand - måske selv om de har højere antændelsestemperatur end det materiale, der startede branden. Herved skabes endnu mere varme, branden breder sig yderligere, og snart er selv metalkomponenter antændt. Jo højere oxygenfraktion i systemet, jo nemmere er det at få antændt branden, og jo nemmere spredes den.

En række mekanismer kan meget lokalt danne den lille mængde varme, der skal til for at få antændt vores system. De mest relevante er: Partikel sammenstød, friktion og kompressionsvarme.

Partikelsammenstød

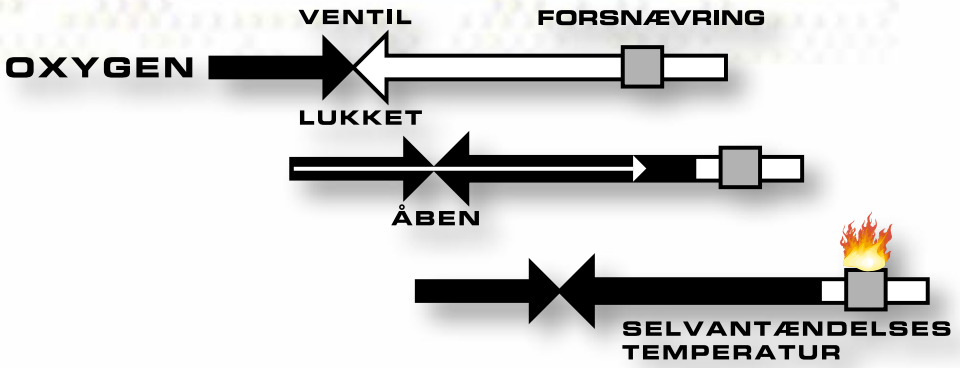
Små partikler kan findes i vores system i form af urenheder. De vil blive transporteret af gasstømmene. Herved vil der ske sammenstød med systemets vægge f.eks. ved fittings og ventilsæder. Disse sammenstød vil udløse energi i form af meget lokal opvarmning. Denne opvarmning kan være nok til at antænde en brand.

Friktion

Friktion er, når to materialer gnider op ad hinanden. Denne gnidning giver varme. Friktionen af strømmende gas mod rørvægge vil ikke kunne give anledning til nogen nævneværdig opvarmning.

Kompressionsvarme

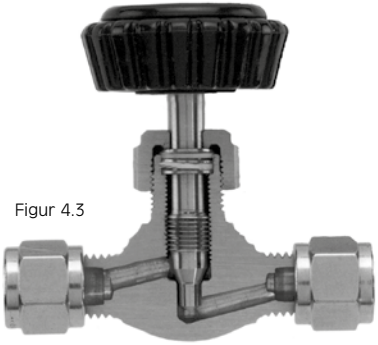
Når en gas strømmer fra højt til lavt tryk, vil strømningshastigheden ofte være meget høj. Når en sådan hurtigtstrømmende gas pludselig stoppes af en forsnævring i systemet, vil den allerede tilstedeværende gas komprimeres. Når en gas komprimeres, vil temperaturen af gassen stige. Sker dette meget hurtigt, taler man om nær adiabatisk kompression (en fuldstændig adiabatisk kompression er, når kompressionen sker så hurtigt, at der ikke tabes varme til omgivelserne). Jo større trykforskel jo større temperaturstigning.



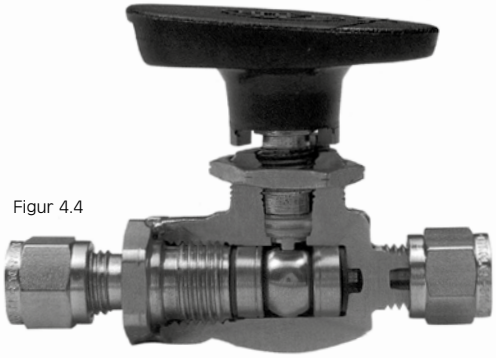
Figur 4.2
Nær adiabatisk kompression af en gas sker typisk ved åbning af ventiler, hvorved den allerede tilstedeværende gas komprimeres, og derved kan forårsage fatale temperaturstigninger.

Nær adiabatisk kompression vil typisk ske i et rørsystem, når en ventil åbnes hurtigt, hvorved gassen frit strømmer og skubber den allerede tilstedeværende gas foran sig som et stempel. Ved en forhindring vil gassen komprimeres, og afhængig af forholdene vil temperaturer på over 500 °C kunne opstå. Dette er langt over selvantændelsestemperaturen for både gummier og forureninger, der herved vil kunne antændes.

Figur 4.3



Figur 4.4



Figur 4.3
Nåleventil. En nåleventil åbner ved at spindlen langsomt løfter ventilsædet. Herved kan flowet styres, således at hurtig tryksætning undgås.

Figur 4.4
Kugleventil. En kugleventil åbnes ved at dreje håndtaget en kvart omgang. Den kan derfor næsten kun stå åben eller lukket. Når den åbnes vil, flowet derfor straks blive meget højt. Kugleventiler skal derfor undgås.

Oxygenkompatibel

Vi kan ikke konstruere anlæg til håndtering af oxygen, hvor risikoen for brand er fjernet fuldstændigt. I stedet prøver vi at konstruere anlæg og benytte materialer, der med en acceptabel stor sandsynlighed kan modstå antændelse ved de forventede driftsbetingelser. Dette kaldes oxygenkompatibel.

Mange faktorer påvirker om et anlæg vil være oxygenkompatibelt - her er opstillet nogen af de væsentligste:

- Design af hele anlægget
- Design af enkeltkomponenter
- Materialevalg
- Forureninger
- Betjening

Under designfasen af et anlæg, skal man ud over at sikre, at det kan benyttes til den ønskede funktion, også i videst muligt omfang forsøge at reducerer mulighederne for antændelse. Dette kan ske ved at reducere antallet af forhindringer, der kan føre til kompressionsopvarmning, indsætte nåleventiler til at styre flow, indsætte kontraventiler, der sikrer at oxygen kun er til stede, hvor det er meningen, samt sikre at systemet ikke forurenes.

Samtidig med at det overordnede design skal være i orden, skal udvælgelse af enkeltkomponenter også ske under hensyntagen til at reducere muligheden for antændelse mest muligt. Dette kan ske ved at vælge komponenter med det mest uhindrede flow, ved at tætningsmaterialer, der typisk har systemets laveste antædelsestemperatur, er eksponeret mindst muligt til oxygen, men også mange andre forhold skal tages i betragtning.

Valg af materialer til anlægget er også afgørende for anlæggets oxygenkompatibilitet. Det er umuligt at lave en liste over materialer, der er oxygen kompatible, da det helt afhænger af, hvordan de spiller sammen med anlæggets design. Generelt kan man konkludere, at brug af metaller som rustfrit stål og messing ikke giver problemer i typiske anlæg til blanding af gas til dykning. Valg af gummier til tætningsmateriale er straks mere kompliceret. Teflon (PTFE), nylon, Viton og nitril er normalt acceptable, men det enkelte tilfælde må vurderes for sig, og producentens vejledninger følges.

En o-ring er en o-ring er en o-ring...

O-ringe er lavet af mange forskellige materialer. Det mest almindelige materiale er nitrilgummi (Acrylonitrile-Butadiene), men også materialer som EPDM (Ethylene-Propylene-Diene-Elastomer), silicone, polyurethan og fluorpolymerer (Viton) benyttes.

O-ringe findes i et hav af forskellige størrelser, og som om det ikke er nok med mange forskellige materialer og størrelser, så findes der flere hårdheder af de enkelte materialer.

At udskifte en o-ring er derfor en vanskelig sag. I dykkermiljøet har det været en udbredt opfattelse, at udstyr i oxygen service skulle udstyres med o-ringe i Viton. Baggrunden er, at Viton har en højere selvantændelsestemperatur end f.eks. nitril og dermed mindre risiko for brand. Viton har dog også ulemper. Hvis der sker antændelse, vil Viton afgive fluorholdige gasser, der er meget giftige. Samtidig er det problematisk at udskifte især o-ringe, der belastes dynamisk (som f.eks. i førstetrinnet på en regulator) med en anden type, der måske har en anden hårdhed og derfor opfører sig anderledes.

Det er derfor særdeles vigtigt altid at følge producentens anvisning omkring service og valg af reservedele.

Havarirapporter peger på, at oxygenbrande ofte er startet i forureninger i anlæggene. Typisk har der været tale om forureninger med hydrocarboner. For at undgå disse forureninger skal udstyret renses inden eksponering for oxygen. Oxygenrensning af dykkerudstyr er forklaret senere.

Selv med et perfekt designet anlæg, vil vi kunne risikere en oxygenbrand. Åbnes en ventil for hurtigt, kan den nær adiabatiske kompression af gassen antænde en brand. Brugerne af anlægget skal således være grundigt instrueret i den korrekte betjening af anlægget samt forstå, hvori risikoen ligger, samt hvilke operationer, der er de kritiske.

Som det fremgår, er der ikke noget absolut over begrebet oxygenkompatibel. Anlæg til håndtering af oxygen skal designes og monteres af teknisk kompetente instanser, der kan sikre, at anlæggene er forsvarlige i drift. Se i øvrigt afsnittet om lovgivning.

Oxygenservice

Når en komponent skal benyttes i et anlæg til oxygen, skal den være i oxygenservice. Ved oxygenservice forstås at et anlæg eller komponent er oxygenkompatibel - altså at materialer og design kan sameksistere med et givent oxygen miljø - samt at anlægget eller komponenter er rengjort for olie og andre forureninger.

Oxygenservice = Oxygenkompatibel + Oxygenrengjort

Hvornår skal komponenter være i oxygenservice?

Som det er nævnt, er der ikke noget absolut over risikoen for antændelse af en oxygenbrand. Der er en stigende risiko for antændelse af oxygenbrand med stigende oxygenfraktion. Også stigende tryk og temperatur øger risikoen.

Ved almindelig dykning med komprimeret atmosfærisk luft, er vi ikke specielt bekymrede over risikoen for oxygenbrande, og lang tids erfaring viser, at vi sikkert kan komprimere luft til 200 - 300 bar uden at sætte udstyr og anlæg i oxygenservice. Omvendt er der bred enighed om, at ved brug af ren oxygen er riskoen for oxygenbrande reel, og udstyr og anlæg skal være i oxygenservice for at reducerer denne risiko. Ved en oxygen fraktion på 100 skal vi altså sætte vores udstyr i oxygenservice og ved en oxygenfraktion på 21 er det ikke nødvendigt.

Hvad så imellem disse to værdier? I dykkerbranchen har grænsen længe været ved en oxygen fraktion på 40 - den såkaldte 40 procents regel. Nitroxblandinger med op til 40 procent oxygen har frit kunne benyttes, uden at udstyret er i oxygenservice. Ved mere end 40 procent oxygen skal udstyret være i oxygenservice. Grænseværdien på 40 procent oxygen stammer fra en gammel standard udarbejdet af det amerikanske arbejdsministerium (OSHA 29 CFR 1910.430). Den omhandler erhvervsmæssig dykning, og specificerer, at ved en oxygen fraktion over 40, skal udstyret være i oxygenservice. Det tekniske rationale for at sætte grænsen ved 40 procent oxygen er ikke kendt, men i dag er det vigtigste argument lang praktisk erfaring uden nævneværdige problemer. Tabel 4.2 viser, hvilke grænseværdier andre organisationer, der arbejder med oxygen, benytter. Det er tankevækkende at se, at der i dag uden for dykker branchen er enighed om, at udstyr til brug med mere end 25% oxygen skal være i oxygenservice!

Organisation	Grænseværdi	Reference
US Navy	>25 % oxygen	Mil-Std-1330D
ASTM	>25 % oxygen	Flere
CE/DS	>22%	DS/EN13949:2003
NASA	>21 % oxygen; >7 bar luft!	Flere
OSHA	>23,5 % oxygen	29 CFR 1910.146; 29 CFR 1910.134
OSHA	>40 % oxygen	29 CFR 1910.430
NOAA	>40% oxygen	NOAA Diving Manual

Tabel 4.2
Forskellige organisationers grænseværdier for oxygen, for hvornår udstyr skal være i oxygenservice.

Gennem den danske lovgivning er det et krav, at nyt dykkerudstyr, der benyttes til oxygenberiget åndeluft, følger standarden DS/EN13949. Denne standard kræver, at alle komponenter, der kommer i kontakt med oxygen beriget åndegas (d.v.s. med en oxygen fraktion på 22% eller derover) under højt tryk, er i oxygenservice.

Dansk Sportsdykker Forbund har på denne baggrund valgt at formulere retningsliner omkring oxygenservice på udstyr, der kommer i kontakt med oxygenberiget åndeluft under højt tryk. Umiddelbart gælder retningslinierne kun for udstyr, der ser højt tryk – altså flasketryk. Regulatorens doseringstrin samt andet udstyr efter reduktionstrinnet på regulatoren er ikke omfattet af retningslinierne. I praksis vil doseringstrinnet dog ofte blive sat i oxygenservice samtidigt med reduktionstrinnet, hvorimod f.eks. vestens feader sjældent sættes i oxygenservice.

Dansk Sportsdykker Forbunds politik omkring oxygenservice

Denne politik omhandler udstyr til brug med oxygenberiget åndeluft (nitrox) med et oxygenindhold over 22%, der kommer i kontakt med gas under højt tryk – forstået som flasketryk.

Det er Dansk Sportsdykker Forbunds anbefaling, at udstyr, der benyttes til nitrox som ovenfor beskrevet:

- benyttes efter producentens anvisning
- er i oxygenservice

Bemærkninger til politikken

Politikken omfatter udstyr, der kommer i kontakt med gas under højt tryk.
For almindeligt SCUBA udstyr vil det sige:

- Flaske
- Flaskeventil
- 1. trin på regulator
- Manometerslange
- Manometer

Ved oxygenservice forstås at et udstyret er oxygenkompatibelt - altså at materialer og design kan sameksistere med et givent oxygenmiljø - samt at anlægget eller komponenter er rengjort for olie og andre forureninger.

Med denne politik gør Dansk Sportsdykker Forbund op med den opfattelse, der er udbredt i dykkerkredse, om at blandinger med op til 40% oxygen brandmæssigt kan behandles, som var de atmosfærisk luft.

Som konsekvens af dette skal alle komponenter i fyldeanlægget, der er i kontakt med oxygenberiget gas under forhøjet tryk, også være i oxygenservice.

Oxygenrengøring

Udstyr, der skal i oxygenservice, skal være oxygenrengjort. Oxygenrengøringen har til formål at fjerne alle forureninger fra udstyret eller bringe forureningsniveauet ned på et acceptabelt lavt niveau.

Der kan være tale om mange former for forurening. I dykkerudstyr er der oftest tale om olierester, rester fra smøremidler, støv eller anden partikelforurening, kalk og rust. Til forskellige former for forurening skal der bruges forskellige rengøringsmetoder. Hvor meget udstyret er forurenet har også betydning for rensemetoden.

Neden for er gennemgået den generelle måde at oxygenrengøre udstyr på. Bemærk, at de enkelte trin i metoden i hvert enkelt tilfælde skal tilpasses, således de rent faktisk har den ønskede effekt.

Udstyr

Til oxygenrengøring af almindeligt dykkerudstyr er det en fordel at råde over følgende hjælpemidler:

- Flaskeruller
- Metalspåner
- Lille pære til visuel inspektion
- Tandbørste med hårde børster
- Diverse værktøj til adskillelse og samling
- Rør med slange til blæsning med ren gas
- Diverse bægre eller glas
- Ultralydsbad

Desuden rengøringsmidler m.m. i form af:

- Eddike
- Koncentreret sulfosæbe
- Basisk rengøringsmiddel f.eks. maskinopvaskemiddel
- Oxygenkompatibelt fedt

Trin for trin

Når udstyr skal oxygenrengøres, er der en række trin, der altid skal følges:

1. Forberedelser
2. Grovrengøring
3. Finrengøring
4. Kontrol
5. Samling
6. Mærkning

Indholdet af hvert trin afhænger af hvilket udstyr, der er tale om, samt hvordan det er forurenet. Nedenstående en generel beskrivelse af hvert enkelt trin. Appendiks C indeholder detaljerede beskrivelser af rensemetoder.

Forberedelser

Inden rengøring skal udstyret skilles ad i enkeltkomponenter. Enkeltkomponenterne skal inspiceres for skader, og komponenter med fejl eller skader skal repareres eller udskiftes.

Servicering og adskillelse af udstyr kræver, at operatøren har viden og kompetence til på forsvarlig vis at udøve denne service. Hvis i tvivl - så lad være!

Typen af mulige forureninger skal desuden bestemmes, og et renseprogram til fjernelse af forureningerne fastlægges. De tilstedeværende materialers kompatibilitet med rengøringsmidlerne skal bestemmes.

Grovrengøring

Er komponenterne, der skal oxygenrengøres, synligt beskidte skal de grovrengøres. Typisk stiler grovrengøringen mod at fjerne forureninger som støv, rust, kalk m.m. Grovrengøring vil typisk bestå af grundig afskyldning i varmt sæbeholdigt vand, skuren og skrubben samt eventuel rensning af kalk med eddike. I appendikset om rensemetoder er skitseret metoder til generel grovrengøring af komponenter, fjernelse af rust i stålflasker og fjernelse af kalk og saltaflejringer.

Finrengøring

Finrengøringen skal fjerne de forureninger som grovrengøringen ikke har taget. Der er typisk tale om olierester eller andre kulbrintefilm, der kun sjældent kan ses. Finrensningen indebærer også, at alt benyttet rensemiddel skal fjernes igen samt tørring af komponenterne.

Der findes mange måder at rengøre for kulbrinter på. De fleste involverer brugen af organiske opløsningsmidler, hvoraf de fleste er skadelige for miljøet samt sundhedsskadelige. Det er derfor ønskeligt at undgå at benytte disse stoffer. Til rengøring af dykkerudstyr vil det ofte være tilstrækkeligt at benytte en kraftig opløsning af almindelig sulfosæbe eller maskinopvaskmiddel kombineret med varmt vand og evt. ultralydsbad (se Appendiks C).

Rengøring med ultralyd

Lyd er som bekendt svingninger eller bølger. Det menneskelige øre kan høre lyde op til knap 20.000 svingninger pr. sekund, også kaldet hertz (Hz). Ultralyd er lydbølger med en højere frekvens end de 20.000 Hz.

Et ultralydsbad er et kar, med en ultralydstransducer og en frekvensgenerator. Frekvensgeneratoren får ultralydstransduceren til at generere svingninger med en given frekvens. Disse svingninger forplantes fra ultralydstransduceren til karret og videre i den væske, der er i karret. Der kommer således ultralydsbølger ind i væsken med meget høj hastighed. Disse bølger skaber millioner af mikroskopiske bobler, der lynhurtigt springer igen – denne proces kaldes kavitation. Kavitationen nærmest sprænger snavs og skidt af overfladen på de emner, der er i væsken.

Når man rengører med et ultralydsblad, vil man typisk have vand i karret i ultralydsbadet. De dele, der skal rengøres, placeres i glas- eller metalbægre sammen med rengøringsmidlet, som så placeres i en trådkurv i ultralydsbadet. Brug ikke bægre af plast, da det forholdsvis bløde materiale absorberer lydbølgerne. Det kan skade ultralydsbadet, hvis komponenter placeres direkte på bunden af karret. Hvis man har adgang til demineraliseret vand, kan det med fordel bruges, da man derved undgår kalkaflejringer.

Figur 4.5
Ultralydsbad. Bemærk at bægerglasset står i en trådkur, der hænger løst på siderne.

Ved at bruge ultralyd forstærker man virkningen af rengøringsmidlet, således at der skal rengøres i kortere tid end ved f.eks. at bruge børste. Samtidig kan ultralyd rengøre på utilgængelige steder som f.eks. inde i udboringer Rengøringen bliver mest effektiv, hvis rengøringsmidlet er varmt.

Efter den egentlige rengøring er det som tidligere nævnt meget vigtigt, at komponenterne skylles i rigelige mængder rent vand for at fjerne rester af de benyttede rengøringsmidler.

Når komponenterne er rengjort og skyllet, skal de tørres. Ofte sker dette ved blæsning med ren tør luft. Det er vigtigt, at komponenterne ikke får lov at lufttørre, da det kan betyde udfældning af kalk og urenheder fra vandet.

Kontrol

De oxygenrengjorte og tørrede komponenter skal inspiceres og kontrolleres for at fastlægge, om rengøringen har været effektiv. Det er vanskeligt med sikkerhed at bestemme rengøringens effektivitet, men en visuel inspektion i godt skarpt lys må ikke afsløre fremmedlegemer som partikler og fibre samt rester efter forureninger, der er udfældet ved tørringen.

En test for rester af oliefilm kan ske på vandrette flader. Rent vand sprayes på overfladen. Vandet skal forblive som en tynd film på overfladen i mindst 5 sekunder. Trækker vandet sig sammen og former dråber på overfladen, indikerer det tilstedeværelse af olierester.

Brug af ultraviolet lys er blevet brugt til kontrol af emner efter oxygenrengøring. En række hydrocarboner og olier er fluorosente i ultraviolet lys, og rester af sådanne vil derfor kunne afsløres, da de lyser op i ultraviolet lys. Desværre gælder dette ikke for to af de mest almindelige kilder til forurening af dykkerudstyr, nemlig silikonefedt og de fleste kompressorolier.

For alle testene gælder, at findes der spor efter tilbageværende forureninger skal emner oxygen rengøres igen.

Samling

Når det er sikret, at alle emner er oxygenrengjorte, skal udstyret samles. Sker samlingen ikke umiddelbart efter rengøringen, skal emnerne sikres mod at blive forurenet igen. En god måde at sikre dette på, er at lægge emnerne i en eller flere plastposer. Disse poser mærkes med hvilke emner de indeholder, dato for oxygenrengøringen samt initialer. Disse poser lukkes tæt og samles i en større pose, der klart er mærket med, at den indeholder oxygenrengjorte emner.

Efter at udstyret har været skilt ad og samlet skal det funktionstestes grundigt under sikre forhold inden det tages i brug!

Oxygenkompatibelt smøremiddel

Ved samling af udstyr skal o-ringe typisk smøres ganske let. Her er det vigtigt at bemærke, at silikone ikke er kompatibelt med oxygen. Almindeligt silikone fedt må derfor ikke benyttes til udstyr i oxygenservice. I stedet skal benyttes særlige smøremidler, der er oxygenkompatible. Disse fås i velassorterede dykkerforretninger.

Mærkning

Samlet udstyr i oxygenservice skal mærkes. Mærkning skal oplyse om, at udstyret er i oxygenservice, hvem der har rengjort det, samt dato for rengøringen. Mærkningen har tre formål. For det første skal den sikre, at kun udstyr, der er rengjort, kommer i kontakt med oxygenberiget åndeluft. For det andet skal den forhindre, at oxygenrengjort udstyr ved en fejl benyttes på en sådan måde, at det forurenes. Endelig giver datoen for oxygenrengøringen information om, hvornår udstyret rutinemæssigt skal rengøres igen.

Figur 4.6
DSF mærke til mærkning af udstyr i oxygenservice

Bevarelse af udstyr i oxygenservice

Lige så vigtigt det er, at udstyr sættes i oxygenservice, lige så vigtigt at det at sikre, at udstyret bevares i oxygenservice. Dette kan sikres ved, dels at sørge for at udstyret ikke forurenes efter det er sat i oxygenservice, dels jævnligt at oxygenrengøre det for derved at fjerne eventuelle forureninger, der alligevel måtte være sket.

Den primære forureningskilde for dykkerudstyr er gennem den gas, der benyttes i udstyret. Det kan være, fordi gassen i sig selv indeholder forurening, eller fordi gas ledes gennem udstyr, der ikke er i oxygenservice til det oxygenservicerede udstyr og derved fører forureninger med sig.

Den første regel til at sikre, at udstyr bevares i oxygenservice er at sikre at gas, der tilledes bliver tilledt i udstyr i oxygenservice. En flaske i oxygenservice skal f.eks. fyldes på et fyldeanlæg der er i oxygenservice, og at en regulator i oxygenservice kun bruges på flasker i oxygenservice. Bemærk også, at vestflasker, der ikke er i oxygenservice, ikke kan fyldes op på flasker i oxygenservice, da dette giver risiko for forurening af flasken i oxygenservice. Desuden bør vestflasker aldrig fyldes med nitrox.

Oxygenkompatibel luft

Som nævnt er den anden potentielle kilde for forurening den gas der benyttes. I praksis betyder det, at det skal sikres, at den komprimerede luft, der kommer fra kompressoren, er ren nok. De danske krav til renhed af åndemiddelgasser til dykkerbrug er angivet i Tabel 4.3.

Forurening	Grænseværdi
Kuldioxid (CO_2)	500 ppm
Carbonmonooxid (CO)	10 ppm
Nitrøse gasser ($NO+NO_2$)	0,5 ppm
Olie- og støvpartikler	0,3 mg/m³
Vand (H_2O)	100 mg/m³

Tabel 4.3
Danske krav til renhed af åndemiddelgasser til dykkerbrug. (Bekendtgørelse om dykkermateriel; lov nr. 307 af 17. maj 1995 om dykkerarbejde og dykkermateriel m.v.)

Den forurening, der er interessant ud fra et oxygenkompatibilitets synspunkt, er olie- og støvpartikler. Ved et niveau på 0,3 mg/m³ vil der kunne ophobes olie i udstyret i sådanne mængder, at risikoen for oxygenbrand øges. Mængden af olie og hydrocarboner skal derfor reduceres mest muligt. US Navy foreskriver, at indholdet af kondenserbare hydrocarboner skal under 0,1 mg/m³ for at udstyret forbliver i oxygen service.

Der er flere måder at sikre, at indholdet af hydrocarboner i luften er tilstrækkelig lav. Den bedste måde er ved helt at forhindre dem i nogen sinde at komme i luften. Den næstbedste er at sikre at de filtreres fra, inden de når udstyr i oxygenservice.

Den mest udbredte type højtrykskompressor er oliesmurt, og det vil derfor typisk være nødvendigt at filtrere luften fra sådanne kompressorer for af nå et acceptabelt lavt niveau af hydrocarboner. Kompressoren er allerede monteret med et filter for at

overholde kravet til renhed af åndemiddelgasser (se tabel 4.3), men det vil ofte være nødvendigt at montere et ekstra filter for at opnå en tilstrækkelig ren luft. Oxygenkompatibel luft fremstillet på denne måde kaldes dobbeltfiltreret.

Ved brug af især små transportable filtre er det vigtigt at bemærke ved hvilke fyldehastigheder, filtrene virker efter hensigten. For disse små filtre gælder det ofte, at de kun kan benyttes ved meget lave fyldehastigheder – helt ned til 100 liter pr. minut.

Alternativet til filtrering er at benytte såkaldte oliefri kompressorer. De er konstrueret på en sådan måde, at luften ikke kommer i kontakt med smøremiddel i kompressoren, og derfor kan de levere oliefri luft.

Ligegyldigt hvordan éns system er opbygget, er det vigtigt, at leverandørernes anvisning for vedligeholdelse overholdes, samt at eventuelle filtre skiftes tilstrækkeligt ofte. Kompressorluften skal analyseres jævnligt, det vil sige mindst én gang om året.

Jævnlig vedligeholdelse

På trods af alle anstrengelser for at holde udstyr i oxygenservice kan det forekomme, at udstyr forurenes på grund af f.eks. fejlanvendelse. I sådanne tilfælde skal udstyret straks mærkes, så det fremgår, at det ikke længere er i oxygenservice. Før det igen kan benyttes i oxygenservice, skal det oxygenrengøres. Ligeledes skal udstyr oxygenrengøres mindst en gang årligt for at sikre, at eventuel gradvis tilkommet forurening fjernes.

OXYGEN
Lav Tryk

5. BLANDE-METODER

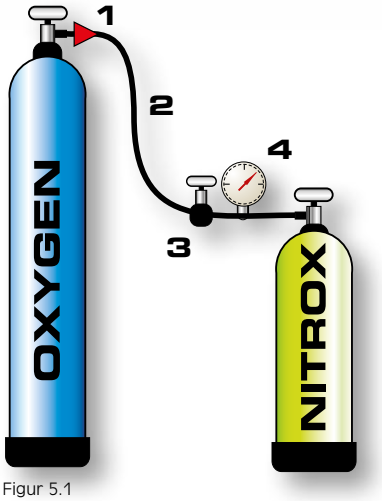
Fremstilling af nitrox

For at fremstille nitroxblandinger skal andelen af oxygen i den atmosfæriske luft øges. Dette kan ske på to måder – enten ved at tilsætte oxygen til den atmosfæriske luft eller ved at fjerne nitrogen. Begge dele kan gøres med forskellige teknikker der alle har deres styrker og svagheder. I dette kapitel vil principperne for de enkelte metoder blive præsenteret.

Blanding med partialtryk fyldemetoden

Langt den mest udbredte metode til fremstilling af nitrox er den såkaldte partialtryk fyldemetode. Metoden har fået sit navn, fordi man beregner mængden af oxygen, der skal tilsættes ud fra partialtryk, og mængden af tilsat oxygen styres ud fra trykket og kontrolleres med et manometer.

Nitroxblandingen fremstilles ved at dekantere en forudberegnet mængde oxygen fra lagerflasker til nitroxflasken og efterfølgende fylde flasken med komprimeret luft. Grunden til at man først fylder med oxygen, er at den skal dekanteres, og således kommer fra en anden trykflaske. Man er derfor afhængig af, at trykket i oxygenflasken er højere, end det er på den flaske, man ønsker at fylde.



Figur 5.1
Simpelt nitroxfyldeudstyr til dekantering af oxygen. 1 Énvejsventil, 2 fleksibel slange, 3 nåleventil, 4 manometer

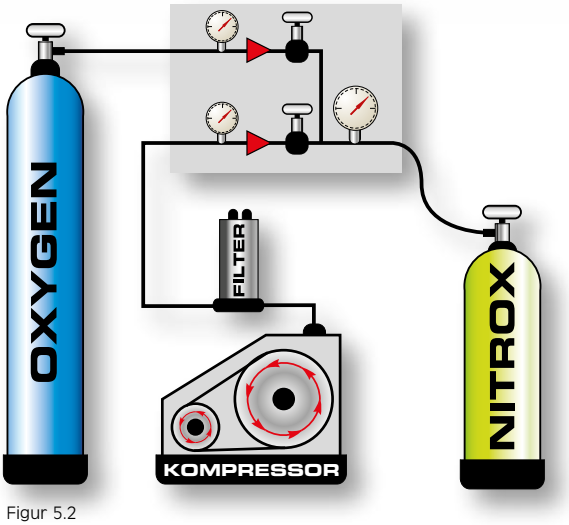
Både flaske og ventil skal være rengjort og i oxygenservice. Det samme gælder selvsagt for fyldeanlægget. Som tidligere nævnt skal luften, der benyttes til at fylde flasken, være ren, særligt skal indholdet af hydrocarboner (olie) være lavt. For oliesmurte kompressorer betyder det, at luften skal igennem et ekstra filter (se afsnit 4).

Figur 5.1
viser en skematisk oversigt over det mest enkle fyldeudstyr. Fyldeudstyret er en dekanteringsslange til dekantering af oxygen. Slangen består af en énvejsventil, en fleksibel slange, en nåleventil og et manometer. Envejsventilen forhindrer, at gas fra nitroxflasken ved et uheld kan forurene flasken med oxygen. Den fleksiblel slange er

typisk en stålarmeret teflonslange. Nåleventilen bruges til at kontrollere hastigheden af dekanteringen. Her er det vigtigt at benytte en ventil, der kan kontrollere flowet af oxygen fra oxygenflasken til nitroxflasken. Mængden af oxygen, der er tilført nitroxflasken, aflæses på manometeret. Kvaliteten af dette manometer er medbestemmende til, hvor godt man kan ramme den forudbestemte gasblanding, så der skal benyttes et præcisions analogt eller digitalt manometer.

Efter at nitroxflasken har fået tilført den ekstra mængde oxygen ved dekantering, fyldes flasken op med oxygenkompatibel luft.

Ved stationære anlæg vil man typisk integrere oxygendekanteringen og den rengjorte kompressorluft i et samlet anlæg med én fyldekonsol. Skema over et sådant anlæg er angivet i Figur 5.2. I anlæggets fyldekonsol er der to manometre, der viser trykket på henholdsvis oxygenflasken og fra kompressoren. Derudover genfinder vi énvejsventilerne, der dels forhindrer, at flasken med oxygen forurenes med luft fra kompressoren eller gas fra nitroxflasken, men ikke mindre vigtigt også forhindrer oxygen eller oxygen beriget luft i at komme ind i den ikke rengjorte kompressor. Endelig benyttes også her nåleventiler til at styre fyldningen samt et præcisionsmanometer.



Figur 5.2
Fyldeanlæg med integreret oxygendekantering og renset kompressorluft.

Metoden benytter sig som sagt af tryk for at bestemme mængden af oxygen tilført nitroxflasken. Da tryk kun er et indirekte mål for mængden af gas, har metoden sine begrænsninger i hvor stor præcision, der kan opnås. Især temperaturstigninger under fyldningen påvirker det målte tryk. Disse temperaturstigninger kan ikke undgås helt, idet selve komprimeringen af gas fører til en temperaturstigning. Ved tilpas langsom fyldehastighed, kan temperaturerstigningerne holdes moderate, hvilket også er at foretrække af hensyn til faren for en oxygen brand.

Alt i alt kan man dog uden problemer med lidt erfaring og omhyggelighed under fyldningen ramme den ønskede blanding inden for en afvigelse på ét procentpoint ved brug af partialtryk fyldemetoden.

Figur 5.3
Transportabelt udstyr til fremstilling af nitrox efter partialtryk fyldemetoden.

Figur 5.4
Nitrox bruges over hele verden. Her er et partialtryk fyldeanlæg på en tropestrand ved Panglau på Filippinerne.

Blanding efter vægt

Fyldesystemet til blanding efter vægt er fuldstændig identisk med det setup, der bruges til partialtryk blanding. Eneste forskel er, at i stedet for at bestemme mængden af gas tilsat flasken ved at se på trykstigningen, registreres vægtforøgelsen. Vægtmålinger er principielt bedre end trykmålinger til at bestemme mængden af gas, da vægt relaterer direkte til den mængde gas, der er tilsat, og ikke påvirkes af for eksempel temperaturstigninger i flasken under fyldning. Metoden er ikke specielt udbredt, da der skal bruges en vægt, der kan veje tunge ting (en flaske) og samtidig registrere forholdsvis små vægtændringer (gram). En sådan vægt er væsentligt dyrere end et godt manometer. Samtidig er det indlysende, at en sådan fyldemetode ikke vil fungere på et skib.

For at benytte metoden skal man kende molvægten af de gasser, der skal blandes. Tabel 5.1 viser molvægten for relevante gasser.

Molvægt

Molvægt udtrykker massen per mol af en givent stof, hvor et mol er 6,0221415 x 10^{23} molekyler af det givne stof. Molvægt for et givent grundstof betegnes atomvægten. Molvægt betegnes ved M og angives g/mol.

Molvægten er hvad én mol gas vejer – og mol er ikke andet end et bestemt og meget stort tal. Når atmosfærisk luft som bekendt består af ca. 21% oxygen og 79% nitrogen, betyder det at har vi 1 mol luft, så er der 0,21 mol oxygen og 0,79 mol nitrogen. Det betyder så igen, at vi har 0,21 mol × 16 g/mol = 3,4 g oxygen og 0,79 mol × 14 g/mol = 11,1 g nitrogen.

Gas		Molvægt [g/mol]
Oxygen	O_2	16,0
Nitrogen	N_2	28,0
Helium	He	4,0

Tabel 5.1
Molvægt for relevante gasser

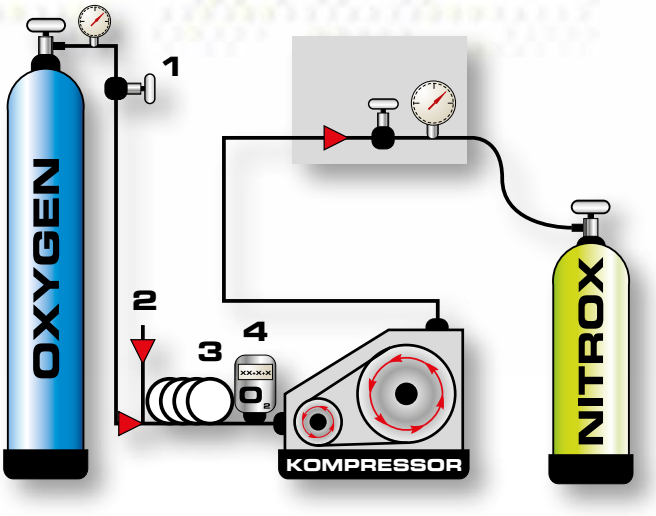
Kontinuerlig blanding

Overvågning af oxygenfraktion på kontinuerligt blandeanlæg

Frem for at blande oxygen og atmosfærisk luft i flasken og derved få nitrox kan man lade blandingen ske kontinuerligt ved lavt tryk, før gassen komprimeres. Blandingen sker ved at kompressorens indsugningsluft tilføres ekstra oxygen. Den blandede gas ledes forbi en oxygen analysator, der kontinuerligt måler oxygenindholdet i gassen, inden den komprimeres i en kompressor.
Ud fra gasanalysen justeres mængden af tilført oxygen, indtil det rette blandeforhold er nået, og fyldning af nitroxflasken kan påbegyndes. Figur 5.5 viser en skitse af et typisk setup til kontinuerlig nitroxblanding.

Den kontinuerlige blandemetode har flere fordele. For det første gør den det muligt fuldt at udnytte den leverede oxygen, idet man ikke er afhængig af, at trykket i oxygen flasken er højere end det i den nitroxflaske, man ønsker at fylde. For det andet gør metoden det nemmere at ramme det ønskede oxygen indhold end ved blanding efter partialtryk, idet blandingens oxygenindhold aflæses kontinuerligt og derved hele tiden kan reguleres samtidigt med, at temperaturstigningen efter kompression ikke influerer på blandingsforholdet.

For at benytte metoden skal kompressoren være beregnet til at arbejde med oxygen beriget luft. Fremgår det ikke klart af dokumentationen på kompressoren, hvordan og under hvilke forhold den kan benyttes til oxygen beriget luft, skal disse forhold afklares inden den benyttes. Har kompressoren en maksimumgrænse for, hvor stort oxygenindhold den kan arbejde med, skal der træffes foranstaltninger til at forhindre, at kompressoren ved f.eks. fejlbetjening fødes med mere oxygen end dette.

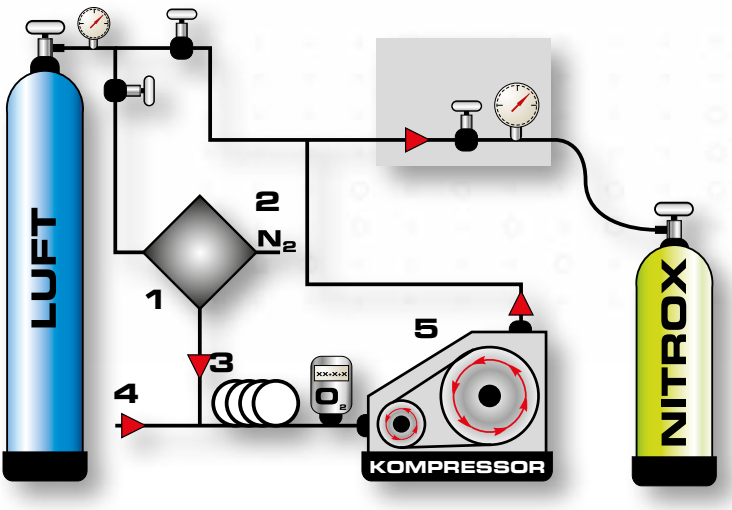


Figur 5.5
Kontinuerligt blandeanlæg. Tilførslen af oxygen styres på ventilen 1, 2 er luftindtaget. Blandingen af oxygen og atmosfærisk luft sker i 3. Indholdet af oxygen i blandingen overvåges med en oxygen sensor 4.

Membranfiltrering

I stedet for at tilføre den atmosfæriske luft oxygen kan man vælge at fjerne nitrogen fra luften for at få et højere oxygenindhold. Den mest anvendte metode til dette er membranfiltrering. Ved membranfiltrering presses luft gennem et bundt af tusindvis af tynde, tynde rør. Oxygen diffunderer lettere gennem væggene på disse rør end nitrogen. Herved fås en oxygenberiget luftblanding omkring rørene. Ved at styre på flowforholdene over membranen kan oxygenindholdet kontrolleres. Kommercielle membranfiltreringsanlæg kan levere gasblandinger med op til ca. 50% oxygen. Figur 5.7 viser et typisk setup for et fyldeanlæg baseret på membranfiltrering.

Ved membranfiltrering slipper man for at indkøbe oxygen, det bliver fremstillet direkte på brugsstedet. Et membranfiltreringsanlæg er et forholdsvis robust system. Der er heller ikke risiko for, at ren oxygen kan ledes til kompressoren, som tilfældet er ved kontinuerlig blanding, hvor oxygen tilledes fra en trykflaske. Alligevel benytter fylde-anlæg baseret på membranfiltrering altid oliefri kompressor. Ulempen ved membran-filtreringen er, at man maksimalt kan opnå blandinger med 50% oxygen, samt at der ligger en forholdsvis stor investering i et sådant anlæg. Endelig tager indjusteringen af oxygenindholdet tid. Derfor benyttes sådanne anlæg typisk i forbindelse med lager flasker, der indeholder store mængder af samme nitrox blanding.

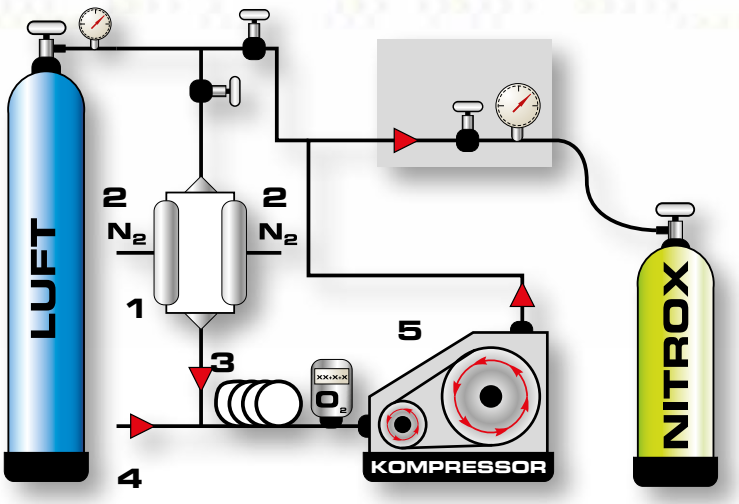


Figur 5.6
Skitse af anlæg til membranfiltrering. Luften ledes fra en lagerflaske til membrananlægget 1. Her filtreres noget af luftens nitrogen fra 2 og den oxygen berigede luft 3 blandes evt. med luft fra indsugningen 4. Blandingen komprimeres i en oliefri kompressor 5. Gassens indhold af oxygen overvåges af en oxygen sensor. Anlægget muliggør ligeledes fyldning af lagerflasken med atmosfærisk luft.

Pressure Swing Absorption

Som alternativ til membranfiltrering kan luftens nitrogen fjernes ved den såkaldte Pressure Swing Absorption (PSA). Luft presses gennem en zeolitbaseret absorptionsmasse – en molekylær si. Her absorberes nitrogen på den meget store overflade, hvorimod oxygen frit passerer. På den måde er det muligt at fremstille helt op til 95% rent oxygen. Det er primært argon, der udgør den resterende del af gassen, idet argon ligesom oxygen passerer gennem den molekylære si. Overfladen i den molekylære si mættes efterhånden med kvælstof. Det er derfor nødvendigt at veksle mellem to absorptionskolonner. Mens den ene filtrerer nitrogen fra udluftes den anden – heraf navnet Pressure Swing. Et fyldeanlæg baseret på PSA vil være udformet på samme måde som et anlæg baseret på membranfiltrering. Figur 5.7 viser en skitse af et sådant anlæg.

Et PSA anlæg er langt mere kompliceret end et membranfiltreringsanlæg. Til gengæld kan det fremstille oxygen med en renhed på helt op til 95%. Udbredelsen af PSA anlæg til nitroxfremstilling er ekstremt begrænset på grund af den tekniske kompleksitet og den deraf følgende høje pris.



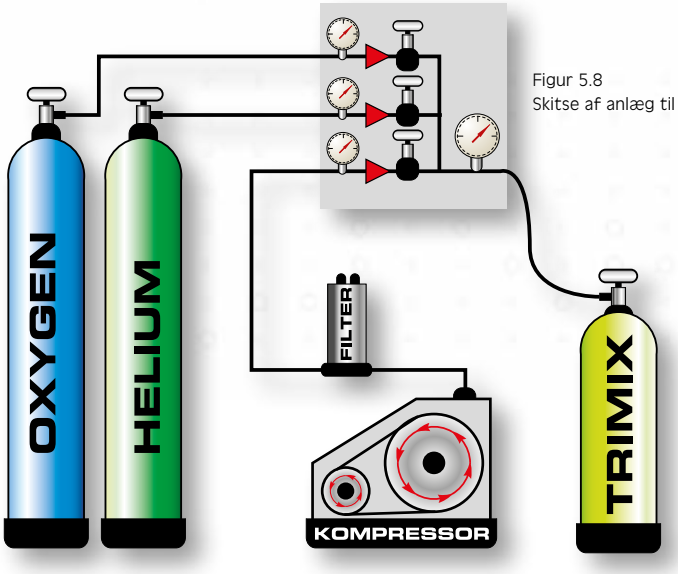
Figur 5.7
Skitse af anlæg baseret på Pressure Swing Absoption. Luften ledes fra en lagerflaske til absorptionskolonnerne 1. Her absorberes luftens nitrogen. Ved at veksle mellem de to kolonner kan de skiftevis udluftes for absorberet nitrogen 2. Den fremstillede oxygen 3 blandes med luft fra indsugningen 4. Blandingen komprimeres i en oliefri kompressor 5. Gassens indhold af oxygen overvåges af en oxygen sensor. Anlægget muliggør ligeledes fyldning af lagerflasken med atmosfærisk luft.

Blanding med helium

Ved dybere teknisk dykning er det svært at komme uden om åndegasser, der indeholder helium. Trimix er nok den mest kendte betegnelse for en blanding af oxygen, helium og nitrogen. Heliair er luft, der er fortyndet med helium, og derfor også en trimix, mens heliox er en blanding af helium og oxygen.

Simpelt anlæg til fyldning med helium

Ved blanding med helium er det langt det mest udbredte at benytte partialtryk fyldemetoden. Et simpelt anlæg er derfor opbygget fuldstændig som et anlæg til nitrox fyldning med en ekstra tilslutningsmulighed for en heliumflaske, se Figur 5.8.



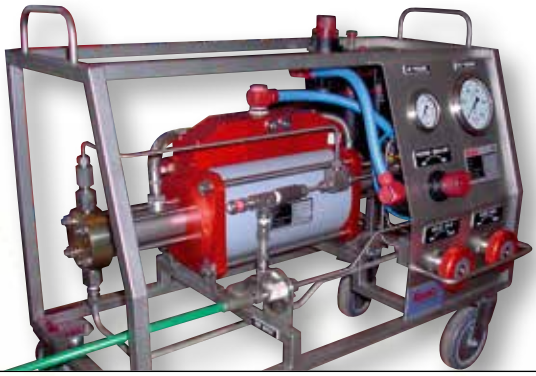
Figur 5.8
Skitse af anlæg til fremstilling af trimix.

Ved fyldning vil først blive dekanteret den rette mængde oxygen og helium og til slut fyldt op med luft.

Brug af boosterpumpe

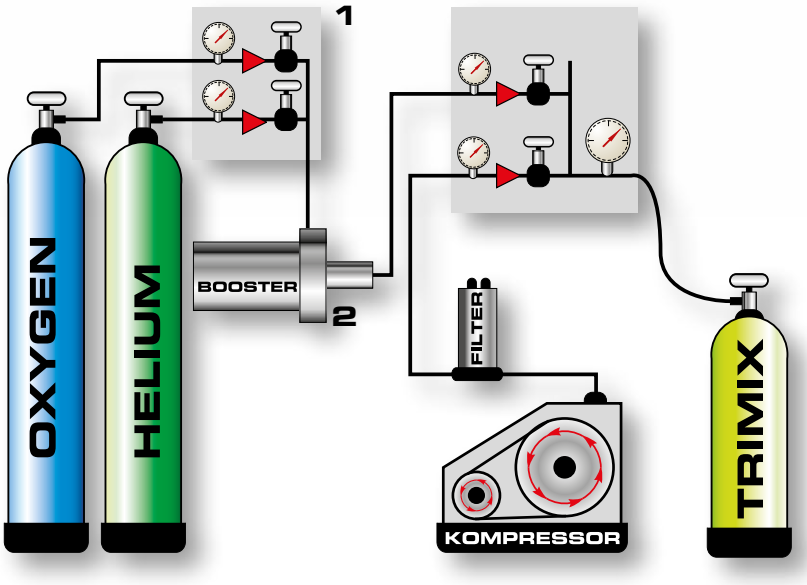
Helium og oxygen leveres typisk i trykflasker. Vi er afhængige af, at trykket i forsyningsflaskerne er højere end på flasken, der skal fyldes. Skal en væsentlig del af den åndegas, man ønsker at fremstille, leveres fra trykflasker, vil det betyde, at der kræves et forholdsvis højt tryk på forsyningsflaskerne. Det resulterer i en dårlig udnyttelse af de hjemkøbte gasser, idet man må sende halvfyldte flasker tilbage til forhandleren.

For at løse dette problem, kan man bruge en boosterpumpe. En boosterpumpe er en kompressor, der fødes fra en trykflaske gennem en reduktionsventil. Boosterpumpen kan således fyldes til et højere tryk, end der er i forsyningsflaskerne, hvorved gassen i disse kan benyttes fuldt ud. Det er f.eks. muligt at fylde dekompressionsflasker med 100% oxygen. Boosterpumper, der bruges til oxygen, skal naturligvis være designet til at håndtere oxygen og være i oxygenservice.



Figur 5.9
Boosterpumpe drevet af trykluft

Figur 5.10 skitserer et anlæg til fremstilling af trimix med indbygget boosterpumpe. Anlægget er identisk med et konventionelt fyldeanlæg efter partialtryk fyldemetoden, hvor forsyningen af oxygen og helium blot sker gennem boosterpumpen.



Figur 5.10
Skitse af anlæg til fremstilling af trimix med indbygget boosterpumpe. I panelet 1 vælges om det er oxygen eller helium der, skal påfyldes. Boosterpumpen 2 trykker den valgte gas over i flasken, der skal fyldes.

Kend dit fyldeanlæg

I ovenstående er beskrevet forskellige fyldemetoder. Over disse principper er der lavet et hav af variationer – dels hjemmegjorte anlæg dels kommercielt tilgængelige. Anlæggene kan således skræddersys til de enkelte slutbrugeres behov med for eksempel integrerede flaskebanker og lagerflasker til færdigfremstillet nitrox og forskellige grader af automatisering, der gør anlæggene nemmere at betjene. Inden man skal benytte et bestemt anlæg, er det derfor vigtigt grundigt at sætte sig ind i, efter hvilke principper netop dette anlæg fungerer, hvordan det er sammensat, og hvordan det betjenes korrekt.

6. ANALYSE AF GAS

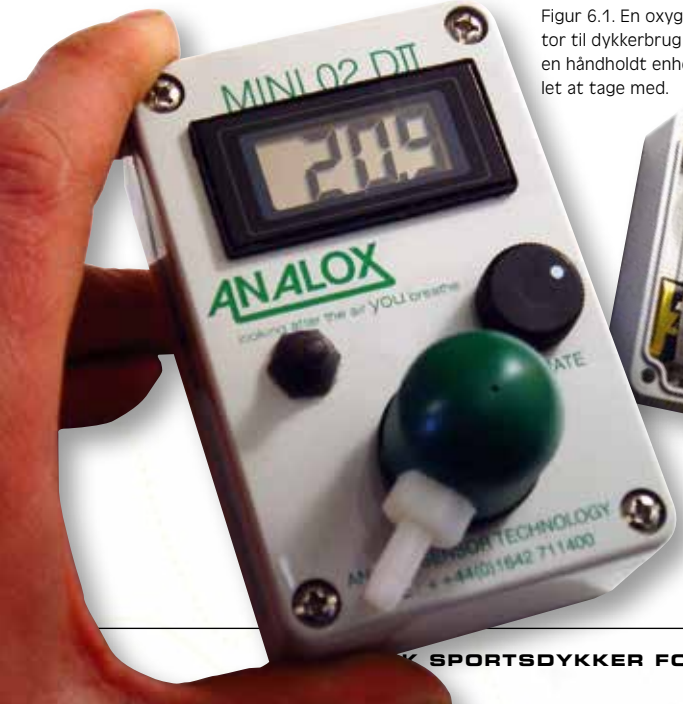
For os som dykkere er det meget vigtigt, at vi har en forholdsvis sikker viden om gassammensætningen af den åndegas, vi benytter. Vi bliver derfor nødt til at have adgang til metoder til analyse af de gasblandinger, vi benytter.

Nitrox er som bekendt en blanding af nitrogen og oxygen Ved at kende indholdet af enten nitrogen eller oxygen vil vi derfor have klarhed over, hvad det er for en gasblanding, vi har.

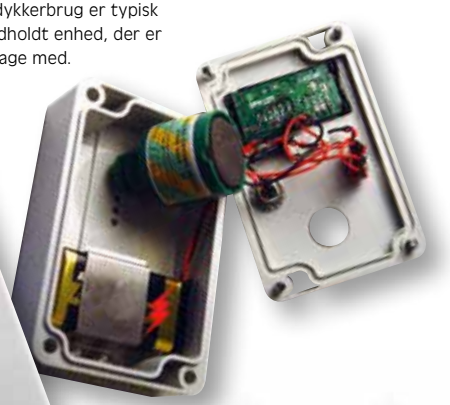
Der findes mange analysemetoder til gasser, men for dykkere vil næsten kun instrumenter til analyse af oxygenindhold baseret på et brændselselement, også kaldet en galvanisk celle, have interesse.

Analyse af oxygenfraktion - brændselselement

Hjertet i næsten alle de oxygenanalysatorer, vi møder som dykkere, er et brændselselement. Et brændselselement indeholder en elektrolyt, der skaber et potential over to elektroder, når den oxiderer. Størrelsen af potentialet er afhængig af mængden af oxygen. Ud over selve oxygensensoren – brændselselementet – består en oxygenanalysator af et voltmeter, der kan måle potentialet fra oxygensensoren, en variabel modstand og et display.



Figur 6.1. En oxygenanalysator til dykkerbrug er typisk en håndholdt enhed, der er let at tage med.



Figur 6.2. En oxygenanalysator består af batteri (nederst til venstre), elektronik (øverst til højre) og oxygensensoren (øverst til venstre).

Sensorer af brændselselementtypen fremstilles i flere former til forskellige formål. En vigtig parameter er reaktionstiden. Reaktionstiden er den tid, sensoren mindst skal være udsat for gassen for at give et stabilt signal og ligger typisk på 10 – 60 sekunder. Med en hurtigt reagerende sensor er det muligt hurtigt at få et stabilt signal ved kalibrering og måling. Desværre er prisen en reduceret levetid af sensoren i forhold til typer med en lidt længere reaktionstid.

Kalibrering

For at kunne omsætte signalet fra oxygensensoren til et oxygenindhold skal oxygenanalysatoren kalibreres. Kalibreringen sker ved at lade analysatoren analysere på en gas med kendt iltkoncentration – typisk atmosfærisk luft eller ren oxygen. Ved hjælp af den variable modstand indstilles analysatoren til at vise den korrekte oxygenkoncentration.

Oxygensensorer af brændselselementtypen forbruges langsomt. Dette betyder, at signalet fra sensoren ændrer sig med tiden. Da sensorerne samtidig også er følsomme for temperatur, tryk og fugtighed er det vigtigt, at kalibrering af oxygenanalysatorer sker, hver gang de benyttes, samt at kalibreringen sker umiddelbart inden brug.

Kalibrering af oxygenanalysatoren sker som nævnt typisk med atmosfærisk luft eller ren oxygen. Det er bedst at kalibrere med en gas med et oxygenindhold tæt på oxygenindholdet af den gas, der skal analyseres. Atmosfærisk luft vil derfor typisk blive benyttet til bundgasser som nitrox 32 og 36, hvorimod dekompressionsgas som nitrox 80 bedst analyseres med en oxygenanalysator kalibreret med ren oxygen.

Kalibrering af oxygenanalysator til blandinger med en oxygenfraktion lavere end 60% sker med atmosfærisk luft. Til blandinger med over 60% oxygen kalibreres med 100% oxygen.

Figur 6.3. Analyse af gasblanding med oxygenanalysator holdt direkte mod flaskeventilen.

Oxygensensorens trykfølsomhed

Sensorens trykafhængighed giver sig udtryk ved, at det den i virkeligheden måler ikke er oxygen fraktionen, men oxygen partialtrykket. En given gas vil derfor resultere i det dobbelte signal fra oxygensensoren, hvis der analyseres ved to bars tryk i stedet for ved atmosfæretryk. Dette har stor praktisk betydning, idet den gas, vi ønsker at analysere, typisk er under tryk. Vi skal derfor være sikre på, at vi analyserer ved samme tryk som sensoren er kalibreret. Ofte kommer dette problem til udtryk, når vi skal analysere gassen i en flaske. Her vil man ofte skulle holde analysatoren op mod flaskeventilen, hvorved gassen strømmer forbi oxygensensoren. Afhængig af oxygenanalysatorens udformning kan der opstå det problem, at trykket omkring sensoren vil blive forhøjet, hvis flaskeventilen åbnes for meget. Resultatet bliver en for høj målt oxygenfraktion.

Nøjagtighed af analysen

Som det fremgår af ovenstående, påvirkes signalet fra oxygensensoren af en række parametre:

- Oxygenfraktion
- Sensorens alder
- Temperatur
- Tryk

Oxygenfraktionen er det vi ønsker at måle, og som det er nævnt korrigeres for sensorens alder og temperaturen ved kalibreringen. Der findes også analysatorer på markedet, der har indbygget temperaturkkompensering, således at de korrigerer bedre for variation i tempertur. Oxygensensorens trykfølsomhed kan giver problemer ved uheldigt konstruerede analysatorer eller ved fejlbetjening.

Brugt rigtigt er det muligt at bestemme oxygenfraktionen indenfor ±1 procentpoints nøjagtighed med en almindelig kommerciel oxygenanalysator. Dette er tilstrækkelig nøjagtigt, men det er en rigtig god ide jævnligt at sammenligne egne målinger af oxygenfraktion med andres for på den måde at afsløre fejl i udstyr eller måleteknik.

Det er vigtigt at verificere dine oxygenfraktionsmålinger. Dette sker ved både at sammenligne oxygenfraktioner målt med forskellige oxygenanalysatorer og målt af forskellige personer.

Helium analyse

Analysatorer til analyse af oxygen er meget udbredt og helt uundværlige ved dykning med blandingsgasser. Ved dykning med trimix kan man klare sig ved kun at analysere oxygenindholdet. Den tekniske udvikling gør dog, at analysatorer til analyse af heliumfraktionen vinder større og større indpas. Der findes i dag flere heliumanalysatorer udviklet til analyse af dykkegas på markedet.

Heliumanalysatorer bygger på en noget mere kompliceret teknologi end en oxygenanalysator med en galvanisk sensor. Et udbredt måleprincip i en heliumanalysatorer er måling af gassens varmeledningsevne, der er forskellig for de enkelte gasser.

Et andet måleprincip anvendes i Divesoft oxygen og heliumanalysatoren. Oxygenen måles ved brug af en brændselscelle, mens heliumindholdet i gassen fastlægges ved at måle lydens hastighed gennem den målte gasblanding.

Lydens hastighed er bestem af temperaturen, indholdet af oxygen og helium (samt naturligvis nitrogen). Ved 0 grader C er lydens hastighed i ren helium ca. 970 m/sec, ca. 330 m/sec i atmosfærisk luft og ca. 315 m/sec i ren oxygen. En stigning i temperaturen giver en stigning i lydens hastighed på ca. 0,175 %.

Målingen foretages ved at der sendes en impuls mellem 2 enheder og tiden der går mellem impulserne sendes og modtages måles. Derved kan heliumindholdet i gasblandingen fastlægges med en tilfredsstillende nøjagtighed. I fig.6.3 ses et eksempel på en oxygen og heliumanalysator.

Divesoft oxygen og heliumanalysator.

I'm not he droid
you are looking for
BAUER

7. GASBLANDING I PRAKSIS

I dette kapitel vil vi se på, hvordan vi i praksis får fyldt vores flasker med den rette blanding. Først ser vi på, hvordan vi får de gasser, der skal bruges til fremstillingen, derefter på blanding af nitrox med partialtryk fyldemetoden, og kontinuerlig blanding, og til sidst på blandinger, der indeholder helium.

Det er vigtigt at understrege, at de her anførte praksiser på ingen måde er fyldestgørende beskrevet. Den til enhver tid foreliggende fyldeinstruks på et givent anlæg skal selvfølgelig følges.

Gasser til blanding af åndegasser

Til fremstilling af nitrox er det ofte nødvendigt at have adgang til ren oxygen og ved fremstilling af trimix ren oxygen og ren helium. Gasserne leveres fra firmaer der fremstiller de rene gasser industrielt, oftest på 40 eller 50 liters flasker ved 200 bar.

Det er vigtigt at sikre sig, at renheden af den gas man benytter er tilstrækkelig, til at den er sikker at indånde.

Oxygen

Til brug ved dykning skal man bruge oxygen, der er beregnet til indånding. I praksis vil det ofte sige en kvalitet der kaldes medicinsk oxygen. Medicinsk oxygen er underlagt strenge regler, der skal sikre, at der ikke er forureninger i gassen. Det betyder f.eks., at flaskerne pumpes tomme inden fyldning.

Almindelig industrikvalitet oxygen, også kaldet svejseoxygen, er principielt fyldt fra samme hane som den medicinske oxygen, og burde derfor være det samme som medicinsk oxygen. Det er det bare ikke! Forskellen er, at eventuelle forureninger i oxygenflasken inden fyldning ikke er garanteret at blive opdaget, og der derfor ikke er nogen garanti mod at få forurenet gas. Det er ikke det store problem, hvis man skal svejse – i værste fald skal flasken byttes. Det er straks noget helt andet, hvis det er en indåndingsgas, der er forurenet.

Brug kun medicinsk oxygen til fyldning af dykkerflasker

Helium

Ballongas er helium til at fylde balloner, så de kan svæve. Ballongas kan indeholde store mængder CO_2 og må derfor under ingen omstændigheder bruges som åndegas. Som med oxygen gælder, at man skal sikre, at den leverede gaskvalitet er egnet til indånding.

Blanding af nitrox med partialtryk fyldemetoden

Det er ikke svært, at fremstille nitrox men som det er understreget tidligere, er det vigtigt at gøre tingene på den rigtige måde for at nå sikkert frem til det ønskede resultat.

Overordnet set kan man opdele fyldeprocessen i nogle udregninger, man foretager inden fyldningen og så en række praktiske ting omkring selve fyldningen.

Fyldning af tom flaske

Det nemmeste er at starte med at se på, hvordan man fylder en tom flaske med nitrox. Det første man skal gøre er at fastlægge hvilken blanding, man ønsker at fremstille samt hvilket sluttryk, man forventer.

Herefter benytter man nedenstående formel til at udregne mængden af oxygen, der skal være i flasken ud over den oxygen, der er i atmosfærisk luft:

$$\frac{F_{O2} - 0{,}21}{0{,}79} \times p_{slut} = p_{O2}^{ekstra}$$

Hvor F_{O2} er oxygenfraktionen i den ønskede blanding, p_{slut} er sluttrykket for flasken og p_{O2}^{ekstra} er mængden af oxygen, der ekstra skal fyldes i flasken ud over den oxygen der er i atmosfærisk luft.

Eksempel

Vi ønsker at fylde en flaske til 200 bar med en nitrox 36 blanding. Mængden af oxygen der skal ekstra på flasken i forhold til atmosfærisk luft, udregnes:

$$p_{O2}^{ekstra} = \frac{0{,}36 - 0{,}21}{0{,}79} \times 200 bar = 38\ bar$$

Der skal altså påfyldes 38 bar oxygen på flasken.

Fyldning af flaske der allerede indeholder gas - recut

Ovenfor er vist, hvordan man fylder en helt tom flaske med nitrox. I praksis er det mest udbredte, at den flaske, man ønsker at fylde, ikke er helt tom. En nem måde at komme omkring dette på, er selvfølgelig at tømme den inden brug. Dette er dog både upraktiskt og spild af komprimeret gas. Kun hvis flasketrykket er højere end den

tilgængelige oxygenforsyning, skal der tømmes gas fra flasken til et lavere tryk. Fyldning af en delvis fyldt flaske benævnes ofte ***recut.***

På samme måde, som beskrevet for fyldning af en tom flaske, beregnes mængden af oxygen, der skal være i flasken ud over den oxygen der er i atmosfærisk luft, med formelen:

$$\frac{F_{O2} - 0{,}21}{0{,}79} \times p_{slut} = p_{O2}^{ekstra}$$

Hvor F_{O2} er oxygenfraktionen i den ønskede blanding, p_{slut} er sluttrykket for flasken p_{O2}^{ekstra} og er trykket af den ekstra mængde af oxygen i flasken ud over den oxygen, der er i atmosfærisk luft.

Dernæst skal vi vide hvor meget oxygen ud over atmosfærisk luft, der allerede er på flasken. Inden vi går i gang med at fylde skal vi derfor:

- Bestemme oxygenfraktionen i gassen på flasken
- Måle trykket på flasken
- Udregne overskuddet af oxygen i forhold til atmosfærisk luft

Til at måle trykket er det smart at bruge det samme manometer, som senere bruges ved påfyldning af oxygen.

Ved hjælp af samme formel som vi brugte til at bestemme hvor meget oxygen der skal tilsættes en tom flaske, bestemmes hvor meget ekstra oxygen, der er på flasken i forhold til atmosfærisk luft:

$$\frac{F_{O2} - 0{,}21}{0{,}79} \times p = p_{O2}^{ekstra}$$

Hvor F_{O2} er oxygenfraktionen, der er på flasken, p er trykket på flasken og p_{O2}^{ekstra} er det ekstra oxygen, der allerede er på flasken.

Mængden af oxygen, der skal tilsættes, kan nu findes ved at trække den mængde ekstra oxygen, der allerede er på flasken, fra den mængde ekstra oxygen, der i alt skal være i flasken.

Eksempel

Vi ønsker at fylde en flaske til 200 bar med en nitrox 36 blanding. Flasken har sidst været brugt med Nitrox 28. Vi måler oxygenfraktionen til 0,27 og trykket til 45 bar.

Vi ønsker en nitrox 36; F_{O2} er altså 0,36. Flasken ønskes fyldt til 200 bar; p_{slut} er altså 200 bar. Mængden af ekstra oxygen i forhold til atmosfærisk luft er...

$$p_{02}^{ekstra} = \frac{0{,}36 - 0{,}21}{0{,}79} \times 200bar = 38\ bar$$

...38 bar.

Flasken indeholder 45 bar nitrox 27; F_{O2} er altså 0,27 og p er 45 bar. Overskuddet af oxygen udregnes...

$$p_{02}^{ekstra} = \frac{0{,}27 - 0{,}21}{0{,}79} \times 45bar = 3{,}4bar$$

... til 3,4 bar.

Ved at tilsætte...

38 bar - 3,4 bar = 34,6 bar

...oxygen til flaskens indhold og fylde med atmosfærisk luft til 200 bar, vil resultatet blive den ønskede nitrox 36.

Blandetabel

Som det fremgår, benyttes den samme formel igen og igen. Det kan derfor blive noget trivielt at sidde og taste ind på lommeregneren. I stedet bruges tabellen i appendiks D, når man i praksis vil lave blandeberegninger. På den måde undgås også tastefejl på lommeregneren.

Tabellen er opbygget således, at man foroven finder det flasketryk, der skal fyldes til, og i venstre side den aktuelle oxygenfraktion. I tabellen kan herefter aflæses mængden af oxygen, der skal tilsættes udregnet i bar.

Eksempel

Vi ønsker at fylde en flaske til 200 bar med en nitrox 36 blanding. Vi aflæser i tabellen, at der skal påfyldes 38 bar oxygen på en tom flaske.

F_{O2} \ $p_{(bar)}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0.22	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
0.23	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	
0.24	0	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	
0.25	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	
0.26	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	11	11	12	
0.27	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	
0.28	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	
0.29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0.30	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	21	22	
0.31	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	20	22	23	24	
0.32	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	24	25	26	
0.33	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	
0.34	2	3	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	30	31	
0.35	2	4	5	7	9	11	12	14	16	18	19	21	23	25	27	28	30	32	34	
0.36	2	4	5	7	9	11	13	14	16	18	20	22	23	25	27	29	31	32	34	38
0.37	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	

Den praktiske fyldning med partialtryk fyldemetoden

Når mængden af oxygen, der skal påfyldes flasken er bestemt, handler det om rent praktisk at få fremstillet nitroxblandingen. Det foregår som følger:

- Påfyldning af oxygen'
- Påfyldning af atmosfærisk luft
- Kontrol af slutblanding
- Mærkning af flaske

Påfyldning af oxygen sker ved, at flasken monteres i fyldeanlægget, og flaskeventilen åbnes. På anlæggets doseringsventil åbnes så langsomt som muligt for oxygentilførslen. Herefter fyldes med et langsomt flow – det vil sige maksimalt 4 bar i minuttet.

Kontrollér altid om en flaske er mærket for oxygenservice, og om sidste oxygenrengøring er inden for det seneste år, inden den fyldes med oxygen.

Den største fare for oxygenbrand er, når ventiler åbnes. Derfor skal ventiler altid åbnes så langsomt som muligt, og slanger og rør skal ligeledes tryksættes så langsomt som muligt.

Den maksimale anbefalede fyldehastighed er 4 bar pr. minut. Dette svarer til en trykstigning på 1 bar på 15 sekunder.

Efter påfyldning af oxygen efterfyldes med atmosfærisk luft. Som nævnt tidligere er det vigtigt at benytte ren luft, der er oxygenkompatibel. Fyldningen sker på normal vis og afbrydes, når det ønskede sluttryk er nået.
Benyttes almindelig kompressor og derfor et ekstra filter, er det som tidligere nævnt meget vigtigt at fyldehastigheden ikke overstiger filtrets kapacitet.

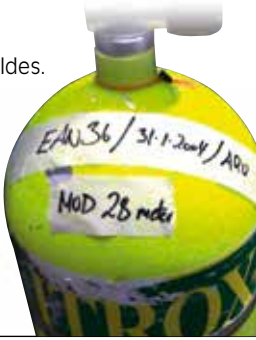
Det er vigtigt, at der på intet tidspunkt er mulighed for, at flaskens indhold strømmer over i fyldeanlægget. Dette sikres ved, at der altid er monteret en kontraventil mellem flaske og fyldeanlæg.

Efter at fyldningen er afsluttet, analyseres oxygenindholdet i flasken. Hvis oxygenfraktionen afviger væsentligt fra det beregnede, skal årsagen til afvigelsen findes, før gassen må benyttes.

Når fyldningen er færdig og gassen analyseret, skal den fyldte flaske mærkes. Som minimum skal anføres MOD (maksimal operations dybde) og oxygenfraktion.

Til mærkning findes fortrykte etiketter, der blot udfyldes. Alternativt kan skrives med sprittusch på malertape.

Øverst: Personligt filter til fremstilling af oxygen kompatibel luft.
Nederst: Stationært filter til fremstilling af oxygen kompatibel luft.



Figur 7.2
Flaske mærket med blanding (EAN36), dato og blender initialer samt MOD.

Kontinuerlig blanding af nitrox

Ved kontinuerlig nitroxblanding tilføres flasken, som beskrevet i kapitel 5, den færdige nitroxblanding direkte gennem kompressoren. Indsugningsluften på kompressoren tilføres oxygen, hvorved nitrox fremstilles.

Igen kan man opdele fyldeprocessen i udregninger af oxygenfraktionen for fyldegassen, som man foretager inden fyldningen, og så en række praktiske ting omkring selve fyldningen.

Fyldning af tom flaske eller flaske med samme blanding

Det er meget nemt at finde oxygenfraktionen for fyldegassen, når der skal fyldes en tom flaske eller ved recut på samme nitroxblanding. Her er oxygenfraktionen af fyldegassen den samme som i den ønskede blanding.

Fyldning af flaske med en anden blanding

Det kræver straks lidt flere udregninger at bestemme oxygenfraktionen for fyldegassen, når en delvis tom flaske skal fyldes, og der ønskes en anden blanding, end der allerede er på flasken.

For at holde styr på udregningerne og gøre dem så nemme som muligt benytter vi metoden want – have – need.

- ***Want***
  Fastlæggelse af hvilken nitroxblanding vi ønsker (F_{O2}) og sluttryk.
- ***Have***
  Analyse af den blanding vi har for tryk og oxygenindhold (F_{O2}).
- ***Need***
  Bestemmelse af oxygenfraktionen i fyldegassen.

For at gøre udregningerne systematiske vil vi altid benytte et skema til at holde styr på vores udregninger.

	Want	*Have*	*Need*
F_{O2}			
p			
p_{O2}			

Øverst i skemaet er angivet Want - for den blanding vi ønsker; Have - for den blanding der allerede er i flasken og Need - for det der skal fyldes på flasken. Til højre er noteret F_{O2} for oxygenfraktion, p for totaltrykket og p_{O2} for oxygenpartialtrykket. Herefter er det blot at udfylde i skemaet.

Eksempel

Vi ønsker at fylde en 15 liters flaske til 200 bar med en nitrox 36 blanding på et anlæg med kontinuerlig blanding. Flasken har sidst være brugt med Nitrox 28. Vi måler oxygen fraktionen til 0,27 og trykket til 45 bar.

Vi kan nu bruge ***Want – Have – Need*** til at udregne hvor meget oxygen, der skal tilsættes. Først udfylder vi, hvad vi kan i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	**0,36**	**0,27**	
p	**200**	**45**	
p_{O2}			

Herefter udregnes partialtrykket af oxygen i den ønskede blanding:

$p_{O2\text{-}Want}$ = 200 bar × 0,36 = 72 bar

og partialtrykket af oxygen, der allerede er på flasken:

$p_{O2\text{-}Have}$ = 45 bar × 0,27 = 12,1 bar

Og værdierne indsættes i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	**0,36**	**0,27**	
p	**200**	**45**	
p_{O2}	**72**	**12,1**	

Herefter bestemmes forskellen i oxygen partialtryk mellem det vi har, og det vi ønsker:

$p_{O2\text{-}Need} = p_{O2\text{-}Want} - p_{O2\text{-}Have}$ = 72 bar - 12,1 bar = 59,9 bar

Og det tryk der mangler på flasken:

$p_{Need} = p_{Want} - p_{Have}$ = 200 bar - 45 bar = 155 bar

Værdierne indsættes i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	0,36	0,27	
p	200	45	155
p_{O2}	72	12,1	59,9

Som det fremgår skal der altså påfyldes 155 bar på flasken, hvoraf de 59,9 bar skal være oxygen. Oxygenfraktionen af fyldegassen udregnes:

$$F_{O2\text{-}Need} = \frac{p_{O2\text{-}Need}}{p_{Need}} = \frac{59{,}9bar}{155bar} = 0{,}39$$

Og indsættes i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	0,36	0,27	0,39
p	200	45	155
p_{O2}	72	12,1	59,9

For at ende op med en nitrox 36 skal flasken altså fyldes, med hvad der svarer til nitrox 39.

Brug af blandetabeller

Som ved fyldning med partialtryk fyldemetoden kan man med fordel også benytte blandetabellerne ved kontinuerlig blanding. Når vi bruger blandetabellerne benytter vi igen ***want – have – need*** og indsætter i skemaet. I forhold til tidligere er der dog den lille forskel, at vi ikke beregner oxygen partialtrykket, men derimod den ekstra mængde oxygen i forhold til atmosfærisk luft. Skemaet kommer derfor til at se således ud:

	Want	Have	Need
F_{O2}			
p			
p_{O2}^{Ekstra}			

Eksempel

Vi ønsker at fylde en flaske til 200 bar med en nitrox 36 blanding. Flasken har sidst været brugt med Nitrox 28. Vi måler oxygenfraktionen til 0,27 og trykket til 50 bar.

Vi kan nu bruge ***Want – Have – Need*** til at udregne hvor meget oxygen, der skal tilsættes. Først udfylder vi, hvad vi kan i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	0,36	0,27	
p	200	50	
p_{O2}^{Ekstra}			

Herefter bestemmes den ekstra mængde oxygen i forhold til atmosfærisk luft i den ønskede blanding ved opslag i blandetabellen:

F_{O2} \ p [bar]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0.22	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
0.23	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	
0.24	0	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	
0.25	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
0.26	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13
0.27	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	15
0.28	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18
0.29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.30	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23
0.31	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	20	22	23	24	25
0.32	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	24	25	26	28
0.33	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30
0.34	2	3	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	30	31	33
0.35	2	4	5	7	9	11	12	14	16	18	19	21	23	25	27	28	30	32	34	35
0.36	2	4	5	7	9	11	13	14	16	18	20	22	24	25	27	29	31	32	34	38
0.37	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	41

p_{O2}^{Ekstra} for den ønskede blanding (want) er altså 38 bar. På tilsvarende måde findes den overskydende mængde oxygen i den eksisterende (have) blanding ved tabelopslag til 4 bar.

Værdierne indsættes i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	0,36	0,27	
p	200	50	
p_{O2}^{Ekstra}	38	4	

Herefter bestemmes forskellen i overskydende oxygen mellem det vi har, og det vi ønsker:

$p_{O2\text{-}Need} = p_{O2\text{-}Want} - p_{O2\text{-}Have} = 38 \text{ bar} - 4 \text{ bar} = 34 \text{ bar}$

Og det tryk der mangler på flasken:

$p_{Need} = p_{Want} - p_{Have} = 200 \text{ bar} - 50 \text{ bar} = 150 \text{ bar}$

Værdierne indsættes i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	0,36	0,27	
p	200	50	150
p_{O2}^{Ekstra}	38	4	34

Som det fremgår, skal der altså påfyldes 150 bar på flasken med 34 bar ekstra oxygen i forhold til atmosfærisk luft.

Vi kan nu igen bruge blandetabellen til at bestemme oxygenfraktionen i den gas, der skal fyldes med. I toppen under tryk finder vi det tryk, vi mangler (i dette tilfælde 150 bar). Vi følger nu kolonnen nedad, til vi kommer til det ekstra oxygen, vi mangler (i dette tilfælde 34 bar). Oxygen fraktionen, der behøves, kan nu aflæses i kolonnen yderst til venstre.

F_{O2} \ p [bar]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
0.22	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2		2	2	2	2	3
0.23	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4		4	4	5	5	5
0.24	0	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5		6	6	7	7	8
0.25	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7		8	9	9	10	10
0.26	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9		10	11	11	12	13
0.27	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	10	11		12	13	14	14	15
0.28	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12		14	15	16	17	18
0.29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		16	17	18	19	20
0.30	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16		18	19	21	22	23
0.31	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16	18		20	22	23	24	25
0.32	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19		22	24	25	26	28
0.33	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	20	21		24	26	27	29	30
0.34	2	3	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	21	23		26	28	30	31	33
0.35	2	4	5	7	9	11	12	14	16	18	19	21	23	25		28	30	32	34	35
0.36	2	4	6	8	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27		30	32	34	36	38
0.37	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28		32	34	36	38	41
0.38	2	4	6	9	11	13	15	17	19	22	24	26	28	30		34	37	39	41	43
0.39														32	34	37	39	41	43	46
0.40	2	5	7	10	12	14	17	19	22	24	26	29	31	34		38	41	43	46	48

Vi kan derfor nu indsætte 0,39 i skemaet:

	Want	Have	Need
F_{O2}	0,36	0,27	0,39
p	200	50	150
p_{O2}^{Ekstra}	38	4	34

For at ende op med en nitrox 36 skal flasken altså fyldes med, hvad der svarer til nitrox 39.

Den praktiske fyldning med kontinuerlig fyldemetode

Når det er bestemt, hvilken gas der skal tilføres flasken, skal flasken fyldes på anlægget. Der er forskel på, præcis hvordan forskellige anlæg til kontinuerlig blanding betjenes. Nedenfor er derfor kun givet en punktvis gennemgang af selve fyldningen.

- Flasken tilsluttes fyldeanlægget.
- Oxygensensor kalibreres
- Kompressor startes
- Oxygentilførslen åbnes og justeres til ønsket oxygen niveau
- Når oxygenniveauet er stabilt, åbnes for flasken og fyldningen påbegyndes
- Flasken fyldes til ønsket tryk
- Oxygentilførslen lukkes
- Kompressoren stoppes

Efter fyldningen skal gassen naturligvis analyseres, og flasken mærkes på samme måde som beskrevet under partialtryk fyldning.

Kompressoren må under ingen omstændigheder udsættes for større oxygenfraktion, end den er beregnet og rengjort til.

Blanding med helium

Blandinger med helium er for det meste blandinger af oxygen, helium og nitrogen – kaldet trimix. Trimix betegnes f.eks. Trimix 15/40. Dette betyder, at der er 15% oxygen (F_{O2} = 0,15) og 40% helium (F_{He} = 0,40), resten er nitrogen (F_{N2} = 0,45).

Ved blanding af nitrox bliver blandingen altid kontrolleret efter fremstilling ved at måle oxygenfraktionen af blandingen. Når vi kender oxygenindholdet, kender vi også nitrogenindholdet, for nitrox er jo af blanding af kun de to gasser. Når vi skal fremstille blandinger med helium, bliver sagen en anden. Godt nok findes der heliumanalysatorer, men de er endnu ikke særligt udbredte. Det betyder, at vi kun kan kontrollere, om vi har det forventede oxygenindhold efter fremstilling af trimix. Uden heliumanalysator har vi ingen måde at kontrollere forholdet mellem nitrogen og helium på. Det vil derfor kun blive opdaget, hvis en fejl, vi har begået, påvirker oxygenindholdet. Da forholdet mellem nitrogen og helium har betydning for dekompressionsprofilen, er det ikke uvæsentligt, at indholdet er nogenlunde som forventet. Derfor anbefales det ikke at genfyldes flasker med trimix (recut), med mindre man benytter heliairmetoden eller benytter en heliumanalysator til efterfølgende analyse.

Fastlæggelse af optimal trimixblanding – Best mix

Ved dykning med nitrox fastlægges den optimale blanding ved at sørge for at partialtrykket af oxygen er 1,4 bar på maksimaldybden.

Det samme gælder for dykning med trimix. Planlægges et dyk til f.eks. 80 meter udregnes den oxygenfraktion, der giver et oxygen partialtryk så tæt på 1,4; men ikke over:

$$\mathbf{F_{O2} = \frac{p_{O2}}{p} = \frac{1{,}4bar}{9bar} = 0{,}155 \approx 0{,}15}$$

For en sikkerheds skyld rundes ned, hvilket vil sige at for ikke at overstige et partialtryk af oxygen på 1,4 bar på 80 meter, må der ikke være mere end 15% oxygen i trimixblandingen.

Dernæst fastlægges den ækvivalente nitrogendybde (END), dvs. den dybde med luft der med hensyn til nitrogen, svarer til det planlagte trimixdyk. Normalt accepteres en END på mellem 30 og 40 meter, dvs. at dykkeren accepterer en nitrogenrus svarende til dyk med luft på 30 – 40 meter.

Ser vi på dykket fra før til 80 meter og vælger en END på 30 meter:

Udregnes først det accepterede partialtryk for nitrogen:

$$p_{N2} = F_{N2} \; x \; p = \mathbf{0,79x4}bar = \mathbf{3,16}bar$$

Og dernæst nitrogenfraktionen, der giver et nitrogen partialtryk på 3,16 bar på 80 meter (9 bar):

$$F_{N2} = \frac{p_{N2}}{p} = \frac{\mathbf{3,16}bar}{\mathbf{9}bar} = \mathbf{0,35}$$

Nitrogenmængden er dermed bestemt til at være 35%.

Vi skal derfor bruge en blanding, som indeholder 15% oxygen, 35% nitrogen og resten helium altså 50% helium.

Heliair

Heliair er trimix fremstillet ved at blande helium og luft – deraf navnet. Heliair fremstilles ved først at beregne den mængde helium, der er nødvendig til en given blanding. Valget af ønsket blanding kan ske ved enten at fastlægge en ønsket oxygenfraktion:

$$p_{He} = p_{Slut} - \frac{p_{Slut} \; \mathbf{x} \; F_{O2}}{\mathbf{0,21}}$$

hvor p_{He} er mængden af helium, der skal tilsættes, p_{slut} er det ønskede slutryk og F_{O2} er den ønskede oxygen fraktion

eller ved at fastlægge en ønsket nitrogenfraktion:

$$p_{He} = p_{Slut} - \frac{p_{Slut} \; \mathbf{x} \; F_{N2}}{\mathbf{0,79}}$$

Hvor p_{He} er mængden af helium, der skal tilsættes, p_{slut} er det ønskede fyldetryk og F_{N2} er den ønskede nitrogen fraktion.

Påfyldning af helium sker ved, at flasken monteres i fyldeanlægget, og flaskeventilen åbnes. På anlæggets doseringsventil åbnes så langsomt for heliumtilførslen og flasken.

Efter påfyldning af helium fyldes flasken til det ønskede tryk med atmosfærisk luft.

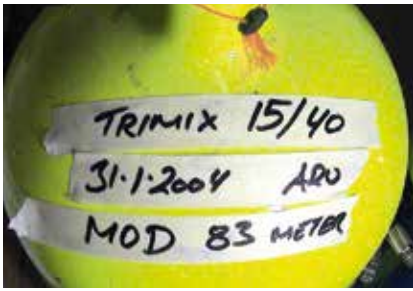
Efter at fyldningen er afsluttet, analyseres oxygenindholdet i flasken. Hvis oxygenfraktionen afviger fra det beregnede, skal årsagen til afvigelsen findes, før gassen må benyttes. Dette er særligt vigtigt, når det gælder trimix, da afvigelsen kan betyde, at også forholdet mellem helium og nitrogen afviger fra det forventede.

Særligt for heliair gælder det, at andelen af nitrogen følger oxygenfraktionen, da forholdet mellem oxygen og nitrogen er det samme som i atmosfærisk luft. Er oxygenfraktionen den rigtige, vil forholdet mellem helium og nitrogen derfor også være det rigtige – men kun når der er tale om heliair.

Efter at fyldningen er færdig, og gassen analyseret, skal den fyldte flaske mærkes. Som minimum skal anføres følgende oplysninger:

- Dato for fyldning
- Initialer for blender
- Oxygen- og heliumfraktion
- MOD

Til mærkning findes fortrykte etiketter, der blot udfyldes. Alternativt kan skrives med sprittusch på malertape.



Eksempel

Vi ønsker at blande 200 bar heliair med en oxygenfraktion på 15 (F_{O2} = 0,15) Mængden af helium udregnes:

$$p_{He} = 200bar - \frac{200bar \times 0{,}15}{0{,}21} = 57bar$$

Der skal altså påfyldes 57 bar helium på flasken og derefter efterfyldes med luft til 200 bar. Indholdet af blandingen vil derfor blive:

$$F_{He} = \frac{p_{He}}{p_{total}} = \frac{57bar}{200bar} = 0{,}29$$

$$F_{O2} = \frac{0{,}21 \times (p_{slut} - p_{He})}{p_{total}} = \frac{0{,}21 \times (200bar - 57bar)}{200bar} = 0{,}15$$

$$F_{N2} = \frac{0{,}79 \times (p_{slut} - p_{He})}{p_{total}} = \frac{0{,}79 \times (200bar - 57bar)}{200bar} = 0{,}56$$

Kaldet Trimix 15/29.

Trimix

Det er ikke altid ønskeligt at fremstille trimix efter Heliair metoden, idet man ikke frit kan vælge gassammensætningen og derfor kan komme for langt fra best mix. Det er selvfølgelig muligt at fremstille en gas med mere oxygen og helium end Heliair metoden giver mulighed for.

Ved fremstilling af en given trimix starter man med at udregne partialtrykkene af de enkelte gasser i den færdige blanding:

$$p_g = F_g \times p_{slut}$$

Hvor p_{slut} er partialtrykket af den enkelt gas, F_g er gasfraktionen og p_{slut} er det ønskede sluttryk.

Ud fra dette fås direkte mængden af helium, der skal tilføjes. Fyldes med kontinuerlig blanding kan oxygenfraktionen i fyldegassen bestemmes:

$$F_{O2} = \frac{p_{O2}}{p_{O2} + p_{N2}}$$

Og benyttes partialtryksfyldning bestemmes mængden af oxygen:

$$\frac{F_{O2} - 0{,}21}{0{,}79} \times (p_{O2} + p_{N2}) = \mathbf{p}_{O2}^{ekstra}$$

Hvor F_{O2} er oxygenfraktion, p_{O2} er oxygen partialtrykket, p_{N2} er nitrogen partialtrykket og $\mathbf{p}_{O2}^{ekstra}$ er mængden af oxygen, der skal påfyldes.

Eksempel

Vi ønsker at blande 200 bar trimix 15/40. Oxygenfraktionen er således 15 (F_{O2} = 0,15) og helium fraktionen 40 (F_{He} = 0,40). Partialtrykkene udregnes:

$$p_{He} = 0{,}40 \times 200bar = 80bar$$

$$p_{O2} = 0{,}15 \times 200bar = 30bar$$

$$p_{N2} = 0{,}45 \times 200bar = 90bar$$

Herefter udregnes oxygenfraktionen i fyldegassen ved kontinuerlig fyldning:

$$F_{O2} = \frac{p_{O2}}{p_{O2} + p_{N2}} = \frac{30bar}{30bar + 90bar} = 0{,}25$$

Og den tilsvarende mængde oxygen ved partialtryksfyldemetoden:

$$p_{O2}^{ekstra} = \frac{F_{O2} - 0{,}21}{0{,}79} \times (p_{O2} + p_{N2}) = \frac{0{,}25 - 0{,}21}{0{,}79} \times (30bar + 90bar) = 6bar$$

Der skal altså påfyldes 80 bar helium på flasken. Herefter kan enten toppes op med 120 bar nitrox 25 ved hjælp af et kontinuert fyldeanlæg eller dekantering med 6 bar oxygen og derefter efterfyldes med luft til 200 bar.

Mere komplicerede trimixberegninger

Ovenfor er præsenteret et par eksempler på udregning af fyldning med trimix. Udregningerne kan hurtigt blive forholdsvis komplicerede. Det er derfor meget udbredt at benytte computerprogrammer til at foretage disse beregninger. Flere af disse tager f.eks. hensyn til gassernes afvigelser fra idealtilstanden, ved f.eks. at benytte Van der Waals ligninger. Der findes mange både kommercielle, men også gratis tilgængelige programmer til at foretage disse udregninger.

Inden man tager et nyt program i brug, er det vigtigt at verificere at det regner rigtigt. Det kan f.eks. gøres ved at foretage beregninger på blandinger, hvor resultatet allerede kendes.

Endelig er det vigtigt at understrege, at blandinger, der indeholder helium, er vanskelige at fremstille end nitrox på grund af heliums større afvigelse fra idealgasloven end oxygen og nitrogen. For at komme delvis om dette problem er det en god ide at tilsætte helium til blandingen efter oxygen.

Gasforbrugsberegninger

Et spørgsmål, der ofte opstår, når man står og skal lave en blanding, er, om der er nok oxygen eller helium i den flaske, der fyldes fra, til at fylde til det ønskede tryk. Det kan med andre ord være nyttigt at kunne beregne trykket efter fyldning i forsyningsflasken. Til dette bruges følgende formel:

$$p^{slut}_{forsyning} = \frac{\left[p^{start}_{forsyning} \times V_{forsyning} \right] + \left[p^{start}_{fylde} \times V_{fylde} \right] - \left[p^{slut}_{fylde} \cdot V_{fylde} \right]}{V_{forsyning}}$$

Hvor $p^{slut}_{forsyning}$ er sluttrykket i forsyningsflasken

$p^{start}_{forsyning}$ er starttrykket i forsyningsflasken

$V_{forsyning}$ er volumen af forsyningsflasken

p^{start}_{fylde} er starttrykket i flasken, der skal fyldes

V_{fylde} er volumen af flasken, der skal fyldes

p^{slut}_{fylde} er sluttrykket i flasken, der skal fyldes

Eksempel

Vi ønsker at blande 200 bar trimix 15/40 på et tomt 2×10 liters flaskesæt.
Fra et tidligere eksempel ved vi, at der skal påfyldes 80 bar helium og 6 bar oxygen.

Vi har en 50 liters helium flaske med 145 bar, og en 40 liters oxygen flaske med 83 bar.

Vi starter med at se på helium:

$$p^{slut\text{-}He}_{forsyning} = \frac{145bar \times 50l + 0bar \times 20l - 80bar \times 20l}{50l} = 113bar$$

Der vil altså være 113 bar tilbage på heliumflasken, når der er fyldt helium på. Da dette er højere end de 80 bar, vi har, når vi er færdige med påfyldningen, er der altså ingen problemer med helium.

Herefter ser vi på oxygen:

$$p^{slut\text{-}O2}_{forsyning} = \frac{83bar \times 40l + 80bar \times 20l - 86bar \times 20l}{40l} = 80bar$$

Der forbruges 3 bar af oxygenflasken for at foretage fyldningen. Det betyder, at vi efter endt fyldning lander på 80 bar i forsyningsflasken og 86 bar i flasken, der skal fyldes. Det kan selvfølgelig ikke lade sig gøre. For at foretage denne fyldning skal man altså starte med påfyldning af oxygen inden påfyldning af helium.

Fyldejournal

Ud over at være et lovkrav at føre driftsprotokol over fyldeanlæg (se appendiks A) er der en række andre fordele ved at benytte en fyldejournal ved fremstilling af nitrox og trimix. For det første giver en fyldejournal overblik over eventuelle regelmæssige afvigelser fra de ønskede blandinger. Dette muliggør, at man kan kompensere for disse afvigelser og dermed fremstille de ønskede blandinger mere nøjagtigt. For det andet giver en fyldejournal mulighed for at følge med i anlæggets brug med henblik på løbende at sikre vedligeholdelse. Endelig kan fyldejournaler holde styr på forbruget af oxygen og helium og måske benyttes til at opkræve betaling efter forbrug.

En god fyldejournal skal være enkel og let og bruge og kan indeholde oplysninger såsom:

- Data for fyldning
- Rekvirent
- Blender
- Flaskestørrelse
- Flaske ID
- Ønsket blanding
- Eksisterende blanding
- Sammensætning
  - Tryk
  - Tilsat oxygen / helum
- Resulterende analyseret blanding
- Oplysning om oxygen / helium forbrug
- Prisudregninger
- Benyttet forsyningsflasker
  - Start- og sluttryk

Appendiks E indeholder et eksempel på en enkel fyldejournal.

APPENDIKS

EN 562
100
200
300
0
bar
WIKA
KL2.5
EN 562
5
10
0
15
16
oxygen
CE
bar
WIKA
KL2.5
STRANDMØLLEN
Tlf. 45 80 30 05
OXYGEN

Appendiks A
Krav til fyldeanlæg

Generelle krav for 200 og 300 bar stationære kompressorstationer for åndemiddelluft

Nedenstående er gengivet fra Force Technologies vejledning omkring krav til fyldestationer (August 2009) og vil være de krav, der skal opfyldes, for at en fyldestation til atmosfærisk luft kan godkendes ved den årlige inspektion.

Luftkvalitet

1. Kompressoren skal være forsynet med filtre, som er tilstrækkelige til at sikre åndemidlets renhed i henhold til følgende værdier:

Kulmonooxid (CO)	max. 10 ppm
Kuldioxid (CO_2)	max. 500 ppm
Nitrøse gasser (NO_2)	max. 0,5 ppm
Olie	max. 0,3 mg/m3
Vanddamp	max. 50 mg/m3 for fyldetryk op til 200 bar
	max. 35 mg/m3 for fyldetryk over 200 bar

2. Kompressoren skal være udstyret med timetæller. Olie- og filterskift skal styres efter antallet af driftstimer.

3. Det skal sædvanligvis kunne dokumenteres, at temperaturen i det enkelte kompressortrin ikke overstiger 150 oC.

   Højere temperaturer kan dog tillades, hvis det tydeligt fremgår, at fabrikanten har anvist en olietype, som er egnet til dette, og brugeren kun anvender denne olietype.

4. Kompressorens luftindtag skal være monteret udendørs med en placering og i en sådan højde, at det er fri af forurening. Det skal yderligere være monteret med et grovfilter.

5. Kompressoren skal være anbragt i et aflåst lokale, som har en sådan størrelse eller er ventileret således, at den afgivne varme fra kompressoren ikke

forøger rumtemperaturen væsentligt. Yderligere skal kompressoren være placeret således, at der er mindst 0,2 m imellem kompressor og nærmeste væg.

6. Det skal kunne dokumenteres, at der anvendes et smøremiddel, som er tilstrækkeligt sikret mod afgivelse af stoffer, som kan være skadelige for brugeren af åndemidlet under de forekommende driftsforhold.

7. Kontrol af abnormt smøreolieforbrug skal udføres dagligt.
   Olieskift skal foretages efter fabrikantens anvisninger.

8. Der skal jævnligt udtages prøver til analyse for kontrol af de i punkt 1 nævnte stoffer.

9. Kompressor (specielt køleribberne) og lokaler skal holdes rene.

10. Kun én person kan være ansvarlig for drift og vedligeholdelse af kompressoren. Hvor det skønnes nødvendigt og forsvarligt, kan en større personkreds instrueres af den ansvarlige operatør til at betjene kompressoren. Deres navne skal da fremgå af protekollen. Antallet af personer bør dog begrænses mest muligt.

11. Der skal føres en driftsprotekol, som er opdelt i 2 afsnit, hvor første del indeholder oplysninger om, hvilke flasker der er blevet fyldt, og anden del indeholder oplysninger om selve driften af kompressoren. Anden del skal mindst indeholde følgende:
    a) Resultat af interne analyser
    b) Filterskift
    c) Olieskift og olieforbrug
    d) Temperaturer
    e) Afprøvning af pressostater og sikkerhedsventiler (herunder også besigtigelse af trykslanger og fittings)
    f) Reparationer og uregelmæssigheder

    Ved protekolleringen af filterskift skal hver filtertype føres for sig.
    Alle oplysninger skal dateres og signeres.
    Der skal opbevares en kopi af Arbejdstilsynets godkendelse eller af den sidste kontrolrapport ved driftprotokollen.

Sikkerhed

12. Der skal foreligge fyldestgørende dansksprogede instruktioner for brugen af anlægget, og disse instruktioner skal være tilgængelige for alt registreret fyldepersonale.

13. Alle personer, som arbejder med fyldning skal være fyldt 18 år og være registreret som fyldepersonale.

14. Ved 300 bar anlæg skal det sikres, at det ikke er muligt at fylde 300 bar på flasker, som kun er godkendt til et maksimalt fyldetryk på 200 bar.

15. Hvis kompressoren udelukkende er forsynet med sikkerhedsventil, skal denne træde i funktion ved maksimalt 220 henholdsvis 330 bar.

    Hvis kompressoren er forsynet med både pressostat og sikkerhedsventil, skal sikkerhedsventilen virke ved max. 225 bar for 200 bar anlæg og max. 335 bar for 300 bar anlæg. Pressostaten kan da være indstillet til at træde i funktion ved henholdsvis max. 220 og 330 bar.

    Det skal endvidere sikres, at trykket i flaskerne ved 15 oC ikke overstiger henholdsvis 200 eller 300 bar. Overstiges disse tryk skal pressostat/sikkerhedsventil justeres til et lavere tryk.

16. Sikkerhedsventil og pressostat skal afprøves med jævne mellemrum.

17. Trykslanger skal besigtiges med jævne mellemrum.

18. Anvendes der faste fyldeslanger på kompressoren, skal disse, når kompressoren ikke er i brug, være anbragt i faste holdere, som ikke kan trykpåsættes, eller de skal være forsynet med flowbegrænsere.

19. Der skal anvendes mindst 2 trykmålere, som skal måle trykket i de flasker, der trykpåsættes, og de skal have en nøjagtighed svarende til klasse 1,0. Trykmålerne skal kontrolleres mindst 1 gang årligt.

20. Selve påfyldningen skal foregå på en sådan måde, at der ikke er forudsigelig risiko for operatøren.

Dette kan f. eks. opfyldes ved at placere fylderampe og betjeningspanel adskilt med en solid væg imellem - eventuelt i 2 separate rum.

Alternativt kan fyldeanlægget forsynes med hensigtsmæssigt anbragte rør- eller slangebrudsventiler eller eventuelt med flowbegrænsere (i begge ender af slangerne).

21. Rummet, hvor påfyldningen finder sted, skal kunne trykaflastes.

22. Hvis der anvendes 2 rum, og ingen rør- eller slangebrudsventiler eller flowbegrænsere, skal der være en sikring mod at personer opholder sig i fyldelokalet under påfyldning af flasker.

23. Kontrolpanelet skal monteres der, hvor operatøren opholder sig under fyldningen.

24. Kontrolpanelet skal være sikret mod betjening af uvedkommende, f.eks. ved at det er monteret i aflåst lokale, eller ved hjælp af en indbygget lås i selve kontrolpanelet.

25. Trykflasker, der opbevares i lokalet, skal placeres stående i reoler eller lignende.

Bufferbeholdere mm.

26. Bufferbeholdere og øvrige trykbærende dele i anlægget hører under Arbejdstilsynets bekendtgørelser, nr. 743/99 om indretning af trykbærende udstyr (PED), nr. 99/07 om indretning, ombygning og reparation af trykbærende udstyr og nr. 100/07 om anvendelse af trykbærende udstyr.

I de fleste tilfælde skal bufferbeholdere og anlægget som enhed betragtet underkastes periodiske undersøgelser i henhold til Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 100/07.

27. Der skal være mulighed for kondensaftapning fra bufferbeholderne.

28. Bufferbeholderne skal så vidt muligt være opstillet udendørs under halvtag.

    Opstilles beholderne indendørs, skal rummet de placeres i, være udformet som en brandcelle, eller beholderne skal være forsynet med sikkerhedsventil, der er dimensioneret for brandtilfælde.

    Uvedkommende må ikke have adgang til beholderne.

29. På adgangsveje til fyldelokalet skal der være ophængt advarselsskilte med teksten: **TRYKFLASKER FJERNES VED BRAND.**

Generelle krav for fyldning med gasblandinger indeholdende indåndingsluft, som er beriget med oxygen (nitrox).

Enhver gasblanding, som frembringes ved en tilsætning af ren oxygen, må kun udføres af fyldestationer, der er underlagt en løbende kontrol af en af Arbejdstilsynet udpeget prøvningsinstitution.

Luftkvalitet

1. Vedrørende kompressoren for atmosfærisk luft gælder der de samme retningslinier, som er beskrevet i de aktuelle retningslinier for henholdsvis stationære og transportable kompressorer.

2. I forbindelse med de årlige kontrolbesøg foretages kontrollen med luftkompressoren på samme måde, som det sker med en luftkompressor, der ikke er beregnet til nitrox-blandinger.

3. Oxygentilførelsen sker sædvanligvis fra en flaske, og tilsætningen kan enten ske inden den færdige blanding fyldes i flasken eller blandingen kan foregå i flasken ved fyldning af komponenterne enkeltvis.

   Uanset hvornår blandingen sker, skal den anvendte oxygen have en renhed som medicinsk oxygen.

Sikkerhed

1. Vedrørende kompressoren for atmosfærisk luft gælder der de samme retningslinier, som er beskrevet i de aktuelle retningslinier for henholdsvis stationære og transportable kompressorer.

2. Oxygenflasker med ren oxygen til omfyldning skal være placeret forsvarligt i overensstemmelse med Arbejdstilsynets regler.

3. Fyldepanelet skal være anbragt i et separat rum.

4. Alle forbindelser og tilhørende komponenter fra oxygenflasken til og med de flasker, der skal fyldes, skal være godkendte og renholdte til oxygen.

5. Den anvendte fyldeprocedure skal sikre, at ingen flasker fyldes med et højere tryk end de er godkendt til.

6. Det skal sikres, at hverken ren oxygen eller en oxygenberiget gasblanding ikke har mulighed for at komme i berøring med ikke-oxygenrene forbindelser og komponenter – herunder med luftkompressoren. Dette kan f. Eks ske ved anvendelse af (oxygenrene) kontraventiler i forbindelsen til luftkompressoren.

7. For at sikre korrekt oxygenfyldetryk skal systemet være forsynet med mindst 2 stk. kalibrerede og oxygenrene trykmålere, klasse 1,0.

8. Der må kun påfyldes flasker, som er godkendte til et indhold af ren oxygen i overensstemmelse med Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 289/01, og flaskerne skal være forsynet med ventiler, som er godkendte til ren oxygen.

Øvrige særlige forhold

Fyldepersonalet skal være specielt instrueret i betjeningen af anlægget samt de ricici, der er forbundet med arbejdet med oxygen, og fyldepersonalet skal være bekendt med, at kun nedennævnte flasker kan tillades fyldt med oxygenberiget åndemiddelluft:

Flaskerne skal være leveret fra fabrikken med garanti for, at de er oxygenrene, og det skal sikres, at de ikke siden leveringen har været påfyldt andre gasarter – herunder atmosfærisk luft – fordi urenheder – f.eks. fra en oliesmurt kompressor - kan medføre stor risiko for eksplosion ved kontakt med ren oxygen eller oxygenberiget luft.

Flasker, som ikke er leveret med garanti for oxygenrenhed, og flasker, som har været påfyldt andre gasarter, må ikke påfyldes oxygenberiget luft før de er blevet godkendt og ommærket til denne anvendelse.

Accepten af en sådan ommærkning kan i henhold til Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 289/01 kun gives af et af Arbejdstilsynet bemyndiget organ, og det er således ikke lovligt at udføre ommærkning uden tilladelse fra et organ, som er bemyndiget i overensstemmelse med bekendtgørelsen.

FORCE Certification A/S er et bemyndiget organ, og vi kan tillade ommærkning af flasker til en oxygenberiget gasblanding på betingelse af, at flaskerne er renset i overensstemmelse med forskrifterne i DS/EN 1795 eller ISO 11621 samt, at vi efter en periodisk undersøgelse eller en ud- og indvendig inspektion af flaskerne finder ommærkningen forsvarlig.

Appendiks B
Anlæg til fremstilling af oxygenberiget luft (nitrox)

Det skitserede anlæg er beregnet til fremstilling af oxygen/nitrogenblandinger samt påfyldning af omtalte blanding på trykflasker ved tryk op til 200 bar.

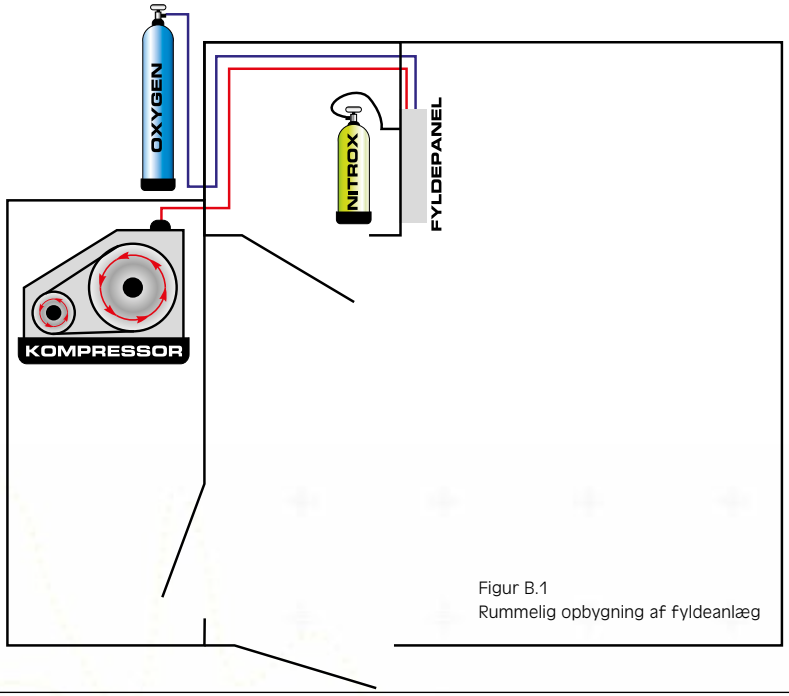
Beskrivelsen er forelagt Arbejdstilsynet, der har udtalt:

... På baggrund af en gennemgang af det modtagne materiale er det Arbejdstilsynets vurdering, at anlægget lever op til de krav, der stilles til et fyldeanlæg i henhold til bekendtgørelse nr. 289 af 24. april 2001 om transportabelt trykbærende udstyr...

4. marts 2003
Per Sherling

Rumlig opbygning

Figur B.1 indeholder en skitse af den fysisk rumlige opbygning af anlægget. Anlægget er installeret i tre rum: 1) Kompressorrum, 2) Betjeningsrum og 3) Fylderum.



Figur B.1
Rummelig opbygning af fyldeanlæg

I kompressorrummet er installeret en kompressor, der leverer 240 nliter pr. minut atmosfærisk luft ved 200 bar. Udvendigt i flaskeskab er monteret en 40 liter oxygenflaske med maksimalt arbejdstryk på 200 bar. Kompressor og oxygenflaske er forbundet til fyldepanel i betjeningsrummet. I fylderummet er udtag fra fyldepanelet til montering på flasker, der skal fyldes.

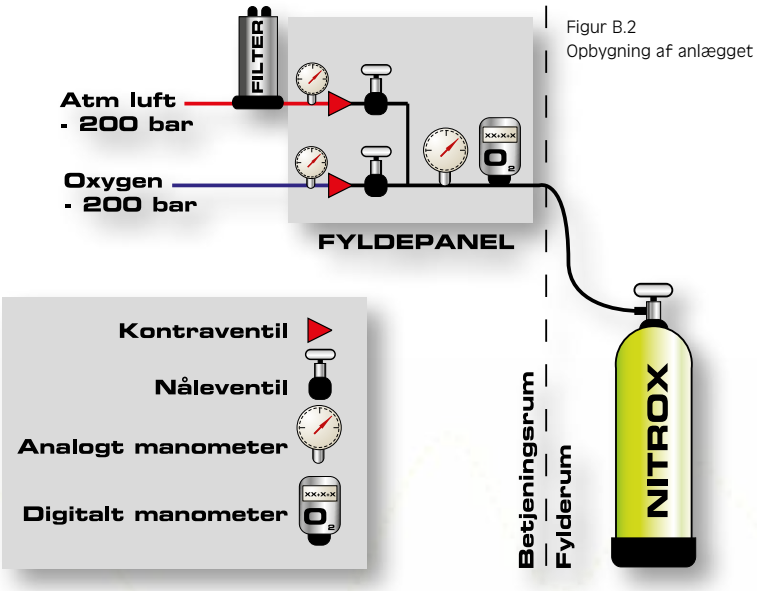
Tekniske specifikationer på installationen

Kompressor

Kompressoren er beregnet til levering af komprimeret atmosfærisk luft i åndemiddel kvalitet. Den leverer 240 nliter pr. minut op til et tryk på 200 bar. Kompressoren er monteret med pressostat, der afbryder kompressoren ved et tryk på 210 bar samt en mekanisk overtryksventil, der blæser ved et tryk på 225 bar. Ved udgangen på kompressoren er monteret trykholderventil, kontraventil og manometer. Kompressoren er endvidere monteret med timetæller.

Oxygen

Oxygen leveres fra en 40 liters 200 bars trykflaske. Flasken er forbundet til anlægget gennem en stålarmeret fleksibel PTFE (teflon) slange til et panel med manometer, kontraventil, åben/lukke ventil og udluftningsventil.



Figur B.2
Opbygning af anlægget

Rørføring

Alle rørføringer er udført i 1/4'' rustfri (ANSI 316) stålrør med rustfri klemfittings. Rørføringen er opbygget, som angivet i figur B.2. Alle komponenter, der kan komme i kontakt med forhøjet indhold af oxygen, er oxygenkompatible og rengjorte til oxygen-service.

Den komprimerede atmosfæriske luft ledes fra kompressoren gennem et hyperfilter, der reducerer kulbrinteindholdet i luften til et ikke målbart niveau. Fra filteret ledes luften til fyldepanelet, hvor kompressortrykket kan aflæses på et manometer. Fylde-panelet er endvidere forsynet med kontraventil samt nåleventil til at åbne og lukke for tilførslen af komprimeret luft.

Oxygen ledes fra oxygenflasken til fyldepanelet. Her er monteret manometer til at vise tryk på oxygenflasken, kontraventil samt nåleventil til at dosere oxygentilførslen.

På fyldepanelet er endvidere monteret et analogt og digitalt manometer til at vise fyldetrykket på flasken, der påfyldes.

Udgangen fra fyldepanelet er placeret i fylderummet. Her forbinder en stålarmeret fleksibel PTFE (teflon) slange udgangen fra fyldepanelet med flasken der ønskes fyldt. På forbindelsen til flasken er monteret udluftningsventil.

Procedurer for brug af Anlæg til fremstilling af oxygen beriget luft (nitrox)

Udskiftning af oxygenflaske

1) Flaskeventilen på oxygenflasken lukkes

2) Ventilen på vægpanelet lukkes

3) Den fleksible slange udluftes ved at åben udluftningsventilen langsomt.

4) Når trykket på manometret er faldet til nul, og der ikke udluftes mere gas fra udluftningsventilen, demonteres den fleksible slange fra oxygenflasken

5) Det sikres, at den nye oxygenflaske er mærket med "medicinsk oxygen", samt at beskyttelseshætten er intakt

6) Beskyttelseshætten fjernes, og flasken forbindes til anlægget med den fleksible slange

7) Udluftningsventilen lukkes

8) Der åbnes så **langsomt som muligt** for flaskeventilen

9) Der åbnes så **langsomt som muligt** for ventilen på fyldepanelet

10) Noter dato, initialer samt flasketryk i oxygenlogbogen

Opstart af anlæg

1) Kompressoren inspiceres visuelt for oliespild m.m.

2) Olieniveauet kontrolleres

3) Det kontrolleres, at sidste olieskift ligger inden for 6 mdr.

4) Det kontrolleres, at sidste skift af triblexfilter ligger inden for 10 driftstimer

5) Det kontrolleres, at sidste skift af hyperfilter ligger inden for 10 driftstimer

6) Det kontrolleres, at sidste luftanalyse ligger inden for 12 mdr.

Er der afvigelser fra ovenstående, kontaktes den driftsansvarlige.

7) Dato, timetællervisning samt initialer skrives i logbogen

8) Kompressoren startes op

Nedlukning af anlæg

Efter brug skal anlægget lukkes ned!

1) Timetællervisning og temperatur i kompressorrum skrives i logbogen
2) Kompressoren inspiceres visuelt for oliespild m.m.
3) Kompressoren afbrydes
4) Fyldeanlægget aflåses

Fyldning af flaske

1) Det sikres, at flasken, der skal fyldes, er trykprøvet inden for de sidste 5 år
2) Det sikres, at flasken, der skal fyldes, er bragt i oxygenservice inden for 12 mdr.
3) Det sikres, at flasken, der skal fyldes, ikke har synlige defekter
4) Det sikres at, flasken er opført i driftsprotekollen
5) Flaskens data noteres i fyldeskemaet
6) Oplysninger om ønsket blanding noteres i fyldeskemaet
7) Flaskens oxygenindhold måles og noteres i fyldeskemaet
8) Flasken forbindes med fyldeslangen i fylderummet
9) Der åbnes så langsomt som muligt for flaskeventilen
10) Døren til fylderummet lukkes
    Der må ikke opholde sig personer i fylderummet under fyldningen!
11) Trykket i flasken aflæses på det digitale manometer, og noteres i fyldeskemaet.
    Størrelsesordenen af værdien kontrolleres på det analoge manometer
12) Mængden af oxygen, der skal tilsættes, beregnes

13) Sluttryk efter tilsætning af oxygen beregnes

14) Der åbnes så langsomt som muligt for nåleventilen på oxygenledningen. Der må maksimalt påfyldes oxygen med 4 bar pr. minut - svarende til 1 bar pr. 15 sek.

15) Ved opnåelse af det ønskede sluttryk efter tilsætning af oxygen lukkes for nåleventilen på oxygenledningen

16) Flasken toppes op med atmosfærisk luft ved at åbne så langsomt som muligt for nåleventilen på den atmosfæriske luftforsyning

17) Der fyldes til ønsket sluttryk - maksimalt 200 bar. Ved opnåelse af maksimalt sluttryk lukkes nåleventilen på den atmosfæriske luftforsyning

18) Flaskeventilen på flasken lukkes

19) Den fleksible fyldeslange udluftes og demonteres

20) Oxygenindholdet i flasken analyseres og noteres på fyldeskemaet

21) Flasken mærkes med fyldedato, initialer samt oxygenfraktion

22) Fyldeskemaet sættes i fyldeprotekollen

23) Oxygenforbruget noteres i oxygenlogbogen

Appendiks C
Rengøringsmetoder

Dette appendiks indeholder en række standardmetoder brugt ved oxygenrengøring af udstyr. Det skal bemærkes, at resultatet af rengøringen afhænger af mange faktorer - blandt andet forureningsniveauet inden rengøring. Der er derfor ingen garanti for, at udstyr renset efter de anviste procedurer er kompatibel til brug med oxygen.

Det er således operatørens eget ansvar at sikre, at resultatet af en oxygen rengøring opfylder de opstillede krav til oxygenkompatible komponenter.

Generel grovrengøring af komponenter

1. Udstyret adskilles i dens enkelte dele.
2. Hver enkelt komponent vaskes i varmt vand med sulfosæbe. Afvaskningen kan enten ske ved at bruge en børste eller med fordel i ultralydsbad.
3. Er vaskevandet synligt beskidt, gentages behandlingen, til det ikke længere tager farve.
4. Komponenterne skylles i rigelige mængder rent vand til al sæbe er fjernet.
5. Det sikres, at der ikke er umiddelbart synlige forureninger tilbage. Er der forureninger gentages vaskeproceduren.
6. Komponenten tørres med blæsning med ren luft eller en hårtørrer.

Fjernelse af rust i stålflasker

1. Flasken fyldes med egnede slibespåner.
2. Flasken placeres på en flaskeruller.
3. Flasken rulles til al rust er mekanisk fjernet - op til 24 timer
4. Flasken tømmes for slibespåner og løsnet rust
5. Flasken skylles med vand til al løsnet rust er væk

6. Flasken inspiceres for at sikere at al rust er fjernet. Er der stadig rust, gentages processen.

7. Hvis flasken ikke umiddelbart efter skal finrenses, tørres den ved at lede ren luft ind i bunden af flasken. For at forhindre overfladerust, der hurtigt dannes, kan sidste skyllning tilsættes en oxygenkompatibel og ugiftig rustinhibitor.

Fjernelse af kalk og salt aflejringer

1. Udstyret adskilles i dens enkeltdele.

2. Hver enkelt komponent placeres i en beholder med husholdningseddike. Afvaskningen kan med fordel ske i ultralydsbad. Bemærk at forlænget ophold i eddikesyre kan skade metaldele.

3. Når alle aflejringer er opløst skylles komponenten i rigelige mængder rent vand, til al eddike er fjernet.

4. Det sikres, at der ikke er umiddelbart synlige forureninger tilbage. Er der forureninger, gentages vaskeproceduren.

5. Komponenten tørres med blæsning med ren luft eller en hårtørrer.

Finrengøring

Sulfosæbe baseret opløsning til finrengøring

1. I så varmt vand som muligt tilsættes almindeligt husholdningssulfosæbe efter producentens anvisning.

2. Blandingen omrøres til sæben er fordelt

Basisk sæberengørings opløsning til finrengøring

1. I så varmt vand som muligt tilsættes maskinopvaskmiddel.

2. Blandingen omrøres til opvaskmidlet er opløst.

Finrengøring af flasker

1. Rengør flaskens gevind med varm rensevæske - brug en tandbørste.
2. Flasken fyldes med varm rensevæske til lige over halvdelen af det totale volumen og lukkes tæt.
3. Flasken placeres på flaskeruller og rulles i 15 minutter.
4. Umiddelbart efter rulning tømmes flasken, og placeres med gevindet nedad.
5. Flasken skylles med rigelige mængder rent vand til der ikke er er spor af rensevæske i vaskevandet - mindst 10 minutter.
6. Flasken tørres ved blæsning med ren oxygenkompatibel luft til den er helt tør.
7. Flasken kontrolleres for eventuelle rester forureninger. Findes nogen, gentages hele vaskeprocessen.
8. Flasken mærkes, og åbningen forsegles.

Finrengøring af andre komponenter

1. Udstyret adskilles i dens enkelte dele.

2. Hver enkelt komponent placeres i en beholder med varm rensevæske. Afvaskningen kan med fordel ske i ultralydsbad alternativt benyttes bøste. Der behandles i 15 minutter.

3. Komponenterne skylles i rigelige mængder rent vand, til al rengøringsvæske er fjernet.

4. Komponenterne tørres ved blæsning med ren oxygen kompatibel luft, til den er helt tør.

5. Komponenterne kontrolleres for eventuelle rester af forureninger. Findes nogen gentages hele vaskeprocessen.

Appendiks D
Blandetabel for nitrox

For en given oxygenfraktion og givet fyldetryk aflæses mængden af oxygen der skal tilsættes som trykstigning i bar.

GASBLENDER TABEL

Oxygen fraktion i %	Bar	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
	22	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
	23	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8
	24	0	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	25	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
	26	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	15	15	16	16	17	18	18	19
	27	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	21	22	23
	28	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	30	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31	32	33	34
	31	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	20	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33	34	35	37	38
	32	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	24	25	26	28	29	31	32	33	35	36	38	39	40	42
	33	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	36	38	39	41	43	44	46
	34	2	3	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	30	31	33	35	36	38	39	41	43	44	46	48	49
	35	2	4	5	7	9	11	12	14	16	18	19	21	23	25	27	28	30	32	34	35	37	39	41	43	44	46	48	50	51	53
	36	2	4	6	8	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	47	49	51	53	55	57
	37	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61
	38	2	4	6	9	11	13	15	17	19	22	24	26	28	30	32	34	37	39	41	43	45	47	49	52	54	56	58	60	62	65
	39	2	5	7	9	11	14	16	18	21	23	25	27	30	32	34	36	39	41	43	46	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68
	40	2	5	7	10	12	14	17	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41	43	46	48	51	53	55	58	60	63	65	67	70	72
	41	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	28	30	33	35	38	41	43	46	48	51	53	56	58	61	63	66	68	71	73	76
	42	3	5	8	11	13	16	19	21	24	27	29	32	35	37	40	43	45	48	51	53	56	58	61	64	66	69	72	74	77	80
	43	3	6	8	11	14	17	19	22	25	28	31	33	36	39	42	45	47	50	53	56	58	61	64	67	70	72	75	78	81	84
	44	3	6	9	12	15	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	84	87
	45	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91
	46	3	6	9	13	16	19	22	25	28	32	35	38	41	44	47	51	54	57	60	63	66	70	73	76	79	82	85	89	92	95
	47	3	7	10	13	16	20	23	26	30	33	36	39	43	46	49	53	56	59	63	66	69	72	76	79	82	86	89	92	95	99
	48	3	7	10	14	17	21	24	27	31	34	38	41	44	48	51	55	58	62	65	68	72	75	79	82	85	89	92	96	99	103
	49	4	7	11	14	18	21	25	28	32	35	39	43	46	50	53	57	60	64	67	71	74	78	82	85	89	92	96	99	103	106
	50	4	7	11	15	18	22	26	29	33	37	40	44	48	51	55	59	62	66	70	73	77	81	84	88	92	95	99	103	106	110
	51	4	8	11	15	19	23	27	30	34	38	42	46	49	53	57	61	65	68	72	76	80	84	87	91	95	99	103	106	110	114
	52	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	67	71	75	78	82	86	90	94	98	102	106	110	114	118
	53	4	8	12	16	20	24	28	32	36	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81	85	89	93	97	101	105	109	113	117	122
	54	4	8	13	17	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	63	67	71	75	79	84	88	92	96	100	104	109	113	117	121	125
	55	4	9	13	17	22	26	30	34	39	43	47	52	56	60	65	69	73	77	82	86	90	95	99	103	108	112	116	121	125	129

For en given oxygen fraktion og givet fyldetryk aflæses mængden af oxygen der skal tilsættes som trykstigning i bar. **Fortsættes**

		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280
290	300													
FO2	0.22	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4
4	4													
	0.23	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7
7	8													
	0.24	0	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5
5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11
11	11													
	0.25	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14
15	15													
	0.26	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8
9	9	10	11	11	12	13	13	14	15	15	16	16	17	18
18	19													
	0.27	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	10
11	11	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	21
22	23													
	0.28	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	21	22	23	24	25
26	27													
	0.29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
29	30													
	0.30	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15
16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31	32
33	34													
	0.31	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16
18	19	20	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33	34	35

Appendiks E
Fyldejournal

Se næste side

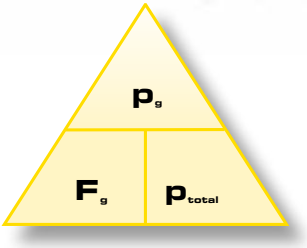
Flaske str.	Ønske mix	Rekvirent	Nitrox bevis	Blender	Dato	O_2 målt af blender	Blender underskrift	O_2 målt af rekvirent	MOD	Rekvirent underskrift

Appendiks F
Formelsamling

Kapitel 3 – Fysik

Daltons lov

$$p_{O2} = F_{O2} \times p_{Total}$$



p_g er partialtrykket af en given gas
F_g er fraktionen af en given gas
p_{total} er total trykket

Boyles lov

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

p_1 er tryk i tilstand 1
V_1 er volumen i tilstand 1
p_2 er tryk i tilstand 2
V_2 er volumen i tilstand 2

Charles lov

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

V_1 er volumen i tilstand 1
T_1 er temperaturen målt i Kelvin i tilstand 1
V_2 er volumen i tilstand 2
T_2 er temperaturen målt i Kelvin i tilstand 2

$$T(K) = T(°C) + 273$$

$T(K)$ er temperaturen i Kelvin
$T(°C)$ er temperaturen i Celcius

Guy-Lussacs lov

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

p_1 er tryk i tilstand 1
T_1 er temperaturen målt i Kelvin i tilstand 1
p_2 er tryk i tilstand 2
T_2 er temperaturen målt i Kelvin i tilstand 2

Den generelle idealgaslov

$$\frac{p_1 \times V_1}{T_1} = \frac{p_2 \times V_2}{T_2}$$

p_1 er tryk i tilstand 1
V_1 er volumen i tilstand 1
T_1 er temperaturen målt i Kelvin i tilstand 1
p_2 er tryk i tilstand 2
V_2 er volumen i tilstand 2
T_2 er temperaturen målt i Kelvin i tilstand 2

$$p \times V = n \times R \times T$$

p er trykket
V er rumfanget
n er mængden af gas
R er den universelle gaskonstant
T er temperaturen målt i Kelvin

Kapitel 7 – Fyldeformler

Fyldning af nitrox flaske med partialtryk fyldemetoden

Udregning af ekstra oxygen i forhold til atmosfærisk luft:

$$\frac{F_{O2} - 0{,}21}{0{,}79} \times p_{slut} = p_{O2}^{ekstra}$$

F_{O2} er oxygenfraktionen i den ønskede blanding,
p_{slut} er fyldetrykket for flasken
p_{O2}^{ekstra} er mængden af oxygen i flasken ud over den oxygen der er i atmosfærisk luft.

Fyldning af tom flaske med Heliair

Fastlagt oxygen fraktion:

$$p_{He} = p_{slut} - \frac{p_{slut} \times F_{O2}}{0{,}21}$$

p_{He} er mængden af helium, der skal tilsættes
p_{slut} er det ønskede fyldetryk
F_{O2} er den ønskede oxygenfraktion

Fastlagt nitrogenfraktion:

$$p_{He} = p_{slut} - \frac{p_{slut} \times F_{N2}}{0{,}79}$$

p_{He} er mængden af helium, der skal tilsættes
p_{slut} er det ønskede fyldetryk
F_{N2} er den ønskede nitrogenfraktion.

Fylding af tom flaske med trimix

Bestemmelse af gassernes partialtryk:

$$p_g = F_g \times p_{slut}$$

p_g er partialtrykket af en given gas
F_g er fraktionen af en given gas
p_{slut} er det ønskede fyldetryk.

Oxygenfraktion i fyldegas:

$$F_{O2} = \frac{p_{O2}}{p_{O2} + p_{N2}}$$

F_{O2} er den ønskede oxygen fraktion
p_{O2} er partialtrykket for oxygen
p_{N2} er partialtrykket for nitrogen

Ekstra mængde oxygen ved fyldning efter partialtryksmetoden:

$$\frac{F_{O2} - 0{,}21}{0{,}79} \times (p_{O2} + p_{N2}) = p_{O2}^{ekstra}$$

F_{O2} er oxygenfraktion
p_{O2} er oxygen partialtrykket
p_{N2} er nitrogen partialtrykket
P_{02}^{ekstra} er mængden af oxygen der skal påfyldes.

Gasforbrug

$$P^{slut}_{forsyning} = \frac{\left(P^{start}_{forsyning} \times V_{forsyning}\right) + \left(P^{start}_{fylde} \times V_{fylde}\right) - \left(P^{slut}_{fylde} \times V_{fylde}\right)}{V_{forsyning}}$$

$p^{slut}_{forsyning}$ er slut trykket i forsyningsflasken

$p^{start}_{forsyning}$ er start trykket i forsyningsflasken

$V_{forsyning}$ er volumen af forsyningsflasken

p^{start}_{fylde} er starttrykket i flasken, der skal fyldes

V_{fylde} er volumen af flasken, der skal fyldes

p^{slut}_{fylde} er slut trykket i flasken, der skal fyldes

Appendiks G
Ordforklaring

A-clamp	Betegnelse for en bøjlekoblingstilslutning mellem flaskeventil og 1. trin
ASTM	Organisation der udvikler standarder for materialer, produkter, systemer og services. Tidligere en forkortelse for American Society for Testing and Materials
Boosterpumpe	En pumpe eller kompressor som anvendes til at komprimere gas fra en lagerflaske ved fyldning af flaske
DIN	Deutsches Institut für Normung. Bruges oftest som betegnelse for tilkobling mellem flaskeventil og 1. trin af gevindtypen (DIN477)
EANx	Enriched Air Nitrox; oxygen beriget luft
EPDM	Syntetisk gummimateriale til f.eks. o-ringe (Ethylene Propylene Diene Monomer)
F_g	Gassens andel af blandingen som decimaltal. F = Fraction
Idealgas	Betegnelse for gas der følger idealgasloven
mg/m3	Måleenhed. Milligram pr. kubikmeter
Inert gas	Gas under givne forhold ikke indgår kemisk forbindelse. Ved gasblanding regnes nitrogen, helium og argon for inerte
MOD	Maksimal Operations Dybde. Den dybde hvor åndingsgassernes oxygenpartialtryk er lig den fastsatte grænseværdi, dvs. 1,4 bar, dog 1,6 bar ved dekompression
Mol	Et meget stort tal ($6{,}023 \times 10^{23}$), der bruges til omregning fra antal af molekyler til vægt
Molvægt	Hvad en mol molekyler vejer i gram
Nitril	Syntetisk gummimateriale til f.eks. o-ringe
Nitrox	Oxygenberiget luft
NOAA	Forkortelse for National Oceanic and Atmospheric Administration. Statslig amerikansk organisation, der meget tidligt inkluderede nitrox som et redskab ved videnskabelige dykninger.

OSHA	Forkortelse for Occupational Safety and Health Administration, det amerikanske arbejdsministerium
Oxygen beriget luft	Oxygen/nitrogen gasblanding som indeholder mere end 21% oxygen.
Oxygen service	Betegnelse for at et anlæg eller komponent er oxygenkompatibel - altså at materialer og design kan sameksisterer med et givent oxygenmiljø - samt at anlægget eller komponenter er rengjort for olie og andre forureninger.
ppm	Måleenhed - Parts Per Million – pr. million
PTFE	Forkortelse for den fluorholdige polymer poly-tetra-fluor-ethylen, i daglig tale kaldet Teflon®
Real gas	Betegnelse for gasser ved afvigelse fra idealgasloven
Recut	Det at fremstille en gasblanding ud fra en ikke-tom flaske
Trimix	Åndegas bestående af de tre gasser oxygen, helium og nitrogen.
Viton	Fluor holdigt gummimateriale til f.eks. o-ringe
Yoke	Betegnelse for en bøjlekoblingstilslutning mellem flaskeventil og 1. trin

Appendiks H
Udvalgte referencer

ASTM G63
Standard Guide for Evaluating Nonmetallic Materials for Oxygen Service – 1999

ASTM G94
Standard Guide for Evaluating Metals for Oxygen Service - 1998

ASTM G93
Standard Practice for Cleaning Methods and Cleanliness Levels for material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments – 1996

ASTM G128
Standard Guide for Control of Hazards and Risks in Oxygen Enriched Systems - 1995

DS/EN1795
Transportable gasflasker (undtagen LPG) Procedurer for ændring af gas - 1998

DS/EN 13949
Åndingsudstyr - Dykkerudstyr - Trykflaskeapparat til komprimeret Nitrox eller oxygen - Krav, prøvning, mærkning - 2003

CMAS Mixed Gas Diving Standards – CMAS – 1996

CMAS Mixed Gas Diving Program – CMAS – 1996

Mogens Braae, Jan Rasmussen – Nitrox Håndbogen – DSF – 2003

Vance Harlow – Oxygen Hacker's Campanion – third edidtion - 1998

Handbook of Compressed Gases - Third Edition – CGA - 1990

Safety Standards for Oxygen and Oxygen systems – NASA - 1996

NOAA Diving Manual - Fourth Edition - 2001

Nicos Raftis - The Technical Guide to Gas Blending - 2000

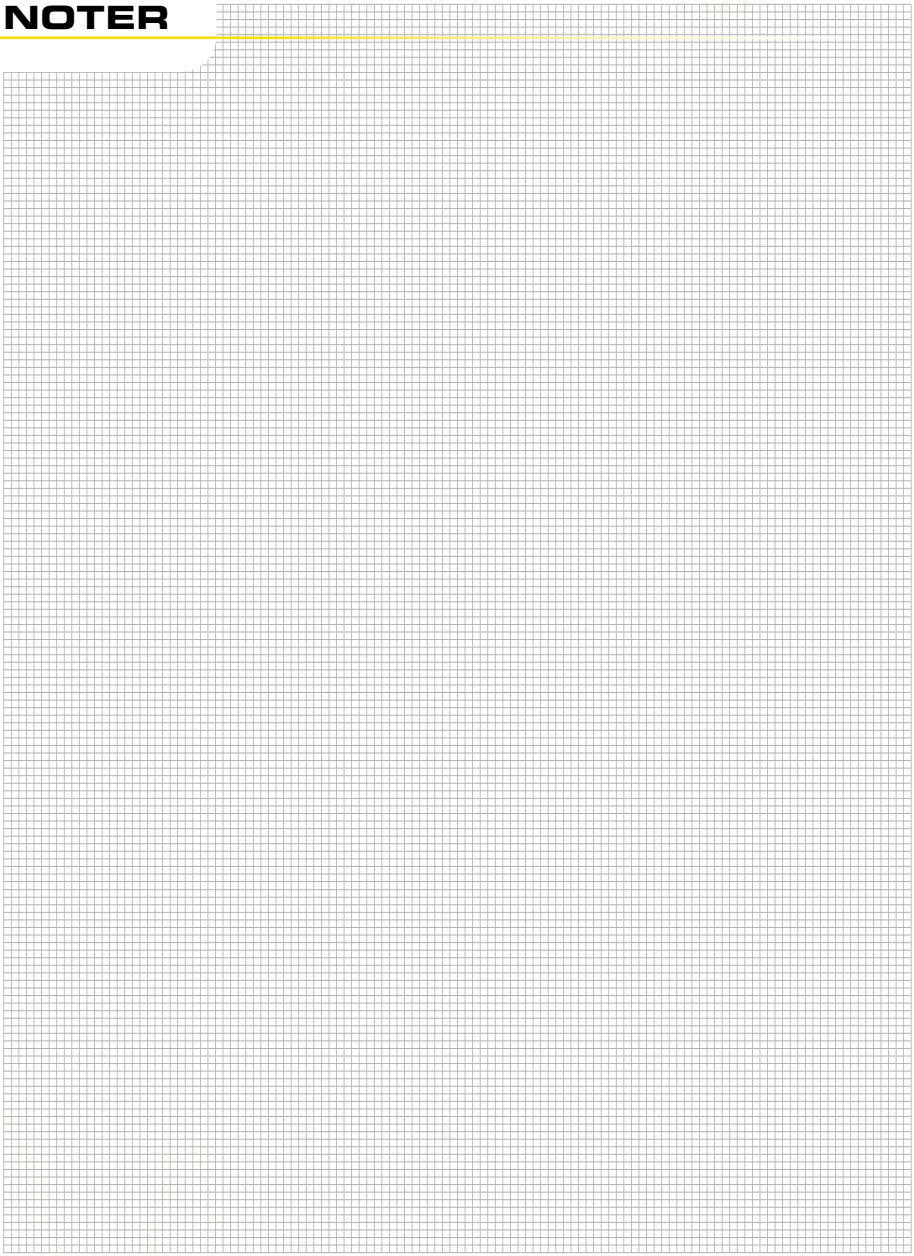
Service Technician Manual – TDI - 1997

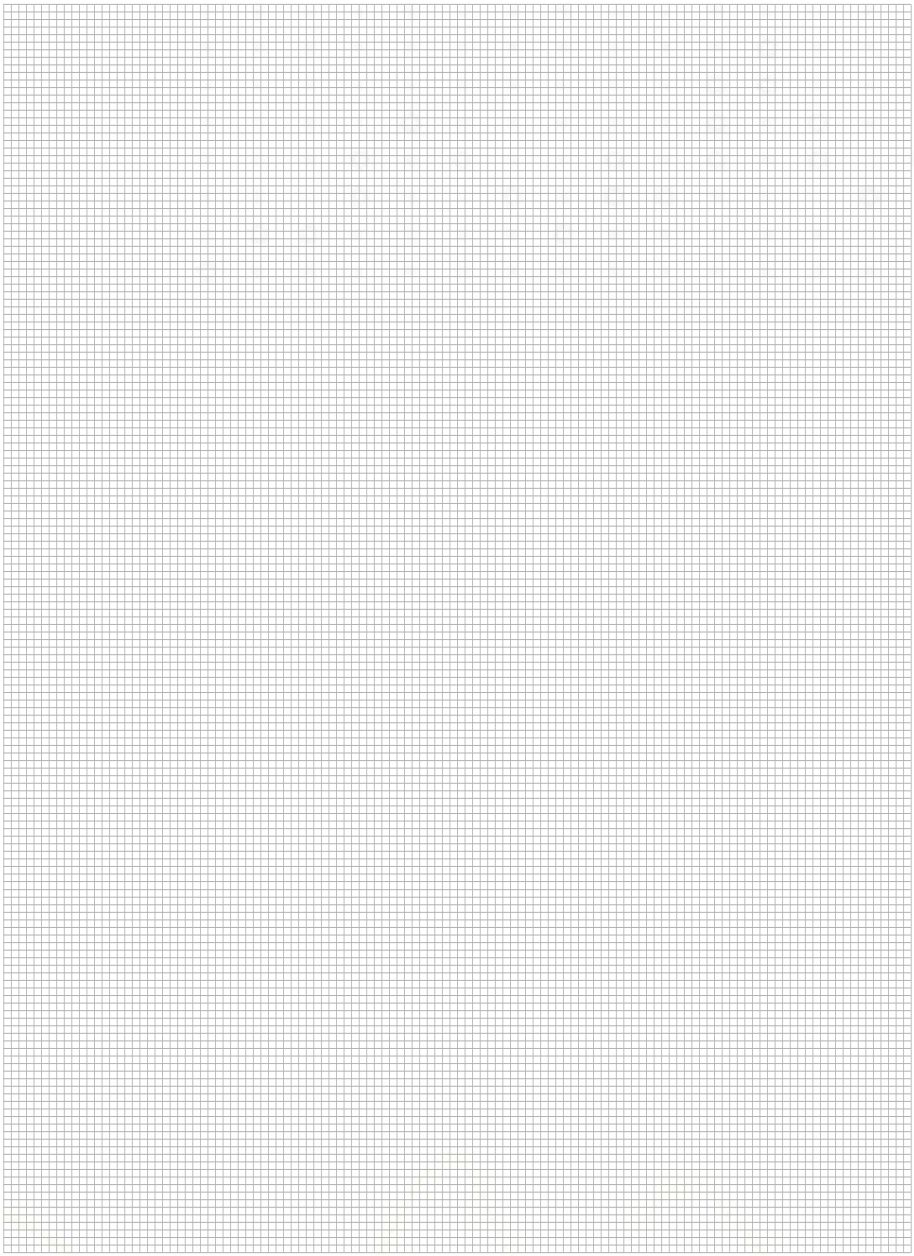
Advanced Gas blender Manual – TDI -1998

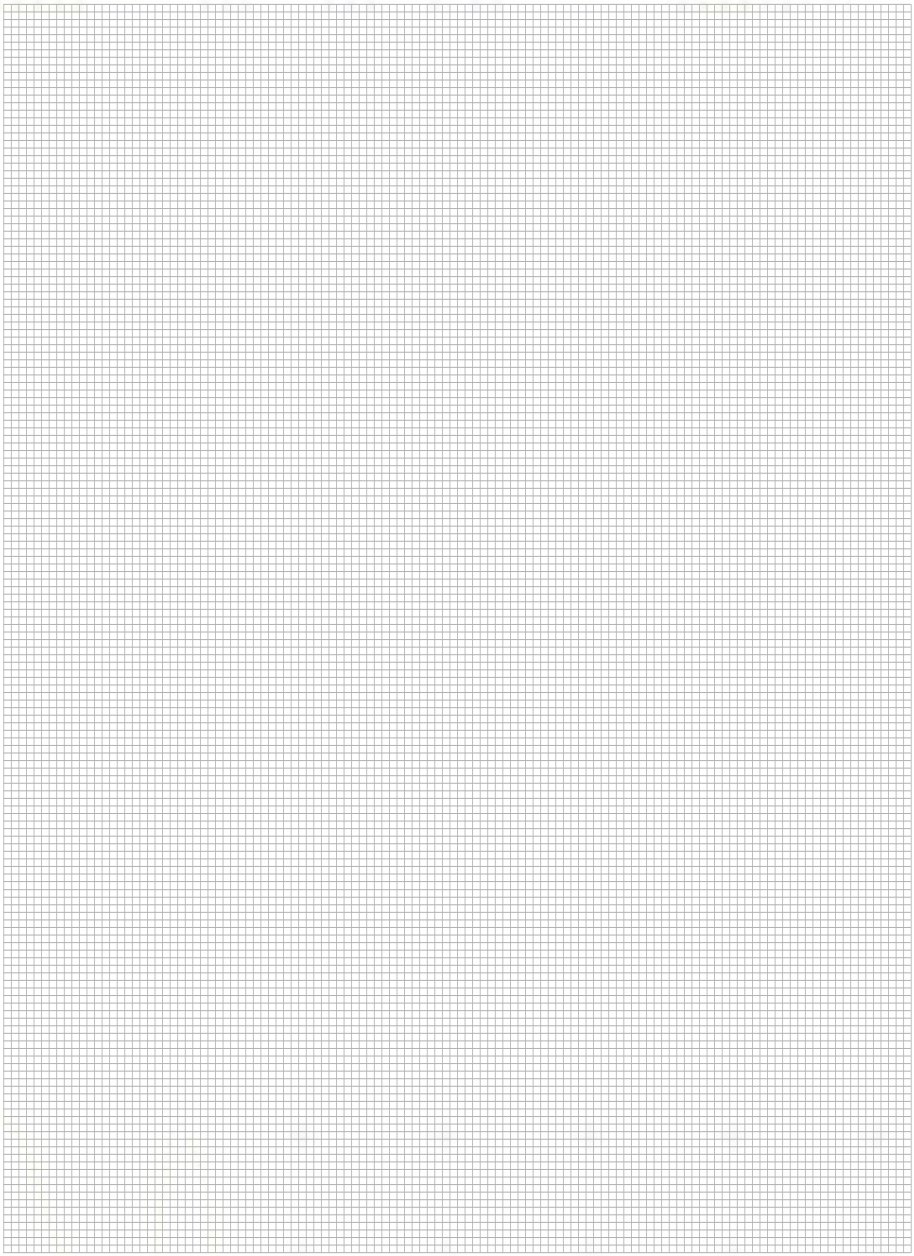
Blending Technician – Second edition – TDI - 1996

Elliot T. Forsyth - Cleaning to Avoid Fires in Nitrox SCUBA and Fill Systems
DAN Nitrox Workshop - 2000

NOTER







NOTER

Dansk Sportsdykker Forbund

www.sportsdykning.dk