



MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII ȘI TINERETULUI
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ
DEPARTAMENTUL DE HIDRAULICĂ ȘI PROTECȚIA MEDIULUI



GAZE ȘI AMESTECURI DE GAZE UTILIZATE ÎN PROCESELE HIPERBARE

- Raport de cercetare I -

Student doctorand

Ing. Elena Felicia COSTEA (ALBOIU)

Conducător științific

Prof. dr. ing. Mircea DEGERATU

București

2014

Cuprins

Capitolul 1

Aspecte generale privind gazele și amestecurile respiratorii folosite în domeniul scufundărilor	5
1.1 Stadiul actual de dezvoltare al domeniului	5
1.2 Legile gazelor cu aplicații în domeniul hidraulicii hiperbare	7
1.2.1 Legea Boyle – Mariotte	8
1.2.2 Legea Gay – Lussac și legea lui Charles	9
1.2.3 Ecuația caracteristică de stare	10
1.2.4 Legea lui Henry	10
1.2.5 Legea gazelor ideale (legea generală a gazelor)	11
1.2.6 Legea lui Dalton și legea lui Amagat	11

Capitolul 2

Gaze cu implicații în domeniul scufundărilor	14
2.1 Aerul	14
2.2 Azotul	15
2.3 Oxigenul	17
2.4 Heliul	18
2.5 Hidrogenul	19
2.6 Neonul	21
2.7 Argonul	21
2.8 Dioxidul de carbon	22
2.9 Monoxidul de carbon	22

Capitolul 3

Amestecuri respiratorii folosite în procesele hiperbare cu aplicații în domeniul scufundărilor	23
3.1 Amestecul respirator NITROX.....	24
3.2 Amestecul respirator HELIOX	25
3.3 Amestecul respirator HIDROX	26
3.4 Amestecul respirator TRIMIX	26

Capitolul 4

Fabricarea amestecurilor respiratorii cu aplicații în domeniul scufundărilor	28
4.1 Fabricarea amestecurilor respiratorii binare	29
4.1.1 Realizarea amestecurilor NITROX.....	29
4.1.2 Realizarea amestecurilor HELIOX	38
4.2 Fabricarea amestecurilor respiratorii ternare	39
4.3 Corectarea amestecurilor respiratorii	39
BIBLIOGRAFIE	41

Capitolul 1

Aspecte generale privind gazele și amestecurile respiratorii folosite în domeniul scufundărilor

Explorarea, studierea și exploatarea mediului subacvatic ocupă un rol important în ansamblul activităților umane atât din punct de vedere economic cât și ecologic. De asemenea, domeniul scufundărilor prezintă și un interes militar deosebit datorită faptului că, în cazul unor confruntări armate, acest mediu se poate transforma în teatru de operațiuni militare în desfășurarea cărora un rol important îl reprezintă și utilizarea echipamentului subacvatic. Pentru desfășurarea acestor activități subacvatice, omul trebuie să pătrundă într-un mediu ostil care exercită asupra sa acțiuni adverse, cele mai importante fiind adaptarea la presiuni cu valori mult mai mari decât presiunea atmosferică (hiperbarism) și la lipsa posibilității de a dispune nelimitat de oxigenul necesar vieții.

Procese hiperbare sunt procese desfășurate în condiții de presiune superioară presiunii normale (atmosferice). Scufundările profesionale, efectuate pentru realizarea de studii științifice și intervenții industriale sau militare, reprezintă un domeniu care implică procese hiperbare.

1.1 Stadiul actual de dezvoltare al domeniului

Inițial pătrunderea omului în mediul subacvatic nu presupunea utilizarea unor dispozitive sau a unei aparaturi destinate acestui scop, reușita incursiunii fiind asigurată doar de abilitatea scufundătorului de a-și ține respirația un timp cât mai îndelungat. Ulterior s-au utilizat clopote pentru scufundare. Pătrunderea în mediul acvatic cu aport de aer de la suprafață și aparatele autonome sunt tehnici de dată relativ recentă.

Dezvoltarea de-a lungul ultimilor patru decenii a tehnologiilor cu aplicații în domeniul scufundărilor a dus la progrese în domeniu, concretizate prin atingerea unor adâncimi și timpi de lucru în imersie tot mai mari. Astfel, prin creșterea adâncimii la care operează și a timpilor de expunere la presiuni ridicate, scafandrii se confruntă cu probleme de natură medicală (fizică și psihică) ce le influențează activitatea. Dintre acestea bolile asociate decompresiei sunt cele mai întâlnite.

Apariția bulelor de gaz în organism ca urmare a scăderii presiunii a fost observată încă din a doua jumătate a secolului 19 în urma unor experiențe pe animale. La începutul secolului 20 acest fenomen a fost constatat și în cazul scafandrilor utilitari și a lucrătorilor chesonieri, fiind considerată cauza ce duce la apariția bolilor de decompresie. Pornind de la observațiile menționate și pe baza concluziilor ce au

decurs din acestea s-a desprins ca necesară optimizarea procesului de decompresie, fapt ce a condus la creșterea siguranței scufandrilor. Studiile teoretice și experimentale efectuate în decursul timpului au completat cunoștințele rudimentare, empirice, creându-se astfel tabele de decompresie și modele sofisticate ce vin în ajutorul scufandrilor.

În ceea ce privește conducerea și urmărirea proceselor hiperbare aferente scufundărilor simulate sau reale de sistem, în prezent acestea sunt realizate de o echipa „de suprafață” alcătuită din specialiști în inginerie hiperbară care urmăresc evoluția parametrilor în cursul acestor procese (presiuni, participații volumice, presiuni parțiale etc.), tehnicieni chesonieri ce execută manevrele specifice acestor procese hiperbare de la panoul de comandă și medici de hiperbar ce intervin în cazul în care apar probleme medicale la scufandrii supuși compresiei sau decompresiei.

Din experiența de peste 30 de ani de scufundări unitare și în saturație realizate la Centrul de Scufandri Constanța din cadrul Forțelor Navale Române, a apărut necesitatea realizării și urmăririi automate a proceselor specifice acestor scufundări de sistem pentru a elimina eventualele greșeli umane.

În privința preparării amestecurilor gazoase respiratorii, binare sau ternare, utilizate atât la scufundările de sistem cât și la scufundările autonome, în prezent acestea se fabrică printr-o injectare succesivă și controlată a gazelor componente în recipiente cu volum constant, urmărindu-se presiunea din recipiente. Prin această metodă se obțin amestecuri predeterminate ce vor putea fi folosite atât la umplerea recipientilor ce alimentează cu amestec gazos barocamerele sistemelor de scufundare, cât și la umplerea buteliilor scufandrilor autonomi.

Dat fiind faptul că, în cazul în care adâncimile sau tipul scufundării necesită alte amestecuri decât cele deja preparate, considerate ca optime, acest lucru nu poate fi îndeplinit, scufundarea fiind efectuată cu amestecuri deja fabricate și deci cu un randament al scufundării ceva mai redus.

De aceea, s-a impus ca necesară conceperea unei alte metode constând într-o amestecare în flux continuu a componentelor gazoase cu injectarea simultană a gazelor componente la proporția dorită, utilizându-se pentru aceasta dispozitive prevăzute cu ajutaje calibrate lucrând în domeniul critic (sonic) ce asigură livrarea componentelor la debite masice constante.

Unul din cele mai importante roluri în conceperea, proiectarea, realizarea și exploatarea aparatelor destinate adaptării și susținerii omului în mediul subacvatic, îl au gazele și amestecurile de gaze respiratorii. Tipul gazului sau al amestecului respirator este condiționat de doi factori importanți și anume: tipul aparatului și tehnologia de scufundare adoptată. Pentru alegerea corectă a gazului sau a amestecului respirator este necesară cunoașterea cât mai exactă a caracteristicilor fizico-chimice ale gazelor utilizate. De asemenea, pentru a realiza amestecuri de gaze cu diferite concentrații ale componentelor, este necesară cunoașterea tehnologiei de fabricare a acestor amestecuri.

Amestecurile respirabile reprezintă o compoziție gazoasă omogenă, formată din unul sau două gaze neutre și oxigen. Gazele cele mai folosite în scufundări sunt: oxigenul, azotul, heliul și hidrogenul în amestecuri precum NITROX (azot și oxigen), HELIOX (oxigen și heliu), TRIMIX (oxigen, azot și heliu). Un alt aspect important, în afara stabilirii compoziției amestecului gazos funcție de adâncimea la care urmează să își desfășoare activitatea scafandru sau echipa de intervenție subacvatică, este legată de furnizarea prin intermediul aparatelor a amestecului respirator. La ora actuală, indiferent de tipul scufundării, de sistem sau autonomă, fabricarea amestecului respirator se face prin injectarea succesivă și controlată a gazelor componente în recipiente cu volum constant, urmărindu-se presiunea din acestea. Astfel, se obțin amestecuri predeterminate cu un dozaj considerat corespunzător. În cazul în care adâncimile sau tipul scufundării necesită alte amestecuri decât cele deja preparate, acest lucru nu poate fi realizat fapt ce duce la scăderea randamentului scufundării.

Pentru domeniul scufundărilor așadar, realizarea amestecului de gaz respirator optim, atât din punct de vedere al componentelor folosite și a dozării acestora cât și din punct de vedere al asigurării flexibilității realizării acestuia funcție de necesități, poate fi atinsă prin perfecționarea metodelor de realizare a amestecurilor de gaze pentru procesele hiperbare, acestea conducând la mărirea randamentului scufundării.

În cadrul raportului de cercetare, se urmărește elaborarea unui studiu teoretic, de documentare privind gazele și amestecurile de gaze utilizate în domeniul scufundărilor cât și abordarea unor teme care vor conduce la rezultate practice cu aplicabilitate directă în domeniul scufundărilor profesionale.

1.2 Legile gazelor cu aplicații în domeniul hidraulicii hiperbare

Gradul de organizare a particulelor constituate ale substanțelor scade de la cele solide cristaline la cele lichide, iar la substanțele în stare gazoasă este inexistent. Forțele de interacțiune dintre particule scad în același sens. Rezultă deci, că substanțele solide au forțele de interacțiune puternice ceea ce duce la puncte de fierbere și de topire mari, iar în cazul gazelor aceste constante fizice sunt mai mici datorită forțelor de interacțiune foarte slabe.

În stare gazoasă, materia este rarefiată, particulele constituate, atomii sau moleculele se găsesc la distanțe foarte mari, astfel încât interacțiunile lor sunt foarte slabe. Datorită acestora, particulele, moleculele sau atomii gazelor tind să ocupe tot spațiul care le stă la dispoziție, adică au cea mai mare expansibilitate dintre toate stările de agregare. În condiții de temperatură și presiune obișnuite mișcarea particulelor, moleculelor sau atomilor este foarte rapidă. Din acest motiv, în teoria cinetică a gazelor moleculele sunt considerate fără dimensiuni, ca puncte. În raport cu volumul vasului pe care îl ocupă, volumul propriu al moleculelor este foarte mic.

Gazele se numesc *perfecte* sau *ideale* atunci când moleculele lor pot fi considerate punctiforme și nu exercită interacțiuni între ele. Starea de gaz perfect se poate aplica și gazelor reale, atunci când acestea se află la o presiune scăzută și o temperatură ridicată.

Presiunea exercitată uniform asupra pereților recipientului în care se află gazul este determinată de ciocnirile dintre molecule.

Presiunea, potrivit teoriei cinetico-moleculare a gazelor, se calculează funcție de energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor conținute în unitatea de volum.

Legile gazelor perfecte au fost descoperite empiric și explicate cu ajutorul teoriei cinetice a gazelor, conform căreia un gaz este format din molecule sferice perfect elastice. Mișcarea acestor molecule este în toate sensurile, fără a avea o direcție preferențială, cu o viteză care crește o dată cu temperatura.

O primă teorie în stabilirea legilor teoriei cinetice a gazelor a fost emisă de Clausius, care a considerat moleculele perfect sferice, elastice și animate numai de mișcare de translație. Ipotezele nu sunt în totalitate adevărate, moleculele executând și mișcări de rotație, oscilație și vibrație.

Teoria lui Clausius a fost completată de teoriile lui Boltzman și Maxwell potrivit cărora moleculele au diferite viteze care variază de la zero la infinit, existând însă o viteză, cea mai probabilă la o anumită temperatură [6].

Alte teorii care au contribuit la stabilirea legilor teoriei cinetice a gazelor au stabilit ca acestea sunt influențate de trei mărimi fizice și anume presiunea, temperatura și volumul. Modificarea oricăruia dintre cei trei factori duce la variația celorlalți doi.

Teoria cinetică a gazelor afirmă că energia cinetică a oricărui gaz aflat la o temperatură dată este aceeași pentru orice gaz aflat în același condiții de temperatură. Așadar presiunea tuturor gazelor, rezultată ca urmare a activității cinetice și este influențată de aceiași factori. Exprimarea matematică a relațiilor dintre aceste trei mărimi fizice au fost denumite legi ale gazelor.

1.2.1 Legea Boyle – Mariotte

Această lege afirmă că în cazul oricărui gaz aflat la temperatură constantă volumul acestuia variază invers proporțional cu presiunea.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (1.1)$$

sau exprimată într-o formă generală:

$$pV = \text{constant} \quad (1.2)$$

în care:

p_1 – presiunea inițială (scară absolută);

p_2 – presiunea finală (scară absolută);

V_1 – volumul inițial (L^3);

V_2 – volumul final (L^3);

P – presiunea (scară absolută);

V – volumul (L^3).

În cazul domeniului scufundărilor, legea lui Boyle - Mariotte are o importanță deosebită fiind legată de variația volumului funcție de modificarea presiunii. Astfel unui scufundător în apnee i se va modifica volumul plămânilor odată cu pătrunderea în adâncime urmată de creșterea volumului în timp ce acesta revine la suprafață. Conform National Oceanic and Atmospheric Administration al S.U.A, la adâncime de 10,1 m volumul plămânilor scade cu 50%, la 30,2 m acesta se reduce la 25% iar la 90,5 m volumul este de 10 % din cel inițial (în condiții normale). Este evident că aceste modificări pot avea consecințe fatale asupra scufundătorului. Totuși ele pot fi evitate prin cunoașterea și aplicarea unor tehnici corespunzătoare de scufundare.

1.2.2 Legea Gay – Lussac și legea lui Charles

Variația temperaturii influențează presiunea și volumul unui gaz. Această realitate fizică este exprimată matematic prin intermediul legii Gay – Lussac și a legii lui Charles.

Relația matematică dintre volum, presiune și temperatură este:

$$\frac{V}{T} = \frac{2}{3} \frac{M \cdot a}{p} = \text{constant} \quad (1.3)$$

Așa cum se desprinde din cele prezentate anterior legea Gay – Lussac afirmă că la o presiune constantă, raportul între volumul unei mase constante de gaz și temperatura sa absolută este constant.

Legea lui Charles exprimă că pentru un volum constant al unui gaz ideal, raportul dintre presiune și temperatura absolută este de asemenea constant.

$$\frac{p}{T} = \frac{2}{3} \frac{M \cdot a}{V} = \text{constant} \quad (1.4)$$

Mărimile fizice din relațiile anterioare au următoarele semnificații:

V – volumul de gaz;

T – temperatura absolută;

M – masa de gaz;

a – coeficient de proporționalitate al gazelor;

p – presiunea (scară absolută).

1.2.3 Ecuația caracteristică de stare

Pornind de la legile Boyle – Mariotte și Gay – Lussac se obține ecuația caracteristică de stare, dedusă de Clapeyron (1843).

$$pV = MRT \quad (1.5)$$

sau

$$p \frac{V}{M} = RT \quad (1.6)$$

în care:

p – presiunea;

V – volumul de gaz;

M – masa gazului;

R – constanta caracteristică a gazului ideal dependentă de masa lui moleculară;

T – temperatura absolută.

1.2.4 Legea lui Henry

Această lege se referă la dizolvarea gazelor în lichide, aspect ce este în strânsă legătură cu procesele ce au loc în organismul uman odată ce acesta este supus variațiilor de presiune. Legea lui Henry afirmă că la temperatură constantă, masa de gaz dizolvată într-un lichid, la saturație, variază direct proporțional cu presiunea parțială a gazului aflat în contact cu lichidul.

$$\frac{V_G}{V_L} = \alpha p_1 \quad (1.7)$$

în care:

V_G – volumul de gaz dizolvat în condiții de presiune și temperatură standard;

V_L – volumul de lichid;

α – coeficient de solubilitate dependent de temperatură;

p_1 – presiunea parțială a gazului aflat în contact cu lichidul.

Legea lui Henry se exprimă și în forma:

$$p = k_H C \quad (1.8)$$

în care:

p – presiunea parțială a gazului aflat în contact cu lichidul;

C – concentrația gazului dizolvat;

k_H – constanta legii lui Henry.

În concordanță cu cele prezentate anterior, cu cât scufundătorul pătrunde la adâncime din ce în ce mai mare, deci valoarea presiunii crește, cantitatea de gaz dizolvată în țesuturi crește și ea. La revenirea la suprafață această cantitate de gaz dizolvată va fi eliberată. În consecință decompresia scafandrilor trebuie astfel realizată încât să evite apariția bulelor de gaz în organism, evitându-se astfel bolile asociate decompresiei.

De asemenea, pe lângă presiune, un alt factor important ce influențează cantitate de gaz acumulată în organism îl reprezintă durata în care gazul este respirat. În funcție de natura gazului și evident de presiunea la care este respirat durata de saturare a organismul variază în limite destul de largi (8 – 24 ore conform NOAA).

1.2.5 Legea gazelor ideale (legea generală a gazelor)

Așa cum s-a desprins și din cele prezentate anterior, presiunea, temperatura și volumul sunt mărimi ce se influențează reciproc.

Legea gazelor ideale este utilă în estimarea modificărilor ce survin în cazul unei cantități de gaz atunci când valoarea uneia sau a tuturor măririlor menționate anterior se modifică. Matematic această lege se exprimă:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1.9)$$

în care:

$p_{1/2}$ – presiunea inițială/ finală (scară absolută);

$V_{1/2}$ – volumul inițial/ final;

$T_{1/2}$ – temperatura inițială/ finală (absolută).

1.2.6 Legea lui Dalton și legea lui Amagat

Aplicațiile în domeniul scufundărilor ale legii lui Dalton se referă la calculul diferenței dintre presiunile parțiale în cazul respirației în condiții normale respectiv la diverse adâncimi. Această lege arată că la o temperatură dată, presiunea unui amestec gazos p_{am} este egală cu suma presiunilor parțiale ale fiecărui gaz component p_{g_i} ($i = 1, 2 \dots n$). Astfel, în conformitate cu legea lui Dalton, presiunea totală a unui amestec respirator este dată de suma presiunilor parțiale a componentelor (rel. 1.10).

$$p_{am} = \sum_{i=1}^n p_{g_i} = p_{g_1} + p_{g_2} + \dots + p_{g_i} + \dots + p_{g_n} \quad (1.10)$$

Presiunea parțială a unei cantități de gaz reprezintă presiunea pe care acesta ar exercita-o dacă ar ocupa singur întregul volum. Determinarea presiunii parțiale a unui gaz, p_x , dintr-un amestec se determină aplicând relația:

$$p_x = \text{Gaz \%} \cdot p_T \quad (1.11)$$

în care:

Gaz % – procentul din componentul x exprimat zecimal;

p_T – presiunea totală (scară absolută).

Legea lui Amagat se exprimă matematic prin relația 1.12.

$$\sum_{i=1}^n r_{g_i} = r_{g_1} + r_{g_2} + \dots + r_{g_i} + \dots + r_{g_n} = 1 \quad (1.12)$$

Presiunea parțială a unui gaz component dintr-un amestec de gaze se obține prin înmulțirea presiunii amestecului de gaze cu participația volumică r_{g_i} a gazului component considerat:

$$p_{g_i} = p_{am} \cdot r_{g_i} \quad (1.13)$$

Participația masică m_i reprezintă raportul dintre masa unui component oarecare M_i și masa amestecului M_{am}

$$m_i = \frac{M_i}{M_{am}} \quad (1.14)$$

Pentru n componenți relația de calcul este

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1 \quad (1.15)$$

Aplicând ecuația caracteristică de stare pentru un component din amestec putem obține relații de calcul între participația volumică și participația masică

$$p_{am}V_i = M_iR_iT_{am} \quad (1.16)$$

sau

$$p_{am}V_{am} = M_{am}R_{am}T_{am} \quad (1.17)$$

în care

p_{am} – presiunea amestecului;

M_i, M_{am} – masa componentului i , respectiv a amestecului;

R_i, R_{am} – constanta caracteristică a gazului i , respectiv a amestecului;

V_i, V_{am} – volumul redus al componentului i , respectiv volumul amestecului;

T_{am} - temperatura amestecului.

Capitolul 2

Gaze cu implicații în domeniul scufundărilor

În decursul a peste 160 decenii ce s-au scurs de la consemnarea în lucrarea De Re Militari, cunoscută și ca Epitoma rei militaris, elaborată de Publius Flavius Vegetius Renatus a unor aparate pentru lupta subacvatică ce foloseau aerul ca gaz respirator, s-au conceput și creat aparate din ce în ce mai complexe, și s-au pus la punct proceduri, tehnici și tehnologi pentru pătrunderea omului la adâncimi din ce în ce mai mari.

La ora actuală în funcție de tipul aparatului de respirat utilizat în scufundare și de tehnologia de scufundare adoptată sunt folosite diverse gaze sau amestecuri respiratorii ce sunt prezentate în continuare.

2.1 Aerul

Aerul (aerul atmosferic) este primul și cel mai folosit gaz utilizat în domeniul scufundărilor. Acesta este un amestec de gaze inerte și metabolice alcătuit în principal din azot și oxigen în a cărui compoziție intră în cantități variabile și dioxid de carbon, vapori de apă, ozon, dioxid de sulf, dioxid de azot și în cantități foarte mici (urme) xenon, heliu, kripton, argon, metan, oxid de azot, hidrogen și neon. Proporțiile în care aceste elemente se găsesc în aer sunt 78,1% azot, 20,9% oxigen, iar restul 1% este alcătuit din celelalte componente (tabelul 2.1).

Tabelul 2.1 Compoziția aerului atmosferic uscat (conform NOAA)

Component	Procente din volum (%)	Părți pe milion (ppm)
Azot	78,084	-
Oxigen	20,946	-
Argon	0,934	-
Dioxid de carbon	0,033	-
Gaze rare	0,033	30,00*
Neon	-	18,18*
Heliu	-	5,24*
Monoxid de carbon	-	2,36*
Metan	-	2,00*
Kripton	-	1,14*
Hidrogen	-	0,5*
Protoxid de azot	-	0,5*
Xenon	-	0,08*

* - valori aproximative

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration al S.U.A.

Ca urmare a poluării atmosferice pe lângă componentele mai sus menționate aerul atmosferic mai poate conține și alte elemente, un exemplu în acest sens fiind prezența monoxidului de carbon apărut ca urmare a arderilor din motoarele cu combustie internă. Acești poluanți trebuie eliminați din compoziția aerului înainte ca acesta să fie utilizat ca gaz respirator.

Compoziția chimică a aerului determină schimbul de gaze dintre organism și mediu. Volumul de aer inhalat zilnic de către ființele umane în condiții normale este de circa 14...15 m³ de aer.

La nivelul aparatului respirator, contactul dintre aer și organism se realizează pe o suprafață de peste 90 m². În urma procesului respirator se produc modificări ale compoziției aerului (tabel 2.2).

Tabelul 2.2 Modificări ale compoziției aerului ca urmare a procesului respirator [3]

Component	Proporția componentelor din aer [%]	
	inspirat	expirat
Azot	78...79	78...79
Oxigen	20..21	16...17
Dioxid de carbon	0,03...0,04	3...4

Aerul atmosferic poate fi utilizat în condiții de siguranță doar pentru scufundări la adâncimi mici circa 30 m. În cazul scufundărilor de adâncime la revenirea la presiune atmosferică scafandrul poate suferi accidente în cazul unei reveniri necorespunzătoare la presiunea atmosferică.

2.2 Azotul

Denumirea de azot a fost dată acestui element chimic de către savantul francez Antoine Laurent de Lavoisier (1773), „a” însemnând în limba greacă fără, iar „zoon” viață. Ulterior a fost denumit și nitrogen care semnifică generator de salpetru.

Azotul este gazul aflat în cea mai mare proporție în compoziția aerului atmosferic (tabelul 2.1). Din punct de vedere organoleptic acest gaz biatomic este incolor, inodor și insipid. Este puțin solubil în apă. Face parte din categoria elementelor chimice cu caracter nemetalic din grupa a V-a principală Z7. Masa atomică a azotului are valoarea 14,0067. Structura electronică a stratului exterior este 2s²2p³, iar valența I, II, III, IV, V. Punctul de fierbere al azotului – 195,8°C, iar punctul de topire - 210 °C. Ca urmare a căldurii de dislocare mari a moleculei N₂, deci a legăturii N ≡ N foarte puternice, reactivitatea chimică a azotului molecular este foarte redusă. La temperaturi mari și în prezența catalizatorilor, capacitatea de a reacționa a azotului crește putându-se combina cu H₂, O₂ și unele metale. După fluor și oxigen, azotul este elementul cu caracterul electronegativ cel mai puternic. În combinațiile chimice cu cele două elemente menționate anterior, se consideră că azotul funcționează într-o stare de oxidare pozitivă, iar în combinație cu hidrogenul și metalele acesta funcționează ca element electronegativ. Deoarece are numai patru orbitali disponibili în stratul electronic exterior, azotul poate forma tot atâtea legături covalente. În cazul combinațiilor în care acesta formează trei legături, perechea de electroni neparticipantă a atomului de azot determină proprietățile donoare ale acestuia.

Unele dintre proprietățile fizico-chimice ale azotului sunt prezentate în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3 Caracteristicile fizico-chimice ale azotului

Mărimea	Unitatea de măsură	Valoarea
Volumul molar	[m ³ /kmol]	22,403
Masa molară	[kg/kmol]	28,013
Temperatura critică	T _{cr} [K]	126,1
Temperatura de fierbere la 1,013 bar (sc.abs.)	T _f [K]	77,4
Conductibilitatea termică	k[μcal/cm s K]	58,0
Coeficientul de autodifuzie	D[cm ² /s]	0,178
Densitatea	ρ[g/l]	1,251
Coeficientul dinamic de viscozitate	μ[micropoise]*	167,4
Căldura specifică masică la volum constant	C _v [cal/gK]	0,177
Constante Van der Waals	a – at/(l/mol) ² b – l/mol	1,39 0,0394
Presiunea critică	p _{cr} [ata]**	33,5
Diametrul moleculei	[Å]***	3,76
Solubilitatea în apă	[l/l]	0,0155
Solubilitatea în alcool etilic	[l/l]	0,1304
Solubilitatea în benzen	[l/l]	0,1038

*1 micropoise = 10⁻³ poise = 10⁻³ g/(cm s) = dyn s/cm²; **ata – atmosferă în scara absolută; ***Å – angström (1 Å = 10⁻⁸ cm)

O altă caracteristică importantă o constituie proprietatea azotului de a nu fi inflamabil, aceasta în antiteză cu oxigenul care din acest punct de vedere se află la polul opus.

Azotul poate fi obținut în laborator prin descompunerea azotitului de amoniu sau a unei soluții de NH₄Cl și NaNO₂ (relația 2.1), iar industrial prin distilarea fracționată a aerului lichid.



Azotul intră în compoziția chimică a tuturor organismelor vii fapt ce face ca în natură să aibă loc un circuit al azotului.

Deoarece prin procesul respirator azotul se dizolvă cu ușurință în țesuturi și ajunge în sânge fără însă a lua parte la procesele metabolice el se încadrează în categoria gazelor inerte. Cu toate acestea, odată cu scăderea presiunii mediului ambiant, solubilitatea sa crescută duce la formarea de bule, o mare problemă în cazul procesului de decompresie al scafandrilor. Așadar în condiții normale azotul este inert din punct de vedere fiziologic, dar odată cu creșterea presiunii parțiale acesta prezintă proprietăți anestezice, ce se manifestă de pierderea conștienței și apariția dezorientării (narcoză). În articolul „Mixed Gas in Diving” [14] se precizează că la presiuni ale azotului ce depășesc 60 m (coloană apă de mare) se instalează o stare de euforie excesivă și se reduce capacitatea funcțională, mentală și fizică a scufundătorului, iar peste 180 m (coloană apă de mare) rezultă pierderea conștienței. Lucrarea precizează că toleranța individuală poate varia semnificativ în funcție de activitatea desfășurată pe durata scufundării. În cazul scufundărilor de adâncime simptomele pot apărea în

faza de început în timp diminuându-se însă. Modificările survenite la nivelul aparatului respirator odată cu creșterea presiunii reduc considerabil capacitatea de ventilare în cazul utilizării amestecurilor conținând azot.

Deși prezintă dezavantaje în comparație cu alte gaze, în domeniul scufundărilor azotul este folosit pentru a dilua oxigenul, fie în amestecul natural ce alcătuiește aerul atmosferic fie în amestecuri sintetice.

2.3 Oxigenul

Fiind un element indispensabil vieții, importanța oxigenului în domeniul scufundărilor este evidentă. Scăderea conținutului de oxigen din aerul atmosferic sub 7% produce moartea. Așa cum s-a arătat și în subcapitolul anterior, aerul atmosferic conține 21% oxigen ce există liber, în stare biatomică. Acest gaz reprezintă elementul chimic cel mai răspândit din natură fiind de asemenea și o componentă a materiei organismelor vii. Oxigenul este un gaz incolor, inodor și insipid ce se combină cu mare ușurință cu alte elemente chimice. În stare lichidă și solidă are culoare albastră. Face parte din grupa a VI - a principală, Z8, are structura electronică a stratului exterior $1s^2 2s^2 2p^4$, valența II și masa atomică 15,999. În aerul atmosferic se găsește în stare liberă, iar în stare combinată în apă și diverse minerale precum oxizi, silicați, carbonați, sulfati. În apă solubilitatea oxigenului este redusă. Punctul de fierbere și punctul de topire al oxigenului este - 183°C respectiv - 218 °C.

Pentru caracterizarea oxigenului în tabelul 2.4 sunt prezentate o serie din proprietățile fizico-chimice ale acestui element chimic.

Tabelul 2.4 Caracteristicile fizico-chimice ale oxigenului

Mărimea	Unitatea de măsură	Valoarea
Volumul molar	[m ³ /kmol]	22,403
Masa molară	[kg/kmol]	31,999
Temperatura critică	T _{cr} [K]	154,4
Temperatura de fierbere la 1,013 bar (sc.abs.)	T _f [K]	90,2
Conductibilitatea termică	k[μcal/cm s K]	58,5
Coeficientul de autodifuzie	D[cm ² /s]	0,189
Densitatea	ρ[g/l]	1,429
Coeficientul dinamic de viscozitate	μ[micropoise]	192,6
Căldura specifică masică la volum constant	C _v [cal/gK]	0,157
Constante Van der Waals	a – at/(l/mol) ² b – l/mol	1,36 0,0318
Presiunea critică	p _{cr} [ata]	49,7
Diametrul moleculei	[Å]	3,62
Solubilitatea în apă	[l/l]	0,0314
Solubilitatea în alcool etilic	[l/l]	0,1431
Solubilitatea în benzen	[l/l]	0,163

În combinațiile sale oxigenul funcționează ca element bivalent electronegativ. Oxigenul formează combinații cu toate elementele chimice, excepție fac însă gazele rare.

Obținerea oxigenului prin procese industriale se realizează prin distilarea fracționată a aerului lichid și prin electroliza apei. Aflat în stare pură, lipsit de azot, oxigenul se poate obține prin descompunerea termică a oxizilor și a unor săruri.

Oxigenul este singurul gaz ce poate fi folosit ca atare de către scafandri în incursiunile lor în mediu acvatic. Cu toate acestea inhalarea de oxigen pur are efecte neurotoxice atunci când este inhalat la presiuni ridicate, iar în cazul inhalării continue pe timp îndelungat în condiții normale de presiune produce leziuni pulmonare. Deși primul aspect a fost descris încă din anul 1878 de Paul Bert, iar cel de al doilea de Lorrain și Smith în 1899 s-au înregistrat în decursul timpului numeroase accidente la utilizarea oxigenului ca gaz respirator. Trebuie spus că din componentele aerului atmosferic doar oxigenul este folosit de corpul uman, restul componentelor în proporție de aproximativ 79% servesc pentru a dilua oxigenul.

În lucrarea „Physics of Diving” elaborată de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) al S.U.A. sunt prezentate o serie de aspecte legate de utilizarea oxigenului pentru scufundări. De exemplu, utilizarea oxigenului pur (concentrație 100%) este folosit la scufundările de mică adâncime și anumite faze ale scufundărilor de adâncime. Pentru înmagazinarea în saturație și pentru scufundări de adâncime concentrația poate avea valori mai scăzute. Lucrarea menționată anterior precizează că recipientele conținând amestecuri sărace în oxigen necesită etichetare și manipulare specială evitându-se astfel inhalarea lor accidentală. În cazul respirației unor amestecuri anoxice va genera doar în câteva momente pierderea conștienței, leziuni cerebrale și în final moartea.

2.4 Heliul

Heliul este un element chimic ce face parte din grupa gazelor rare, Z2 cu structura electronică $1s^2$. Unele din proprietățile sale sunt date în tabelul 2.5. Așa cum s-a prezentat anterior în subcapitolul 2.1 conținutul de heliu din aerul atmosferic este de $5,2 \cdot 10^{-1} \%$ volume. Punctul de topire al heliului este $-272,1^\circ\text{C}$ la presiunea de 25 atm, iar punctul de fierbere $-268,98^\circ\text{C}$.

Denumirea acestui gaz incolor, monoatomic provine din limba greacă „Helios” desemnând Soarele prin a cărei spectrografie s-a descoperit, în anul 1868, acest element chimic.

Ca urmare a densității sale scăzute, fiind de 70 mai ușor ca aerul, a fost folosit la începutul secolului XX pentru umplerea aerostatelor.

Heliul se găsește în cantități ceva mai mari în gazele naturale din unele zone ale Americii și de pe teritoriul Federației Ruse. Heliul se poate obține din aerul atmosferic folosind ca procedeu de separare lichefierea. În urma aplicării acestui procedeu heliul rămâne împreună cu neonul în fracțiunea necondensată, separarea acestora urmând a fi făcută ulterior utilizându-se în acest scop adsorbția pe cărbune activ, metodă ce duce la reținerea neonului. Este gazul cel mai greu de lichefiat.

Tabelul 2.5 Proprietățile fizico-chimice ale heliului

Mărimea	Unitatea de măsură	Valoarea
Volumul molar	[m ³ /kmol]	22,43
Masa molară	[kg/kmol]	4,002
Temperatura critică	T _{cr} [K]	5,26
Temperatura de fierbere la 1,013 bar (sc.abs.)	T _f [K]	4,26
Conductibilitatea termică	k[μcal/cm s K]	352
Coeficientul de autodifuzie	D[cm ² /s]	-
Densitatea	ρ[g/l]	0,1785
Coeficientul dinamic de viscozitate	μ[micropoise]	188,7
Căldura specifică masică la volum constant	C _v [cal/gK]	0,745
Constante Van der Waals	a – at/(l/mol) ² b – l/mol	0,034 0,0236
Presiunea critică	p _{cr} [ata]	2,26
Diametrul moleculei	[Å]	2,17
Solubilitatea în apă	[l/l]	0,0088
Solubilitatea în alcool etilic	[l/l]	0,0281
Solubilitatea în benzen	[l/l]	0,018

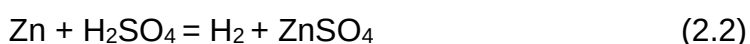
În domeniul scufundărilor heliul este folosit frecvent pentru scufundări de mare adâncime ca diluant al oxigenului. Densitatea lui este mai mică decât cea a azotului fapt ce conferă diverse avantaje ce se referă pe de o parte la reducerea rezistenței la respirație în cazul scufundărilor de adâncime și lipsa unor efecte similare privind narcoza.

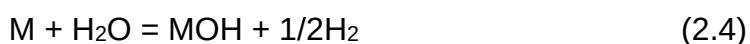
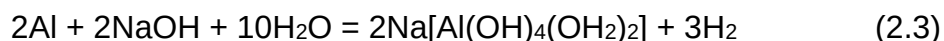
Dezavantajele utilizării heliului în scufundări sunt reprezentate de distorsionarea spectrului sonor, efect cunoscut sub numele de voce „Donald Duck”, fapt ce afectează comunicațiile și răcirea rapidă a organismului în special ca urmare a proceselor respiratorii, cauza fiind conductibilitatea termică foarte ridicată a acestui gaz.

2.5 Hidrogenul

Hidrogenul este un gaz biatomic incolor, insipid și inodor. Lichefierea lui este foarte dificilă situându-se din acest punct de vedere pe locul doi după heliu. Deoarece este foarte activ se găsește extrem de rar în stare liberă. Este cel mai ușor dintre gaze și are viteza cea mai mare de difuziune. Acest element chimic, nemetalic, are masa atomică 1,00797, structura electronică 1s¹ și valența 1. Punctul de fierbere al hidrogenului -252,8°C și punctul de topire -259,14°C. Pentru caracterizarea hidrogenului din punct de vedere fizico-chimic în tabelul 2.6 sunt date principalele caracteristici ale acestuia.

În stare liberă se găsește în unele gaze emanate din scoarța Pământului, în apă și substanțe organice. Hidrogenul se poate obține ca urmare a interacțiunii dintre acizii diluați și unele metale, prin acțiunea unei soluții destul de concentrate de hidroxid de sodiu asupra unor elemente precum Zn, Al și prin descompunerea apei de către metale alcaline. Industrial, hidrogenul se obține în stare pură prin electroliza apei, din gazul de apă. Practic se realizează electroliza unor soluții alcaline.





Tabelul 2.6 Proprietățile fizico-chimice ale hidrogenului

Mărimea	Unitatea de măsură	Valoarea
Volumul molar	[m ³ /kmol]	22,428
Masa molară	[kg/kmol]	2,016
Temperatura critică	T _{cr} [K]	33,3
Temperatura de fierbere la 1,013 bar (sc.abs.)	T _f [K]	20,4
Conductibilitatea termică	k[μcal/cm s K]	416
Coeficientul de autodifuzie	D[cm ² /s]	1,285
Densitatea	ρ[g/l]	0,0899
Coeficientul dinamic de viscozitate	μ[micropoise]	85
Căldura specifică masică la volum constant	C _v [cal/gK]	2,411
Constante Van der Waals	a – at/(l/mol) ² b – l/mol	0,245 0,0267
Presiunea critică	p _{cr} [ata]	12,8
Diametrul moleculei	[Å]	2,72
Solubilitatea în apă	[l/l]	0,0182
Solubilitatea în alcool etilic	[l/l]	0,0769
Solubilitatea în benzen	[l/l]	0,0659

Hidrogenul se combină direct cu cea mai mare parte a nemetalelor, formând astfel combinații moleculare volatile. Prin urmare reacționează energetic cu halogenii. Are de asemenea proprietatea, prin punerea în comun a electronul său cu electronul altor elemente, de a stabili legături covalente. Acest element chimic se combină la cald cu sulful, iar în anumite condiții cu azotul. Față de o parte dintre oxizii metalici funcționează ca agent reducător (de exemplu $\text{CuO} + \text{H}_2 = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$).

Trebuie remarcat faptul că amestecul dintre H_2 și O_2 în raport de 2:1 explodează dacă există premise pentru apariția unei scântei electrice.

În general hidrogenul este utilizat la sinteza amoniacului, la hidrogenarea unor substanțe organice, la obținerea combustibililor lichizi sintetici.

Utilizarea hidrogenului în amestecuri gazoase respirabile este consemnată pentru prima oară în 1789, când Lavoisier și Seguin derulează în acest sens studii experimentale de laborator folosind ca subiecți porci de guinea. Amestecul respirator studiat era format din hidrogen și oxigen. În urma studiului efectuat ei au constatat că oxigenul consumat în cazul amestecului hidrogen-oxigen era similar celui consumat pentru respirație în cazul amestecului azot-oxigen.

Deși au mai existat studii ulterioare privind folosirea hidrogenului în amestecuri respiratorii, utilizarea lui în domeniul scufundărilor este atribuită inginerului suedez Arne Zetterstrom (1944). Scopul utilizării hidrogenului era de a înlocui azotul și heliul din amestecurile respiratorii utilizate pentru scufundări. Deoarece este elementul chimic cu cea mai mică densitate, la presiuni exterioare mari rezistența la respirație va fi minimă. Așa cum s-a menționat anterior, principala problemă a utilizării hidrogenului

În asociere cu oxigenul, îl reprezintă pericolul de explozie. Deși concentrația de oxigen necesară producerii combustiei variază cu presiunea, o regulă generală este că prezența oxigenului într-o proporție de peste 4% (unii autori menționează valoarea de 5%) în amestecul hidrogen-oxigen prezintă risc de explozie spontană. Astfel hidrogenul poate fi folosit în amestecul respirator în cazul presiunilor la care mai puțin de 5% O₂ asigură o presiune parțială de oxigen suficientă pentru a susține funcțiile vitale.

Deoarece Arne Zetterstrom moare într-un accident în timpul revenirii la suprafață (07.08.1945), utilizarea hidrogenului în scufundări este abandonată până la mijlocul anilor '60 când cercetările privind utilizarea acestui gaz în amestecuri respiratorii sunt reluate. Studiile de laborator s-au desfășurat pe animale ce au respirat timp de 24 ore amestec hidrogen-oxigen la o presiune de 70 atm. O concluzie interesantă a acestor studii s-a referit la faptul că hidrogenul reduce „sindromul nervos de înaltă presiune” observat adesea în cazul scufundărilor de adâncime cu amestecuri conținând heliu [14].

2.6 Neonul

Pentru formarea amestecurilor respiratorii, experimental a mai fost folosit pentru diluarea oxigenului, neonul. Acest gaz a fost descoperit de Ramsay și Rayleigh în anul 1898.

Neonul este un gaz rar, incolor, monoatomic, cu masa atomică 20,183 a cărui strat electronic exterior are structura 1s²2s²2p⁶. Acesta, așa cum este prezentat în tabelul 2.1, se găsește în aerul atmosferic împreună cu celelalte gaze rare, conținutul în neon fiind de 1,8·10⁻³ % vol. Punctul de fierbere este – 246,03°C, iar punctul de topire – 248,6°C. Obținerea lui se realizează utilizând procesul de separarea pe cărbune activ. Neonul este izolat din fracțiunea rămasă necondensată în procesul de lichefiere a aerului atmosferic unde se găsește împreună cu heliul.

Folosit ca gaz respirator, neonul provoacă distorsiuni ale vocii mai mici decât heliul. De asemenea are conductivitate termică mai redusă ca acesta. Utilizarea lui în amestecuri respiratorii duce însă la creșterea costurilor, el fiind un gaz scump. De asemenea un alt dezavantaj în constituie rezistența la respirație crescută în cazul sarcinilor de lucru moderate sau grele.

2.7 Argonul

Argonul este un element chimic ce face parte din grupa gazelor rare. A fost descoperit în anul 1894 de Rayleigh și Ramsay. Este un gaz incolor, cu molecula monoatomică. Are masa atomică 39,948, punctul de fierbere -185,7°C, iar punctul de topire -189,3°C. Stratul exterior are configurația electronică 1s²2s²2p⁶3s²3p⁶. În laborator acesta se folosește pentru realizarea unei atmosfere inerte.

În raport cu organismul uman acesta are proprietăți narcotice. De asemenea densitatea acestuia îl face impropriu pentru utilizarea sa în procesul respirator. Datorită densității sale mai mari ce duce la un transfer termic redus, în domeniul scufundărilor argonul se utilizează pentru umflarea costumelor uscate cu volum variabil.

2.8 Dioxidul de carbon

În mediul înconjurător, dioxidul de carbon este în principal rezultat ca urmare a diverselor procese de oxidare desfășurate. Rezultă în urma arderii complete a carbonului. Este un gaz incolor, inodor mai greu decât aerul, nu arde și nu întreține arderea.

Acest gaz este un subprodus al metabolismului ce este eliminat din corp prin respirație. Deși nu este considerat a fi toxic, prezența dioxidului de carbon în concentrații ridicate poate provoca pierderea conștienței, fapt ce poate fi fatal pentru scufundători. Problemele majore privind dioxidul de carbon sunt legate de controlul cantității prezente în dispozitivul de respirat și eliminarea acestuia după exhalare. Prezența dioxidului de carbon la concentrații ridicate poate crea predispoziție către naroză cu azot, toxicitatea oxigenului și probleme de decompresie. Dioxidul de carbon este considerat activ din punct de vedere biologic din momentul în care influențează în mod direct nivelul de pH al sângelui. Rezultatele studiilor medicale arată că există o corelare între dioxidul de carbon și dilatarea vaselor sangvine. Astfel la utilizarea aparatelor de respirat sub apă în circuit închis sau semi-închis, eliminarea dioxidului de carbon din amestecul respirator este un aspect de maximă importanță [9].

2.9 Monoxidul de carbon

Monoxidul de carbon este un gaz asfixiant, toxic, insipid, incolor și inodor. Valoarea densității este de $1,2506 \text{ kg/m}^3$ (0°C), masa molară $28,07 \text{ g/mol}$, punctul de topire $-205,07^\circ\text{C}$ și punctul de fierbere $-191,55^\circ\text{C}$, iar solubilitatea în apă este 30 mg/l (20°C). Apariția monoxidului de carbon se produce în urma arderii, oxidării incomplete a substanțelor cu conținut de carbon, produsă la temperaturi înalte, în locuri sărace în oxigen.

Influența lui asupra organismului uman se manifestă prin diminuarea capacității sângelui de a transporta oxigenul fapt ce se soldează cu asfixierea subiectului.

Fiind rezultate în urma arderilor incomplete ce pot avea loc în motoare cu combustie internă sau în cazul supraîncălzirii compresoarelor răcite cu ulei, prezența monoxidului de carbon în organismul uman poate să se producă în cazul scufundărilor prin intermediul sursei de aer. Aceasta se poate contamina ca urmare a amplasării deschiderii de admisie a compresorului prea aproape de evacuarea ansamblului compresor-motor.

Capitolul 3

Amestecuri respiratorii folosite în procesele hiperbare cu aplicații în domeniul scufundărilor

Amestecurile respiratorii sunt amestecuri gazoase cu două sau trei componente, o componentă fiind oxigenul, iar celelalte componente fiind gazele inerte.[3]

Aceste amestecuri se realizează prin combinarea oxigenului cu unul sau două gaze inerte, fiecare în proporția dorită. Așadar după numărul de componente ce formează amestecul se disting amestecuri binare, alcătuite din două componente și amestecuri ternare formate din trei componente. Rolul gazelor inerte în amestecul respirator este de a contracara efectele neurotoxice ale oxigenului.

Cele mai utilizate gaze inerte folosite în vederea preparării de amestecuri respiratorii sunt azotul și heliul. Prin utilizarea lor pentru diluarea oxigenului se realizează amestecurile binare cunoscute sub denumirea de NITROX respectiv HELIOX. Pentru fabricarea amestecurilor ternare gazele inerte folosite cel mai des sunt heliu și azotul, formându-se astfel în combinație cu oxigenul amestecul respirator cunoscut ca TRIMIX. Cele trei amestecuri respiratorii menționate anterior sunt utilizate la ora actuală în mod frecvent pentru scufundările de adâncime și cele de saturație. Deși controversate din punct de vedere al siguranței scafandrului, în cazul scufundărilor de mică adâncime, recreaționale, se folosesc cu precădere amestecurile de oxigen îmbogățit. Problemele de care trebuie să se țină cont în cazul folosirii oricăror amestecuri de gaze sunt legate de puritatea amestecului, raporturile dintre componente, efectul oxigenului asupra organismului uman când acesta este respirat la presiuni mult mai mari decât presiunea normală și procedura de decompresie la revenirea scafandrului la suprafață.

În afara heliului și azotului se mai folosește și hidrogenul, rezultând astfel amestecul denumit HIDROX. În decursul timpului s-au efectuat cercetări experimentale și cu alte gaze precum argonul, neonul și hexaflorura de sulf. Acestea din urmă nu și-au găsit însă utilizarea practică. Testele derulate asupra folosirii gazelor inerte, dintre care hidrogenul, neonul, argonul și heliul, au dus la rezultate satisfăcătoare numai în cazul heliului și hidrogenului. În cadrul experimentărilor de laborator, se mai utilizează și amestecuri ternare hidrogen-heliu-oxigen (HIDRELIOX).

În lucrarea [7] se specifică faptul că amestecul respirator folosit însă cel mai mult în domeniul scufundărilor a fost, este și va rămâne aerul atmosferic comprimat. Datorită inconvenientelor legate de respirarea lui la presiuni ridicate, și anume peste circa 5 bar (scară absolută), s-a recurs la înlocuirea azotului cu alte gaze inerte, cel mai adesea cu heliu sau hidrogen.

Din punct de vedere al conținutului de oxigen, amestecurile respiratorii folosite pentru scufundările autonome sunt standardizate. În lucrarea [3] sunt precizate concentrațiile oxigenului pentru amestecurile respiratorii frecvent utilizate și anume: 30% (32% sau 32,5%), 40%, 50% și 60%. Participațiile volumice ale oxigenului în amestec, r_{O_2} , sunt așadar 0,30 (0,32 sau 0,325); 0,40; 0,50 și 0,60. În cazul amestecului HIDROX s-au efectuat studii experimentale în care participațiile volumice ale oxigenului au fost mai mici de $r_{O_2} < 0,04$.

3.1 Amestecul respirator NITROX

Amestecurile NITROX pot fi realizate în diverse proporții, raportul dintre cele două componente fiind dat de adâncimea de scufundare și ca o consecință de presiunile parțiale a celor două gaze. Raporturile dintre cei doi constituenți ai amestecului se pot încadra conform U.S. Navy Diving Manual în intervalul 75% azot/ 25% oxigen - 60% azot/ 40% oxigen.

În comparație cu utilizarea aerului ca gaz respirator, amestecul NITROX conduce la timpi de imersie mai mari, eliminând sau reducând perioada necesară procedurilor de decompresie. Acest amestec poate fi folosit în orice operație de scufundare pentru care se folosește aerul, limita sa de utilizare fiind de circa 40 m (coloană apă de mare). De obicei scufundările cu NITROX sunt operațiuni efectuate la adâncimi mici. Beneficiile majore ale acestui amestec sunt obținute până la adâncimi de 15 m, dar folosirea lui poate fi considerată avantajoasă până la circa 40 m [10].

În cazul scufundărilor de adâncime medie și în saturație, amestecurile NITROX cu un conținut de oxigen mai mic de 21% asigură o protecție ridicată în ceea ce privește toxicitatea, hiperoxia putând apărea chiar de la un procent de oxigen de 15%. În ceea ce privește efectul nociv al azotului, manifestat prin apariția narcozei, acesta poate fi evitat de asemenea prin adoptarea unor proceduri de scufundare atent planificate. Astfel fie că este vorba de amestecuri NITROX sărace sau îmbogățite cu oxigen efectul celor două gaze ce intră în compoziția amestecului respirator pot provoca fie narcoza fie hiperoxia ce poate duce la intoxicarea cu oxigen.

Cerințele de decompresie în cazul amestecurilor NITROX îmbogățite sunt mai puțin severe decât în cazul aerului, aceasta datorită faptului că azotul este redus sub 79%.

Până în momentul de față au fost efectuate numeroase studii utile în stabilirea strategiilor de scufundare cu amestec respirator NITROX îmbogățit.

U.S. Navy Diving Manual evidențiază avantajele și dezavantajele utilizării amestecului NITROX îmbogățit în comparație cu folosirea aerului.

Avantaje:

- timpi de imersie crescuți în cazul scufundărilor fără decompresie;
- reduce timpul de decompresie;

- prezența în organism a azotului rezidual în cantități mici;
- diminuează posibilitatea apariției bolilor rezultate ca urmare a decompresiei;
- reduce narcoza datorată azotului.

Dezavantaje:

- creșterea riscului de intoxicare al sistemului nervos central cu oxigen;
- necesitatea unor echipamente speciale pentru fabricarea amestecului NITROX;
- aplicarea unor tehnici speciale pentru curățarea echipamentelor utilizate;
- scufundările de lungă durată ce utilizează NITROX ca amestec respirator pot duce la intoxicații pulmonare cu oxigen;
- utilizarea sistemelor NITROX necesită o pregătire de specialitate;
- amestecul NITROX este scump.

3.2 Amestecul respirator HELIOX

Efectul narcotic al azotului, manifestat încă de la adâncimi relativ mici, a impus găsirea unui înlocuitor al acestuia cu alt gaz inert ce poate fi folosit și la adâncimi mai mari. În urma testelor efectuate privind efectul narcotic și solubilitatea s-a ajuns la concluzia că heliul are efectul narcotic cel mai redus, fiind de patru ori mai puțin nociv decât azotul.

Scufundările de saturație și cele de adâncime efectuate de US Navy cu amestecul HELIOX au atins adâncimi de peste 300 m. Pentru acest tip de scufundări, deși costurile amestecului respirator sunt foarte mari, amestecul HELIOX este cel mai utilizat.

În comparație cu azotul, pentru anumite compartimente de țesuturi (conform teoriei fiziologului englez J.S. Haldane), timpul de înjumătățire al heliului este de circa 2,7 ori mai mare decât cel al azotului.

Procedeele de calcul folosite pentru scufundarea cu azot pot fi transpuse heliului, pentru aceasta trebuind ca pentru timpii de înjumătățire să se țină cont de valoarea de 2,7.

Când se efectuează scufundări cu HELIOX, în special de mare adâncime și expunere la presiuni crescute pe perioade îndelungate, pentru a optimiza procedura de decompresie este recomandat să se treacă la amestecul NITROX în faza de revenire la suprafață [2].

Cu cât saturarea cu heliu a compartimentelor de țesuturi cu saturație lentă este mai mare, cu atât mai mare va fi și timpul de trecere la un mediu respirator cu azot. Creșterea progresivă a presiunii parțiale a azotului sporește eliminarea heliului, dar totodată diminuează absorbția de azot în compartimentele respective. În mod similar, creșterea presiunii parțiale a oxigenului înlesnește eliminarea tuturor gazelor inerte, dar totodată poate genera hiperoxie [14].

Utilizarea amestecului HELIOX duce la modificări ale vocii fapt ce îngreunează comunicarea între persoanele din echipă. În acest caz sunt folosite dispozitive electronice pentru corectarea distorsiunilor vocale.

O problemă majoră legată de utilizarea heliului în amestecurile respiratorii îl constituie puterea de penetrare a acestuia, fapt ce duce adesea la distrugerea aparatelor de măsură și a dispozitivelor electronice, lucru care nu se petrece în cazul azotului. Deși heliul rămâne o alternativă viabilă pentru scufundările de adâncime, azotul facilitează decompresia, îmbunătățește problemele privind distorsiunea vocii și asigură un confort termic scufundătorului.

3.3 Amestecul respirator HIDROX

Deoarece hidrogenul este cel mai ușor gaz, se poate presupune că asigură o rezistență scăzută la respirație. Acest fapt asigură un transfer de oxigen și dioxid de carbon rapid în organism când acesta se află supus la presiuni ridicate.

Având în vedere solubilitatea și difuzivitatea, rata sa de absorbție și de eliminare în și din sânge și țesuturi ar trebui să fie mai mare decât în cazul azotului și chiar și a heliului. În realitate însă performanțele acestuia ca gaz respirator îl plasează între azot și heliu.

În ciuda oricăror avantaje potențiale ale amestecurilor respirabile formate din hidrogen și oxigen, din cauza proprietăților explozive și a naturii inflamabile, scufundătorii au evitat în general experimentarea acestui tip de amestecuri. La începutul anilor 1950 o serie de studii au stabilit că un procent de oxigen situat sub valoarea de 3% - 4% asigură limita de siguranță în ceea ce privește caracterul inflamabil și explozibil al acestui gaz. Un amestec în raport de 97/3 hidrogen/ oxigen poate fi utilizat la adâncimi sub 60 m, la care presiunea parțială a oxigenului este egală cu presiunea parțială la nivelul mării. Experimentele de laborator pe șoareci au arătat de asemenea că potențialul narcotic al hidrogenului este mai mic decât cel al azotului, dar mai mare ca cel al heliului. Spre deosebire de heliu, hidrogenul este relativ accesibil și necostisitor [14].

3.4 Amestecul respirator TRIMIX

Scufundările sub 400 m cu amestec HELIOX nu prezintă doar inconveniente de ordin practic, dar și din cel al riscurilor asumate. Sindromul nervos al înaltelor presiuni (S.N.I.P.) este o problemă majoră la scufundările de mare adâncime. Pentru ameliorarea acestuia în amestecurile pe bază de heliu-oxigen se injectează azot în

proporție de 5...10% ($r_{N_2} = 0,05...0,1$). Amestecul astfel format este unul ternar, denumit TRIMIX.

Amestecul TRIMIX este util pentru scufundări variind între 150 m și 600 m. Din cauza efectului narcotic, procentul de azot din amestec este, așa cum s-a menționat și anterior, sub 10 %.

Tehnicile de decompresie în cazul utilizării amestecului TRIMIX sunt cele obișnuite. Absorbția și eliminarea atât a heliului cât și a azotului poate fi limitată de tensiunile critice. Prin utilizarea unui set de date privind timpul de înjumătățire și tensiunile critice și un set de date cu timpii de înjumătățire corespunzători heliului, care sunt de aproximativ trei ori mai rapizi decât în cazul azotului pentru același compartiment de țesuturi, absorbția și eliminarea gazului inert poate fi considerată ca suma fracțiilor de azot și heliu din amestecul TRIMIX. Pentru aceasta se folosesc expresiile exponențiale uzuale pentru fiecare componentă de gaz inert. Astfel de abordări pentru decompresia scufundărilor în urma folosirii amestecului TRIMIX au fost testate în cadrul a numeroase experimente [2].

Capitolul 4

Fabricarea amestecurilor respiratorii cu aplicații în domeniul scufundărilor

Amestecurile respiratorii, binare sau ternare, se pot fabrica fie printr-o injecție succesivă și controlată a gazelor componente în recipiente cu volum constant, urmărindu-se presiunea din recipient, fie printr-o amestecare în flux continuu, cu injectarea simultană a gazelor componente la proporția dorită. Pentru injectarea gazelor componente în vederea realizării amestecului respirator sunt folosite dispozitive prevăzute cu ajutoare calibrate lucrând în domeniul critic (sonic), ce asigură livrarea componentelor gazoase la debite masice constante.

Pentru stabilirea compoziției amestecurilor de gaze binare sau ternare în lucrarea [3] este propusă o metodă sugestivă ce facilitează efectuarea calculelor necesare. Se consideră schema generală prezentată în figura 4.1.

Participații volumice pentru gazul g_i		Presiuni finale	
Finală	Pe tranșă	Presiuni parțiale	Presiunea amestecului
$r_{g_i,f}$	$r_{g_i}^{(n)}$	Tranșa (n) $r_{g_1}^{(n)} + r_{g_2}^{(n)} + \dots + r_{g_i}^{(n)} + \dots + r_{g_n}^{(n)} = 1$	$p_{g_n,f}$
	$r_{g_i}^{(3)}$	Tranșa (3) $r_{g_1}^{(3)} + r_{g_2}^{(3)} + \dots + r_{g_i}^{(3)} + \dots + r_{g_n}^{(3)} = 1$	$p_{g_3,f}$
	$r_{g_i}^{(2)}$	Tranșa (2) $r_{g_1}^{(2)} + r_{g_2}^{(2)} + \dots + r_{g_i}^{(2)} + \dots + r_{g_n}^{(2)} = 1$	$p_{g_2,f}$
	$r_{g_i}^{(1)}$	Tranșa (1) $r_{g_1}^{(1)} + r_{g_2}^{(1)} + \dots + r_{g_i}^{(1)} + \dots + r_{g_n}^{(1)} = 1$	$p_{g_1,f}$
			$p_{am,f}$

Figura 4.1 Schema generală de calcul pentru fabricarea unui amestec respirator de gaze [3]

Aplicare metodei presupune mai întâi reprezentarea sub forma unui dreptunghi a recipientului în care se prepară amestecul. Deoarece metoda presupune că gazele rămân stratificate, acestea se reprezintă fiecare în câte un compartiment al recipientului. În partea dreaptă a dreptunghiului ce reprezintă recipientul se notează presiunile parțiale finale ale fiecărui gaz component $p_{g_i,f}$ și presiunea finală a amestecului $p_{am,f}$ exprimate în scară manometrică. În partea stângă se notează participațiile volumice $r_{g_i}^{(j)}$ ale gazului pur i din amestecurile injectate prin fiecare tranșă de injecție (j), precum și concentrația finală dorită a acestui gaz $r_{g_i,f}$ din amestecul care este propus a fi obținut în recipient.

Considerând schema din figura 4.1, și relațiile prezentate în paragraful 1.3.3, presiunea parțială finală a unui gaz component se exprimă astfel:

$$p_{g_i,f} = p_{am,f} \cdot r_{g_i,f} = p_{g_{1,f}} \cdot r_{g_i}^{(1)} + p_{g_{2,f}} \cdot r_{g_i}^{(2)} + \dots + p_{g_{j,f}} \cdot r_{g_i}^{(j)} + \dots + p_{g_{n,f}} \cdot r_{g_i}^{(n)} \quad (4.1)$$

în care exponentul $(j)[(j) = (1),(2)\dots(n)]$ reprezintă numărul tranșei de injecție de gaze în recipient.

4.1 Fabricarea amestecurilor respiratorii binare

4.1.1 Realizarea amestecurilor NITROX

Pornind de la metoda de calcul a amestecurilor de gaze respiratorii prezentată anterior, pentru determinarea unui amestec NITROX din gaze pure, oxigen și azot, schema de calcul utilizată este prezentată în figura 4.2.

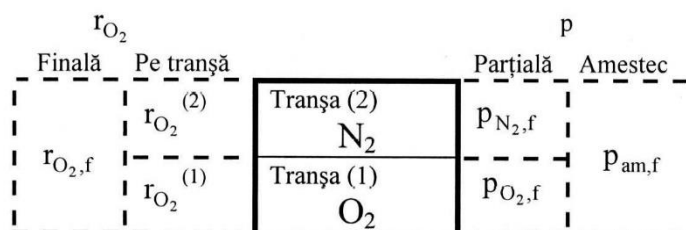


Figura 4.2 Schema de calcul pentru fabricarea unui amestec respirator NITROX pornind de la oxigen și azot [3]

Presiunea parțială este:

$$p_{O_2,f} = p_{am,f} \cdot r_{O_2,f} = p_{O_2,f} \cdot r_{O_2}^{(1)} + p_{N_2,f} \cdot r_{O_2}^{(2)} \quad (4.2)$$

Dacă se dorește realizarea unui amestec respirator NITROX alcătuit din 30% oxigen și 70% azot (30/70) la presiunea de 200 bar (scară manometrică), considerând schema de calcul din figura 4.3, ecuația 4.2 se scrie:

$$200 \cdot 0,3 = x \cdot 1 + (200 - x) \cdot 0 \quad (4.3)$$

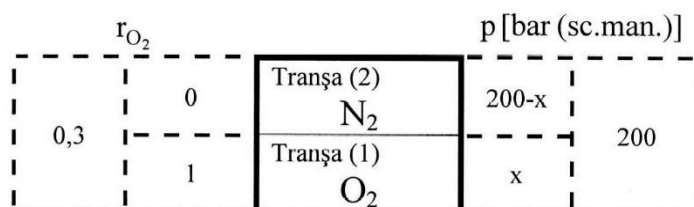


Figura 4.3 Schema de calcul pentru fabricarea unui amestec respirator NITROX 30/70 din oxigen și azot [3]

Rezultă $x = 60$ bar (scară manometrică) care reprezintă atât valoarea presiunii parțiale finale a oxigenului cât și presiunea la sfârșitul primei tranșe de presurizare a recipientului prin injecție de oxigen pur.

Etapele ce trebuie parcurse pentru a realiza amestecul NITROX 30/70 în condițiile de presiune specificate sunt:

- se presurizează recipientul mai întâi cu oxigen pur până când presiunea devine 60 bar (scară manometrică);
- se presurizează în continuare recipientul cu azot pur până când presiunea amestecului din recipient devine 200 bar (scară manometrică), adică cu încă 140 bar.

Realizarea unui amestec NITROX din oxigen și aer presupune măsuri speciale privind manevrarea oxigenului pur. În aceste condiții, pentru a evita presiunile ridicate în cazul oxigenului, se va injecta aer (21% oxigen și 79% azot) în oxigenul pur stocat în recipient.

În figura 4.4 este prezentată schema de calcul corespunzătoare fabricării amestecului NITROX 30/70 la 200 bar (scară manometrică).

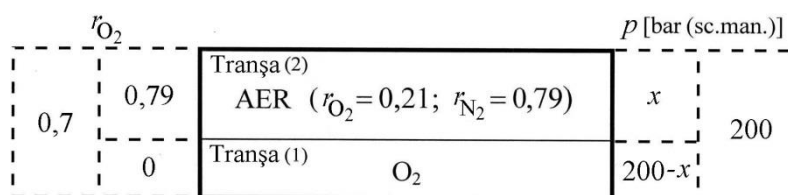


Figura 4.4 Schema de calcul pentru fabricarea unui amestec respirator NITROX 30/70 din oxigen și aer [3]

Ecuția corespunzătoare schemei de calcul este:

$$p_{am,f} r_{N_2,f} = p_{O_2,f} r_{N_2}^{(1)} + p_{aer,f} r_{N_2}^{(2)} \quad (4.4)$$

iar prin înlocuire relația se scrie:

$$200 \cdot 0,7 = (200 - x) \cdot 0 + x \cdot 0,79, \quad (4.5)$$

rezultă că: $x = 177,2$ bar (scară manometrică).

Etapele ce trebuie parcurse în acest caz pentru fabricarea amestecului respirator sunt:

- se presurizează recipientul mai întâi cu oxigen pur până când presiunea devine $200 - 177,2 = 22,8$ bar (scară manometrică);

- se continuă presurizarea cu încă 177,2 bar cu aer, până când presiunea amestecului din recipient devine egală cu 200 bar (scară manometrică).

Amestecurile NITROX au răspândirea cea mai mare fiind folosite la o gamă foarte largă de incursiuni subacvatice. Metoda de fabricare a acestora prin injectarea succesivă a oxigenului și a aerului este cea mai utilizată, motiv pentru care au fost realizate tabele ce prezintă variațiile de presiune rezultate prin cele două tranșe de presurizare. Un astfel de exemplu este tabelul 4.1 presiunea finală fiind în acest caz de 200 bar (scară manometrică).

Tabelul 4.1 Fabricarea amestecurilor NITROX prin injectarea succesivă de oxigen și aer [3]

Amestec NITROX [%O ₂ / %N ₂]	Presiunea din recipient după presurizarea cu oxigen pur [bar (sc.man.)]	Creșterea de presiune prin presurizarea cu aer [bar]	Presiunea finală a amestecului [bar (sc.man.)]
60/40	98,7	101,3	200
50/50	73,4	126,6	200
40/60	48,1	151,9	200
32,5/67,5	29,1	170,9	200
32/68	27,8	172,2	200
30/70	22,8	177,2	200

La fabricarea amestecurilor NITROX se utilizează oxigen cu puritate ridicată (minimum 99,5% O₂) și aer respirator corespunzător normativelor în vigoare (21% O₂ și 79% N₂) [3].

Pentru fabricarea amestecurilor NITROX se folosesc în mod frecvent trei procedee și anume:

- prepararea amestecului considerând presiunile parțiale – amestec NITROX îmbogățit cu aer;
- separarea azotului cu ajutorul membranelor – aer denitrogenat;
- omogenizarea continuă a gazelor ce formează amestecul – amestec NITROX îmbogățit.

Procedeul de preparare a amestecului considerând presiunile parțiale presupune injectarea de oxigen pur într-o butelie de scufundare unde, mai apoi, este introdus aer comprimat „curat”, numit și aer compatibil cu oxigenul (Oxygen Compatible Air) creându-se astfel amestecul dorit. Trebuie spus că termenul „curat” este o noțiune relativă, calitatea aerului respirabil fiind stabilită în standarde precum CGA Grade E, BS4275 sau DIN 3188.

În ceea ce privește noțiunea de „compatibilitate” a aerului comprimat folosit la prepararea amestecurilor NITROX aceasta se referă la o serie de criterii operaționale legate de amestecarea aerului cu oxigen pur sau cu un mediu bogat în oxigen. Trebuie menționat că nu există un standard unic legat de calitatea aerului utilizat la crearea amestecurilor NITROX [16].

În anul 1992 agențiile de formare în domeniul scufundărilor și alte agenții guvernamentale din S.U.A. la întâlnirea din Orlando, Florida au căzut de acord asupra unui set de standarde privind aerul compatibil cu oxigenul. Aceste standarde reprezintă o aprobare unanimă bazată pe cunoaștere, experiență și tehnologiile disponibile la acea dată [16]. Valorile privind calitatea aerului sunt deta în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2 Valorile indicatorilor de calitate ai aerului compatibil cu oxigenul la prepararea amestecurilor NITROX [16]

Hidrocarburi condensate	0,1mg/m ³
Hidrocarburi în stare gazoasă	15 ppm
Apă (punct de rouă)	- 50°C
Dioxid de carbon	500 ppm
Monoxid de carbon	2 ppm

În figura 4.5 este prezentată schematic o instalație pentru prepararea amestecurilor NITROX prin procedeul bazat pe presiunile parțiale ale gazelor.

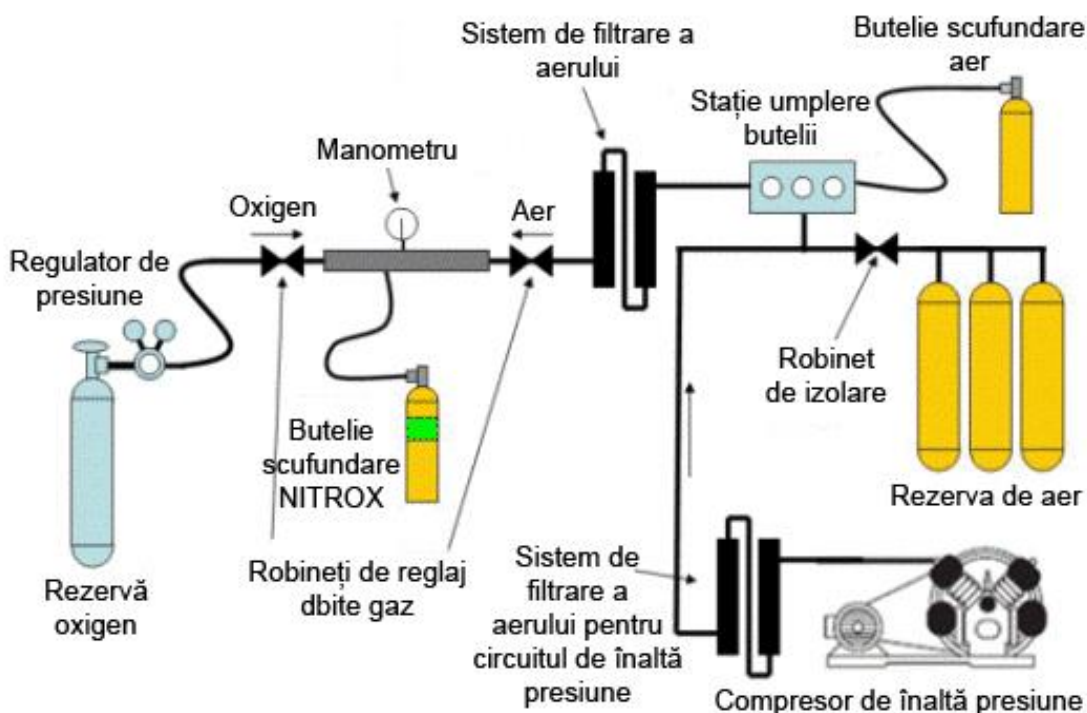


Figura 4.5 Schema instalației de preparare a amestecurilor NITROX prin procedeul bazat pe presiunile parțiale ale gazelor [11]

Avantajele acestui procedeu de preparare sunt:

- costuri inițiale reduse;
- capabil să producă amestecuri cu orice procentaj.

Dezavantaje:

- procesul de încărcare al buteliilor necesită un volum mare de muncă și este lent, circa 20 – 30 minute o butelie;

- buteliile și sistemul de umplere trebuie să respecte normele privind puritatea oxigenului;
- potențial pericolul în cazul în care în butelie ajunge în mod accidental ulei (efect diesel ce duce la explozie);
- nu se poate folosi întreaga cantitate de oxigen din butelia ce înmagazinează acest gaz; pentru a depăși acest neajuns este nevoie de o pompă specială (booster);
- realizarea corectă și precisă a amestecului depinde de priceperea operatorului instalației;
- este nevoie să se prevadă un stoc de butelii cu oxigen.

Procedeul de separare a azotului cu ajutorul membranelor a fost utilizat inițial în industria sudurii pentru producerea azotului. Presupune utilizarea unei surse de aer furnizat la o presiune redusă. Curentul astfel format este dirijat printr-un sistem special de membrane. Acestea sunt de două tipuri, una destinată trecerii azotului, iar cealaltă pentru permeat (amestec de oxigen îmbogățit) care este distribuit compresorului de înaltă presiune.

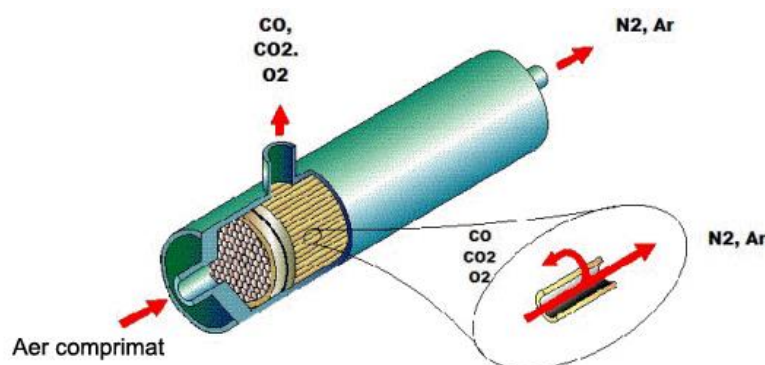


Figura 4.6 Dispozitiv de separare cu membrane [11]

Conținutul de oxigen este reglat fie prin modificarea presiunii de furnizare către membrane fie prin reglarea deschiderii destinată trecerii azotului. Funcționarea optimă a sistemului de membrane se realizează după circa 30minute de la punere în funcțiune.

Compresorul de înaltă presiune este conectat fie direct la buteliile utilizate pentru scufundări, fie la recipienti de stocare a amestecului NITROX [11].

Avantajele procedeului:

- nu necesită oxigen stocat în butelii (independență față de producătorii de oxigen);
- se poate fabrica amestec NITROX în condiții de siguranță (pâna la 40%);

- sistemul de umplere și buteliile nu trebuie să respecte condiții legate de necesitatea absenței oxigenului în fază inițială.

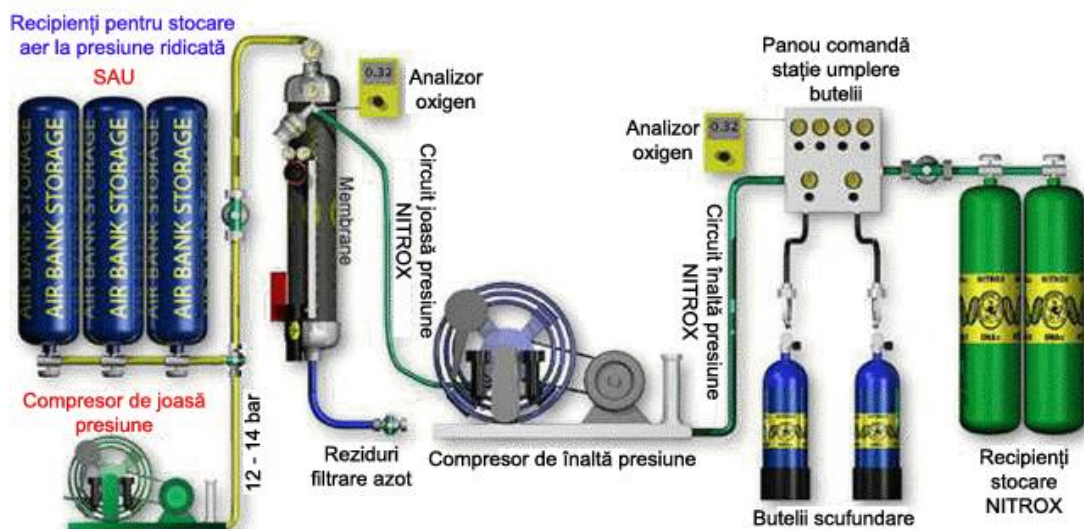


Figura 4.7 Schema instalației de prepararea a amestecurilor NITROX prin procedeul de separare a azotului cu membrane [11]

Dezavantaje:

- costuri de achiziție mari;
- punerea în funcțiune a sistemului este greoaie, iar exploatarea acestuia este dificilă; reglarea amestecului de oxigen este greu de realizat; aerul încălzit ce intră în contact cu membrana provoacă o reacție chimică în senzorul de oxigen ce duce la decalibrarea analizorului de oxigen;
- costuri adiționale (electricitate/ mentenanță) asociate operării compresorului de joasă presiune ce asigură aerul către sistemul de membrane;
- dacă în locul compresorului de joasă presiune sistemul de membrane este alimentat de la recipienți sub presiune pentru stocarea aerului, atunci ca urmare a creșterii consumului de energie electrică, cheltuielile de exploatare se măresc și uzura compresorului de înaltă presiune, care în această situație produce aerul comprimat, este în acest caz mai mare;
- dacă filtrele pentru îmbunătățirea calității aerului nu sunt schimbate la timp atunci este posibil ca membranele să se colmateze cu particule fapt ce duce la necesitate schimbării acestora și implicit la costuri suplimentare;
- membranele sunt fragile și pot fi deteriorate cu ușurință dacă sistemul nu este exploatat corect; dacă este furnizat un curent de aer la presiune mai mare sau dacă acesta nu are o temperatură

corespunzătoare structura internă poate fi deteriorată fapt ce duce la necesitatea înlocuirii membranei;

- pentru un sistem dotat cu compresor de joasă presiune, înlocuirea membranei costă cât circa jumătate din sistem;
- sistemul trebuie monitorizat permanent în timpul funcționării;
- producerea de amestec NITROX cu ajutorul acestui sistem duce la cele mai mari costuri per butelie de scufundare.

Procedeul de omogenizare continuă a gazelor componente presupune utilizarea unor recipienți pentru stocarea O_2 și un dispozitiv special, brevetat (NITROX Stick), ce asigură omogenizarea aerului și a oxigenului pur înainte de a fi admis în compresorul de înaltă presiune.

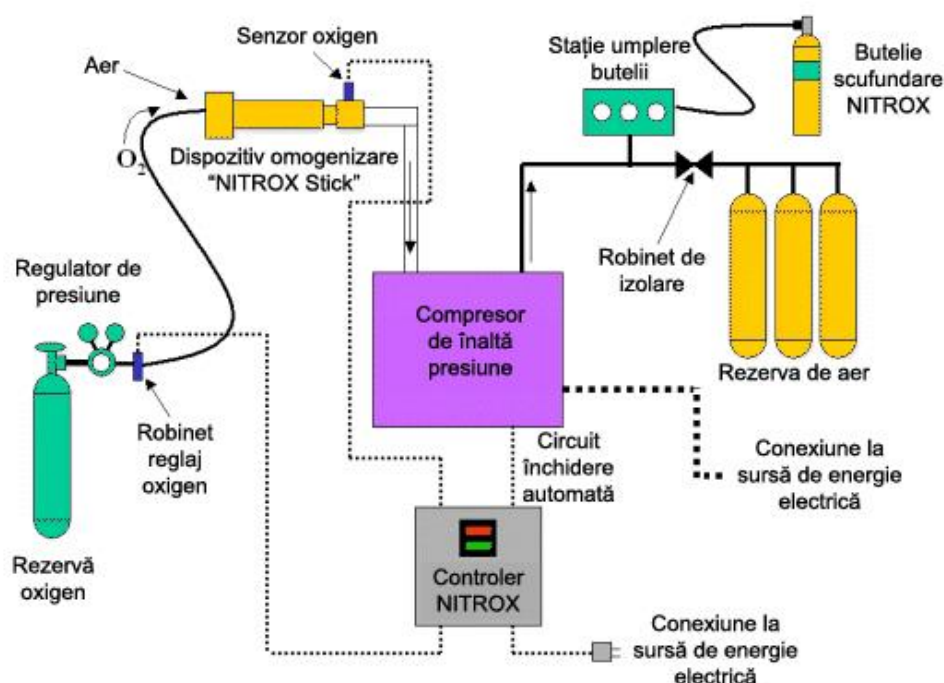


Figura 4.8 Schema instalației de preparare a amestecurilor NITROX prin procedeul de omogenizare continuă a gazelor [11]

Schema constructivă și imaginea unui astfel de dispozitiv de omogenizare este prezentată în figura 4.9.

Pornirea sistemului presupune mai întâi izolarea recipienților de stocare a aerului, eliminarea aerului din instalație respectând direcția normală de curgere (prin secțiunea de refulare a compresorului), iar apoi, în timp ce compresorul funcționează, se cuplează butelia de oxigen și se furnizează un aport de oxigen astfel încât să se atingă concentrația dorită în amestec. Procesul de purjare trebuie continuat până când analizorul de oxigen care monitorizează refularea compresorului indică concentrația de oxigen dorită. Din acest moment compresorul de aer, filtrele asociate și conductele pentru transportul aerului se consideră curățate. Refularea compresorului de înaltă

presiune poate alimenta acum fie buteliile folosite la scufundări fie recipientii de stocare a amestecului NITROX (figura 4.8). Întreaga operație de la punerea în funcțiune a sistemului până la începerea umplerii buteliilor sau a recipientilor de stocare durează circa 5 -10 minute [11].

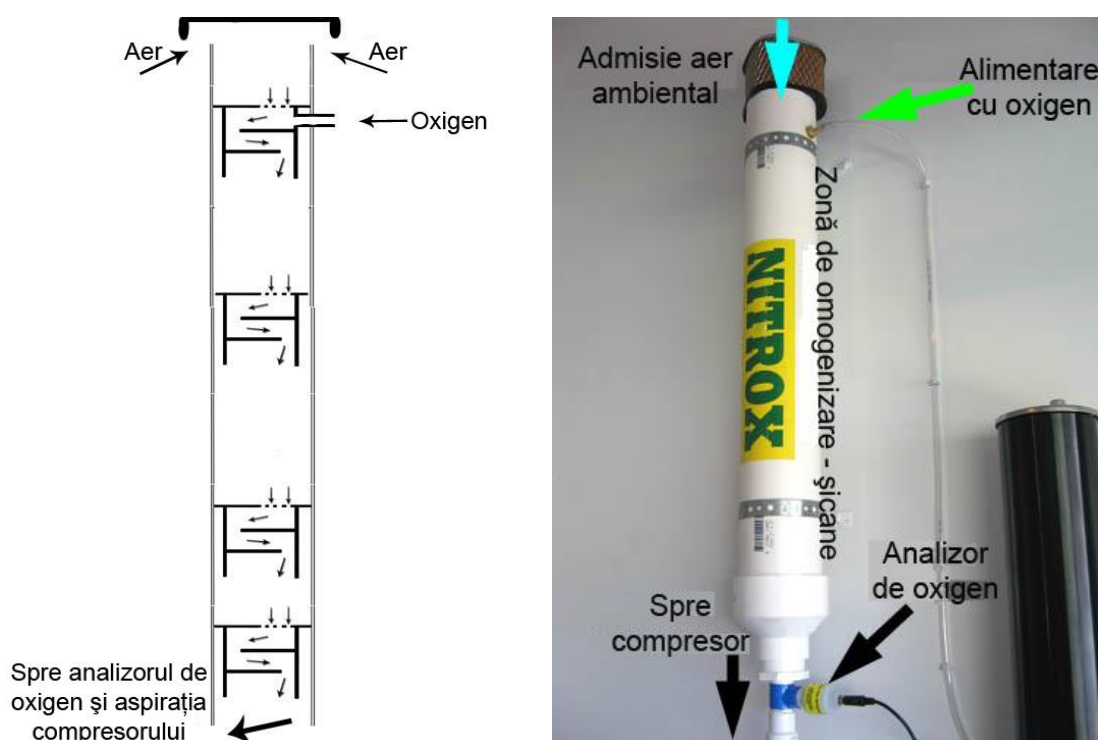


Figura 4.9 Schema constructivă și imaginea unui dispozitiv „NITROX Stick” [12]

Avantajele utilizării unui astfel de sistem sunt reprezentate de:

- costul moderat de achiziție al aparaturii și posibilitatea fabricării în condiții de siguranță a unui amestec de până la 40%;
- nu există restricții la încărcare privind prezența oxigenului în butelii;
- prezența controller-ului NITROX (figura 4.8) oferă operatorului posibilitatea să deruleze și alte activități în timp ce procesul de umplere al buteliilor este în desfășurare;
- prin aplicarea acestui procedeu costurile aferente forței de muncă scad;
- precizie ridicată în prepararea amestecului NITROX;
- siguranță sporită în exploatare;
- costurile cele mai reduse, în comparație cu alte sisteme, pentru umplerea unei butelii cu amestec NITROX.

Dezavantajele sunt reprezentate de necesitatea supravegherii permanente a sistemului dacă acesta nu a fost dotat cu controller NITROX și de necesitatea existenței permanent a unei rezerve de oxigen. Trebuie menționat faptul că

exploatarea unui astfel de sistem este justificată în special când acesta este dotat cu controller NITROX [11].

Deși dispozitivul pentru producerea amestecului respirator a fost prezentat și încadrat anterior într-o schemă pentru producerea amestecului NITROX există variante constructive, mai complexe, care asigură prepararea și a amestecurilor TRIMIX (figura 4.10).

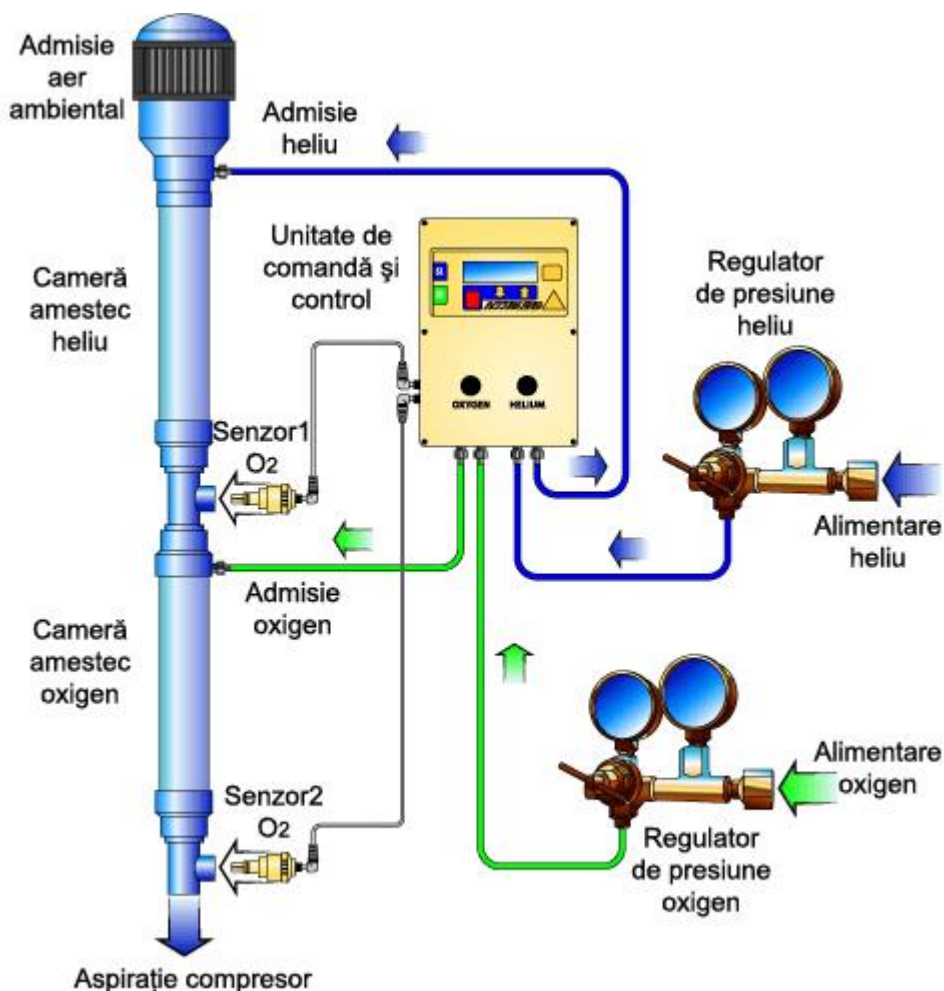


Figura 4.10 Dispozitiv pentru realizarea amestecului în vederea producerii NITROX/ TRIMIX [13]

Dispozitivul este conectat la sursa de oxigen și heliu prin intermediul a două regulatoare de înaltă performanță care asigură reglarea, cu foarte mare precizie, a cantității de gaz. Fiecare regulator comunică cu o unitate de control pe al cărui ecran se poate citi procentajul celor două gaze. De asemenea unitatea de control asigură întreruperea livrării oxigenului sau heliului dacă:

- comanda de calibrare automată este activă în timp ce compresorul funcționează;
- se produce o cădere de tensiune;
- senzorul de oxigen înregistrează valoarea de 39.9%;
- cablurile senzorilor sunt decuplate;

- comutatorul de alimentare cu energie electrică este oprit;
- funcționarea compresorului este întreruptă.

Unitatea de control, prin software-ul său, oferă posibilitatea operatorului de a stabili diverse amestecuri NITROX și TRIMIX, totodată poate specifica adâncimea echivalentă la care poate apărea narcoza și de asemenea prin intermediul său pot fi modificate amestecurile NITROX și TRIMIX existente fără a goli recipientii.

4.1.2 Realizarea amestecurilor HELIOX

Pornind de la metoda generală prezentată la începutul acestui capitol, pentru prepararea unui amestec respirator HELIOX, realizat într-o anumită proporție, se aplică schema de calcul din figura 4.1 particularizată însă pentru amestecul dorit. Presupunând că se urmărește fabricarea unui amestec HELIOX cu proporțiile dintre gaze 20% oxigen și 80% heliu (HELIOX 20/80) la 200 bar (scară manometrică) schema de calcul specifică pentru această situație este prezentată în figura 4.11.

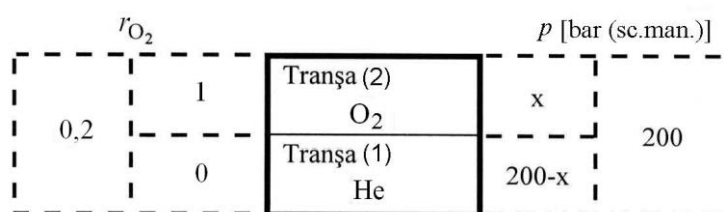


Figura 4.11 Schema de calcul pentru fabricarea unui amestec respirator HELIOX 20/80 din heliu și oxigen [3]

Relația de calcul corespunzătoare cazului de față este:

$$p_{am,f} \cdot r_{O_2,f} = p_{He,f} \cdot r_{O_2}^{(1)} + p_{O_2,f} \cdot r_{O_2}^{(2)} \quad (4.6)$$

adică:

$$200 \cdot 0,2 = (200 - x) \cdot 0 + x \cdot 1 \quad (4.7)$$

de unde rezultă $x = 40$ bar (sc.man.).

Deoarece între cele două gaze există o diferență mare de densitate, modul de preparare al amestecurilor HELIOX, în general, presupune injectarea peste heliu a oxigenului și aceasta cât mai violent posibil pentru a se realiza o mai bună omogenizare a amestecului. Așadar pentru fabricarea amestecului respirator HELIOX 20/80 se presurizează mai întâi recipientul cu heliu pur până la presiunea de 160 bar (scară manometrică), iar apoi se continuă presurizarea cu încă 40 bar cu oxigen pur până la presiunea de 200 bar (scară manometrică).

4.2 Fabricarea amestecurilor respiratorii ternare

Pentru realizarea amestecurilor ternare se folosesc aceleași metode de preparare ca și în cazul celor binare. Astfel pentru un amestec ternar în a cărui compoziție intră heliu-azot și oxigen poate fi obținut fie din heliu și aer, fie din heliu și amestec binar azot-oxigen (NITROX).

Există mai multe variante de realizare ale amestecului TRIMIX. Prima și cea mai folosită constă din următoarele etape:

- buteliile goale sunt umplute parțial cu heliu;
- se continuă presurizarea cu aer sau NITROX (care a fost preparat anterior) până la umplerea recipientilor;
- se efectuează calcule sau măsurători privind procentajele de oxigen și heliu.

Pentru amestecurile respiratorii realizate din heliu presurizat cu aer se folosește câteodată denumirea de HELIAER [15].

O a doua metodă folosită pentru fabricarea amestecurilor HELIOX presupune:

- injectarea cantității de heliu dorite pe traseul de aspirație al compresorului;
- efectuarea de calcule sau măsurători privind procentajele de oxigen și heliu.

De asemenea o altă modalitate de fabricare a amestecurilor TRIMIX este:

- buteliile goale sunt umplute parțial cu heliu;
- ulterior sistemul injectează o cantitate oxigen pur în butelii;
- buteliile se presurizează complet cu aer sau NITROX;
- se efectuează calcule sau măsurători privind procentajele de oxigen și heliu.

Așa cum s-a arătat anterior în paragraful 4.1.1 pentru fabricarea amestecului respirator TRIMIX se poate folosi sistemul de preparare prezentat în figura 4.10.

4.3 Corectarea amestecurilor respiratorii

Fie că este vorba de amestecuri binare sau ternare, în cadrul procesului de fabricare a amestecurilor respiratorii este necesară urmărirea permanentă a participațiilor fiecărui gaz ce formează amestecul. Așa cum s-a arătat și anterior în acest capitol, procesul de monitorizare se face prin intermediul analizoarelor de gaze. Pe baza rezultatelor obținute se efectuează corecții, ce presupun în general acțiuni similare celor desfășurate în etapele de fabricare ale amestecului.

Omogenizarea gazelor ce formează amestecul, aspect deosebit de important pentru procesul de fabricare, are la bază două fenomene și anume difuzia moleculară și difuzia turbulentă, specific turbulenței jetului creat la injecția gazului în recipientul cu amestec.

Deoarece, în funcție de natura gazelor implicate, procesul de omogenizare al unui amestec în condiții de repaus poate dura un timp îndelungat (săptămâni), în prezent sunt folosite diverse sisteme pentru a ajuta la formarea unui amestec respirator omogen. Una din soluții este dispozitivul prezentat în figurile 4.9 și 4.10 denumit în cazul amestecului NITROX „NITROX Stick”.

O altă tehnică folosită adesea pentru omogenizarea amestecurilor de gaze este agitația mecanică (rotirea buteliei).

Oricare dintre soluțiile menționate anterior reduce considerabil timpii necesari formării unui amestec omogen. Astfel, prin agitație mecanică la o turație de 10 – 20 rot/min. omogenizarea unui amestec argon-dioxid de carbon 75/25 ($r_{Ar} = 0,75$, $r_{CO_2} = 0,25$), care în condiții de repaus conform experimentelor efectuate de Alfred Taylor, durează 45 zile se reduce la 1,5 ore.

Referitor la operațiunile de preparare a amestecurilor respiratorii și stocarea acestora în recipiente, trebuie precizat că în conformitate cu legile care guvernează amestecarea gazelor sub presiune în timpul compresiei temperatura gazului în recipient crește. Cu cât viteza compresiei este mai mare cu atât mai mare este temperatura gazului. În aceste condiții masa de gaz introdusă în recipient este mai mică decât în cazul în care procesul ar fi izotermic. În lucrarea [3] se precizază că în astfel de situații, pentru amestecurile realizate cu urmărirea presiunii din recipient, este interzisă efectuarea unor corecții ulterioare.

Deoarece gazele implicate în procesul de amestec nu sunt perfecte, chiar și în cazul unor procese izotermice pot apărea neconcordanțe. Când amestecarea gazelor are loc la temperatura camerei și la presiuni relativ mici aceste abateri sunt neglijabile. Aceste abateri nu sunt neglijabile atunci când procesul de amestecare are loc la presiuni mari și în recipiente cu volume mici [3].

BIBLIOGRAFIE

- [1] Albu C-tin. D., Brezeanu M. *Mică enciclopedie de chimie*; Edizura enciclopedică română; București 1974
- [2] Bruce R., Wienke and Timothy R., O'Leary, *Mixed Gas Decompression Theory With Algorithms And Statistics* RGBM Technical Series 6 NAUI Technical Diving Operations Tampa, Florida 33619
- [3] Degeratu M., Petru A., Georgescu Șt. *Aparate de respirat sub apa*, Editura MatrixRomBucuresti 2010
- [4] Degeratu, M., Petru, A., Ioniță.,S. *Manualul scafandrului*. Ed. Per Omnes Artes, București, 1999
- [5] Kireev V. A. *Chimie fizică*; Editura Tehnică, București 1962
- [6] Negoiu D. *Tratat de chimie anorganică – Chimie generală*; Editura Tehnică, București 1972
- [7] Petru A. *Hidraulica proceselor hiperbare* Teză de doctorat Universitatea tehnică de construcții București 1993
- [8] Șandru E., Bianchi A.M., Mihăilă C., Caluianu V., Antonescu N. *Termotehnică și aparate termice*; Editura Didactică și Pedagogică, București 1982
- [9] The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), *NOAA Diving Manual* U.S. Department of Commerce and Best Publishing Company 2011.
- [10] *** *U.S. Navy Diving Manual*; SUPERSEDES SS521-AG-PRO-010, REVISION 5, August 2005
- [11] <http://www.nitroxmadeeasy.com/Methods.htm>
- [12] http://www.boydski.com/diving/gear/compressor/mixing_stick.htm (schemă NITROX Stick)
- [13] <http://www.amigosdivecenter.com/stick.html>
- [14] <http://www-personal.umich.edu/~lpt/mixhistory.htm> - Diving With Gas Mixes Other Than Air by Larry "Harris" Taylor, Ph:D.
- [15] http://www.techdiver.ws/trimix_eng.shtml
- [16] <http://www.seasubsea.com/airquality/Air Quality Requirement for Nitrox Blending>