
**TESTE EXPERIMENTALE PRIVIND EFECTUAREA DE
SCUFUNDĂRI DE SISTEM SIMULATE ÎN BAROCAMERELE
LABORATORULUI HIPERBAR**



Conducător de doctorat

**Profesor Universitar Emerit
Dr. Ing. Mircea DEGERATU**

Student doctorand

Ing. Mihai DIACONU

CUPRINS

1	Expunerea la presiune și revenirea la presiunea atmosferică a scafandrului	3
1.1	<i>Calculul tabelor de decompresie</i>	3
1.1.1	Decompresia în trepte	3
1.1.2	Decompresia continuă	6
1.2	<i>Tehnologii de scufundare unitară cu aer comprimat.....</i>	7
1.3	<i>Tehnologii de scufundare unitară cu amestecuri NITROX supraoxigenate</i>	9
1.4	<i>Tehnologii de scufundare în saturație cu amestecuri respiratorii HELIOX.....</i>	10
1.5	<i>Tehnologii de scufundare în saturație cu amestecuri NITROX.....</i>	12
2	Teste experimentale prin efectuare de scufundări simulate în sistem	13
2.2	<i>Scufundare în saturație la adâncimea de 61m în laboratorul hiperbar.....</i>	13
2.2.1	Calculul, planificarea și pregătirea scufundării în saturație la adâncimea de viață 61 m (adâncimea de lucru 71m).....	13
2.2.1	Execuția scufundării experimentale în saturație la adâncimea de viață 61 m (adâncimea de lucru 71m).....	17
2.2	<i>Scufundare în saturație la adâncimea de 150m în laboratorul hiperbar.....</i>	20
2.2.1	Calculul, planificarea și pregătirea scufundării în saturație la adâncimea de viață 150 m (adâncimea de lucru 180 m)	20
2.2.2	Execuția scufundării experimentale în saturație la adâncimea de viață 150 m (adâncimea de lucru 180 m)	21
3	Procesul hidraulic automat	24
3.1	<i>Modelarea matematică a procesului</i>	25
3.2	<i>Determinarea configurației optime</i>	34
3.3	<i>Identificarea elementelor de hidraulică necesare.....</i>	34
4	Concluzii	38
	Bibliografie	38
	Anexa 1.....	40
	Anexa 2.....	52

1 Expunerea la presiune și revenirea la presiunea atmosferică a scafandrilor

Cea mai importantă etapă în elaborarea unei tehnologii de scufundare este reprezentată de etapa proiectării tabelului de decompresie pe baza teoriilor și modelelor matematice optime. Indiferent de modelul teoretic aflat la originea calculelor, există o regulă asumată în toate situațiile și anume aceea că pe timpul decompresiei presiunea componentei de gaz inert dizolvat la nivel tisular trebuie să fie mai mică sau egală cu nivelul maxim al presiunii admisibile.

Așa cum au fost definite în Raportul de cercetare nr. 1, există 2 spețe importante:

- Scufundarea unitară (autonomă sau de sistem);
- Scufundarea în saturație (cu suportul sistemelor dedicate).

Revenirea la suprafață (decompresia) se poate executa într-o manieră continuă, fără staționare la presiuni echivalente pe traseul ascensional sau discontinuă prin efectuarea unor etape de staționare (palieri).

În practica lucrului sub apă se utilizează frecvent metoda decompresiei continue pentru scufundările în saturație indiferent de adâncime și pentru cele unitare practicate peste adâncimea de 120m iar decompresia în trepte a devenit eligibilă pentru scufundări unitare practicate până la adâncimea de 120m. Există școli de scufundare care ignoră această "regulă" prin adoptarea unei metode hibride. Astfel, pe timpul unei decompresii continue derulate după o scufundare în saturație, execută un palier pe timpul nopții cu argumentul profilaxiei accidentelor de decompresie.

1.1 Calculul tabelelor de decompresie

1.1.1 Decompresia în trepte

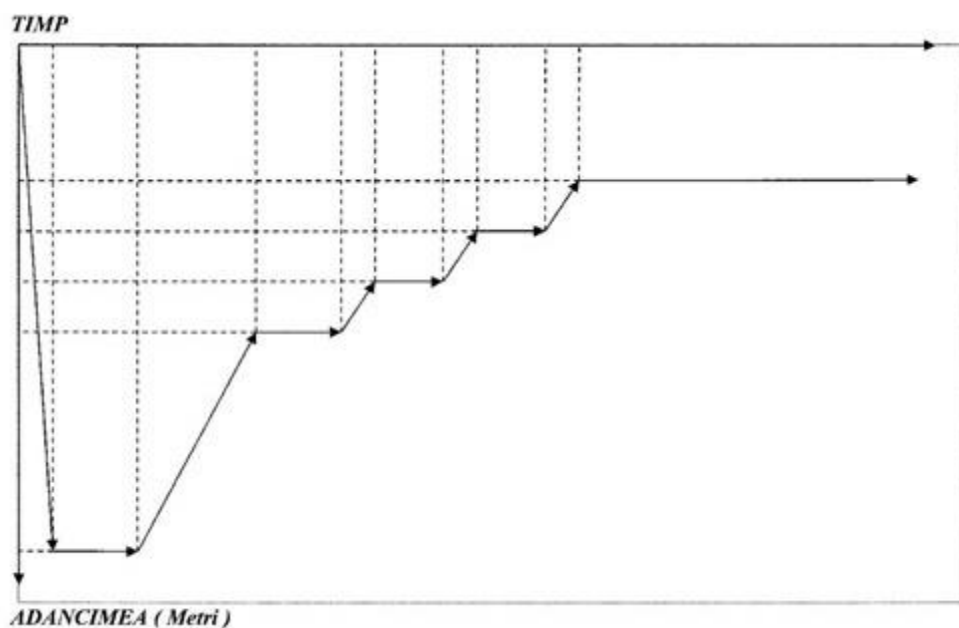


Fig. 1.1 Graficul unei decompresii în trepte

Graficul unei decompresii în trepte este caracterizat de 2 zone:

- Zona asociată traseului ascensional între nivelul de viață și prima staționare (palier);

- traseul specific executării perioadelor de decompresie la palier.

Viteza de urcare până la primul palier a fost unanim asumată de toate școlile de scufundare cu valori în intervalul 15-17m într-un minut. Pe timpul decompresiei pînă la treapta I, țesuturile care interesează modelul matematic nu au același comportament. O parte se desaturează rapid de gazul inert dizolvat (țesuturi rapide) în timp ce restul continuă procesul de saturare cu gaz inert (țesuturi lente).

Presiunea maximă admisibilă a gazului dizolvat la nivel tisular este strâns legată de determinarea momentului în care va avea loc prima staționare (p_{adm}). Acest parametru a debutat în calcule cu valoare determinată empiric. Această valoare a fost optimizată ulterior prin experimente în care au fost utilizați subiecți cu varietate comportamentală.

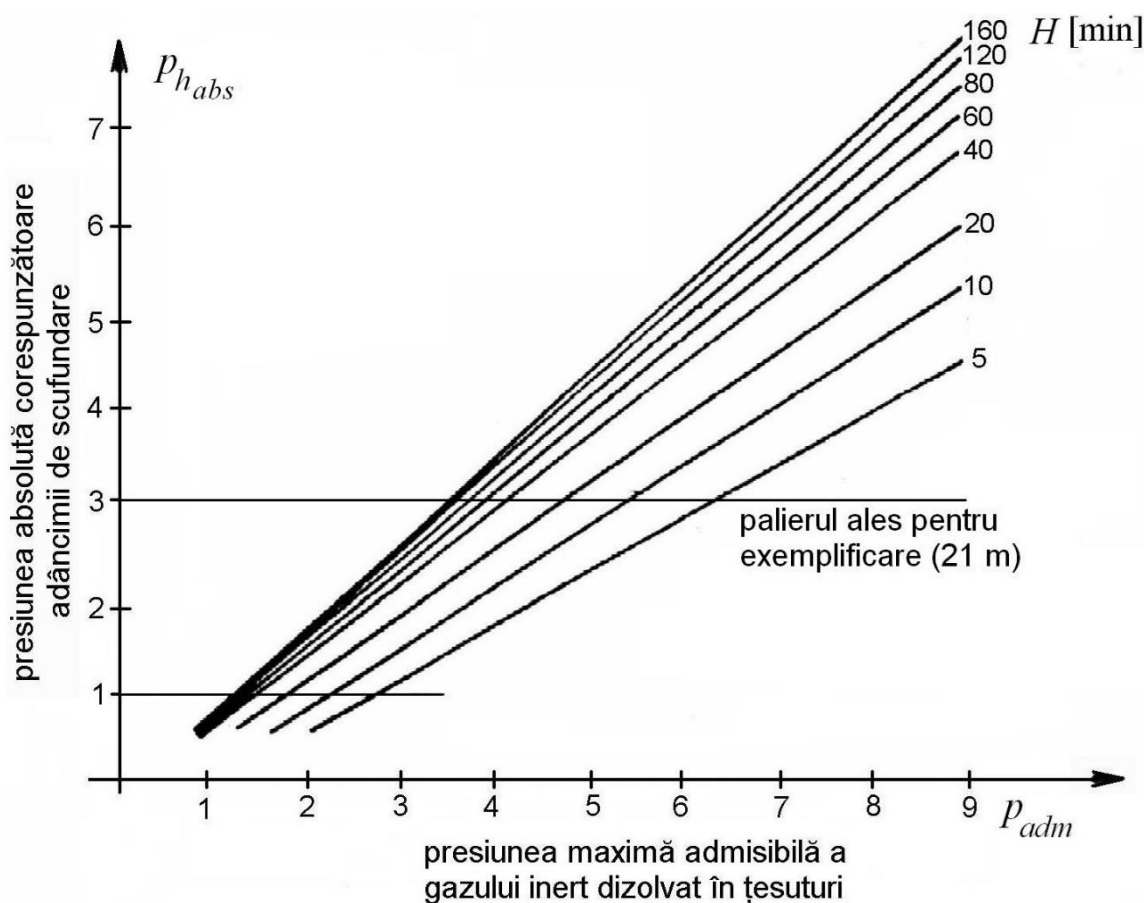


Fig. 1.2 Variațiile p_{adm} ale gazului inert dizolvat – scufundare unitară

Plecând de la fenomenul saturației, care se instalează în momentul în care presiunea parțială a gazului dizolvat în țesut devine egală cu cea a gazului inert din amestecul respirator, Haldane a introdus modelul suprasaturației în complex tisular. Acesta apare atunci când cea de-a 2-a presiune devine mai mare decât prima. Haldane a lansat de asemenea afirmația referitoare la gradientul de presiune a gazului dizolvat susținând faptul că viteza cu care progresează difuzia gazului inert în țesut este proporțională cu valoarea diferențială dintre cele 2 presiuni. Cu alte cuvinte, pe măsură ce se apropie instalarea saturației (diferența dintre presiunea parțială a gazului inert din amestecul

respirator și cea a gazului dizolvat în țesut devine din ce în ce mai mică), viteza de dizolvare a gazului inert scade substanțial.

Pentru generarea calculelor în procedeul decompresiei se alocă valori perioadelor de semisaturație.

Conform teoriei autohtone concepută, testată și validată în cadrul Laboratorului Hiperbar din Centrul de Scafandrii Constanța cu suportul specialiștilor din UTCB, pentru calculul tabelelor LH-82, s-a admis utilizarea compartimentelor de țesuturi cărora le corespund perioadele de semisaturație: 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 180. Pentru valori mari ale presiunilor și perioade de expunere se utilizează și categoriile de țesuturi cu perioade de semisaturație 160, 200 și 240 minute.

Primul palier de decompresie are loc acolo unde presiunea totală a gazului inert dizolvat într-un țesut pe scara absolută de presiune echivalentă adâncimii, depășește pentru prima dată presiunea maximă admisibilă. Pentru scufundări unitare NITROX treptele de decompresie din 3 în 3 metri protejează țesuturile datorită diferențelor mici de presiune.

Un exemplu de calcul privind nivelul expunerii țesuturilor se poate prezenta utilizând datele aerente adâncimii de 30 metri respectiv urcarea la prima treaptă de decompresie (palier).

Datele și valorile utilizate mai jos sunt determinat prin măsurători la nivelul țesuturilor pe parcurul a sute de scufundări experimentale efectuate de marile școli de scufundare inclusiv cea autohtonă.

Pentru complexul tisular cu $H=10$ min este corespunzător palierul de 3m unde se va efectua orirea decompresiei prin staționare. Aici presiunea totală a gazului inert $p_{ht}=3,164$ bar și este mai mare decât $p_{adm}=3,14$ bar. Pentru cel cu $H=20$ min este corespunzător palierul de 6m unde se va efectua orirea decompresiei prin staționare. Aici presiunea totală a gazului inert $p_{ht}=2,89$ bar și este mai mare decât $p_{adm}=2,61$ bar. Pentru cel cu $H=40$ min este corespunzător palierul de 6m iar $p_{ht}=2,35$ bar și este mai mare decât $p_{adm}=2,13$ bar. Compartimentul cu $H=80$ min este corespunzător palierul de 3m unde $p_{ht}=1,772$ bar este mai mare decât $p_{adm}=1,62$ bar. Din datele de mai sus se stabilește ca prim palier, palierul acoperitor de 6m fiind treapta de siguranță.

S-a determinat astfel primul palier și urmează să se stabilească timpii de staționare specifici pentru toate palierile. Pentru aceasta se iau în considerare datele caracteristice grupului de țesuturi în faza sosirii la primul palier:

- Viteza ascensională 15m/min;
- Pp a gazului inert din amestecul inițial care este de fapt o medie între pp de la adâncimea de scufundare și cea a presiunii echivalente primului palier:

$$p_{hgi} = \frac{p_{30gi}}{2} + \frac{p_{6gi}}{2} = 3,2/2 + 1,28/2 = 2,24 \text{ bar}; \quad (1.1)$$

- Timpul de expunere pe perioada ascensională până la primul palier:

$$t = \frac{\text{adâncimea totală (30)} - \text{primul palier (6)}}{\text{viteza de urcare (15)}} = 1,6 \text{ minute} \quad (1.2)$$

- Presiunea parțială a gazului inert din amestec p_{gi} . La decompresie aceasta tinde să egaleze pp a gazului inert dizolvat în țesuturi la presiunea echivalentă palierului următor.

În concluzie, pe perioada ascensiunii unele țesuturile încep desaturarea în timp ce altele încă dizolvă gaz inert. Compartimentul cu $H=10$ are grad suficient de desaturare pentru a permite revenirea la suprafață iar cel cu $H = 80$ este încă în proces de saturare.

O altă etapă este determinată de calculul timpilor de staționare la paliere. Pentru aceasta se folosesc parametrii:

$$F = \frac{p_{adm} - p_{ht}}{\Delta p_{gi}} \quad \text{unde } \Delta p_{gi} = p_{hgi} - p_{gi} \quad (1.3)$$

Unde:

p_{ht} este presiunea totală a gazului inert dizolvat într-un grup de țesuturi la pres. abs. a adâncimii totale sau a palierului imediat următor, după un timp de expunere t ;

Δp_{gi} diferența între pp a gazului inert din amestec la presiunea corespunzătoare palierului de decompresie și pp a gazului inert dizolvat în țesuturi.

Fracțiunea de gaz inert necesar a fi eliminată F se calculează:

$$F = 1 - 0,5^{t/H} \quad (1.4)$$

t este timpul petrecut la palier pentru eliminarea fracțiunii F din grupul de țesuturi cu perioada de semisaturație H .

Pentru a extrage timpul petrecut la palier se aplică $\ln$ pe relația $F = 1 - 0,5^{t/H}$ și se obține

$$t = 1,44H \ln(1-F) \quad (1.5)$$

grupul de țesuturi care are nevoie de cel mai mult timp pentru desaturare respectiv staționare mai mare la palier este acela care coordonează decompresia și se va numi compartiment de țesuturi director al decompresiei. Pentru acest grup director, pp a gazului inert dizolvat va fi egală cu presiunea admisibilă specifică palierului imediat următor.

1.1.2 Decompresia continuă

Este asociată scufundărilor unitare la peste 120 m adâncime și scufundărilor în saturație. Profilul revenirii la suprafață este similar ambelor scufundări. Având în vedere faptul că scufundările unitare la asemenea adâncimi sunt mai puțin frecvente, decompresia continuă este studiată în cadrul scufundărilor în saturație. Saturația s-a dovedit cea mai eficientă metodă în scufundarea profesională cu multiple avantaje:

- Compresie rapidă în mediul uscat (cheson, turelă) până la adâncimea de lucru;
- Incursiune în mediul umed conform unui grafic de efort fără limită de timp dependentă de stocuri de gaze;

- Revenire periodică în mediul uscat fără disconfort creat de modificări fiziologice dependente de gradientul de presiune sau metabolism tranzitoriu;
- La terminarea lucrului se trece prin algoritmul de decompresie coordonat de echipe suport la suprafață fiind eliminate stresul mediului ostil și erorile unei decompresii coordonate individual.
- La terminarea activității, bilanțul resuselor umane și materiale utilizate arată că scufundarea în saturație oferă economie și siguranță net superioare scufundării unitare.

Procesul de difuzie până la saturare precum și desaturarea țesuturilor depinde de tipul gazului inert ca variabilă importantă. Cele mai frecvent utilizate componente inerte din amestecuri sunt azotul și heliul. Pe structura acestora s-au dezvoltat teoriile de decompresie uzuale.

Profilul decompresiei continue este logaritmic având la debut o curbă abruptă numită *salt* urmată de una aplatizată numită *decompresie lentă*. Saltul înseamnă o urcare rapidă cu viteza de un metru pe minut pe o distanță ascensională de câțiva metri urmat de decompresia lentă care reprezintă etapa bine fundamentată pentru facilitarea fenomenului de desaturare totală.

Așa cum s-a prezentat anterior, se poate vorbi de saturație totală atunci când timpul de expunere a țesuturilor la presiunea mediului a fost suficient de mare iar presiunea parțială a gazului inert dizolvat în țesuturi devine egală cu presiunea parțială a gazului inert din amestecul respirator existent la nivel alveolar. Viteza de decompresie pe curba lentă este practic stabilită de C_{sc} (coeficientul de suprasaturație critic) care rezultă din condiția ca presiunea admisibilă să fie mereu superioară presiunii gazului inert dizolvat în complexul tisular cu H cel mai mare.

1.2 Tehnologii de scufundare unitară cu aer comprimat

Scufundările unitare cu aer (limita maximă 60 m) sunt caracterizate de durată mică de expunere a țesuturilor și corespund grupului tisular cu $H = 80$. Astfel acest compartiment de țesuturi se consideră desaturat după 480 minute (80×6). Din motive de siguranță, scafandrii pot executa o nouă scufundare (succesivă) la o distanță de 8 ore de la prima scufundare. Dacă se efectuează o nouă scufundare în interval mai mic de 8 ore, aceasta se consideră succesivă și în acest caz revenirea la suprafață se va executa cu algoritmi de decompresie extrași din tabelă diferită. Aceasta ia în calcul cuantumul de gaz rămas în țesuturi (saturație remanentă).

Calculate de diferite școli de scufundare, tabelele de decompresie diferă, de multe ori substanțial pe anumite zone de adâncime. În general la scufundările cu aer până în 57 m, curbele de securitate au profil diferit în intervalul 15-39m.

Unele școli de scufundare au respins ideea urcării rapide pe porțiunea de salt susținând că favorizează apariția accidentelor de scufundare. Cercetările efectuate în Laboratorul Hiperbar au demonstrat eficacitatea saltului, ducând la optimizarea timpilor de decompresie și totodată s-a infirmat riscul apariției accidentelor de decompresie datorate acestuia.

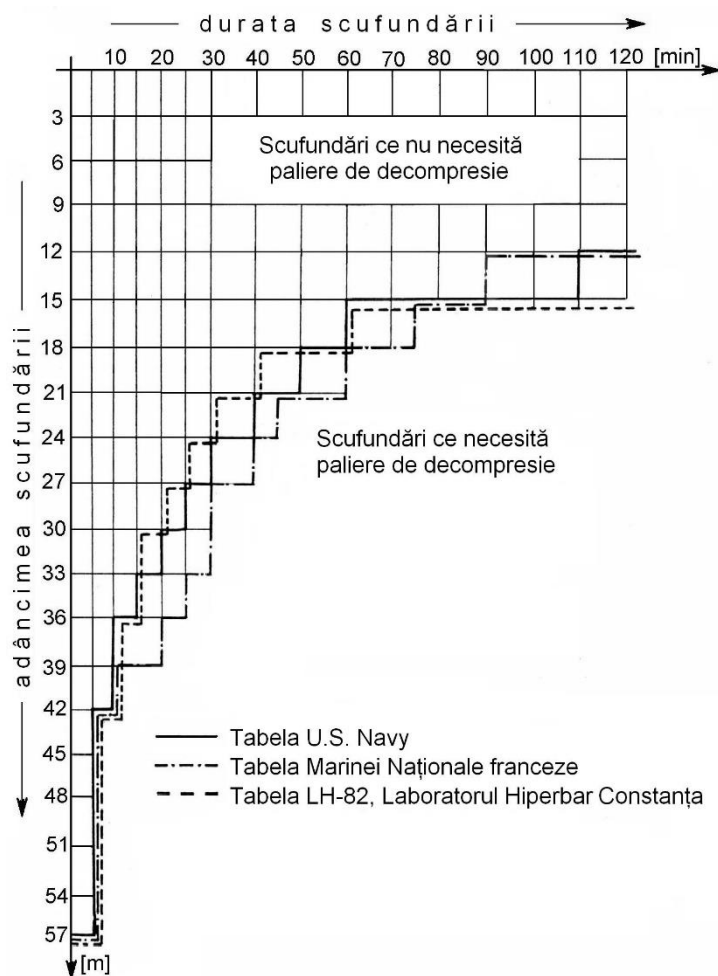


Fig. 1.3 Curbe de securitate relevate de diverse tabele de scufundare

Scufundările în afara curbei de securitate sunt cele care cer palieri de decompresie iar cele sub curba de securitate nu necesită palieri de decompresie.

Intervalul de 3 m între palieri este un parametru comun. Unele școli utilizează adâncimea de 15m pentru primul palier de decompresie utilizând apoi staționări mai lungi la 9m și 6m. Conform algoritmilor matematici pentru calculul decompresiei, palierele la adâncimi mari au fost generate plecând de la faptul că presiunea gazului inert dizolvat este inferioară presiunii admisibile.

Tabela autohtonă LH-82 susține eficiența palierelor la adâncimi mici luând în calcul o P_{adm} a gazului inert dizolvat în țesuturi mai mare. Experiența a demonstrat că acest lucru a optimizat timpii de decompresie crescând randamentul scufundării.

Palier (m)	LH-82 (minute)	U.S. Navy (minute)	Tabela elvețiană ZH-L ₁₂ (minute)	Royal Navy (minute)
15	-	-	-	6
12	-	-	-	13
9	19,4	10,4	26	16
6	35	45	44	50
3	57	77	44,5	50
Total	111,4	132,4	114,5	135

Tab.1 Studiu comparativ privind decompresia după o scufundare unitară cu aer executată la adâncimea de 30 cu timp de fund 120 minute

1.3 Tehnologii de scufundare unitară cu amestecuri NITROX supraoxigenate

Obiectivul principal în scufundare este creșterea randamentului pe fondul condițiilor depline de securitate a scafandrului. Acest lucru se realizează prin creșterea timpului de lucru la adâncime și scurtarea duratei decompresiei. O soluție la această problemă s-a dovedit utilizarea amestecurilor Nitrox supraoxigenate.

În practica scufundărilor cu Nitrox, Centrul de Scafandri Constanța a utilizat amestecuri supraoxigenate astfel: 30%, 40%, 50%, 60%. Pentru decompresie, toate teoriile în domeniu consideră oportună utilizarea tabelelor pentru decompresie după scufundări cu aer comprimat cu aplicarea unei ajustări de adâncime conform unei relații care calculează adâncimea echivalentă:

$$h_{echiv} = h \times \frac{P_{N2\text{ amestec}}}{P_{N2\text{ aer}}} \quad (1.6)$$

unde:

$P_{N2\text{ amestec}}$ este presiunea parțială a azotului din amestecul respirator;

$P_{N2\text{ aer}}$ este presiunea parțială a azotului din aer;

h_{echiv} adâncimea echivalentă;

h adâncimea scufundării.

În concluzie pentru decompresia ce trebuie executată după o scufundare cu amestec supraoxigenat, se folosește tabela pentru decompresie după scufundări cu aer comprimat intrând cu parametrul h_{echiv} , adâncimea echivalentă care este mai mic decât h .

În cadrul laboratorului hiperbar Constanța s-a testat și validat o metodă cu eficiență crescută pentru calculul tabelelor de decompresie Nitrox. Astfel s-a renunțat la procedeul adâncimii echivalente și s-a utilizat modelul matematic al tabelelor de decompresie pentru aer. Superioritatea metodei se reflectă în faptul că timpul necesar pentru revenire la suprafață este mult optimizat. Prin aproximațiile cumulative, procedura cu h_{echiv} devine a 2-a opțiune, având impact negativ asupra randamentului scufundării. Astfel, formula h_{echiv} este aproximativă prin formula sa iar faptul că la valoarea adâncimii echivalente se adaugă întotdeauna multiplu de 3 induce aproximarea cea mai mare.

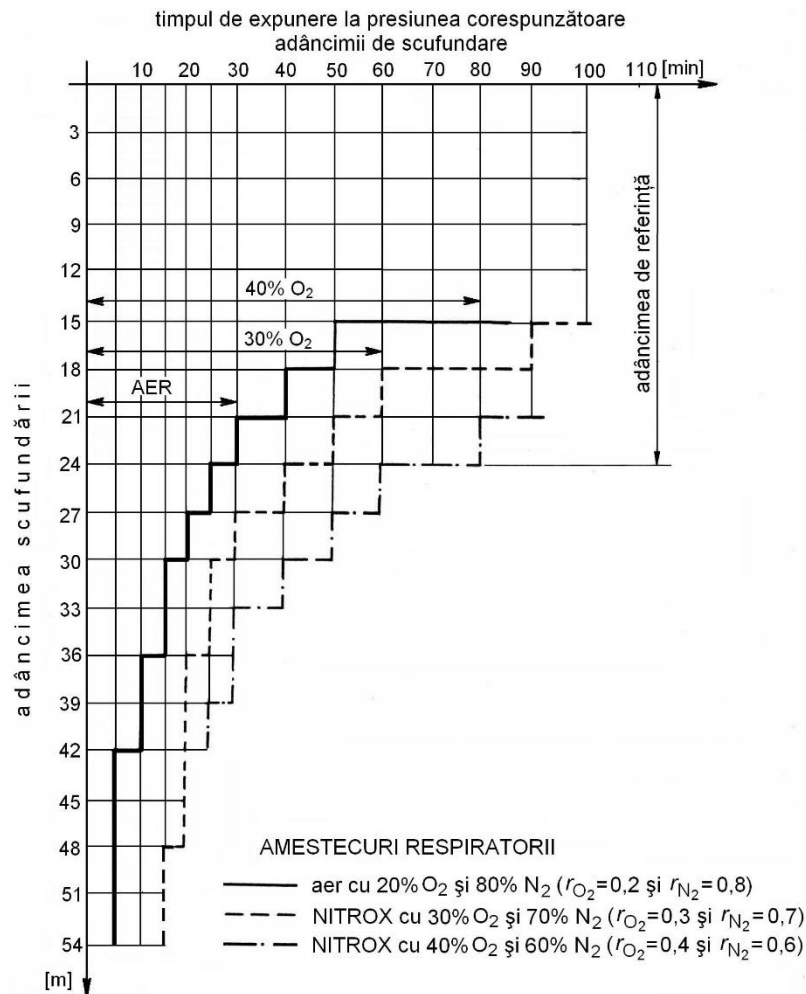


Fig. 1.4 Grafic comparativ pentru amestecuri cu diverse concentrații de oxigen

Din grafic se observă superioritatea utilizării amestecului cu 40% oxigen, respectiv se obțin adâncimi mari de scufundare, durată mai mare la adâncimea de lucru și timpi de revenire la suprafață mult reduși. Utilizarea amestecurilor supraoxigenete implică măsuri și precauții suplimentare aspect care le face să devină greu accesibile scufundătorilor cu puțină experiență și noțiuni subelementare despre teoria scufundării. Datorită faptului că oxigenul în exces își crește toxicitatea odată cu presiunea, scufundătorii parcurg o etapă specială de testare privind capacitatea acestora de a tolera oxigenul la presiune.

1.4 Tehnologii de scufundare în saturație cu amestecuri respiratorii HELIOX

Heliul este diluantul cel mai des folosit în saturații la adâncimi profunde (peste 57 m). Printre multe valențe oferite prezintă totuși riscul favorizării SNIP (sindromul nervos al înaltelor presiuni) în proximitatea adâncimii de 150m. Asocierea SNIP-ului cu prezența heliului nu este suficient fundamentată din punct de vedere medical. S-a demonstrat că atunci când amestecul Heliox este ușor impurificat cu azot (ex. se presurizează barocamera cu heliox fără vidare inițială, păstrând astfel pp a azotului din aerul atmosferic) incidența și amplitudinea SNIP este mult diminuată, sugerând astfel legătura între cele două. Prezența azotului este benefică la adâncime dar mărește riscul accidentelor de decompresie în ultimii metri pe perioada decompresiei.

În calculul decompresiei se stabilesc anterior mai mulți parametri:

- Presiunea parțială a oxigenului din amestec și valoarea ei maximă. Durata decompresiei are legătură directă cu concentrația oxigenului. O concentrație mai mare a acestuia în amestecul respirator generează timpi de decompresie mai scurți dar se ține cont că efectele negative datorate toxicității apar direct proporțional cu presiunea și cu timpul de expunere. Parametrul UPTD reprezintă doza de toxicitate pulmonară și determină limita maximă a presiunii parțiale a oxigenului. Astfel pentru saturații cu limita de adâncime 300m se poate respira în condiții de securitate oxigen cu presiunea parțială 600 milibari. La scufundări mai profunde, unde perioada de decompresie depășește 6-7 zile, la debutul decompresiei se utilizează $p_{O_2} = 0,6$ bar după care scade la 0,5 bar, valoare foarte bine tolerată pe durată îndelungată. Prin cercetările efectuate în Laboratorul Hiperbar, s-a creat oportunitatea de a optimiza tehnologiile de decompresie după specificul și necesitățile scufundării.

- Determinarea grupului tisular cu perioada de semisaturație superioară celorlalte grupuri. Școlile internaționale de scufundare sunt unanim de acord cu grupurile $H = 300$ și $H = 500$ ca fiind compartimentele cu cele mai lungi perioade.

- Gradientul presiunii admisibile (căderea de presiune admisibilă) [1] în raport cu adâncimea de expunere. Căderea de presiune admisibilă este utilizată pentru determinarea C_{sc} . Cercetătorii au convenit pe plan internațional că practic acest coeficient de suprasaturație critic variază cu presiunea (în proximitatea suprafeței are valoarea 3 iar la adâncimi profunde valoarea aproximativ unitară).

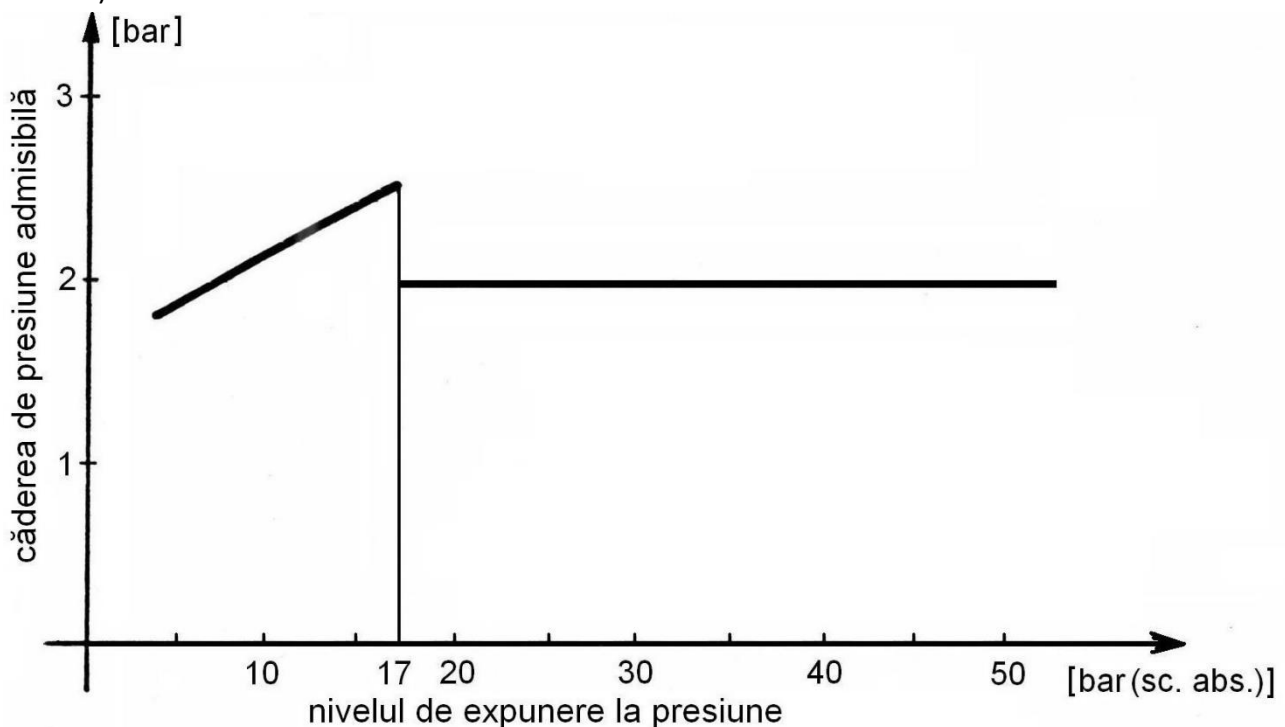


Fig. 1.5 Valori ale căderii presiunii admisibile determinate și folosite în cadrul cercetărilor din Laboratorul Hiperbar Constanța

Conform graficului din fig. 1.5 se observă existența unui prag al căderii de presiune în jurul adâncimii de 160m. Acest prag este consecință a faptului că pp a gazului inert din amestecul inițial scade în urma trecerii pp oxigen de la nivelul 0,5bar, la nivelul 0,6 bar.

Tehnologiile de scufundare în saturație cu amestecuri heliox utilizează până la adâncimea de 500m, modelul suprasaturație 300 (grupul țesuturi cu perioada cea mai mare de suprasaturație).

Parametrii saltului în prima porțiune a decompresiei. Porțiunea de salt se determină făcând comparație între presiunea parțială a gazului inert din amestecul respirator și presiunea maximă admisibilă a aceluiași gaz dizolvat în grupul de țesuturi cu $H = 300$.

1.5 Tehnologii de scufundare în saturație cu amestecuri NITROX

Metodele de calcul pentru determinarea tehnologiilor de scufundare în saturație cu amestecuri NITROX sunt asemănătoare cu cele HELIOX prezentate anterior. Deosebiri esențiale sunt datorate, conform cercetătorului Bühlmann, diferenței de greutate moleculară a gazului inert. Acesta a concluzionat că este perfect aplicabil enunțul legii Graham conform căreia viteza de difuzie a unui gaz într-un lichid este invers proporțională cu radicalul masei moleculare a gazului.

$$v_{\text{dif,He}} = \frac{F}{\sqrt{G_M}} = \frac{F}{\sqrt{4}} = 0,5 F \quad (1.7)$$

$$v_{\text{dif,Azot}} = \frac{F}{\sqrt{G_M}} = \frac{F}{\sqrt{28}} = 0,18898 F \quad (1.8)$$

F este o variabilă care ține de natura țesutului în care se produce difuzia;

G_M este masa moleculară a gazului inert (heliu sau azot).

Profesorul Bühlmann a găsit faptul că saturarea și desaturarea în cazul he se face cu viteză de 2,65 ori mai mare decât în cazul azotului.

$$\frac{v_{\text{dif,He}}}{v_{\text{dif,Azot}}} = 2,65 \quad (1.9)$$

Din cele 16 compartimente de țesuturi alocate diferitelor perioade de semisaturație, se consideră cele reprezentative pentru decompresia după scufundare în saturație astfel:

- Pentru cele cu $H=240$ min în cazul amestecului HELIOX corespunde un grup tisular cu $H=636$ min în cazul amestecului NITROX;
- Pentru cele cu $H= 300$ în cazul amestecului HELIOX corespunde un grup tisular cu $H=795$ min în cazul amestecului NITROX.

Specialiștii Laboratorului Hiperbar din Constanta au considerat că formula vitezei de difuzie a gazului inert poate fi optimizată considerând pe lângă legea lui Graham și legea lui Henry care leagă viteza de difuzie de solubilitatea gazului. Astfel:

$$v_{\text{dif,He}} = \frac{\Sigma}{\sqrt{G_M}} \quad (1.10)$$

Σ este solubilitatea gazului inert în apă,

Astfel relațiile anterioare vor fi rescrise:

$$v_{\text{dif,He}} = \frac{0,009}{\sqrt{4}} = 0,0045 F \quad (1.11)$$

$$v_{\text{dif,azot}} = \frac{0,015}{\sqrt{28}} = 0,002834 F \quad (1.12)$$

Valoarea raportului între cele 2 viteze de difuzie descrește de la 2,65 la 1,6. Cu aceste date cercetările autohtone au stabilit că $H_{He} = 240$ min corespunde $H_{N_2}=384$ min iar $H_{He} = 300$ min corespunde $H_{N_2}= 480$ min. S-au elaborat astfel tehnologii de scufundare în saturație cu NITROX folosind pentru început $H_{N_2}= 400$ min. Din nefericire această valoare a perioadei de semisaturație nu a dovedit siguranță, incidența accidentelor de decompresie fiind de 13%. Pentru optimizare s-au recalculat tabelele folosind modelul $H_{N_2}= 480$ min. Multiplele scufundări în saturație efectuate cu tabelele calculate după modelul $H_{N_2}= 480$ min nu au prezentat niciun accident de decompresie validând astfel calculul optimizat al vitezei de difuzie.

2 Teste experimentale prin efectuare de scufundări simulate în sistem

2.2 Scufundare în saturație la adâncimea de 61m în laboratorul hiperbar

2.2.1 Calculul, planificarea și pregătirea scufundării în saturație la adâncimea de viață 61 m (adâncimea de lucru 71m)

DATE DE CALCUL:

Adâncime de viață: 61 metri;

Gazul utilizat la adâncimea de viață: Heliox;

Compoziție: 5,6% O₂

Adâncime de lucru: 71 metri;

Gazul utilizat la adâncimea de lucru: Heliox;

Compoziție: minim 5,5% O₂

maxim 9,2% O₂

Scafandri: 4 persoane;

Timpu de scufundare: 48 ore

Nr. Crt.	Funcția	Nr. persoane
1	Șef scufundare (șantier)	1
2	Șefi tură (agenți tehnici de saturație)	3
3	Analști	1
4	Chesonști	3
5	Tehnicieni	3
6	Personal medical (medic, asistent)	3

Tab. 2.1 Componența echipei de suprafață

PLANIFICARE:

1. Planul de utilizare a gazelor:

a. Stoc existent;

- b. Graficul de utilizare la comprimare, pe faze;
 - c. Graficul de utilizare pe timpul staționării la adâncimea de viață;
 - d. Graficul de utilizare la comprimarea până la adâncimea de lucru;
 - e. Graficul de decompresie de la adâncimea de lucru la adâncimea de viață;
 - f. Graficul de utilizare la decompresie, pe faze.
 - g. Stocul de gaz pentru situații de urgență:
 - accident de decompresie;
 - incendiu în barocameră;
 - contaminarea barocamerei;
 - contaminarea simulatorului la nivelul de lucru;
2. Programul de comprimare;
- a. Viteza de comprimare;
 - b. Gazul utilizat;
 - c. Proceduri de urgență;
3. Programul de supraveghere a aparaturii, responsabilități;
4. Proceduri de pregătire a scufundării și de după scufundare;
5. Planul detaliat al fiecărei zile;
6. Registrele care trebuie completate;
- a. Registrul de scufundare;
 - b. Registrul de scufundare în saturație;
 - c. Planul verificărilor prealabile;
 - d. Registrul accidentelor de scufundare;
7. Procedurile de urgență, pentru fiecare situație posibilă;
8. Asigurare logistică:
- a. Echipament de scufundare individual;
 - b. Scule și instrumente de lucru;
 - c. Echipament personal;
 - d. Hrana;
 - e. Apa potabilă;
 - f. Apa sanitară;
 - g. Obiecte pentru timpul liber;
 - h. Medicamente;
 - i. Aparatură mass-media.

PROCEDURA

COMPRIMARE

- 1. Pornirea sistemului de regenerare;
- 2. Presurizare cu heliox până la o adâncime determinată de compoziția acestuia;
- 3. Presurizare cu heliu pur până la adâncimea de viață;
- 4. Viteza de presurizare: 1 metru/minut;

5. Dacă este nevoie, se adaugă oxigen pentru menținerea presiunii parțiale a oxigenului în limitele 380-420 milibari.

LA NIVELUL DE VIAȚĂ

1. Adâncimea minimă = adâncimea nivelului de viață;
2. Adâncimea maximă = adâncimea nivelului de viață + 1 metru;
3. Compoziția atmosferei din incintă:
 - a. Presiunea parțială a oxigenului = 380-420 milibari, ideal=400 mbar;
 - b. Presiunea parțială a bioxidului de carbon = maxim 6 milibari, absorbantul trebuie schimbat în maximum 1 oră, se pornește scrubber-ul (filtrul de CO₂);
 - c. Presiunea parțială a azotului = maxim 1,6 bari;
 - d. Umiditatea 60 - 80%;
 - e. Temperatura atmosferei din incintă = 28 - 32°C.

COMPRIMARE DE LA NIVELUL DE VIAȚĂ LA NIVELUL DE LUCRU

Se comprimă cu gaz de fund: heliox 5,5 - 9,2% O₂

Viteza de comprimare: opțională, funcție de scafandri.

LA NIVELUL DE LUCRU

Gazul utilizat = heliox-ul;

Compoziție: presiunea parțială a oxigenului: ideal = 600 milibari, în practică între 420 - 750 milibari, gazul utilizat este deja stabilit: heliox cu 5,5 - 9,2% O₂.

DECOMPRIMARE DE LA NIVELUL DE LUCRU LA NIVELUL DE VIAȚĂ

Viteza de decompresie = 1 metru /minut

Nu există limite pentru durata între două incursiuni la nivelul de lucru.

Nivelul oxigenului este lăsat să scadă prin consum metabolic până la valoarea prescrisă pentru nivelul de viață: 380-420 mbar, ideal 400 mbar

DECOMPRESIA FINALĂ

Se efectuează în trei faze:

1. Saltul - o decompresie rapidă, cu viteza de 1metru / minut, amplitudinea este dictată de timpul petrecut de oricare dintre scafandri la nivelul de viață, după ultima incursiune la nivelul de lucru.

2. Faza a II-a, care se desfășoară până la adâncimea de 15 metri.

Caracteristici: - presiunea parțială a O₂ este de 600 - 630 mbar (ideal 600 mbar).

- viteze de decompresie: între 61 și 20 m = 35 min/m

între 20 și 15 m = 40 min/m

3. Faza a III-a, care se desfășoară între 15 m și suprafață

Caracteristici: - concentrația O₂ este de constanta = 24% (24 - 25%)

- În cazul în care în ultimii 10 metri sunt întâmpinate dificultăți de menținere a temperaturii din incintă sau scafandrii simt furnicături, barocamera se va ventila cu aer, având grijă ca nivelul oxigenului din incintă să rămână la valoarea de 24%.

Compresia: $V = 1 \text{ m}^3/\text{min}$, $t = 61 \text{ minute}$

Decompresia:

Faza I $P_{pO_2} = 600 - 630$ mbar (ideal 600 mbar).

Etapa 1 - saltul = 6 metri

Viteza = 1m/min.

Durata = 6 minute

Etapa a II-a: Palier pentru prelevare de probe sangvine

Adâncimea = 55 metri

Durata = 3 ore

Faza a II-a, $P_{pO_2} = 600 - 630$ mbar (ideal 600 mbar).

Etapa I - decompresie între 55 metri si 20 m

Viteza = 35 min/m

Durata= 1225 minute

Etapa a II-a Palier de 2 ore - prelevare probe de sânge

Etapa a III-a decompresie între 20 metri si 15 m

Viteza = 40 min/m

Durata = 200 minute

$P_{pO_2} = 600 - 630 \text{ mbar}$ (ideal 600 mbar).

Faza a III-a Concentratie O₂ = 24% (24 - 25%)

Etapa I între 15 și 10 m

Viteza = 40 min/m

Durata = 200 minute

Concentrație O₂ = 24% (24 - 25%)

Etapă a II-a între 10 și 5 metri

Viteza = 45 min/m

Durata = 225 minute

Concentrație O₂ = 24% (24 - 25%)

Etapa a III-a între 5 metri și suprafață

Viteza = 50 min/m

Durata = 250 minute

Concentrație O₂ = 24% (24 - 25%)

Total decompresie = 2406 minute = 40 ore și 6 min (1zi, 16h, 6 min)

PERIOADA SCUFUNDARE = 5 zile

STOC DE GAZ NECESAR

Vol. baroc. + Vol. părții uscate a simul. + V instalații = 21 mc + 14 mc + 5 mc = 40 mc

Presurizare cu heliox

$V_{\text{gaz presurizare barocameră + simulator + instalații, la nivelul de viață}} = 40 \times 6,1 \text{ bar} \times 1,5 = 366 \text{ Nmc}$

$V_{\text{gaz presurizare simulator de la nivel de viață la nivel de lucru}} = 14 \times 0,8 \text{ bar} \times 1,5 = 17 \text{ Nmc}$

$V_{\text{gaz respirat de scaf.la mască}} = 40 \text{ NI/min pers} \times 7,1 \text{ bar} \times 4 \text{ pers.} \times 90 \text{ min} \times 1,5 = 153 \text{ Nmc}$

V total = aprox 700 Nmc

Grad de recuperare = 90 %

Nr. crt.	Recipientul	% Oxigen	Presiune(bar)	Cantitate (Nmc)	Cuplare	Utilizare
1	B15	4,5	175	175	He _{sec}	Presurizare până la adâncimea de 40 metri
2	B14	0,9	175	175	He _{sec}	Presurizare de la adâncimea de 40 metri la 61 metri
3	R15	10,8	46	20,7	D1	Completare la nivelul de viață
4	S5	16,3	150	90	23/77	Tratament blow-up
5	R10	7,9	164	73,8	D2	Presurizare la nivelul de lucru
6	R14	7,2	176	79,2	TRT _{serv}	Respirație scafandri la mască
7	R10	7,9	164	73,8	TRT _{sec}	Securitate respirație scafandri la mască
8	S1	18,1			D2	Presurizare medie

Tab. 2.2 Stocul gazelor pe recipiente și destinația acestora

2.2.2 Execuția scufundării experimentale în saturație la adâncimea de viață 61 m (adâncimea de lucru 71m)

1. OBIECTIVE

- Antrenamentul scafandrilor pentru scufundări în saturație cu HeOx, la adâncimea de lucru de 71 metri, în condiții de apă rece și vizibilitate redusă;
- Antrenarea echipelor de suprafață în supravegherea parametrilor ambianței și conducerea scufundărilor;
- Studiu privind modificările biochimice sanguine survenite în timpul perioadelor de hiperbarie de lungă durată.

2. CARACTERISTICILE SCUFUNDĂRII

- adâncimea maximă, 71 metri;
- durata presurizării, 61 minute;

- viteza de presurizare, 1 m / min;
- nivelul de viață, 61 metri;
- nivelul de lucru, 71 metri;
- durata staționării la nivelul de viață, 46 ore;
- durata decompresiei, 35.1 ore;
- durata reprizelor de lucru în apă, min.3 ore;
- durata totală a scufundării, 5 zile.
- tabela de scufundare utilizată, COMEX;

3. AMESTECURI RESPIRATORII

- amestec de presurizare, HeOx 5,5% până la 30 m ; 0,9% între 40 - 60 m
- amestec respirator la nivel lucru, HeOx 5,5 - 9,2% la 71 m
- amestec respirator la nivel de viața HeOx 5,35 - 5,9 la 61 m
- amestecuri terapeutice. heliu-oxigen, astfel:
 - ✓ 18/82 HeOx
 - ✓ 23/77;HeOx
 - ✓ 50/50;HeOx
 - ✓ oxigen pur.

4. Parametri menținuți

- % O₂ - nivel de viață - 380 - 420 mb
 - nivel de lucru - 420 - 750 mb;
 - decompresie - 600 mb până la 15 m și 24% până la suprafață
- % CO₂ - maxim 6 mb (optim nelimitat);
- umiditate - 60-80° .H
- viteze de decompresie :
 - între 71 - 61 m 1 min/m
 - între 61 - 55 m, salt pentru decompresia finală 1 min/m
 - între 55 - 20 m 35 min / m
 - între 20 - 10m40 min / m
 - între 10 - 5 m 45 min / m
 - între 5 - 0 m50 min / m

5. Profilul scufundării

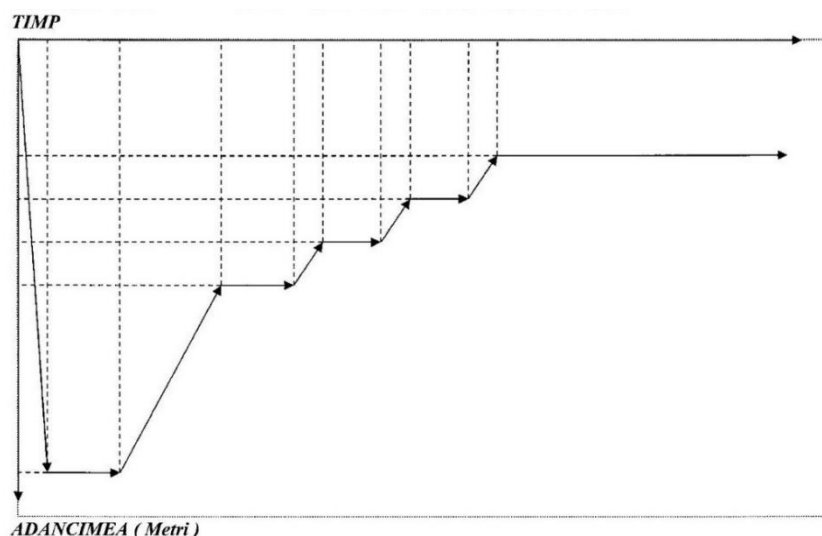


Fig. 2.1 Profilul scufundării

6. Organizarea scufundării

Scafandri: 4 persoane

Echipa de suprafață: 14 persoane

7. Programul echipei de suprafață

- serviciul s-a executat în ture după un program de 12 ore cu 24 ore

8. Programul scufundării

Timp operativ	Activitatea	Stoc de gaz utilizat	Observații
ZIUA I	12.00 Începerea presurizării	$B_{15} - 150 \text{ bari} / 5,5\%, 0 - 40 \text{ m}$ $B_{14} - 150 \text{ bari} / 0,9\%, 40-61 \text{ m}$	Şef scufundare 1
	13.00 Încheierea presurizării		Şef scufundare 1
	14.00 Masa de prânz		
	15.00 Odihnă		
	15.45 Pregătire pentru scufundare	- $TRT_1 =$ - $TRT_s =$ - presurizare SIM = - respirație 23 / 77 =	
	16.00 Scufundare Echipa I Echipa II - - Bell-man Bell-man -	$R_{10} - 164 \text{ bari} / 7,9\%$ $R_{14} - 176 \text{ bari} / 7,2\%$ $S_{10} - 182 \text{ bari} / 6,3\%$	
	18.45 Predarea turei	- amestecuri de presurizare - $D_1 =$ - $D_2 =$ - $He =$ - amestecuri respiratorii - 23 / 77 - analizoare etalonate - truse de intervenție	parametri ambiante – adâncime = - % $O_2 =$ - % $CO_2 =$ - $H =$ - $T^\circ =$
	20.00 Cina		
	21.00 Odihnă		
ZIUA II	06.45 Predarea turei	- amestecuri de presurizare - $D_1 =$ - $D_2 =$ - $He =$ - amestecuri respiratorii - 23 / 77 - analizoare etalonate - truse de intervenție	parametri ambiante – adâncime = - % $O_2 =$ - % $CO_2 =$ - $H =$ - $T^\circ =$
	07.00 Mic dejun		
	07.30 Timp la dispoziție		
	08.00 Pregătire pentru scufundare	- $TRT_1 =$ - $TRT_s =$ - presurizare SIM = - respirație 23 / 77 =	
	08.30 Scufundare Echipa I Echipa II - - Bell-man Bell-man		

		-		
11.00	Gustare			
11.30	Timp la dispoziție			
14.00	Masa de prânz			
14.30	Odihnă			

Etc.

Tab. 2.3 Programul scufundării în saturație cu Heliox la adâncimea de viață 61m

* Anexa 1: tabel cu decompresia „nivel de lucru-nivel de viață”-1 pagină; tabel cu decompresia finală 12 pagini.

2.3 Scufundare în saturație la adâncimea de 150m în laboratorul hiperbar

2.3.1 Calculul, planificarea și pregătirea scufundării în saturație la adâncimea de viață 150 m (adâncimea de lucru 180 m)

1. Obiective

- Antrenarea scafandrilor în executarea de lucrări sub apă la mare adâncime;
- Extinderea posibilităților tehnologice de scufundare și prelevarea de date fizice și fiziologice necesare întocmirii temelor de cercetare;
- Verificarea echipamentelor de scufundare.

2. Perioada: 7 zile

3. Prelevarea de date fiziologice pentru punerea în evidență după cum urmează:

- Performanța psihometrică;
- Sindromul neurologic al înaltelor presiuni (SNIP);
- Modificări encefalografice (treaz și somn) pe timpul staționării la adâncimea de viață;
- Evaluarea produșilor de metabolism prin urină;
- Detecția ultrasonoră a bulelor circulante în sânge.

4. Prelevarea de date fizice pentru:

- menținerea parametrilor ambianței;
- eficiența instalației de recuperare a gazelor;
- extinderea tehnologiilor de scufundare prin executarea de scufundări de intervenție la 20-30m peste adâncimea corespunzătoare nivelului de viață.

5. Caracteristicile scufundării:

- Nivel de viață: 150m;
- Nivel de lucru: 160m; 170m; 180m;
- Durata compresiei: 4h 30min;
- Durata staționării la nivelul de viață: 57h 30min;
- Durata decompresiei: 3 zile 12h 35 min;
- Durata totală a scufundării: 6 zile 2h 35 min;

6. Amestecuri sintetice:

- De fund: 2,5-4,3% O₂;
- Nivel de viață: 2,5% O₂;
- Terapeutice (funcție de adâncime): 10% O₂; 18% O₂; 23% O₂; 50% O₂; 100% O₂.

2.3.2 Execuția scufundării experimentale în saturație la adâncimea de viață 150 m (adâncimea de lucru 180 m)

Data, ora	Activitatea în incinta hiperbară	Parametrii prelevați
Ziua 1, 10.00 14.30	Începerea compresiei Terminarea compresiei	Parametrii fizici: temperatură, presiune; P_pO_2 ; P_pCO_2 ; P_pN_2 ; Parametrii fiziologici: testare SNIP
14.30 17.30	Teste, odihnă, masa de prânz	Teste psihometrice: dexteritate digitală, ordonare de cifre, timp de reacție vizuală, dexteritate manuală (conform protocolului de prelevare a acestor parametrii); Produși ai metabolismului în urină; Parametrii fizici ai ambianței hiperbare.
17.30 20.00	Executarea unei lucrări de asamblare a tubulaturii în simulator cu o echipă de 2 scafandrii	Temperatura apei 5-7° C; Dexteritate manuală în lucru la mare adâncime; Detectia cu ultrasunete a bulelor circulante în sânge imediat după sosire la nivelul de viață (din oră în oră până la ora 22.00); Metaboliți în urină; Parametrii fizici ai ambianței hiperbare.
20.00 22.00	Dectecție de bule, repaus, masa de seară	Dectecția cu ultrasunete a bulelor circulante în sânge imediat după sosire la nivelul de viață (din oră în oră); Parametrii fizici ai ambianței hiperbare;
22.00	Stingerea	Înregistrări de trasee EEG la 1-2 subiecți pe timpul somnului; Parametrii fizici ai ambianței hiperbare; Parametrii fiziologici: TA, t° .
Ziua 2 06.30 07.30	Deșteptarea, masa, Repaus	Metaboliți în urină
08.00	Scufundare de intervenție la 170m. Durata scufundării: 60 min. Lucrare de executat: demontarea tubulaturilor. Echipa 1.	Viteza de decompresie: 0,5 min/m (timpul de decompresie: 10min) Detectia de bule la sfârșitul decompresiei; Parametrii fizici: P_pO_2 ; P_pCO_2 .
09.10 17.00	Repaus, masa	Dectecția bulelor din oră în oră; Parametrii fizici: temperatură; P_pO_2 ; P_pCO_2 ;
17.00 19.30	Scufundare de intervenție la 170m. Durata scufundării: 120 min. Lucrare de executat: montarea tubulaturilor. Echipa 2.	Viteza de decompresie: 0,5 min/m (timpul de decompresie: 10min) Detectia de bule la sfârșitul decompresiei; Parametrii fizici: P_pO_2 ; P_pCO_2 ;
19.30 22.00	Repaus, masa de seară	Metabolism urinar; Parametrii fizici; Parametrii fiziologici: TA, t° , EKG, puls. Detectia de bule din oră în oră.
22.00	Stingerea	
Ziua 3 06.30 07.30	Deșteptarea, masa, Repaus	Metaboliți în urină
08.00 09.30	Scufundare de intervenție la 180m. Durata scufundării: 60 min. Lucrare de executat: verificarea la presiune/etanșeitate a ansamblului de tubulaturi montat. Echipa 1.	Viteza de decompresie: 1min/m (timpul de decompresie: 30min) Detectia de bule la sfârșitul decompresiei; Parametrii fizici: P_pO_2 ; P_pCO_2 .
09.30	Repaus, masa prânz și de seară	Dectecția bulelor din oră în oră;

22.00		Metabolism urinar; Parametrii fizici; Parametrii fiziologici: TA, t°, EKG, puls.
22.00	Stingerea	
Ziua 4 00.00 Ziua 5 Ziua 6 Ziua 7	Decompresia. Program lejer	Detecția de bule: dimineața și seara; Metabolism urinar; Parametrii fizici; Parametrii fiziologici: TA, t°, EKG, puls.

Tab. 2.4 Programul scufundării în saturație cu Heliox la adâncimea de viață 150m



Fig.2.2 Testul de modificări EEG la 150m în cadrul evaluării SNIP



Fig.2.3 Testul de tremor postural la 150m în cadrul evaluării SNIP

Plan de activități pentru pregătirea saturației:

- ✓ Verificarea tablourilor de distribuție și a traseelor pneumatice;
- ✓ Verificarea și remedierea deficiențelor la instalațiile electrice și de comunicații;
- ✓ Igienizarea chesoanelor și a simulatorului;
- ✓ Umplerea simulatorului cu apă;
- ✓ Răcirea apei din simulator;
- ✓ Verificarea și pregătirea aparaturii medicale;
- ✓ Instalarea detectorului de bule în simulator;
- ✓ Pregătirea amestecurilor de scufundare;
- ✓ Stabilirea tehnologiei de scufundare;
- ✓ Încărcarea bateriilor de acumulatori;
- ✓ Simularea unei defecțiuni la rețeaua electrică și trecerea pe alimentare de la generatorul de avarie;
- ✓ Instrucțaj de protecție a muncii.

Nr. Crt.	Funcția	Nr. persoane
1	Șef scufundare (șantier)	1
2	Șefi tură (agenți tehnici de saturație)	3
3	Analști	1
4	Chesonști	3
5	Tehnicieni	3
6	Personal medical (medic, asistent)	3

Tab. 2.5 Componenta echipei de suprafață

* Anexa 2: tabel cu decompresia „nivel de lucru-nivel de viață”-1 pagină; tabel cu decompresia finală 5 pagini.

Profilul scufundării

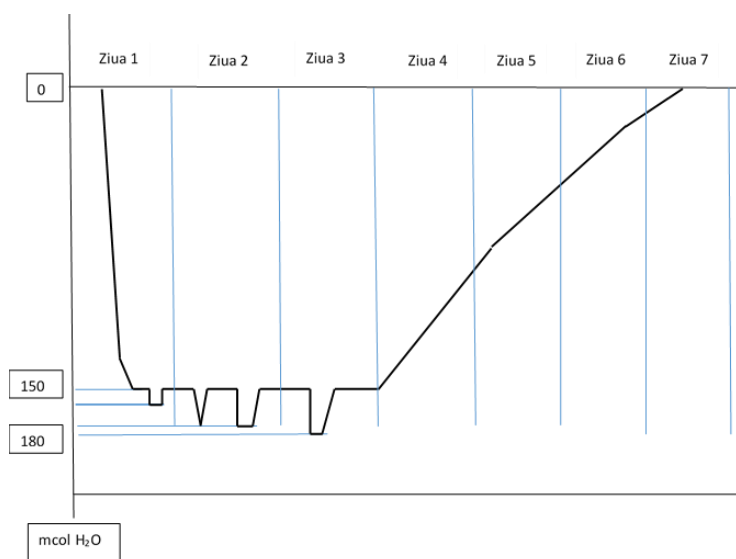


Fig. 2.1 Profilul scufundării în saturație cu amestec heliox la nivel de viață 150m

3 Procesul hidraulic automat

În această etapă, proiectul își propune să înlăture limitările operaționale induse de lipsa automatizărilor în cadrul proceselor de scufundare. Prin abordarea propusă se realizează o bună urmărire a profilului de presurizare și decompresie precum și o bună repetabilitate și acuratețe în respectarea curbelor de siguranță. De asemenea, după implementarea proiectului, nu va mai fi necesară dublarea echipelor de suprafață pe timpul activităților de scufundare, ca măsură de siguranță impusă de probabilitatea unor intervenții umane eronate sau a monitorizării superficiale în proces. Pentru a da valoare și aplicabilitate generală, studiul va începe cu o modelare matematică a procesului automat și determinarea unei configurații optime a sistemului, pentru o incintă hiperbară generică. Cercetarea poate fi particularizată pentru incintele hiperbare ale Centrului de Scafandri (ASS-500 și EPP-300) prin identificarea elementelor de hidraulică necesare și implementarea unor aplicații soft proprii bazate pe un mediu de dezvoltare specific în genul pachetului LabVIEW Full Development System. Aceste aplicații gestionează la obiect:

- monitorizarea și înregistrarea parametrilor în timp real;
- interpretarea datelor în conformitate cu algoritmul tipului de scufundare implementat în soft;
- reacția de ajustare parametrică pe baza valorilor comparative existente în baza de date;

Automatizarea unei camere hiperbarice multiloc include modelarea matematică a proceselor de termofluid, configurarea sistemului elementar, identificarea elementelor hidro-pneumatice și calculul controlerelor. Prin abordarea propusă se realizează o bună urmărire a profilului de presiune și repetabilitate. Suplimentar, automatizarea propusă include implementarea unor instrumente puternice de anulare a erorilor umane, prin controlul neliniarităților și evitarea derapajelor în curbele de compresie și decompresie. Sistemul de control implementat se bazează pe un regulator special de anulare a polului zero

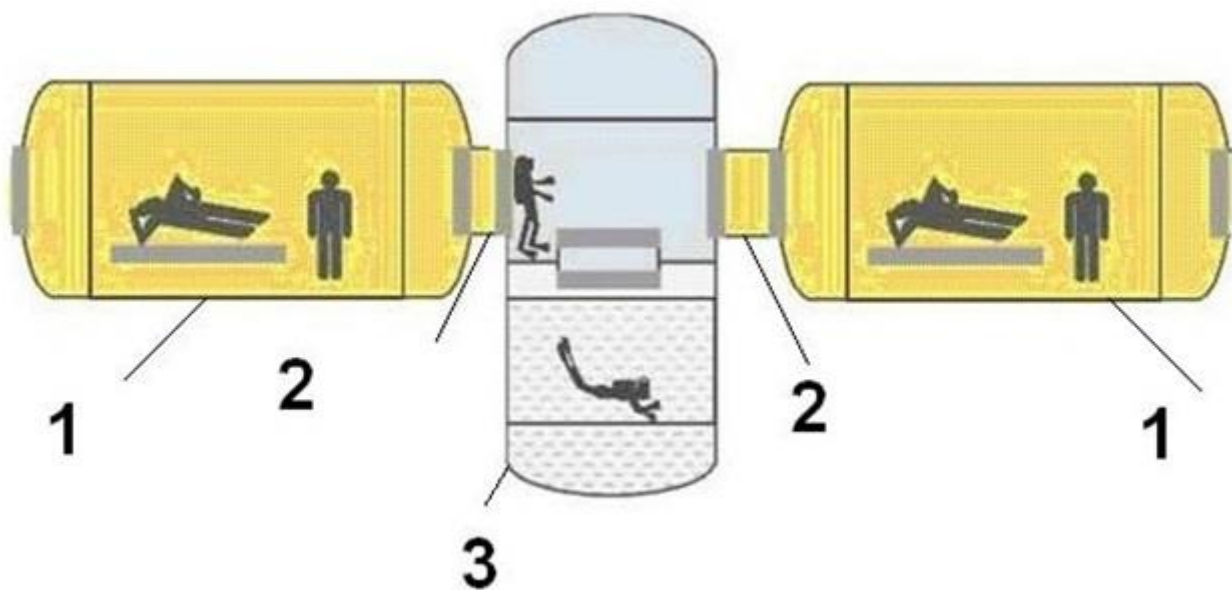


Fig. 3.1. Structura unui complex hiperbar cu simulator:
1- cameră hiperbară uscată, 2 - poarta de transfer, 3- simulator cu consolă umedă

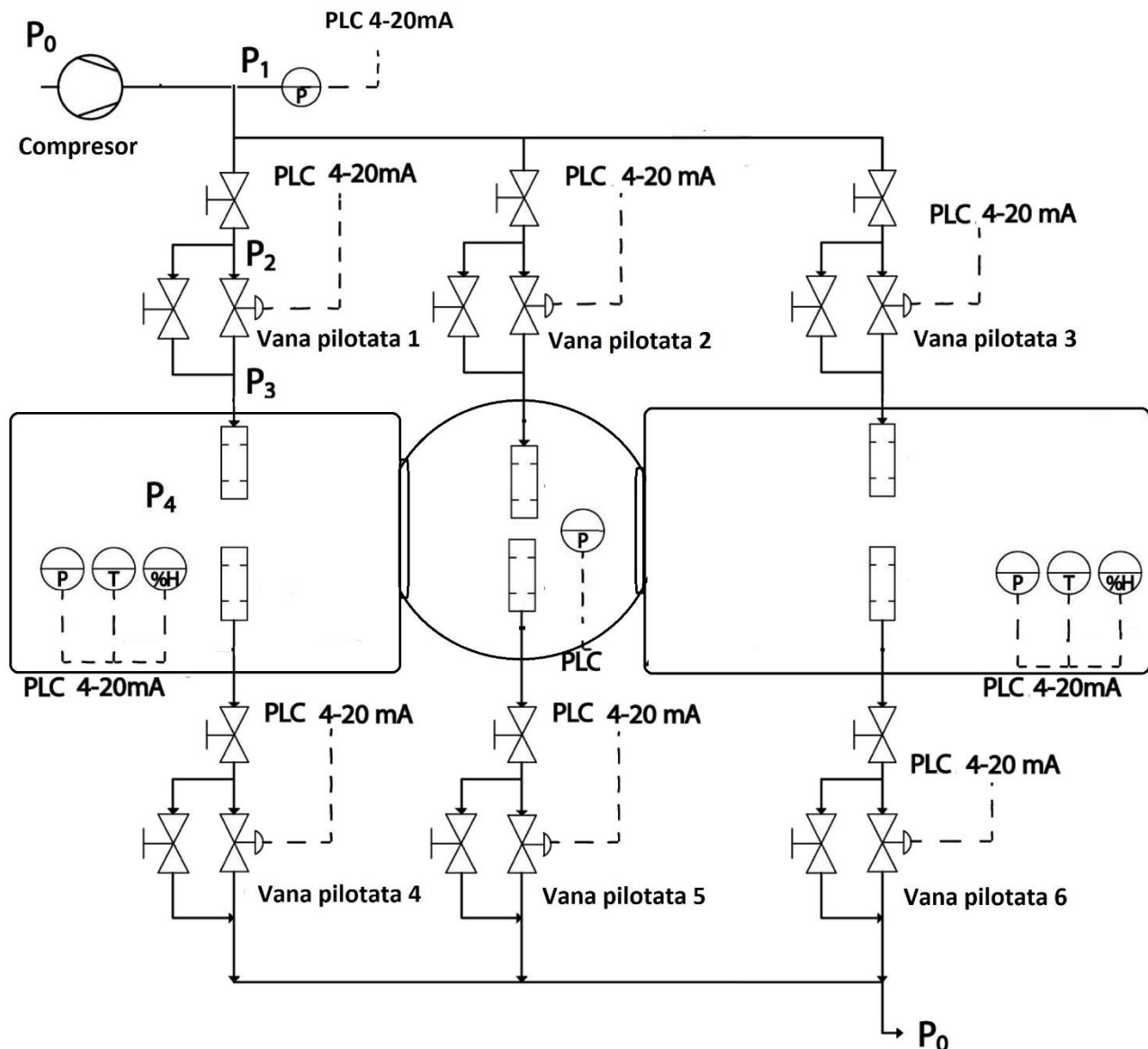


Fig 3.2. Schema electro-mecano-hidraulică utilizată pentru modelul de calcul

Studiul urmărește modelarea matematică a procesului automat, determinarea configurației optime a sistemului și identificarea elementelor de hidraulică, necesare.

3.1 Modelarea matematică a procesului

- modelarea matematică a camerei principale (procesul poate fi ușor replicat pentru camera adiacentă și simulator);
- modelarea supapei de control;
- modelarea fluxului de aer printr-un orificiu cu o zonă variabilă. Aceasta este o funcție extrem de neliniară, care depinde în principal de presiunile de intrare și ieșire și dimensiunea găurii.

Acest model este definit în moduri diferite în literatura tehnică în funcție de nivelul de precizie. Ventilele de control utilizate sunt acționate pneumatic. Când presiunea de control peste diafragma se schimbă, tija pistonului alunecă și se modifică dimensiunea deschiderii supapei. Fluxul

volumetric în condiții normale (0°C și 1 bar) prin supapă (debitul incompresibil și strangulat fără fittinguri atașate) este dat de ecuațiile (3.1) - (3.5) unde:

q (m ³ /h)	- debitul volumetric;
C_v (m ³ /h), $C_{v\max}$ (m ³ /h)	- coeficientul de debit al valvei, precizat de producătorii de valve, depinde de deschiderea valvei și are valoarea 0 când valva este închisă și maxim când aceasta este complet deschisă. Variația cursei pistonului și/sau a secțiunii valvei, asigură controlul debitului de curgere;
a	- coeficient adimensional;
T (Kelvin)	- temperatura absolută;
G_g	- greutatea specifică gazului (raportul dintre densitatea gazului care curge și densitatea aerului cu ambele considerate la condiții standard), considerat a fi egal cu raportul dintre greutatea moleculară a gazului și greutatea moleculară a aerului;
F_p	- factorul geometric al conductelor (adimensional) – constantă fizică
F_Y	- factorul specific al raportului de căldură (adimensional) și γ este raportul de căldură specific gazului (adimensional) - constantă fizică;
Y	- factorul de expansiune a gazului (adimensional);
x	- raportul căderii de presiune (adimensional). Limită $x = F_Y \cdot x_T$;
x_T	- factorul raportului de presiune diferențială al unei valve comandate, fără fittinguri atașate, la debit sufocat (adimensional);
z	- factorul de compresibilitate al gazului;
ΔP_v (KPa)	- presiunea diferențială între robinetele din amonte și din aval (P_2-P_3);
P_0	- presiunea atmosferică (KPa);
P_1	- presiunea furnizată de compresor sau de rackurile de gaz (KPa);
P_2	- presiunea din amonte (KPa);
P_3	- presiunea din aval (KPa);
P_4	- presiunea din interiorul barocamerei (KPa);
P (KPa)	- presiunea incrementală în interiorul camerei, $\Delta P = \Delta P_4$.

Relația dintre semnalul de comandă (presiunea diafragmei) și deschiderea supapei are propria dinamică. Sistemul constă dintr-un arc și, conform informațiilor tehnice furnizate de către producător și testele de debit efectuate de acesta, poate fi modelat ca sistemul de ordinul al doilea prezentat în ecuația (3.7), unde K_1 este câștigul, ω_n este frecvența naturală, ξ este coeficientul de absorbție, $\Delta A(s)$ este deschiderea supapei și $\Delta U(s)$ este semnalul de control (presiunea diafragmei), ambele în domeniul Laplace.

$$q = 417 \cdot F_p \cdot P_2 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{x}{G_g \cdot T \cdot Z}} \cdot C_{v\max} \cdot a \quad (3.1)$$

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_k \cdot x_T} \quad (3.2)$$

$$\Delta P_v = P_2 - P_3 \quad (3.3)$$

$$x = \frac{\Delta P_v}{P_2} \quad (3.4)$$

$$F_{\gamma} = \frac{\gamma}{1.4} \quad (3.5)$$

Simplificând expresiile 3.1-3.5 obținem ecuația 3.6:

$$\frac{q(t)}{a(t)} = C_1 \cdot \sqrt{\Delta P_v(t)} + C_2 \cdot (\Delta P_v(t))^{3/2} \quad (3.6)$$

unde:

$$C_1 = 417 \cdot C_{v \max} \cdot F_P \cdot \sqrt{P_2} \quad \text{și}$$

$$C_2 = \frac{-417 \cdot C_{v \max} \cdot F_P}{2.14 \cdot \gamma \cdot F_{\gamma} \cdot x_T \cdot \sqrt{G_g \cdot T \cdot Z}} \cdot \frac{1}{\sqrt{P_2}}$$

$$\frac{\Delta A(s)}{\Delta U(s)} = \frac{K_1 \cdot \omega_n^2}{s^2 + 2\xi \omega_n s + \omega_n^2} \quad (3.7)$$

Modelarea pierderilor de presiune

Există pierderi de presiune pe tot circuitul pneumatic care sunt cauzate de lungimea conductei, supapele și accesoriile (amortizoare de zgomot și schimbări de diametru).

În dinamica fluidelor ecuația Darcy-Weisbach (3.8) raportează pierderea de presiune cauzată de frecare de-a lungul unei lungimi date a țevii până la viteza medie a fluxului de fluid, unde L/D este raportul dintre lungimea și diametrul conductei, ρ este densitatea fluidului, v este viteza medie caracteristică debitului și f este factorul de frecare adimensional al lui Darcy. Viteza v poate fi exprimată ca în ecuația (3.9) iar debitul volumului de aer q poate fi deci legat de pierderea de presiune.

Pierderile de presiune din valve și accesorii sunt calculate folosind ecuația Darcy-Weisbach, considerând o lungime echivalentă a țevii (L/D). Ecuația (3.10) este utilizată pentru a obține pierderea de presiune dintre compresor și amortizoarele de zgomot din interiorul camerei. Aceasta reprezintă suma pierderilor din țevi, pierderile din valve și pierderile din accesorii. Deoarece ceilalți termeni din ecuație sunt constanți, pierderea de presiune este egală cu o constantă K_2 înmulțit cu q^2 , unde se presupune că modificările presiunii sunt proporționale cu pătratul debitului.

$$P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (3.8)$$

$$v = \frac{4}{\pi D^2} \cdot q \quad (3.9)$$

$$P_1 - P_3 = \Sigma \Delta P_p + \Sigma \Delta P_v + \Sigma \Delta P_a = K_2 \cdot q^2 \quad (3.10)$$

unde ΔP_p aparțin țevelor, ΔP_v aparțin supapelor și ΔP_a aparțin altor accesorii.

Modelarea presurizării camerei

Dacă aerul pierdut de cameră este considerat nul deoarece nu este semnificativ în comparație cu fluxul de presurizare, echilibrul materialului volumetric este exprimat prin (3.11), unde ΔQ este debitul masic (kg/s), V este volumul camerei (m^3) iar ρ este densitatea aerului (kg/m^3). Datorită gamei de presiuni din timpul procesului de scufundare aerul din interiorul camerei poate fi considerat aer ideal. Ecuația stării gazului este arătată deci în (3.12), unde R_s este constanta specifică a gazului ($m^3 kPa / K mol$), T_0 este temperatura de aerul (Kelvin) iar ΔP este creșterea presiunii în interiorul camerei (kPa). Prin combinarea ecuațiilor (3.11) și (3.12) se obține ecuația (3.13).

$$\Delta Q = V \frac{d\rho}{dt} \quad (3.11)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{1}{R_S T_0} \cdot \frac{d\Delta P}{dt} \quad (3.12)$$

$$\Delta Q = \frac{V}{R_S T_0} \cdot \frac{d\Delta P}{dt} \quad (3.13)$$

Liniarizarea modelului de barocameră

Realizând liniarizarea camerei principale s-a obținut structura funcției de transfer (numărul de zerouri, poli și integratori). Ecuatiile neliniare prezentate în modelarea matematică de mai sus vor fi utilizate doar pentru a cunoaște structura sistemului liniar care se potrivește mai bine comportamentului real.

Termenul $\Delta P_v(t)$ prezentat în ecuația (3.6) este o variație de timp deoarece P_2 și P_3 nu sunt constante. Ecuatia (3.6) arată relația dintre deschiderea supapei și volumul de fluid. Dacă P_3 este considerat zero și P_2 este considerat constant, ecuația ar genera câștig: $\frac{q(t)}{a(t)} = K_3$. Deși (3.6) este o ecuație neliniară, a fost liniarizată pentru a obține o funcție de transfer.

Punctul de echilibru este $q_0 = 0$ ($q(t) = q_0 + \Delta q(t)$), $a_0 = 0$ ($a(t) = a_0 + \Delta a(t)$) și $\Delta P_v = P_2 = 10$ bari (constante). Expresia liniarizată a ecuației (3.6) este prezentată în ecuația (3.15).

Liniarizarea va genera un vid de informații deoarece efectele modificărilor P_2 și P_3 lipsesc pentru moment, dar este necesar a utiliza o aproximare pentru a obține un model liniar care va fi validat în secțiunile următoare. Pentru a obține funcția de transfer prezentată în ecuația (3.16), este utilizată transformata Laplace. Această ecuație arată o aproximare liniară a comportamentului dintre deschiderea supapei $\Delta A(s)$ și fluxul de fluid $\Delta Q(s)$. Deoarece această expresie este un câștig, este posibil să fie îmbinată cu ecuația (3.7) într-o singură funcție de transfer care reprezintă modelul valvei de comandă (3.17), ca un sistem de ordinul doi unde $K_4 = K_3 * K_1$.

Ecuația (3.18) se obține prin liniarizarea ecuației (3.10), în timp ce ecuația (3.19) se obține prin aplicarea transformatei Laplace în ecuație (3.18). În mod similar, aplicând transformata Laplace la ecuația (3.13) și luând în considerare T_0 constant (proces izotermic), se obține funcția de transfer prezentată în ecuația (3.20).

Folosind ecuațiile (3.17), (3.19) și (3.20), se obține funcția de transfer global în ecuația (3.21), care corelează presiunea din interiorul camerei $\Delta P(s)$ cu semnalul de comandă a supapei $\Delta U(s)$. Aproximarea liniară a sistemului constă dintr-un zero și trei poli, dintre care unul este un integrator.

$$P = P_4 - P_0 \quad (3.14)$$

$$\frac{\Delta q(t)}{\Delta a(t)} = C_1 \cdot \sqrt{P_2} - C_2 \cdot (P_2)^{3/2} = K_3 \quad (3.15)$$

$$\frac{\Delta Q(s)}{\Delta A(s)} = K_3 \quad (3.16)$$

$$\frac{\Delta Q(s)}{\Delta U(s)} = \frac{K_4 \cdot \omega_n^2}{s^2 + 2\xi \omega_n s + \omega_n^2} \quad (3.17)$$

$$\Delta P_1 - \Delta P_3 = K_2 \cdot 2 \cdot q_0 \cdot \Delta q = K_5 \cdot \Delta q \quad (3.18)$$

$$\Delta P_1(s) - \Delta P_3(s) = K_5 \cdot \Delta Q(s) \quad (3.19)$$

$$\frac{\Delta P(s)}{\Delta Q(s)} = \frac{\frac{R_0 T_0}{V}}{s} = \frac{K_6}{s} \quad (3.20)$$

$$\frac{\Delta P(s)}{\Delta U(s)} = \frac{K_5 \cdot K_4 \cdot \omega_n^2 \cdot s + K_6 \cdot K_4 \cdot \omega_n^2}{s \cdot (s^2 + 2\xi \omega_n s + \omega_n^2)} \quad (3.21)$$

Identificarea experimentală a modelului de cameră

S-a luat în considerare barocamera cu trei compartimente din fig. 3.1 iar volumul utilizat este o combinație între volumele compartimentelor în funcție deschiderea ușilor. Prin urmare, volumul camerei poate fie fie volumul: camerei principale; camera principală și simulator; camera, principală, simulator și camera secundară; camera scundară și simulator; etc. În această secțiune, se arată identificarea camerei principale, dar procesul a fost efectuat pentru toate combinațiile pentru a obține toate modelele posibile. Pentru identificare se utilizează o metodă neliniară și o metodă liniară.

Identificare neliniară

Cele mai semnificative neliniarități ale sistemului sunt date de ecuațiile (3.6), (3.10) și (3.13). Pentru identificarea neliniară se consideră un model Hammerstein-Wiener.

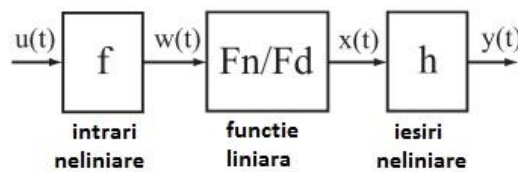


Fig. 3.3. Structura modelului Hammerstein-Wiener

Acest model folosește o funcție de transfer dinamic liniar și surprinde neliniaritățile utilizând funcții statice neliniare de intrare și ieșire unde: „f” și „h” sunt funcțiile statice neliniare de intrare și ieșire, „Fn/Fd” este funcția de transfer dinamica liniară iar „Fn” și „Fd” sunt polinoame ale modelului liniar ale erorilor de ieșire. Pe de o parte, funcția de transfer liniar este setată la un zero și trei poli (un integrator) conform ecuației (3.21), pe de altă parte, atât estimările neliniare de intrare cât și de ieșire sunt setate cu a funcție liniară pe bucăți, care este parametrizată de 8 locații ale punctelor de întrerupere, utilizând un proces și procedură de eroare. Numărul și locația celor 8 puncte de întrerupere sunt stabilite din cauza non-liniarității sistemului, în timp ce procedura de încercare și eroare se bazează pe ajustarea acestor parametri până când eroarea este mai mică decât valoarea dorită de 0,05 bari.

Identificarea liniară

Funcția de transfer (3.21) este luată în considerare pentru modelul „Linear Time - Invariant” (LTI).

Controller RST pentru presiunea camerei

În cadrul acestei teme a fost proiectat un controler RST și implementat pentru a efectua profiluri de compresie și decompresie. Această combinație de „feed-forward” și „feed-back” a controllerului digital devine un standard pentru controlul computerizat în industrie. În fig. 3.4 este reprezentată structura sa generală pentru sistemele liniare cu o singură ieșire și o singură intrare unde polinoamele R, S și T trebuie să fie determinate prin plasarea polului zero. Comanda de control este calculată după cum se poate vedea mai jos:

$$U(z) = \frac{T(z^{-1})}{S(z^{-1})} \cdot Y_{ref}(z) - \frac{R(z^{-1})}{S(z^{-1})} \cdot Y(z) \quad (3.22)$$

Legea controlului RST se obține urmând pașii de mai jos:

1. Selectarea funcției de transfer în buclă închisă dorită așa cum se arată mai jos:

$$\frac{z^{-d} \cdot B(z^{-1}) \cdot T(z^{-1})}{A(z^{-1}) \cdot S(z^{-1}) + z^{-d} \cdot B(z^{-1}) \cdot R(z^{-1})} = \frac{B_m(z^{-1})}{A_m(z^{-1})} \quad (3.23)$$

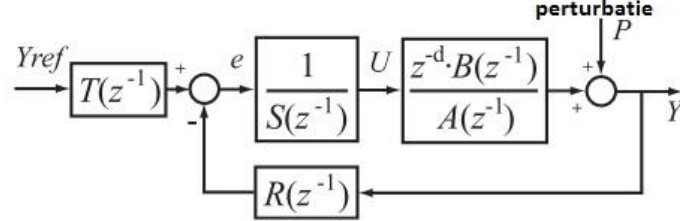


Fig. 3.4. Structura unui controller RST

Structura lui $A_m(z^{-1})$ este aleasă după cum urmează:

$$A_m(z^{-1}) = P_{dom}(z^{-1}) \cdot P_{aux}(z^{-1}) \quad (3.24)$$

unde se selectează un grup de poli dominanți și poli auxiliari.

2. Anularea polilor și a zerourilor stabile ale procesului: Funcția de transfer $H(z^{-1})$ poate fi extinsă pentru a reprezenta polii și zerourile stabile și instabile:

$$H(z^{-1}) = \frac{z^{-d} \cdot B(z^{-1})}{A(z^{-1})} = \frac{z^{-d} \cdot B^-(z^{-1}) \cdot B^+(z^{-1})}{A^-(z^{-1}) \cdot A^+(z^{-1})} \quad (3.25)$$

unde $A^-(z^{-1})$ și $B^-(z^{-1})$ conțin polii și zerourile care nu pot fi anulate. Pentru acest motiv, $B^-(z^{-1})$ nu poate fi un factor de $(z^{-1}) * S(z^{-1}) + B(z^{-1}) * R(z^{-1})$. Astfel $B_m(z^{-1})$ trebuie să fie de forma $B_{m1}(z^{-1}) = B^-(z^{-1}) * B_{m1}(z^{-1})$. Anularea polului zero produce:

$$R(z^{-1}) = A^+(z^{-1}) \cdot R_1(z^{-1}) \quad (3.26)$$

$$S(z^{-1}) = B^+(z^{-1}) \cdot S_1(z^{-1}) \quad (3.27)$$

$$T(z^{-1}) = A^+(z^{-1}) \cdot B_{m1}(z^{-1}) \quad (3.28)$$

3. Rejecția perturbației în stare de echilibru: se introduce un număr adecvat de termeni integrali în bucla de control prin polinomul $S(z^{-1})$ după cum urmează:

$$S_1(z^{-1}) = (1 - z^{-1})^{n-l} \cdot S_2(z^{-1}) \quad (3.29)$$

unde n este ordinea perturbării și l este ordinul funcției de feedback.

4. Calculul polinoamelor $R(z^{-1})$ și $S(z^{-1})$:

$$A^-(z^{-1}) \cdot (1 - z^{-1})^{n-1} \cdot S_2(z^{-1}) + B^-(z^{-1}) \cdot R_1(z^{-1}) = \frac{A_m(z^{-1})}{A^+(z^{-1}) \cdot B^+(z^{-1})} \quad (3.30)$$

unde $R(z^{-1})$ și $S(z^{-1})$ sunt date de ecuațiile (3.26), (3.27) și (3.29).

5. Calculul lui $T(z^{-1})$ folosind ecuația (3.28).

Pentru a obține unitatea de câștig în bucla închisă trebuie să fie satisfăcută condiția $T(1) = R(1)$. Funcția de transfer a întregului sistem are ca rezultat:

$$\frac{Y(z)}{Y_{ref}(z)} = \frac{z^{-d} \cdot B(z^{-1}) \cdot T(z^{-1})}{A(z^{-1}) \cdot S(z^{-1}) + z^{-d} \cdot B(z^{-1}) \cdot R(z^{-1})} = \frac{z^{-d} \cdot B^- \cdot B_{m1}}{A^- \cdot S_1 + z^{-d} \cdot B^- \cdot R_1} \quad (3.31)$$

Calculul controllerului RST

Teoria RST descrisă în subsecțiunea anterioară poate să fie adaptată și aplicată la barocamere unde funcționarea liniară este cel mai important factor. Pe baza cunoașterii dinamicii proceselor a fost ales un timp de creștere de 6 secunde și o abatere de 0,05%. Sunt obținuți parametrii ω_n și ξ ai sistemului continuu de ordinul doi. În cele din urmă, modelul este discretizat utilizând un timp de eșantionare de 0,1 secunde.

Pentru a asigura stabilitatea controlerului, sunt alese următoarele specificații de rezistență pentru marjele de câștig și fază: $\Delta M \geq 0,5$ (-3dB) și $\Delta \tau \geq T_s$. În plus, pentru intrările de tip rampă și parabolice trebuie garantate erori zero sau cu valori foarte scăzute pentru starea de echilibru. Deși în acest caz, trei integratori ar fi necesari și suficienți pentru obținerea unei erori nule în stare staționară (intrare parabolică), se efectuează totuși un prim calcul prin introducerea a doar doi integratori cu scopul de a verifica ordinea de mărime a erorii rezultate.

Cerințele de reglementare și specificațiile de robustețe sunt rezumate mai jos:

- Polii dominanți care corespund discretizării unui sistem continuu de ordinul doi cu un timp de creștere de 6 secunde și depășirea maximă de 0,05% ($\omega_n = 0,49$ rad/s și $\xi = 0.9$):

$$P_{dom}(z^{-1}) = 1 - 1.9125z^{-1} + 0.9148z^{-2}$$

- Marja de câștig: $\Delta M \geq 0,5$ (-3dB) și marja de fază: $\Delta \tau \geq T_s$.
- Introducerea a doi integratori (3.29) $S_1(z^{-1}) = (1 - z^{-1})^2 \cdot S_2(z^{-1})$.
- Perioada elementară a controlerului $T = 0,1$ secunde.

După stabilirea cerințelor dinamice, controllerul poate fi calculat după pașii descriși mai sus. Pentru rezolvarea identității Bezout utilizând funcția Matlab bezout.m, sunt luate în considerare următoarele ecuații:

$$A(z^{-1}) \cdot B^+(z^{-1}) \cdot S_1(z^{-1}) + z^{-d} \cdot B(z^{-1}) \cdot A^+(z^{-1}) \cdot R_1(z^{-1}) = P_{dom}(z^{-1}) \cdot P_{aux}(z^{-1}) \quad (3.32)$$

$$T(1) = R(1) \quad (3.33)$$

unde $S_1(z^{-1})$ conține doi integratori și polinoamele $A(z^{-1})$ și $B(z^{-1})$ sunt date de (3.39) și (33.8).

Polii auxiliari $P_{aux}(z^{-1}) = (1 - 0,6z^{-1})^2$ sunt adăugați controllerului pentru a îndeplini cerințele de robustețe. Funcția de sensibilitate la ieșire pentru acest controller este prezentată în fig. 3.5 unde se poate vedea că cerințele de robustețe sunt îndeplinite. În acest studiu barocamera folosește un profil parabolic de presurizare.

Fig. 3.6 prezintă simulare cu acest profil. Eroarea de staționare nu este nulă deoarece controllerul a fost proiectat pentru o intrare de tip rampă (doi integratori). În orice caz eroarea este foarte mică: eroarea absolută este mai mică de 2×10^{-4} bar la toate probele și eroarea procentuală medie este în jur de 0,01%. Chiar dacă procesul de integrare are beneficii majore pentru sistemele de control prin eliminare starării staționare și chiar a erorilor dinamice, există probleme de stabilitate care trebuie tratate în procesul de proiectare a sistemului de control. Din acest motiv și datorită erorii foarte mici obținute folosind metoda cu doi integratori, aceasta este opțiunea implementată în această lucrare. În plus față de analiza funcției de sensibilitate la ieșire, care garantează robustețea controlerului proiectat, marja de câștig și marja de fază sunt analizate de diagrama Nyquist din fig. 3.7.

Diagrama Nyquist produce o marjă de câștig de 16,1 dB și o marjă de fază de 70,7 grade. Aceste valori se încadrează în valorile tipice de robustețe. Mai mult, acolo este o întârziere de 3,36 secunde, îndeplinind expresia $\Delta\tau \geq T_s$ necesare în proiectarea controlerului. În cele din urmă, utilizând ecuațiile (3.26) - (3.28), controlerul este calculat dând următoarele polinoame:

$$R(z^{-1}) = 31.71 - 74.32z^{-1} + 55.09z^{-2} - 12.44z^{-3} \quad (3.34)$$

$$S(z^{-1}) = 1 - 2z^{-1} + 1z^{-2} \quad (3.35)$$

$$T(z^{-1}) = 0.0367 \quad 3.(36)$$

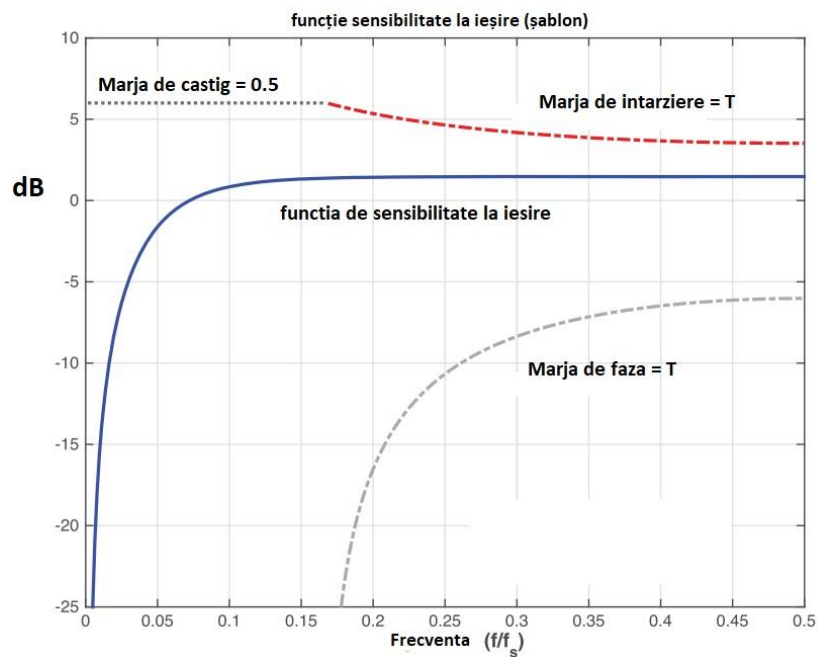


Fig. 3.5. Funcția de sensibilitate la ieșire pentru controlerul cu doi integratori și cu poli auxiliari la $z = 0,6$

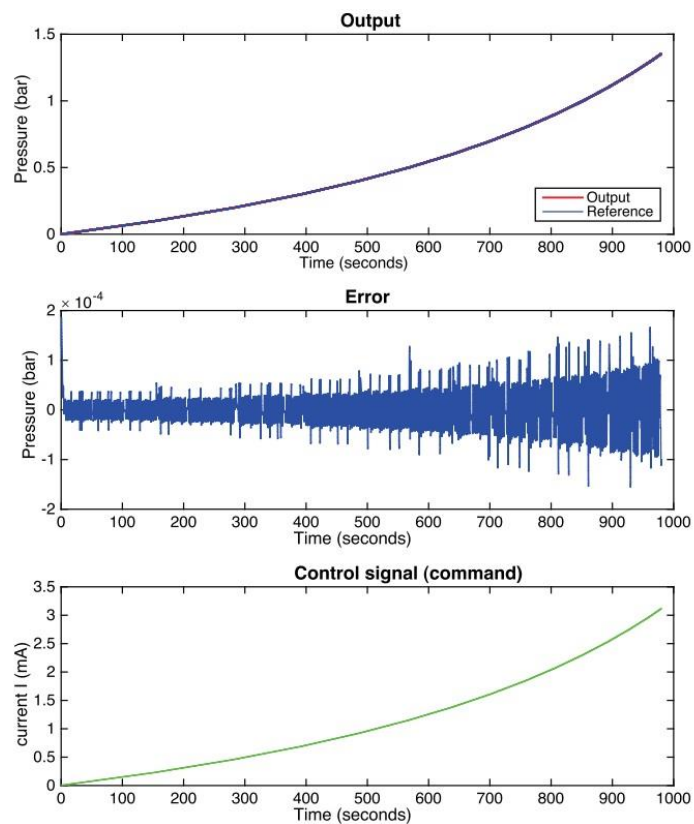


Fig. 3.6. Răspunsul sistemului pentru o intrare de tip parabolic și un controler cu doi integratori cu poli auxiliari în $z = 0,6$.

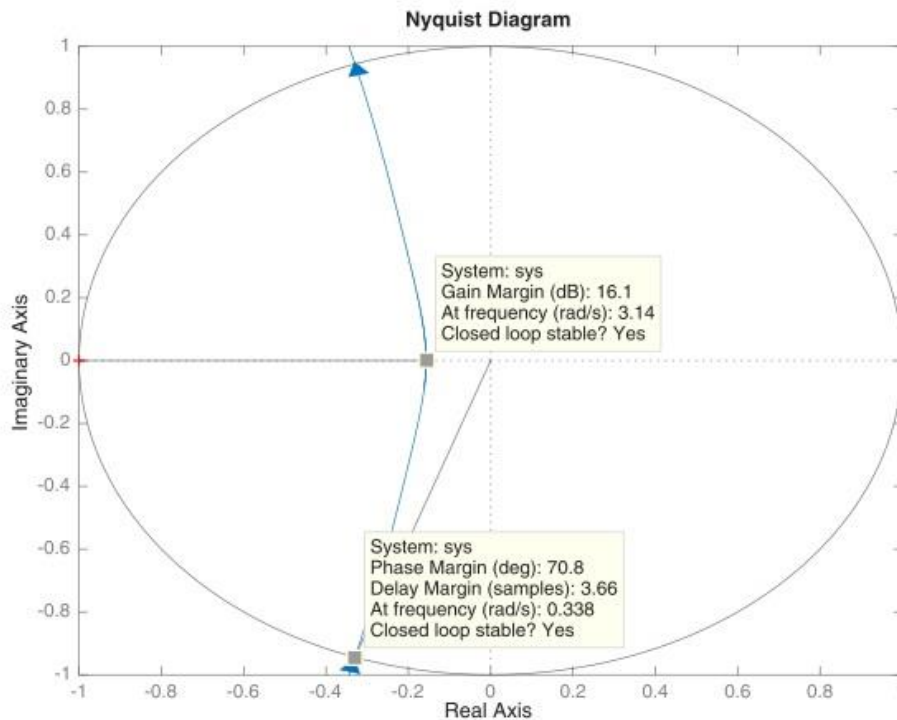


Fig. 3.7. Diagrama Nyquist pentru controlerul cu integratori cu poli auxiliari în $z = 0,6$.

3.2 Determinarea configurației optime

Configurația utilizată pentru modelarea preliminară a sistemului în această lucrare este camera multi-compartiment din fig. 3.1. Această cameră are trei compartimente: 2 camere hiperbare uscate, un simulator central cu poartă de acces. Camerele uscate permit accesul în exterior la simulator prin 2 compartimente de ecluzare.

Pentru a automatiza acest sistem, a fost utilizată configurația oferită de schema electromecanică din fig 3.2, în care PLC înseamnă controler logic programabil, A/O pentru ieșire analogică și A/I pentru intrare analogică. Există trei circuite diferite pentru a presuriza fiecare compartiment al camerei. Fiecare circuit are o supapă de control și două valve de siguranță. Aerul intră în interiorul camerei prin amortizoare pentru a reduce zgomotul. Circuitul de decompresie este echivalent cu circuitul de presurizare. Controlerile logice programabile (PLC) sunt dispozitivele electronice însărcinate cu controlul camerei. Acestea citesc semnalele analogice ale senzorilor și controlează actuatorii analogice și digitale. PLC-ul comunică cu un computer și o interfață (HMI) prin rețea locală (Industrial Ethernet) pentru a partaja informațiile despre proces.

3.3 Identificarea elementelor de hidraulică necesare

Senzorii și actuatorii utilizate în acest studiu sunt descriși mai jos. Toate componentele au fost alese special pentru a fi utilizate în medii îmbogățite cu oxigen. Acest echipament este format din: 6 senzori de presiune, model S-11 (de la 0 la 10 bari într-un interval de 4-20mA) de tip WIKA (2 senzori pe compartiment într-o configurație redundantă); 3 senzori de temperatură și umiditate cu fir de păr SEM165/Status, special concepuți pentru aplicații hiperbare; 6 supape de reglare a debitului (dimensiune 2") fabricate de Metalwork modelul Skillair REG-300; 2 compresoare de aer,

model Atlas Copco ZT / ZR 110-900 VSD; un balon (plămân) flexibil; un dispozitiv UPS (alimentare neîntreruptibilă); 2 Siemens PLCs ET-200S IM151-8 cu I/O distribuite (PLC-urile au fost alese în conformitate cu Directiva ATEX 94/9 / CE); un panou tactil HMI SIMATIC MP 377 12 inch; un computer.



Fig. 3.8. Senzor de presiune,
model S-11 (de la 0 la 10 bari într-un interval de 4-20mA) de tip WIKA



Fig. 3.9. Senzori de temperatură și umiditate cu fir de păr SEM165/Status



Fig. 3.10. Supape de reglare a debitului (dimensiune 2")
tip Metalwork modelul Skillair REG-300



Fig. 3.11. Compresor de aer, model Atlas Copco ZT / ZR 110-900 VSD



Fig. 3.12. Siemens PLCs ET-200S IM151-8



Fig. 3.13. Panou tactil HMI SIMATIC MP 377-12 inch

Cerințe de alimentare

În situația unei utilizări staționare a sistemului, cerințele de alimentare vor fi conforme cu posibilitățile locale pentru furnizare energetică. Pentru redundanță și asigurarea continuității în

funcționare, sistemul poate fi prevăzut cu variantă hibridă (generator local – baterie acumulatori și invertor).

Cerințe masice și de volum

Nu sunt cerințe speciale referitoare la masa și volumul general al elementelor de electro-mecano-hidraulică implicate.

Compatibilitate electromagnetică

Sunt necesare elemente de filtrare pentru compensarea armonicilor induse de frecvența de alimentare (50 Hz). Curenții de inducție cauzăți de consumurile substațiale pe linile lungi de alimentare, vor fi neutralizați prin conexiuni de "punere la masă" calculate corespunzător.

Cerințe pentru testare

Condiții pentru experimentarea reală

Intrarea și ieșirea sistemului controlat sunt curentul de intrare la valva de control (mA) și respectiv presiunea din interiorul barocamerei (bar). Perioada de eșantionare pentru experiment este setată la o secundă.

Condiții pentru testele de identificare

Semnalul de intrare utilizat pentru identificare (semnal pentru încercare) constă dintr-un semnal de zgomot alb (adică un semnal aleatoriu cu o distribuție constantă în intervalul specificat) deoarece permite potrivirea sigură cu parametrii modelului și într-un interval de frecvență mai larg decât cel utilizat pentru pașii ca intrare. Complementar se consideră că două semnale de intrare diferite sunt validate pe modelul identificat (date de validare): un semnal de zgomot alb diferit de cel folosit ca semnal încercare date și semnalul de pas clasic. Intervalul utilizat pentru semnalele de zgomot alb este [0 mA, 3 mA], întrucât dimensiunea pasului utilizată pentru semnalul pasului este de 7 mA. În scopuri comparative, rezultatele identificării și validării sunt exprimate în termeni de rata cea mai bună ajustare, care este definită ca un procent în ecuația (3.37), unde y este măsurată ieșire, $\hat{y}$ este ieșirea modelului simulat și $\bar{y}$ este media lui y .

Condiții pentru testele de control

Pentru a arăta capacitatea controllerului barocamerei proiectate de a urmări cu precizie profilele complexe de presurizare, se va efectua o scufundare reală și vor fi analizate valorile maxime și medii ale rădăcinii pătrate (RMS) pentru erorile de control. Mai mult, netezimea semnalului de control este, de asemenea, un factor important, deoarece zgomotul și fluxurile de aer în interiorul camerei sunt reduse la minimum. În acest scop, este analizată repetabilitatea experimentului prin intermediul abaterii standard a presiunii de ieșire pentru zece experimente în aceleași condiții.

$$\text{Best Fit} = \left(\frac{1 - \|y - \hat{y}\|_2}{\|y - \bar{y}\|_2} \right) \times 100 \quad (3.37)$$

Cerințe hardware/software

- Sistem computerizat pentru achiziție și prelucrare date;
- Matlab software;
- Program pentru calculul proceselor și proiectarea sistemelor hidraulice și de termofluid "FluidSim";
- LabVIEW Full Development System.

4 Concluzii

Lucrarea de cercetare vine în sprijinul consolidării potențialului de a asigura suport hiperbar prin automatizarea proceselor hidraulice în incintele hiperbare din dotarea inițială (cercetarea este oportună pentru toate incintele hiperbare dar are aplicabilitate imediată pentru complexul hiperbar ASS-500 demontat din laboratorul hiperbar al Centrului de Scafandri și complexul hiperbar EPP-300 montat la bordul navei de scafandri "Grigore Antipa").

Bibliografie

1. Degeratu, M., Petru, A., Georgescu, Șt. Ioniță, S. – Tehnologii Hiperbare pentru Scufundări Unitare și în Saturație. Ed. MATRIX ROM, București, 2008.
2. Degeratu, M.- *Modelarea matematică a proceselor gazodinamice specifice aparatelor de scufundare cu circuit*. Ed. UTCB, București, 1989.
3. Gurnee W.T., and Garay J.J., US Patent US 7263995 B2. *Hyperbaric oxygen therapy system controls* 4 Sep 2007.
4. U.S. Navy Diving Manuel—Vol. 5, Chapter 22. *Recompression Chamber Operations*. Pg.22-15.
5. Belgharbi, M., Thomasset, D., Scavarda, S., Sesmat, S., 1999. *Analytical model of the flow stage of a pneumatic servo-distributor for simulation and nonlinear control*. In: Scandinavian International Conference on Fluid Power, Tampere, Finland. pp. 847,860.
6. IEC-60534-2-1, 2011. *Industrial-process control valves- Part 2-1: Flow capacity-Sizing equations for fluid flow under installed conditions*.
7. ISO-6358, 1989. *Pneumatic fluid power components using compressible fluids determinations of flow-rate characteristics*.
8. Tressler, J., Clement, T., Kazerooni, H., Lim, M., 2002. *Dynamic behavior of pneumatic systems for lower extremity extenders*. In: Proc. of 2002 IEEE International Conf. on Robotics and Automation. pp. 3248–3253.
9. Masoneilan, 2004. *Control Valve Sizing Handbook*. Dresser Masoneilan Company, Niskayuna, NY, USA.
10. *MetalWorkPneumatics*, 2011. Technical information of skillair regulators, document in www.metalwork.it.
11. De Nerves N., 1970. *Fluid mechanics*, 1st Edition. Addison-Wesley.
12. Cellier F., 1990. *Continuous System Modeling*, 1st Edition. Springer-Verlag.
13. Ljung, L., 2010. *System Identification Toolbox 7, User's Guide*. MathWorks, 7th Edition.
14. Landau I.D. *The R-S-T digital controller design and applications*. Control Engineering Practice. Vol. 6, No. 2. pp. 155–165, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0967-0661\(98\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0661(98)00016-1)
15. Soufi Y., Kahla S., Sedraoui M., and Bechouat M. *Optimal control based RST controller for maximum power point tracking of wind energy conversion system*. IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). pp. 1168-1172, 2016.
16. Zwart BP. *The SMOOTH RIDE profile: Development, implementation and evaluation of a hyperbaric chamber descent and ascent based on a constant rate of volume change with time*. Davis Hyperbaric Laboratory Report, Brooks AFB, Texas, 1998.
17. Langton R. *Stability and Control of Aircraft Systems: Introduction to Classical Feedback Control*. John Wiley & Sons, Nov. 2006. ISBN: 978-0-470-01891-0.
18. Sams A. Marmarelis V., 1988. *Identification of linear periodically time-varying systems using*

white-noise test inputs. Automatica 24 (4), 563–567. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(88\)90101-X](https://doi.org/10.1016/0005-1098(88)90101-X)

19. Le F., Markovsky I., Freeman C., Rogers E., 2010. *Identification of electrically stimulated muscle models of stroke patients*. Control Engineering Practice 18 (4), 396–407. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2009.12.007>

20. *The first state-of-the-art computerized hyperbaric chamber*. ETC Hyperbaric Chambers. <http://www.etchyperbaricchambers.com/baramed-select-hyperbaric-chamber/>

21. *Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of pressure equipment*.

22. *Regulation (EU) No 1025/2012 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on European standardization*.

23. Canals-Riera X., and Claire M., Medical Device Premarket Requirements. *Regulatory Affairs Professionals Society. Fundamentals of EU Regulatory Affairs*. 2004 edition. RAPS. pp. 43-67.

Anexa 1

DECOMPRESIE NIVEL LUCRU – NIVEL VIAȚĂ

ORA	ADÂNCIMEA
00:00:00	71,00
00:00:30	70,50
00:01:00	70,00
00:01:30	69,50
00:02:00	69,00
00:02:30	68,50
00:03:00	68,00
00:03:30	67,50
00:04:00	67,00
00:04:30	66,50
00:05:00	66,00
00:05:30	65,50
00:06:00	65,00
00:06:30	64,50
00:07:00	64,00
00:07:30	63,50
00:08:00	63,00
00:08:30	62,50
00:09:00	62,00
00:09:30	61,50
00:10:00	61,00

TABEL DECOMPRESIE FINALĂ:

TIMP (min/sec)	Adâncimea (m)	% Oxigen	Observații
00h.00.00	61.00	8,5	1m/min
00.30	60.50		
00h.01.00	60.00	8,6	
01.30	59.50		
00h.02.00	59.00	8,7	
02.30	58.50		
00h.03.00	58.00	8,9	
03.30	57.50		
00h.04.00	57.00	9,0	
04.30	56.50		
00h.05.00	56.00	9,1	
05.30	55.50		
00h.06.00	55.00	9,3	35 min./m (3'30"/10cm)
00h.09.30	.90		
00h.13.00	.80		
00h.16.30	.70		
00h.20.00	.60		
00h.23.30	.50		
00h.27.00	.40		
00h.30.30	.30		
00h.34.00	.20		
00h.37.30	.10		
00h.41.00	54.00	9,4	

00h.44.30	.90			
00h.48.00	.80			
00h.51.30	.70			
00h.55.00	.60			
00h.58.30	.50			
01h.02.00	.40			
01h.05.30	.30			
01h.09.00	.20			
01h.12.30	.10			
01h.16.00	53.00	9,6		
01h.19.30	.90			
01h.23.00	.80			
01h.26.30	.70			
01h.30.00	.60			
01h.33.30	.50			
01h.37.00	.40			
01h.40.30	.30			
01h.44.00	.20			
01h.47.30	.10			
01h.51.00	52.00	9,7		
01h.54.30	.90			
01h.58.00	.80			
02h.01.30	.70			
02h.05.00	.60			
02h.08.30	.50			
02h.12.00	.40			
02h.15.30	.30			
02h.19.00	.20			
02h.22.30	.10			
02h.26.00	51.00	9,9		
02h.29.30	.90			
02h.33.00	.80			
02h.36.30	.70			
02h.40.00	.60			
02h.43.30	.50			
02h.47.00	.40			
02h.50.30	.30			
02h.54.00	.20			
02h.57.30	.10			
03h.01.00	50.00	10,0		
03h.04.30	.90			
03h.08.00	.80			
03h.11.30	.70			
03h.25.00	.60			
03h.28.30	.50			
03h.32.00	.40			
03h.35.30	.30			
03h.39.00	.20			
03h.42.30	.10			
03h.36.00	49.00	10,2		
03h.39.30	.90			
03h.43.00	.80			
03h.46.30	.70			
03h.50.00	.60			
03h.53.30	.50			

03h.57.00	.40			
04h.00.30	.30			
04h.04.00	.20			
04h.07.30	.10			
04h.11.00	48.00	10,4		
04h.14.30	.90			
04h.18.00	.80			
04h.21.30	.70			
04h.25.00	.60			
04h.28.30	.50			
04h.32.00	.40			
04h.35.30	.30			
04h.39.00	.20			
04h.42.30	.10			
04h.46.00	47.00	10,6		
04h.49.30	.90			
04h.53.00	.80			
04h.56.30	.70			
05h.00.00	.60			
05h.03.30	.50			
05h.07.00	.40			
05h.10.30	.30			
05h.14.00	.20			
05h.17.30	.10			
05h.21.00	46.00	10,8		
05h.24.30	.90			
05h.28.00	.80			
05h.31.30	.70			
05h.35.00	.60			
05h.38.30	.50			
05h.42.00	.40			
05h.45.30	.30			
05h.49.00	.20			
05h.52.30	.10			
05h.56.00	45.00	11,00		
05h.59.30	.90			
06h.03.00	.80			
06h.06.30	.70			
06h.10.00	.60			
06h.13.30	.50			
06h.17.00	.40			
06h.20.30	.30			
06h.24.00	.20			
06h.27.30	.10			
06h.31.00	44.00	11,2		
06h.34.30	.90			
06h.38.00	.80			
06h.41.30	.70			
06h.45.00	.60			
06h.48.30	.50			
06h.52.00	.40			
06h.55.30	.30			
06h.59.00	.20			
07h.02.30	.10			
07h.06.00	43.00	11,4		

07h.09.30	.90			
07h.13.00	.80			
07h.16.30	.70			
07h.20.00	.60			
07h.23.30	.50			
07h.27.00	.40			
07h.30.30	.30			
07h.34.00	.20			
07h.37.30	.10			
07h.41.00	42.00	11,6		
07h.44.30	.90			
07h.48.00	.80			
07h.51.30	.70			
07h.55.00	.60			
07h.58.30	.50			
08h.02.00	.40			
08h.05.30	.30			
08h.09.00	.20			
08h.12.30	.10			
08h.16.00	41.00	11,8		
08h.19.30	.90			
08h.23.00	.80			
08h.26.30	.70			
08h.30.00	.60			
08h.33.30	.50			
08h.37.00	.40			
08h.40.30	.30			
08h.44.30	.20			
08h.47.30	.10			
08h.51.00	40.00	12,0		
08h.54.30	.90			
08h.58.00	.80			
09h.01.30	.70			
09h.05.00	.60			
09h.08.30	.50			
09h.12.00	.40			
09h.15.30	.30			
09h.19.00	.20			
09h.22.30	.10			
09h.26.00	39.00	12,3		
09h.29.30	.90			
09h.33.00	.80			
09h.36.30	.70			
09h.40.00	.60			
09h.43.30	.50			
09h.47.00	.40			
09h.50.30	.30			
09h.54.00	.20			
09h.57.30	.10			
10h.01.00	38.00	12,5		
10h.04.30	.90			
10h.08.00	.80			
10h.11.30	.70			
10h.25.00	.60			
10h.28.30	.50			

10h.32.00	.40			
10h.35.30	.30			
10h.39.00	.20			
10h.42.30	.10			
10h.36.00	37.00	12,8		
10h.39.30	.90			
10h.43.00	.80			
10h.46.30	.70			
10h.50.00	.60			
10h.53.30	.50			
10h.57.00	.40			
11h.00.30	.30			
11h.04.00	.20			
11h.07.30	.10			
11h.11.00	36.00	13,1		
11h.14.30	.90			
11h.18.00	.80			
11h.21.30	.70			
11h.25.00	.60			
11h.28.30	.50			
11h.32.00	.40			
11h.35.30	.30			
11h.39.00	.20			
11h.42.30	.10			
11h.46.00	35.00	13,4		
11h.49.30	.90			
11h.53.00	.80			
11h.56.30	.70			
12h.00.00	.60			
12h.03.30	.50			
12h.07.00	.40			
12h.10.30	.30			
12h.14.00	.20			
12h.17.30	.10			
12h.21.00	34.00	13,7		
12h.24.30	.90			
12h.28.00	.80			
12h.31.30	.70			
12h.35.00	.60			
12h.38.30	.50			
12h.42.00	.40			
12h.45.30	.30			
12h.49.00	.20			
12h.52.30	.10			
12h.56.00	33.00	14,0		
12h.59.30	.90			
13h.03.00	.80			
13h.06.30	.70			
13h.10.00	.60			
13h.13.30	.50			
13h.17.00	.40			
13h.20.30	.30			
13h.24.00	.20			
13h.27.30	.10			
13h.31.00	32.00	14,3		

13h.34.30	.90			
13h.38.00	.80			
13h.41.30	.70			
13h.45.00	.60			
13h.48.30	.50			
13h.52.00	.40			
13h.55.30	.30			
13h.59.00	.20			
14h.02.30	.10			
14h.06.00	31.00	14,7		
14h.09.30	.90			
14h.13.00	.80			
14h.16.30	.70			
14h.20.00	.60			
14h.23.30	.50			
14h.27.00	.40			
14h.30.30	.30			
14h.34.00	.20			
14h.37.30	.10			
14h.41.00	30.00	15,0		
14h.44.30	.90			
14h.48.00	.80			
14h.51.30	.70			
14h.55.00	.60			
14h.58.30	.50			
15h.02.00	.40			
15h.05.30	.30			
15h.09.00	.20			
15h.12.30	.10			
15h.16.00	29.00	15,4		
15h.19.30	.90			
15h.23.00	.80			
15h.26.30	.70			
15h.30.00	.60			
15h.33.30	.50			
15h.37.00	.40			
15h.40.30	.30			
15h.44.00	.20			
15h.47.30	.10			
15h.51.00	28.00	15,8		
15h.54.30	.90			
15h.58.00	.80			
16h.01.30	.70			
16h.05.00	.60			
16h.08.30	.50			
16h.12.00	.40			
16h.15.30	.30			
16h.19.00	.20			
16h.22.30	.10			
16h.26.00	27.00	16,3		
16h.29.30	.90			
16h.33.00	.80			
16h.36.30	.70			
16h.40.00	.60			
16h.43.30	.50			

16h.47.00	.40			
16h.50.30	.30			
16h.54.00	.20			
16h.57.30	.10			
17h.01.00	26.00	16,7		
17h.04.30	.90			
17h.08.00	.80			
17h.11.30	.70			
17h.25.00	.60			
17h.28.30	.50			
17h.32.00	.40			
17h.35.30	.30			
17h.39.00	.20			
17h.42.30	.10			
17h.36.00	25.00	17,2		
17h.39.30	.90			
17h.43.00	.80			
17h.46.30	.70			
17h.50.00	.60			
17h.53.30	.50			
17h.57.00	.40			
18h.00.30	.30			
18h.04.00	.20			
18h.07.30	.10			
18h.11.00	24.00	17,7		
18h.14.30	.90			
18h.18.00	.80			
18h.21.30	.70			
18h.25.00	.60			
18h.28.30	.50			
18h.32.00	.40			
18h.35.30	.30			
18h.39.00	.20			
18h.42.30	.10			
18h.46.00	23.00	18,2		
18h.49.30	.90			
18h.53.00	.80			
18h.56.30	.70			
19h.00.00	.60			
19h.03.30	.50			
19h.07.00	.40			
19h.10.30	.30			
19h.14.00	.20			
19h.17.30	.10			
19h.21.00	22.00	18,8		
19h.24.30	.90			
19h.28.00	.80			
19h.31.30	.70			
19h.35.00	.60			
19h.38.30	.50			
19h.42.00	.40			
19h.45.30	.30			
19h.4.9.00	.20			
19h.52.30	.10			
19h.56.00	21.00	19,4		

19h.59.30	.90			
20h.03.00	.80			
20h.06.30	.70			
20h.10.00	.60			
20h.13.30	.50			
20h.17.00	.40			
20h.20.30	.30			
20h.24.00	.20			
20h.27.30	.10			
20h.31.00	20.00	20,0	40 min./m (4'00"/10cm)	
20h.35.00	.90			
20h.39.00	.80			
20h.43.00	.70			
20h.47.00	.60			
20h.51.00	.50			
20h.55.00	.40			
20h.59.00	.30			
21h.03.00	.20			
21h.07.00	.10			
21h.11.00	19.00	20,7		
21h.15.00	.90			
21h.19.00	.80			
21h.23.00	.70			
21h.27.00	.60			
21h.31.00	.50			
21h.35.00	.40			
21h.39.00	.30			
21h.43.00	.20			
21h.47.00	.10			
21h.51.00	18.00	21,5		
21h.55.00	.90			
21h.59.00	.80			
22h.03.00	.70			
22h.07.00	.60			
22h.11.00	.50			
22h.15.00	.40			
22h.19.00	.30			
22h.23.00	.20			
22h.27.00	.10			
22h.31.00	17.00	22,3		
22h.35.00	.90			
22h.39.00	.80			
22h.43.00	.70			
22h.47.00	.60			
22h.51.00	.50			
22h.55.00	.40			
22h.59.00	.30			
23h.03.00	.20			
23h.07.00	.10			
23h.11.00	16.00	23,1		
23h.15.00	.90			
23h.19.00	.80			
23h.23.00	.70			
23h.27.00	.60			
23h.31.00	.50			

23h.35.00	.40			
23h.39.00	.30			
23h.43.00	.20			
23h.47.00	.10			
23h.51.00	15.00	24%		
23h.55.00	.90			
23h.59.00	.80			
24h.03.00	.70			
24h.07.00	.60			
24h.11.00	.50			
24h.15.00	.40			
24h.19.00	.30	24%		
24h.23.00	.20			
24h.27.00	.10			
24h.31.00	14.00			
24h.35.00	.90			
24h.39.00	.80			
24h.43.00	.70			
24h.47.00	.60			
24h.51.00	.50			
24h.55.00	.40			
24h.59.00	.30			
25h.03.00	.20			
25h.07.00	.10			
25h.11.00	13.00			
25h.15.00	.90			
25h.19.00	.80			
25h.23.00	.70			
25h.27.00	.60			
25h.31.00	.50			
25h.35.00	.40			
25h.39.00	.30			
25h.43.00	.20			
25h.47.00	.10			
25h.51.00	12.00			
25h.55.00	.90			
25h.59.00	.80			
26h.03.00	.70			
26h.07.00	.60			
26h.11.00	.50			
26h.15.00	.40			
26h.19.00	.30			
26h.23.00	.20			
26h.27.00	.10			
26h.31.00	11.00			
26h.35.00	.90			
26h.39.00	.80			
26h.43.00	.70			
26h.47.00	.60			
26h.51.00	.50			
26h.55.00	.40			
26h.59.00	.30			
27h.03.00	.20			
27h.07.00	.10			
27h.11.00	10.00		45 min./m (4'30"/10cm)	

27h.15.30	.90			
27h.20.00	.80			
27h.24.30	.70			
27h.29.00	.60			
27h.33.30	.50			
27h.38.00	.40			
27h.42.30	.30			
27h.47.00	.20			
27h.51.30	.10			
27h.56.00	09.00			
28h.00.30	.90			
28h.05.00	.80			
08h.09.30	.70			
28h.14.00	.60			
28h.18.30	.50			
28h.23.00	.40			
28h.27.30	.30			
28h.32.00	.20			
28h.36.30	.10			
28h.41.00	08.00			
28h.45.30	.90			
28h.50.00	.80			
28h.54.30	.70			
28h.59.00	.60			
29h.03.30	.50			
29h.08.00	.40			
29h.12.30	.30			
29h.17.00	.20			
29h.21.30	.10			
29h.26.00	07.00			
29h.30.30	.90			
29h.35.00	.80			
29h.39.30	.70			
29h.44.00	.60			
29h.48.30	.50			
29h.53.00	.40			
29h.57.30	.30			
30h.02.00	.20			
30h.06.30	.10			
30h.11.00	06.00			
30h.15.30	.90			
30h.20.00	.80			
30h.24.30	.70			
30h.29.00	.60			
30h.33.30	.50			
30h.38.00	.40			
30h.42.30	.30			
30h.47.00	.20			
30h.51.30	.10			
30h.56.00	05.00			
31h.01.00	.90			
31h.06.00	.80			
32h.11.00	.70			
31h.16.00	.60			
31h.21.00	.50			

31h.26.00	.40	24%		
31h.31.00	.30			
31h.36.00	.20			
31h.41.00	.10			
31h.46.00	04.00			
31h.51.00	.90			
31h.56.00	.80			
32h.01.00	.70			
32h.06.00	.60			
32h.11.00	.50			
32h.16.00	.40			
32h.21.00	.30			
32h.26.00	.20			
32h.31.00	.10			
32h.36.00	03.00			
32h.41.00	.90			
32h.46.00	.80			
32h.51.00	.70			
32h.56.00	.60			
33h.01.00	.50			
33h.06.00	.40			
33h.11.00	.30			
33h.16.00	.20			
33h.21.00	.10			
33h.26.00	02.00			
33h.31.00	.90			
33h.36.00	.80			
33h.41.00	.70			
33h.46.00	.60			
33h.51.00	.50			
33h.56.00	.40			
34h.01.00	.30			
34h.06.00	.20			
34h.11.00	.10			
34h.16.00	01.00			
34h.21.00	.90			
34h.26.00	.80			
34h.31.00	.70			
34h.36.00	.60			
34h.41.00	.50			
34h.46.00	.40			
34h.51.00	.30			
34h.56.00	.20			
35h.01.00	.10			
35h.06.00	00.00			

PLANUL PENTRU PREGATIREA SCUFUNDĂRII ÎN SATURAȚIE CU HELIOX

Nr. crt.	Operațiunea executată	Termen	Cine execută	Semnătura
1.	STAȚIA DE STOCARE AMESTECURI RESPIRATORII			
1.1	Verificarea etanșeității recipientilor de stocare gaze. Remedieri.			
1.2	Executarea stocului de aer.			
1.3	Verificarea panourilor pneumatice. Remedieri .			

1.4	Verificarea funcționării compresorului A4CV și a supresorului A2CV. Remedieri.			
1.5	Verificarea tabloului de management O ₂ .			
1.6	Verificarea flexibilelor (cabluri și furtunuri). Remedieri.			
2.	BAROCAMERA 2, SAS 2, ȘI BAROCAMERA 1			
2.1	Verificarea instalațiilor pneumatice cheson și SAS (etanșeitate, manevrabilitate).			
2.2	Verificarea garniturilor de la porțile de transfer și SAS-ul medical.			
2.3	Verificarea instalațiilor de iluminat, comunicațiilor, circuit închis TV, scrubber CO ₂ .			
2.4	Executarea plinului de var sodat și carbune activ la filtrul scrubber-ului.			
2.5	Verificarea instalației de apă și eliminarea condens și apă sanitară.			
2.6	Verificarea funcționării în parametri a măștilor și deversoarelor din cheson și SAS			
3.	TABLOURI PREDISTRIBUȚIE			
3.1	Verificarea etanșeității și funcționării tablourilor de distribuții după cum urmează: Tabloul de O ₂ Tabloul de distribuție amestec Tabloul de distribuție HeO ₂ Tabloul de respirație Tabloul de recuperare gaze			
4.	PUPITRU DE COMANDĂ SAS2			
4.1	Verificarea liniei de presurizare sanitară și a liniei de presurizare.			
4.2	Verificarea linie de respirație.			
4.3	Verificarea linie de decompresie.			
5.	PUPITRU COMANDĂ CHESON 2			
5.1	Verificarea liniei de injecție O ₂ .			
5.2	Verificarea liniei de respirație cameră.			
5.3	Verificarea linie de presurizare.			
5.4	Verificarea liniei de decompresie			
6.	ANALIZOARE			
6.1	Verificarea funcționării analizorului de O ₂ portabil. Etalonare.			
6.2	Verificarea funcționării analizorului de CO ₂ portabil. Etalonare.			
6.3	Verificare funcționare profundimetre. Etalonare.			
6.4	Verificare funcționare hidrometre. Etalonare.			
7.	INSTALAȚIA DE REGENERARE			
7.1	Verificarea instalației de regenerare			
7.2	Schimbare silicagel			
7.3	Schimbare calcie sodată și carbune activ			
7.4	Verificat ventilatoare de CO ₂			
8.	D.G.-uri			
8.1	Verificarea bateriilor de acumulatori.			
8.2	Verificarea plinurilor de combustibili.			
8.3	Verificarea funcționării diesel-generatoarelor			
9.	PERSONAL			
9.1	Executarea vizitei medicale			
9.2	Decontaminarea chesonului și a SAS-ului			
9.3	Prelucrarea și verificarea cunoașterii măsurilor de siguranță pe timpul executării scufundărilor profunde			

Anexa 2

Ora	Adâncime	O ₂		CO ₂		Temp.	Umid.	Schimbarea filtrelor de regenerare	Observații
h:mm	m	%	mb	ppm	mb	°C	%	C = calciu sodat S = silicagel	
I									
10:45	30	9,2	408	1.300	5,2	18,7			
11:00	40	9,3	468	470	2,4	21,8	58		
11:15	59	9,5	450	520	3,6	21,8	53		
11:30	74	8,2	446	380	3,2	22,1	53		
11:45	89	6,8	442	340	3,4	22,4	55		
12:00	101	5,7	444	330	3,7	23,2	56		
12:15	118	4,7	444	330	4,3	23,2	60		
12:30	123	4,2	466	310	4,1	27,8	60		
12:45	125	4,0	470	320	4,3	26,5	61		
13:00	129	3,9	470	280	3,9	25,8	64		
13:15	131	3,7	464	300	4,24	25,6	66		
13:30	135	3,6	458	300	4,35	25,5	67		
13:45	137	3,5	451	320	4,7	26,0	67		
14:00	141	3,2	440	300	4,5	26,6	67		
14:15	144	3,2	443	280	4,3	29,2	65		
14:30	146	3,1	443	300	4,7	30,4	63		
14:45	149	3,0	431	320	5,1	29,1	66		
14:50	150	3,0	434	320	5,1	29,1	66		
15:00	150	2,8	422	280	4,5	28,4	68		
16:00	150	2,6	318	320	5,1	28,5	75	R2	
17:00	150	2,6	398	360	5,7	28,8	78	19:00 S ₁ service	
18:00	150	2,6	375	390	6,2	29,4	80	19:00 C ₁ schimb	
18:35	ÎNCEPUT SCUFUNDAREA							36kg	
19:36	150	2,6	402	350	5,6	28,0	80		
20:00	150	2,7	402	270	4,3	29,2	60		
21:00	150	2,7	407	280	4,5	29,8	60		
22:00	150	2,6	405	280	4,5	30,6	65		
23:00	150	2,6	401	240	3,6	31,7	65		
00:00	150	2,6	401	160	2,4	32,8	60		
II									
01:00	150	2,6	400	190	3,04	32,4	65		
02:00	150	2,5	392	170	2,5	32,1	68		
03:00	150	2,5	390	140	2,2	32,2	66		
04:00	150	2,6	401	100	1,6	31,8	70		
05:00	150	2,6	401	150	2,4	31,8	70		
06:00	150	2,5	405	140	2,25	31,9	68		
07:00	150	2,5	401	150	2,4	32,2	70		
08:00	150	2,5	404	190	3,04	32,7	75		
08:27	ÎNCEPUT SCUFUNDAREA								

10:17	150	2,5		200	3,2	31,6	80	R ₂ S ₂ 09:45	
11:00	150	2,7	430	150	2,4	30,6	68		
12:00	150	2,7	430	150	2,4	30,5	63		
13:00	150	2,7	421	170	2,7	29,8	65		
14:00	150	2,6	419	230	3,6	31,4	60		
15:00	150	2,6	421	250		32,4	60		
16:00	150	2,6	417	290	4,8	34,2	60		
17:00	150	2,5	408	300	4,8	34,0	66		
18:00	150	2,5	402	270	3,3	33,2	70		
18:30	ÎNCEPUT SCUFUNDAREA								
19:24	TERMINAT SCUFUNDAREA								
20:00	150	2,6	408	340	5,4	32,4	80		
21:00	150	2,6	408	270	3,3	33,2	74		
22:00	150	2,6	400	280	4,5	32,2	60		
23:00	150	2,5	396	300	4,8	32,1	60		
24:00	150	2,8	398	200	3,2	32,1	65		
III									
01:00	150	2,7	426	200	3,2	32,8	72		
02:00	150	2,7	428	180	2,88	32,4	55		
03:00	150	2,7	425	180	2,88	33,2	60		
04:00	150	2,6	419	150	2,4	31,8	65		
05:00	150	2,6	414	130	2,08	31,2	63		
06:00	150	2,6	408	130	2,1	30,8	65		
07:00	150	2,7	423	140	2,24	30,2	72		
08:00	150	2,6	420	230	3,68	29,6			
09:00	150	2,6	415	390	6,24	35,0	70	R ₁ S ₂ 09:00	
09:40	ÎNCEPUT SCUFUNDAREA								
11:00	150	2,7	424	260	4,1	30,2	75		
12:00	150	2,7	419	170	2,72	30,5	78		
13:00	150	2,7	418	150	2,4	31,2	75	R ₁ S ₁ 11:00	
14:00	150	2,6	410	150	2,4	31,6	81	12:30 C (36kg)	
15:00	150	2,5	414	150	2,4	32,0	58	R ₁ S ₂ 14:15	
16:00	150	2,5	406	150	2,4	32,3	65		
17:00	150	2,5	393	125	2,0	32,6	73		
18:00	150	2,5	394	150	2,4	32,7	75		
19:00	150	2,5	408	170	2,72	33,2	75		
20:00	150	3,4	436	160	2,6	32,4	75		
20:30	149	3,4	490	120	1,9	32,0	80		
21:00	148	3,6	513	330	5,21	31,8	78	R ₁ S ₁ 21:40	
21:30	147	3,9	521	200	3,14	31,5	80		
22:00	146	4,0	529	180	2,8	31,3	80		
22:30	145	4,0	571	200	3,1	31,3	65		
23:00	144	3,9	560	220	3,39	31,2	65		
23:30	143	4,1	572	240	3,67	31,3	72		
24:00	142	4,0	575	260	3,95	31,0	72		
IV									
00:30	141	4,0	567	245	3,7	31,2	72		
01:00	140	4,1	567	175	2,62	31,3	78		
01:30	139	4,1	572	170	2,52	31,2	78		
02:00	138	4,1	574	140	2,07	31,2	79		
02:30	137	4,1	566	140	2,06	31,2	80	R ₁ S ₂ 02:30	
03:00	136	4,2	461	140	2,04	31,2	75		
03:30	135	4,2	568	130	1,88	31,2	73		
04:00	134	4,2	562	130	1,87	31,2	74		
04:30	133	4,2	566	130	1,86	31,2	74		

05:00	132	4,3	568	135	1,92	31,2	70		
05:30	131	4,3	572	140	1,97	30,8	70		
06:00	130	4,3	571	130	1,82	31,3	68		
06:30	129	4,4	571	140	1,95	31,5	68		
07:00	128	4,4	568	150	2,07	31,8	68		
07:30	127	4,4	567	170	2,33	31,9	73		
08:00	126	4,4	564	220	2,99	31,8	75		
08:30	125	4,4	567	230	3,1	32,2	76		
09:00	124	4,5	582	230	3,08	32,1	80		
09:30	123	4,6	577	260	3,46	32,0	70		
10:00	122	4,6	576	250	3,3	32,0	60		
10:30	121	4,7	585	260	3,41	32,0	55		
11:00	120	4,7	590	260	3,38	32,1	58		
11:30	119	4,7	583	280	3,61	32,0	60		
12:00	118	4,7	578	320	4,09	32,0	62		
12:30	118	4,7	578	290	3,68	32,2	64		
13:00	116	4,8	579	280	3,52	32,4	63		
13:30	115	4,8	579	320	4,0	32,5	65		
14:00	114	4,9	575	340	4,21	31,6	69		
14:30	113	4,9	579	350	4,3	31,6	68		
15:00	112	5,0	576	351	4,24	31,8	71		
15:30	111	5,4	584	325	3,93	31,6	74		
16:00	110	5,4	599	340	4,03	32,1	76		
16:30	109	5,4	603	350	3,81	31,9	76		
17:00	108	5,4	600	340	4,01	31,7	77		
17:30	107	5,4	590	320	3,74	31,5	78		
18:00	106	5,3	574	330	3,82	31,6	78	R ₁ S ₁ 18:20	
18:30	105	5,3	580	300	3,45	31,5	78		
19:00	104	5,3	575	320	3,53	31,5	77		
19:30	103	5,4	573	335	3,78	31,5	75		
20:00	102	5,4	569	315	3,52	31,6	75		
20:30	101	5,5	575	335	3,71	31,5	80		
21:00	100	5,5	583	360	3,74	31,6	80	R ₁ S ₂ 21:00	
21:30	99	5,5	563	390	4,25	31,4	77		
22:00	98	5,6	571	300	3,24	31,5	69		
22:30	97	5,7	577	350	3,74	31,5	68		
23:00	96	5,7	574	340	3,6	31,6	65		
23:30	95	5,8	585	310	3,25	31,9	68		
24:00	94	5,9	589	280	2,91	32,1	65		
V									
00:30	93	6,0	594	250	2,57	31,8	66		
01:00	92	5,9	587	250	2,55	31,5	65		
01:30	91	6,1	585	260	2,62	31,5	75		
02:00	90	6,0	582	230	2,3	30,6	50		
02:30	89	6,1	581	250	2,47	31,3	50		
03:00	88	6,2	575	220	2,2	31,2	55		
03:30	87	6,2	587	250	2,42	31,4	55		
04:00	86	6,3	596	290	2,78	31,6	55		
04:30	85	6,4	592	310	2,94	31,8	55		
05:00	84	6,4	584	280	2,63	31,9	55		
05:30	83	6,4	582	290	2,69	31,6	58		
06:00	82	6,6	586	270	2,48	31,5	60		
06:30	81	6,6	588	340	3,09	31,2	63		
07:00	80	6,7	587	350	3,15	31,2	61		
07:35	79	6,7	580	330	2,94	30,6	67		

08:10	78	6,8	589	300	2,64	30,8	66		
08:45	77	6,9	587	375	3,26	31,3	66		
09:20	76	7,0	574	400	3,44	31,5	68		
09:55	75	7,1	579	450	3,82	31,6	69		
10:30	74	7,2	588	440	3,69	31,7	69		
11:05	73	7,3	589	450	3,73	31,3	71		
11:40	72	7,4	585	500	4,1	31,2	75		
12:15	71	7,6	578	520	4,21	31,2	78		
12:50	70	7,5	588	620	4,96	31,5	78		
13:25	69	7,6	589	550	4,34	31,5	76		
14:00	68	7,7	583	560	4,36	31,4	76		
14:35	67	7,8	585	550	4,23	31,3	78	R ₁ S ₁ 15:30	
15:10	66	7,9	584	600	4,56	31,2	82		
15:45	65	8,0	584	540	4,05	31,2	74		
16:20	64	8,1	588	600	4,44	31,2	75		
16:55	63	8,2	585	600	4,38	31,2	70		
17:30	62	8,5	590	600	4,32	30,9	75		
18:05	61	8,7	579	515	3,65	31,2	75		
18:40	60	8,7	588	550	3,85	31,3	78		
19:15	59	8,9	595	550	3,79	31,2	80		
19:50	58	8,9	582	650	4,42	31,3	82	R ₁ S ₂ 20:00	
20:25	57	9,0	588	750	5,02	31,0	78		
21:00	56	9,2	588	670	4,42	31,4	70		
21:35	55	9,3	589	750	4,87	31,4	70		
22:10	54	9,4	589	800	5,12	31,5	70		
22:45	53	9,5	581	800	5,04	30,8	72		
23:20	52	9,7	585	820	5,08	30,7	72		
23:55	51	9,9	585	820	5,0	30,5	72		
VI									
00:30	50	10,0	599	870	5,22	30,5	72		
01:05	49	10,2	595	900	5,31	30,4	72		
01:40	48	10,4	592	900	5,22	30,5	74		
02:15	47	10,4	598	910	5,18	30,5	75		
02:50	46	10,8	599	850	4,76	30,0	78		
03:25	45	11,0	600	810	4,45	30,4	65		
04:00	44	11,2	598	810	4,37	30,2	65		
04:35	43	11,4	591	810	4,29	29,9	68		
05:10	42	11,6	598	890	4,62	29,8	68		
05:45	41	11,8	597	890	4,53	29,9	68		
06:20	40	12,0	596	950	4,75	30,3	60		
07:55	39	12,3	601	1.100	5,34	30,2	63		
07:30	38	12,5	590	1.200	5,76	30,4	69		
08:05	37	12,8	590	1.200	5,64	30,4	60		
08:40	36	13,1	595	1.200	5,52	30,4	70		
09:15	35	13,4	605	1.200	5,4	30,6	70		
09:50	34	13,8	600	1.200	5,28	30,8	75		
10:25	33	14,0	585	1.600	6,88	30,7	75		
11:00	32	14,3	572	1.600	6,72	30,6	73		
11:35	31	14,7	580	1.800	7,38	30,6	73		
12:10	30	15,0	582	1.820	7,28	30,8	73		
12:45	29	15,4	586	1.900	7,41	30,6	75		
13:20	28	15,6	582	1.350	5,13	30,6	70		
13:55	27	16,3	589	950	3,51	30,5	70		
14:30	26	16,7	588	860	3,1	30,4	75		
15:05	25	17,2	573	790	2,76	30,4	75		

15:40	24	17,7	570	690	2,34	30,3	83		
16:15	23	18,2	570	950	3,13	30,1	85		
16:50	22	18,7	568	800	2,56	29,9	75		
17:25	21	19,4	569	510	1,58	30,2	75		
18:00	20	20,0	564	550	1,65	29,9	72		
18:40	19	20,6	572	610	1,77	30,2	73		
19:20	18	21,4	571	680	1,9	30,2	73		
20:00	17	22,3	572	750	2,03	30,1	75		
20:40	16	23,1	578	950	2,47	30,3	75		
21:20	15	24,0	582	900	2,25	30,0	76		
22:00	14	24,0	555	890	2,13	30,0	75		
22:40	13	24,0	546	1.200	2,76	30,0	75		
23:20	12	24,0	522	1.100	2,42	29,8	78		
00:00	11	24	499	1.000	2,1	29,5	78		
VII									
00:40	10	24	481	1.050	2,1	29,5	75		
01:25	9	24	459	870	1,65	29,2	76		
02:10	8	24,1	433	700	1,26	28,9	70		
02:55	7	24	330	700	1,19	28,8	70		
03:40	6	24,8	277	800	1,28	28,6	78		
04:25	5	24,4	260	1.300	1,95	28,7	70		
05:15	4	24	231	1.700	2,38	28,8	74		
06:05	3	24,1	213	1.700	2,21	28,6	73		
06:55	2	24	189	1.700	2,04	28,5	74		
07:45	1	23,9	175	1.800	1,98	28,5	73		
08:35	ON	TERMINAT							