

## HELIOX SATURATION DIVING IN POLAND. PART II

## NURKOWANIA SATUROWANE Z WYKORZYSTANIEM HELIOKSU. CZĘŚĆ II

Ryszard Kłos

Polish Naval Academy, Department of Underwater Work Technology in Gdynia, Poland  
Akademia Marynarki Wojennej Zakład Technologii Prac Podwodnych w Gdyni

### ARTICLE INFO

**Journal:** PolHypRes 2013 Vol. 44 Issue 3 pp. 23 – 64

**ISSN:** 1734-7009

**eISSN:** 2084-0535

**DOI:** HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR. 44.2

Pages: 42, figures: 3, tables: 7.

**page www of the periodical:** www.phr.net.pl

#### **Keywords/Słowa kluczowe:**

*(in English):* decompression, saturation diving.

*(in Polish):* ratowanie tonących, akcja ratunkowa, nurkowanie.

#### **Polish-English bilingual publication**

#### **Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

### ABSTRACT

*(in English)*

The described saturation diving technology was launched as training for Polish Navy specialists. It is an effect of the R&D project No. R00 O0014/3 entitled: "Saturation Diving Technology" financed by the Polish Ministry of Science and Higher Education, which have been implemented earlier by Academy in LOTOS Petrobaltic SA.

**Continuation of the article, which appeared in the PHR 2(43) 2013.**

*(in Polish)*

Opisana technologia nurkowania realizowana była, jako szkolenia dla specjalistów Marynarki Wojennej RP stanowiąc wdrożenie efektów projektu badawczo-rozwojowego nr R00-O0014/3 pt.: „Metodyka nurkowań saturowanych” finansowanego ze środków na naukę, które wcześniej wdrożono w LOTOS Petrobaltic SA.

**Ciąg dalszy artykułu, który ukazał się w PHR 2(43) 2013.**

## НАСЫЩЕННЫЕ ПОГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕЛИОКСА

## Часть II

Описанная техника ныряния была реализована как подготовка специалистов Польского военно-морского флота и становила реализацию итогов Научно-исследовательского проекта № R00-O0014/3 пт.: «Методология погружений сатурационных», финансируемого с ресурсов на обучение, которые были реализованы в LOTOS Петробалтик SA.

**Ключевые слова:** декомпрессия, погружения сатурационные.

**dr hab. inż. Ryszard Kłos, prof. nadzw. AMW**

Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte

Zakład Technologii Prac Podwodnych

81 – 103 Gdynia 3, ul. Śmidowicza 69

tel.: +58 626 27 46, fax.: +58 626 27 61

## 1.7. DEKOMPRESJA

### Start dekompresji

Dekompresję można rozpocząć, jako dozwoloną wycieczkę na głębokość mniejszą od plateau saturacji – tab. 8. Szybkość przejścia na tę głębokość jest limitowana do  $2 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,6 mH_2O \cdot min^{-1}$ . Podejmowanie dekompresji zaraz po dojściu na głębokość dozwolonej wycieczki zwiększa ryzyko **DCS**, gdy plateau saturacji było na poziomie  $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$ . Dlatego w tym przypadku wymagany jest **2 godz** przystanek dekompresyjny na głębokości dozwolonej wycieczki z plateau saturacji. Po tym czasie można podjąć dalszą dekompresję zgodnie z tab.9.

Tabela 9

Szybkość prowadzenia dekompresji w funkcji głębokości.

Zakres głębokości		Szybkość prowadzenia dekompresji		Czas przejścia głębokości jednostkowej	
[mH <sub>2</sub> O]	[fsw]	[mH <sub>2</sub> O · godz <sup>-1</sup> ]	[fsw · godz <sup>-1</sup> ]	[min · mH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> ]	[min · fsw <sup>-1</sup> ]
485–61,5	1600–200	ok.1,8	6	33,3	10
61,5–30,5	200–100	ok.1,5	5	40,0	12
30,5–15,5	100–50	ok.1,2	4	50,0	15
15,5–0	50–0	ok.0,9	3	66,6	20

Można też rozpocząć proces powrotu do normobarii, jako regularną procedurę dekompresyjną bez zastosowania wstępnego przejścia nurków na głębokość dozwolonej wycieczki. Szybkości dekompresji zebrano w tab. 9. Dekompresja może być realizowana w sposób ciągły lub skokowo, co  $1 fsw \triangleq 0,3 mH_2O$  z nieprzekraczalną szybkością zmiany głębokości  $\dot{v} \leq 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,3 mH_2O \cdot min^{-1}$ . Przykładowo jeśli dekompresja przebiegać ma z szybkością  $\dot{v} = 5 fsw \cdot godz^{-1} \triangleq 1,5 mH_2O \cdot min^{-1}$ , to można zmieniać głębokość o  $1 fsw \triangleq 0,3 mH_2O$  co każde **12 min** – tab. 9.

Ze względu na to, że blisko powierzchni trudno utrzymać prawidłowy przepływ przez analizatory można zastosować ostatni przystanek dekompresyjny przed osiągnięciem powierzchni na głębokości  $4 fsw \triangleq 1,2 mH_2O$ . Przystanek ten powinien trwać  $\tau = 80 min$  i następnie z szybkością  $\dot{v} = 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,3 mH_2O \cdot min^{-1}$  można wynurzyć się do powierzchni.

Podczas dekompresji należy utrzymywać cały czas ciśnienie parcjalne tlenu na poziomie  $p_{O_2} \in [44; 48] kPa$  aż do chwili gdy zawartość tlenu w kompleksie osiągnie  $x_{O_2} = 19\%$ . Od tego momentu należy zacząć utrzymywać wartość stężenia w zakresie  $x_{O_2} \in [19; 23]\%$ . Jest to bezpieczne z punktu widzenia dekompresji a zmniejsza wydatnie zagrożenie pożarowe.

Celem zabezpieczenia się przed nagłym spadkiem ciśnienia cząstkowego tlenu podczas stosowania procedury wstępnego przejścia na stację dekompresyjną równoważną głębokości dozwolonej wycieczki należy tuż przed jej podjęciem podnieść ciśnienie cząstkowe tlenu w habitacie do wartości  $p_{O_2} = 0,6 kPa$ . Jednak dla przejścia z głębokości plateau  $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$  nie jest to dostatecznym zabezpieczeniem i ciśnienie cząstkowe tlenu spada poniżej minimalnej dozwolonej wartości  $p_{O_2} < 44 kPa$ . Dlatego po dokonaniu tej operacji należy jak najszybciej podnieść je do wartości prawidłowej. Przykładowo, o jaką wartość spadnie ciśnienie cząstkowe tlenu  $\Delta p_{O_2}$  z początkowej wartości  $p_{O_2} = 60 kPa$  po wykonaniu maksymalnej dozwolonej wycieczki dekompresyjnej na głębokość mniejszą od plateau saturacji wynoszące  $H = 60 mH_2O$ . Oznaczając jako  $p_{O_2}$  – ciśnienie cząstkowe tlenu,  $p$  – ciśnienie całkowite,  $x_{O_2}$  – ułamek molowy tlenu, można zapisać formułę na obliczanie ciśnienia cząstkowego tlenu dla stanu początkowego:  $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2}$  i końcowego:  $p_{O_2}^k = (p - \Delta p) \cdot x_{O_2}$ .

## 1.7. DECOMPRESSION

### Decompression start

Decompression may be commenced as an allowable excursion to a depth shallower than the saturation plateau - tab. 8. The transition speed to this depth is limited to  $2 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,6 mH_2O \cdot min^{-1}$ . Undertaking decompression immediately after reaching the allowable excursion depth increases the risk of **DCS** with the saturation plateau at the level of  $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$ . For this reason a 2 hour decompression stop is required at the allowable excursion depth from the saturation plateau. After this time it is possible to undertake further decompression according to tab.9.

Table 9

Decompression speed in the function of depth.

Depth range		Decompression speed		Transition time to unit depth	
[mH <sub>2</sub> O]	[fsw]	[mH <sub>2</sub> O · hour <sup>-1</sup> ]	[fsw · hour <sup>-1</sup> ]	[min · mH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> ]	[min · fsw <sup>-1</sup> ]
485-61.5	1600-200	ca.1.8	6	33.3	10
61.5-0.5	200-100	ca.1.5	5	40.0	12
30.5-15.5	100-50	ca.1.2	4	50.0	15
15.5-0	50-0	ca.0.9	3	66.6	20

It is also possible to commence the return process to normobaria as a regular decompression procedure without the divers' undertaking an initial transition to the allowable excursion depth. Decompression speeds are presented in tab.9. Decompression may be realized in a continuous or a stepwise manner every  $1 fsw \triangleq 0.3 mH_2O$  with an impassable depth change speed of  $\dot{v} \leq 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0.3 mH_2O \cdot min^{-1}$ . For instance, if decompression is to be carried out with the speed of  $\dot{v} = 5 fsw \cdot hour^{-1} \triangleq 1.5 mH_2O \cdot min^{-1}$ , it is possible to change depths by  $1 fsw \triangleq 0.3 mH_2O$  every 12 min - tab. 9.

Due to the fact that it is difficult to maintain proper flow through analyzers close to the surface it is possible to implement the last decompression stop before reaching the surface at the depth of  $4 fsw \triangleq 1,2 mH_2O$ . The stop should last  $\tau = 80 min$  after which it will be possible to surface with the speed of  $\dot{v} = 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,3 mH_2O \cdot min^{-1}$ .

During the entire decompression process it is required to maintain the oxygen partial pressure at the level of  $p_{O_2} \in [44; 48] kPa$  until the moment when the oxygen content in the dive chamber complex will reach  $x_{O_2} = 19\%$ . From this point on it necessary to maintain its concentration value within the range of  $x_{O_2} \in [19; 23]\%$ . This is safe from the point of view of decompression and moreover, it considerably lowers the risk of fire.

For the purpose of securing divers against a sudden drop in the oxygen partial pressure during the initial transition procedure to a decompression station, at a depth equivalent to the allowable excursion depth, it is required to increase the oxygen partial pressure in the habitat to the value of  $p_{O_2} = 0,6 kPa$  immediately before such transition. However, for a transition from the plateau depth of  $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$  this does not constitute a sufficient preventive measure and the oxygen partial pressure decreases below the allowable value of  $p_{O_2} < 44 kPa$ . Thus, after completing this operation it is necessary to increase it to reach the correct value as soon as possible. For example, let us consider by what value the oxygen partial pressure  $\Delta p_{O_2}$  will drop from the initial value of  $p_{O_2} = 60 kPa$  after performing a maximum allowable decompression excursion to a depth shallower than the saturation plateau of  $H = 60 mH_2O$ .

Marking oxygen partial pressure as  $p_{O_2}$ , total pressure as  $p$ , oxygen mole fraction as  $x_{O_2}$ , it is possible to express the formula for the calculation of oxygen partial pressure at the initial phase as:  $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2}$  and at the final phase as:  $p_{O_2}^k = (p - \Delta p) \cdot x_{O_2}$ .

W obu przypadkach występuje jedynie jedna wartość stężenia tlenu  $x_{O_2}$  i przy przejściu z plateau saturacji ① do głębokości wycieczki ② nie ulega ona zmianie. Spadek ciśnienia cząstkowego tlenu  $\Delta p_{O_2}$  można obliczyć z różnicy wartości ciśnień cząstkowych  $\Delta p_{O_2} = p_{O_2} - p_{O_2}^k$  i wyniesie:  $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot x_{O_2}$ , gdzie:  $\Delta p_{O_2}$  – spadek ciśnienia cząstkowego tlenu,  $\Delta p$  – spadek ciśnienia całkowitego,  $x_{O_2}$  – zawartość tlenu. Tak obliczony ułamek molowy tlenu można określić dla stanu początkowego korzystając powtórnie z definicji ciśnienia cząstkowego  $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2} \rightarrow x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p}$ , stąd można zapisać:  $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot \frac{p_{O_2}}{p}$ . Zgodnie z tab. 6 dozwolona jest wycieczka na głębokość  $h_1 = 41 \text{ mH}_2\text{O}$ <sup>25</sup>, czyli zmiana głębokości o  $\Delta h = 60 - 41 = 19 \text{ mH}_2\text{O}$ , co pociąga spadek ciśnienia  $\Delta p = 190 \text{ kPa}$ . Stąd spadek ciśnienia cząstkowego tlenu wyniesie:  $\Delta p_{O_2} \cong 16,3 \text{ kPa}$ . Widać stąd, że ciśnienie cząstkowe na pierwszej stacji wyniesie  $p_{O_2} \cong 60 - 16,3 \cong 43,7 \text{ kPa}$  i będzie mniejsze od najniższej wartości  $p_{O_2}^{\text{min}} = 46 \text{ kPa}$  o wartość  $\Delta p_{O_2} \cong 46 - 43,4 \cong 2,3 \text{ kPa}$ , którą to wartość należy skorygować, jak to pokazano wcześniej, podnosząc na chwilę ciśnienie tlenem  $\Delta p \cong 2,5 \text{ kPa} \cong 0,25 \text{ mH}_2\text{O}$ .

Ze względu na zagrożenie pożarowe należy oszacować w jakim zakresie głębokości  $h$  zawartość tlenu  $x_{O_2}$  może osiągnąć wartość  $x_{O_2} = 0,23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  podczas prowadzenia dekompresji z plateau saturacji. Z definicji ciśnienia cząstkowego tlenu  $p_{O_2}$  dla ciśnienia całkowitego  $p$  i ułamek molowy tlenu  $x_{O_2}$ , można zapisać:  $p = \frac{p_{O_2}}{x_{O_2}}$ . Wiadomo, że podczas saturacji należy utrzymywać ciśnienie parcjale tlenu w zakresie  $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$ , stąd:  $p \in [191; 208] \text{ kPa}$ , co odpowiada  $p \in [9,1; 10,8] \text{ mH}_2\text{O}$ .

### Przerwa w dekompresji

Podczas **24 godz** doby należy zastosować dwa przystanki dekompresyjne stanowiące sumarycznie **8 godz** postoju na dowolnie wybranej głębokości. Minimalny czas jednego postoju powinien wynosić **2 godz**. Dobrze jest zaplanować rozkład doby dekompresji tak, aby nie była ona prowadzona podczas snu nurków<sup>26</sup>.

Tabela 10

Dzienny program dekompresji.

Pora dnia	Czynności
0000–0600	Postój na stacji dekompresyjnej
0600–1400	Dekompresja
1400–1600	Postój na stacji dekompresyjnej
1600–2400	Dekompresja

Pora dnia	Czynności
2300–0500	Dekompresja
0500–0700	Postój na stacji dekompresyjnej
0700–0900	Dekompresja
0900–1500	Postój na stacji dekompresyjnej
1500–2300	Dekompresja

Nie jest to jednak regułą. W tab. 10 podano przykładowe dwa rozkłady prowadzenia dekompresji w ciągu doby.

<sup>25</sup> przyjęto metodą najgorszych okoliczności następną większą głębokość  $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$ , gdyż głębokość  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  nie występuje w tab. 8 a w kierunku większych głębokości następuje zmniejszenie głębokości wycieczki  $h_1$ ,

<sup>26</sup> nurkowie powinni być świadomi prowadzonej dekompresji, gdyż zdarzyć się może, że brak wyrównywania ciśnienia w uchu środkowym podczas prowadzenia dekompresji podczas snu może po przebudzeniu skutkować objawami bólowymi,

In both cases there is only one oxygen concentration value  $x_{O_2}$  that does not change during transition from the saturation plateau ① to the excursion depth ②. A decrease in the oxygen partial pressure  $\Delta p_{O_2}$  may be calculated based on a remainder of partial pressure values  $\Delta p_{O_2} = p_{O_2} - p_{O_2}^k$  and will amount to:  $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot x_{O_2}$ , where:  $\Delta p_{O_2}$  – oxygen partial pressure decrease,  $\Delta p$  – total pressure decrease,  $x_{O_2}$  – oxygen content. So calculated oxygen mole fraction may be determined for the initial phase by reapplying partial pressure definition  $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2} \rightarrow x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p}$ , thus we will obtain:  $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot \frac{p_{O_2}}{p}$ . According to tab. 6 it is allowable to perform an excursion to the depth equal to  $h_1 = 41 \text{ mH}_2\text{O}$ <sup>25</sup>, i.e. a depth change by  $\Delta h = 60 - 41 = 19 \text{ mH}_2\text{O}$ , which results in the pressure decrease of  $\Delta p = 190 \text{ kPa}$ . Hence, the oxygen partial pressure drop will reach:  $\Delta p_{O_2} \cong 16.3 \text{ kPa}$ . This reveals that the partial pressure at the first station will reach  $p_{O_2} \cong 60 - 16.3 \cong 43.7 \text{ kPa}$  and will be lower than the lowest value  $p_{O_2}^{\text{min}} = 46 \text{ kPa}$  by the value of  $\Delta p_{O_2} \cong 46 - 43.4 \cong 2.3 \text{ kPa}$ , which will require a correction, as it was earlier shown, by a momentary pressure increase with oxygen  $\Delta p \cong 2.5 \text{ kPa} \cong 0.25 \text{ mH}_2\text{O}$ . Due to fire hazard it is required to estimate the depth range  $h$  within which the oxygen content  $x_{O_2}$  could reach the value of  $x_{O_2} = 0.23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  during the decompression from the saturation plateau. From oxygen partial pressure definition  $p_{O_2}$  for the total pressure  $p$  and oxygen mole fraction  $x_{O_2}$ , we may write:  $p = \frac{p_{O_2}}{x_{O_2}}$ . It is known that during saturation it is necessary to maintain the oxygen partial pressure within  $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$ , hence:  $p \in [191; 208] \text{ kPa}$ , which corresponds to  $p \in [9.1; 10.8] \text{ mH}_2\text{O}$ .

### Decompression break

During a **24 hour period** it is required to implement two decompression stops of a total time of **8 hours** at a selected depth. The minimum time of a single stop should be **2 hours**. It is good to plan a twenty-four-hour decompression schedule in such a way as to avoid having it carried out during the divers' sleep<sup>26</sup>.

Table 10

Daily decompression programme.

Time of day	Activities
0000-0600	Stop at a decompression station
0600-1400	Decompression
1400-1600	Stop at a decompression station
1600-2400	Decompression

Time of day	Activities
2300-0500	Decompression
0500-0700	Stop at a decompression station
0700-0900	Decompression
0900-1500	Stop at a decompression station
1500-2300	Decompression

<sup>25</sup> the next greater depth value of  $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$  was adopted according to the worst case scenario method, since the depth of  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  does not appear in tab. 8 and towards greater depths there is a reduction in the excursion depths  $h_1$ ,

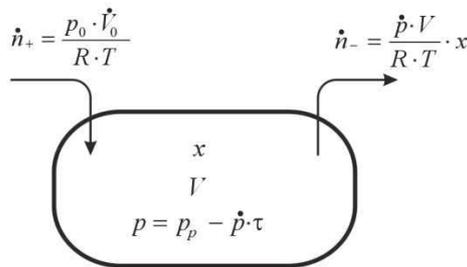
<sup>26</sup> divers should be conscious during decompression to ensure they carry out the act of balancing the pressure in the middle ear as and when required. If they were to fail to complete this manoeuvre owing to being in a deep sleep, they may experience some painful side effects up on waking up,

### Zakończenie dekompresji

Po dekompresji nurkowie są nadal narażeni na chorobę dekompresyjną **DCS**. Stąd powinni oni pozostawać w bezpośrednim sąsiedztwie komory przez min. **2 godz** od osiągnięcia powierzchni. Przez dalsze **48 godz** powinni przebywać w miejscu odległym, z którego możliwy jest zawsze transport do komory w ciągu max. **30 min**. Nurkowie nie mogą podróżować drogą lotniczą do **72 godz** od chwili zakończenia dekompresji po saturacji.

### Zapotrzebowanie na tlen

Podczas prowadzenia dekompresji należy utrzymywać cały czas ciśnienie parcjale tlenu na poziomie  $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$  powoduje to konieczność zwiększania zawartości tlenu poprzez jego dodawanie do kompleksu aż do granicy, gdy ze względu na zagrożenie pożarowe utrzymywana jest stała zawartość tlenu. Interesujące jest oszacowanie zapotrzebowania na tlen potrzebny do zabezpieczenia tej fazy dekompresji. Przykładowo, należy oszacować zapotrzebowanie na tlen  $\dot{V}_0$  dla kompleksu nurkowego o pojemności  $V = 43 \text{ m}^3$  podczas dekompresji z głębokości plateau saturacji  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  w celu utrzymania ciśnienia cząstkowego tlenu  $p_{O_2} = 46 \text{ kPa}$  na stałym poziomie aż do głębokości  $h = 10 \text{ mH}_2\text{O}$ , gdy jego stężenie osiągnie  $x_{O_2} = 0,23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ .



Rys. 1. Bilans molowy tlenu dla dekompresji.

Zakładając, że szybkość zmiany ciśnienia  $\dot{p}$  i strumień dodawanego tlenu  $\dot{V}_0$  są wartościami stałymi

$$\begin{aligned} \dot{p} \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{p} = \text{idem} \\ \dot{V}_0 \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{V}_0 = \text{idem} \end{aligned}$$

można zapisać bilans molowy. Granicznie mała zmiana zawartości tlenu  $\frac{\partial x}{\partial \tau}$  może stanowić podstawę obliczenia zmiany liczby moli  $\frac{p - \dot{p} \cdot \tau}{R \cdot T} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau}$ , gdzie: wyrażenie  $p - \dot{p} \cdot \tau$  określa liniową zmianę ciśnienia w kompleksie:

$$\frac{p - \dot{p} \cdot \tau}{R \cdot T} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{p_0 \dot{V}_0}{R \cdot T} - \frac{\dot{p} \cdot V}{R \cdot T} \cdot x$$

gdzie:  $V$  – objętość kompleksu,  $p$  – ciśnienie,  $\dot{p}$  – szybkość zmiany ciśnienia,  $R$  – uniwersalna stała gazowa,  $T$  – temperatura,  $x$  – ułamek molowy tlenu w atmosferze habitatu,  $\tau$  – czas.

Przekształcając, można zapisać:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\frac{V_0}{V} p_0 - \dot{p} \cdot x}{p - \dot{p} \cdot \tau}$$

Porządkując dane i całkując:

$$\int \frac{\partial x}{\dot{p} \cdot x - \frac{V_0}{V} p_0} = \int \frac{\partial \tau}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

Still, this is not the norm. Tab. 10 shows two exemplary decompression distribution programmes for a twenty-four-hour period.

### Decompression completion

After the decompression procedure, the divers still run the risk of suffering from decompression sickness (*DCS*). For this reason they should remain near the chamber for at least a two-hour period after reaching the surface. During the next **48 hours** they may be allowed to stray further from the chamber; however, they should be ensured transportation to the chamber within a maximum timeframe of **30 minutes**. Following a saturation dive, divers are not allowed to travel by air for up to **72 hours** after the completion of their decompression.

### Oxygen demand

In the course of decompression it is necessary to maintain the oxygen partial pressure at  $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$  at all times, which results in the requirement of increasing the oxygen content by adding it to the chamber complex until reaching the limit value, as due to fire hazard constant oxygen content needs to be maintained. What is interesting is the estimation of oxygen demand necessary for securing this decompression phase. By way of example, let us estimate oxygen demand  $V_0$  for a diving complex with the capacity of  $V = 43 \text{ m}^3$  during decompression from the saturation plateau of  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  for the purpose of maintenance of the oxygen partial pressure  $p_{O_2} = 46 \text{ kPa}$  at a constant level until reaching the depth  $h = 10 \text{ mH}_2\text{O}$ , when its concentration will reach  $x_{O_2} = 0.23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

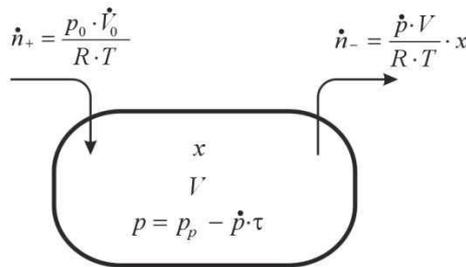


Fig. 1. Oxygen molar balance for decompression.

Assuming that the pressure change speed  $\dot{p}$  and the stream of supplied oxygen  $\dot{V}_0$  constitute constant values

$$\begin{aligned} \dot{p} \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{p} = \text{idem} \\ \dot{V}_0 \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{V}_0 = \text{idem} \end{aligned}$$

It is possible to express the molar balance. Even the slightest change in the oxygen content  $\frac{\partial x}{\partial \tau}$  may provide the grounds for calculating the change in the number of moles  $\frac{p - \dot{p} \cdot \tau}{R \cdot T} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau}$ , where: the expression  $p - \dot{p} \cdot \tau$  defines linear pressure change in the complex:

$$\frac{p - \dot{p} \cdot \tau}{R \cdot T} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{p_0 \cdot \dot{V}_0}{R \cdot T} - \frac{\dot{p} \cdot V}{R \cdot T} \cdot x$$

where:  $V$  – complex volume,  $p$  – pressure,  $\dot{p}$  – pressure change speed,  $R$  – universal gas constant,  $T$  – temperature,  $x$  – oxygen mole fraction in the habitat's atmosphere,  $\tau$  – time.

After rearrangement we may record it as:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\dot{V}_0 \cdot p_0 - \dot{p} \cdot x}{p - \dot{p} \cdot \tau}$$

można otrzymać rozwiązanie ogólne równania całkowego:

$$\frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln \left| \dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0 \right| - \frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln |\dot{p} \cdot \tau - p| = C'$$

Mnożąc stronami przez szybkość zmiany ciśnienia  $\dot{p}$  i porządkując, można zapisać wyrażenie na wartość stałej całkowania:

$$C = \ln \frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

Wiedząc, że dla warunków początkowych  $x(\tau = 0) = x_0 \wedge \dot{V}_0(\tau = 0) = 0$  można obliczyć wartość stałej całkowania  $C = \ln -\frac{p \cdot x_0}{\dot{p}}$ . Następnie wstawiając ją do rozwiązania ogólnego całki można po opuszczeniu logarytmów zapisać, że:

$$\frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p} = -\frac{\dot{p} \cdot x_0}{\dot{p}}$$

Przekształcając

$$\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0 = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot \dot{p} \cdot x_0$$

i następnie porządkując można otrzymać wyrażenie na zmianę zawartości tlenu w kompleksie nurkowym podczas dekompresji ze stałą szybkością opuszczania ciśnienia  $\dot{p}$  i przy dodawaniu stałego strumienia tlenu  $\dot{V}_0$ :

$$x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 + \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}}$$

Ciśnienie cząstkowe tlenu  $p_{O_2}$  będzie iloczynem ciśnienia całkowitego  $p(\tau)$  i zawartości tlenu  $x(\tau)$  w funkcji czasu  $\tau$ :

$$p_{O_2} = p(\tau) \cdot x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 \cdot p(\tau) + \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}} \cdot p(\tau)$$

Przekształcając poprzez przenoszenie pomiędzy stronami równania i zastępując  $p(\tau) \equiv p - \dot{p} \cdot \tau$ , można otrzymać:

$$\frac{p_0}{V \cdot \dot{p}} \cdot p(\tau) \cdot \dot{V}_0 = p_{O_2} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \cdot p(\tau)$$

Następnie porządkując, można zapisać:

$$\dot{V}_0 = \frac{\dot{p}}{p_0} \cdot V \cdot \left[ \frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right]$$

otrzymując wyrażenie na zapotrzebowanie na tlen wyrażony jego stałym strumieniem  $\dot{V}_0$ . Dla stanu końcowego zapotrzebowanie na tlen wyrażone przez jego objętość odniesiona do warunków normalnych  $V_0$  można zapisać, jako:

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\dot{p} \cdot \tau}{p_0} \cdot V \cdot \left( \frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right)$$

After data ordering and integration:

$$\int \frac{\partial x}{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0} = \int \frac{\partial \tau}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

we receive a general solution for the integral equation:

$$\frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln \left| \dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0 \right| - \frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln |\dot{p} \cdot \tau - p| = C'$$

By multiplying sides by pressure change speeds  $\dot{p}$  and ordering the equation, we may record the obtained expression for the integration constant as:

$$C = \ln \frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

Keeping in mind that for initial conditions of  $x(\tau = 0) = x_0 \wedge \dot{V}_O(\tau = 0) = 0$  it is possible to calculate the integration constant:  $C = \ln - \frac{p \cdot x_0}{p}$ . Next, by insertion of the obtained value into the general integration solution and after logarithm omission, we may write:

$$\frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p} = - \frac{\dot{p} \cdot x_0}{p}$$

By transformation:

$$\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0 = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot \dot{p} \cdot x_0$$

and ordering we receive an expression for an oxygen content change in the chamber complex during the decompression with a constant speed of pressure reduction  $\dot{p}$  and adding a constant oxygen stream  $\dot{V}_O$ :

$$x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 + \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}}$$

Oxygen partial pressure  $p_{O_2}$  will be the product of the total pressure  $p(\tau)$  and oxygen content  $x(\tau)$  expressed in the function of time  $\tau$ :

$$p_{O_2} = p(\tau) \cdot x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 \cdot p(\tau) + \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}} \cdot p(\tau)$$

By transformation through a shift of equation members and substitution  $p(\tau) \equiv p - \dot{p} \cdot \tau$ , we will obtain:

$$\frac{\dot{V}_O}{V \cdot \dot{p}} \cdot p(\tau) \cdot \dot{V}_O = p_{O_2} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \cdot p(\tau)$$

Next, by ordering we may record the following:

$$\dot{V}_O = \frac{\dot{p}}{p_0} \cdot V \cdot \left[ \frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right]$$

and receive an expression for oxygen demand expressed by its constant stream  $\dot{V}_O$ . Oxygen demand in the final phase expressed by its volume referred to normal conditions  $V_0$  may be recorded as follows:

Dla stanu końcowego iloczyn liniowej szybkości opuszczania ciśnienia i czasu trwania procesu dekompresji jest równy wartości zmiany ciśnienia  $\Delta p \equiv \dot{p} \cdot \tau$  oraz ciśnienia całkowite dla chwili zakończenia dekompresji jest wartością końcową tego ciśnienia  $p(\tau) \equiv p_k$ , stąd ostatecznie można zapisać:

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left( \frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k}{p_p} \cdot x_0 \right)$$

gdzie:  $p_{O_2}$  – ciśnienie cząstkowe tlenu,  $p_0$  – ciśnienie normalne,  $\dot{V}_{O_2}$  – dozowanie tlenu,  $\tau$  – czas dekompresji,  $V$  – objętość kompleksu,  $\Delta p$  – różnica ciśnień dekompresji,  $x_0$  – zawartość tlenu,  $p_k$  – ciśnienie końcowe,  $p_p$  – ciśnienie początkowe.

Wyznaczając zawartość początkową tlenu  $x_0$  z wartości początkowego ciśnienia cząstkowego

$$x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p_p}$$

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left( \frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k \cdot p_{O_2}}{p_p^2} \right)$$

Stąd zapotrzebowanie na tlen  $V_0$  wyniesie:  $V_0 \cong 45,4 Nm^3$ , co odpowiada ok. 8 butlom tlenowym o ciśnieniu roboczym  $p = 15 MPa$  i objętości  $V = 40 dm^3$ .

## 2. PROCEDURY LECZNICZE

### Choroba dekompresyjna

Najczęściej choroba dekompresyjna **DCS**<sup>27</sup> może wystąpić podczas saturacji po wykonaniu wycieczki i pracy na głębokości mniejszej niż plateau saturacji lub w czasie dekompresji po zakończeniu saturacji. Występują różne typy **DCS** – tab. 11. **Typ I** i **typ II** powodowane są powstawaniem wolnej fazy gazowej we krwi i innych tkankach oraz niedokrwieniem. **Typ III** może powodować wolna faza gazowa, kontrdyfuzja gazu inertnego, oraz podwyższenie ciśnienia płynów ustrojowych w uchu środkowym. **Typ IV** jest mało poznany, możliwe że ma na niego wpływ wolna faza gazowa, niedokrwienie, embolia i kombinacja tych czynników. Prawdopodobny wpływ na postać tej choroby ma także retencja ditlenku węgla i szybka, powtarzająca się kompresja.

Tabela 11

Podział choroby dekompresyjnej **DCS**.

<b>Typ I</b>	<b>choroba ciśnieniowa kończyn</b> objawia się miejscowymi bólami kończyn, swędzeniem skóry, miejscowym zaczerwienieniem skóry, opuchliznami lub zwiotczeniami kolan, bioder, łokci, mięśni lub skóry.
<b>Typ II</b>	<b>choroba ciśnieniowa centralnego układu nerwowego</b> objawia się zmieszaniem, niepokojem, paraliżem, dusznością i bólami w klatce piersiowej, trudnością w oddychaniu, utratą przytomności, kłopotami ze skupieniem uwagi, kłopotami z utrzymaniem równowagi i postawy wyprostowanej, szczególnie utrzymaniem kręgosłupa.
<b>Typ III</b>	<b>choroba ciśnieniowa ucha środkowego</b> objawia się pogorszeniem słuchu, zawrotami głowy, dzwonieniem i szumieniem w uszach (tinitus) czy nudnościami i jest skutkiem oddziaływania ciśnienia na zachowanie równowagi w organach znajdujących się w uchu.
<b>Typ IV</b>	<b>jałowa martwica kości</b> objawia się mechanicznym uszkodzeniem kości, uszkodzeniami strukturalnymi, lokalną mineralizacją, szczególnie atakując kości długie.

<sup>27</sup> decompression sickness,

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{p \cdot \tau}{p_0} \cdot V \cdot \left( \frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right)$$

For the final phase the product of a linear pressure decrease speed, and the decompression process duration time, is equal to the pressure change value  $\Delta p \equiv p \cdot \tau$  and the total pressure as of the moment of decompression completion and constitutes the final pressure value  $p(\tau) \equiv p_k$ , ultimately expressed as follows:

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left( \frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k}{p_p} \cdot x_0 \right)$$

where:  $p_{O_2}$  – oxygen partial pressure,  $p_0$  – normal pressure,  $\dot{V}_{O_2}$  – oxygen dosage,  $\tau$  – decompression time,  $V$  – chamber complex volume,  $\Delta p$  – decompression pressures differences,  $x_0$  – oxygen content,  $p_k$  – final pressure,  $p_p$  – initial pressure.

Determining initial oxygen content  $x_0$  based on the initial value of oxygen partial pressure  $x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p_p}$  we receive:

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left( \frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k p_{O_2}}{p_p^2} \right)$$

Thus, the oxygen demand  $V_0$  will be as follows:  $V_0 \cong 45.4 \text{ Nm}^3$ , which corresponds to approx. 8 oxygen cylinders with the working pressure of  $p = 15 \text{ MPa}$  and the volume of  $V = 40 \text{ dm}^3$ .

## 2. TREATMENT PROCEDURES

### Decompression sickness

Decompression sickness (**DCS**<sup>27</sup>) is likely to occur during the saturation after performing an excursion, and work, at a depth shallower than the saturation plateau, or during the decompression ensuing after a completed saturation. There are various **DCS** types - tab.11. **Type I** and **type II** are caused by the occurrence of a free gaseous phase in the blood and other tissues as well as ischaemia. **Type III** may be evoked by a free gaseous phase, counter diffusion of inert gas, and an increase in the pressure of bodily fluids in the middle ear. **Type IV** is still undergoing study, but is possibly affected by a free gaseous phase, ischaemia, embolism or a combination of these conditions.

Table 11

Decompression sickness classification.

<b>Type I</b>	<b>decompression sickness affecting the extremities</b> manifested by local pain in the extremities, itchy skin, local skin redness, swelling or atony of knees, hips, elbows, muscles or skin.
<b>Type II</b>	<b>decompression sickness of the central nervous system</b> manifested by confusion, anxiety, paralysis, breathlessness and pain in the chest, difficulty in breathing, loss of consciousness, problems with concentration, problems with maintaining balance and a straight position, in particular of the spine.
<b>Type III</b>	<b>decompression sickness of the middle ear</b> manifested by hearing impairment, dizziness, ringing and buzzing in the ears (tinnitus) or nausea related to pressure effect on the maintenance of balance in the organs located in the middle ear
<b>Type IV</b>	<b>avascular necrosis</b> manifested by mechanical bone damage, structural damage, local mineralization, in particular affecting the long bones

<sup>27</sup> decompression sickness,

Jeśli u jednego z nurków pozostających w saturacji wystąpią objawy **DCS** najczęściej występuje konieczność leczenia wszystkich<sup>28</sup>, choć występuje szeroka rozpiętość osobniczej odporności na **DCS**.

### Leczenie typu I DCS

Podczas saturacji **typ I DCS** może wystąpić po wycieczce na głębokości mniejsze niż plateau saturacji lub w czasie dekompresji po zakończeniu saturacji. Objawia się bólami w obszarze mięśni szkieletowych i stawów, szczególnie stawów kolanowych. Może być poprzedzony skórnymi objawami powodującymi swędzenie, wysypkę lub plamistość skóry. Najczęściej występuje początkowo zwiększająca się sztywność w obrębie stawów kolanowych utrudniająca poruszanie się. Następnie, w ciągu kilku godzin, występuje stopniowe narastanie bólu w obrębie stawów. Należy jednak uczulić nurków, aby potrafili odróżnić bóle występujące na skutek drobnych urazów czy po wysiłku od bóleści nie posiadających przyczyny w przeciążeniu stawów czy urazach mechanicznych powstających podczas pracy. Należy w tym celu dokładnie rozważyć historię powstania objawów bólowych oraz ich nasilenia. Jest mało prawdopodobne, aby bolesność powstała przed rozpoczęciem procesu dekompresji i niezmienna w czasie jej trwania była skutkiem **DCS**. **Typ I DCS** powstały podczas wycieczki oraz do **60 min** po wycieczce powyżej głębokości plateau saturacji powinien być traktowany, jak **typ II DCS** ponieważ najczęściej objawy **Typu I DCS** są jedynie symptomem poważniejszych komplikacji.

**Typ I DCS** pojawiający się po czasie dłuższym niż **60 min** po odbyciu wycieczki na głębokość mniejszą niż plateau saturacji lub występujący podczas dekompresji z plateau saturacji powinien być poddany powtórnej kompresji ze stopniowaniem co **1,5 mH<sub>2</sub>O (5 fsw)** z szybkością **1,5 mH<sub>2</sub>O · min<sup>-1</sup> (5 fsw · min<sup>-1</sup>)** aż do uzyskania głębokości ulgi. Rekompresja o głębokość większą niż **9 mH<sub>2</sub>O (30 fsw)** nie jest najczęściej wymagana. Z chwilą osiągnięcia głębokości ulgi należy podać nurkowi do oddychania mieszaninę leczniczą poprzez systemy **BIBS**. Mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się w przedziale pomiędzy  $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$ . Oddychanie heliksem leczniczym powinno być przerywane co każde **25 min** na **5 min** oddychania atmosferą kompleksu. Leczenie na głębokości powinno trwać do ustąpienia objawów, lecz nie krócej niż **2 godz.** O zakończeniu leczenia decyduje lekarz zabezpieczający. Dekompresja do plateau saturacji przebiega zgodnie z zasadami dekompresji standardowej. Po zaistnieniu **typu I DCS** zabronione są dla nurka dalsze wycieczki na głębokości mniejsze niż plateau saturacji.

### Leczenie typu II DCS i III DCS

Najczęściej **typ II DCS** jest efektem wycieczki na głębokości mniejsze niż plateau saturacji. Typowymi objawami jest osłabienie, porażenie mięśni, utrata zorności i pamięci. Początek objawów jest zwykle nagły i występuje podczas procesu wynurzania na głębokości mniejsze niż plateau saturacji lub w ciągu pierwszej godziny wycieczki.

**Typ III DCS** przejawia się nudnościami i wymiotami, zawrotami głowy, utratą równowagi, dzwonieniem w uszach i utratą słuchu.

Leczenie objawów **DCS** powstałych podczas wycieczki na głębokość mniejszą od plateau saturacji polega na natychmiastowym podjęciu powrotu na plateau z prędkością **9 mH<sub>2</sub>O · min<sup>-1</sup> (30 fsw · min<sup>-1</sup>)**.

Jeśli objawy **typu II DCS** nie powstały podczas wycieczki na głębokość mniejszą od plateau saturacji, to należy podnosić ciśnienie z plateau saturacji z szybkością **1,5 mH<sub>2</sub>O · min<sup>-1</sup> (5 fsw · min<sup>-1</sup>)** aż do uzyskania głębokości, gdzie zaobserwuje się wyraźną poprawę stanu nurka. Z reguły obserwuje się na tej głębokości gwałtowne zmniejszenie objawów **DCS**.

Jeśli nie nastąpi gwałtowna poprawa w ciągu **(5; 10)min**, to przy asyście lekarza zabezpieczającego należy prowadzić dalszą kompresję do głębokości ulgi.

<sup>28</sup> ze względu na możliwości techniczne – brak możliwości izolowania nurków w różnych komorach kompleksu saturacyjnego,

A possible impact on its form is attributed to carbon dioxide retention and a quick repeated compression. In the case of **DCS** symptom occurrence in one of the divers remaining in the saturation, commonly it is required to treat the entire group<sup>28</sup>, although individual immunity to **DCS** tends to be widely diversified.

### Treatment of type I DCS

**Type I DCS** is most likely to occur during the saturation after performing an excursion to a depth shallower than the saturation plateau, or during the decompression which follows a completed saturation. It is manifested by pain in the skeletal muscle area and joints, particularly the knee joint. The condition may be preceded with dermatological symptoms resulting in an itchy sensation, rash or spottiness. Usually, it starts with gradually developing stiffness around the knee joints, directly impeding movement possibilities. Several hours later it is characterized by gradual pain intensification in the joint area. Still, it is necessary to sensitize divers that they should be able to distinguish pain occurring as a consequence of minor injuries, or following physical effort, from the pain occurring for reasons not related to joint overload or mechanical injuries evoked during work. For this purpose it is necessary to carefully consider the history of pain-related symptoms and their intensification. It is largely unlikely that pain appearing before the initiation of the decompression process and persisting during its entire period is a result of **DCS. Type I DCS**, occurring during an excursion and persisting up to **60 min** afterwards above the saturation plateau depth, should be treated as **Type II DCS** since the most common **Type I DCS** symptoms are often a sign of more serious complications.

**Type I DCS** occurring after a period of 60 min has elapsed since completion of an excursion to a depth shallower than the saturation plateau, or occurring during the decompression from the saturation plateau, should be subjected to a repeated compression with gradation every **1.5 mH<sub>2</sub>O (5 fsw)** and a speed of **1.5 mH<sub>2</sub>O · min<sup>-1</sup> (5 fsw · min<sup>-1</sup>)** until reaching relief depth. Recompression by a depth greater than **9 mH<sub>2</sub>O (30 fsw)** is not usually required.

The moment the relief depth is reached the diver should be provided with a treatment breathing mix through **BIBS**. The mix may be heliox, for which the oxygen partial pressure is defined by the range between **p<sub>O<sub>2</sub></sub> ∈ [150; 280] kPa**. Breathing with treatment heliox should be interrupted every **25 min** for **5 min** of breathing the chamber complex's atmosphere. Treatment at a depth should be continued until the symptoms subside, however not shorter than **2 hours**. The decision on treatment completion is taken by a securing physician. Decompression to the saturation plateau is carried out in accordance with standard decompression principles. After **Type I DCS** occurrence the affected diver is prohibited from undertaking further excursions to depths shallower than the saturation plateau.

### Treatment of types II & III DCS

**Type II DCS** is typically an effect of excursions to depths shallower than the saturation plateau. Its symptoms include weakness, paralysis, loss of coherence of movement and memory. The onset is usually sudden and occurs while ascending to depths shallower than the saturation plateau or within the first hour of excursion.

**Type III DCS** is manifested by nausea and vomiting, dizziness, loss of balance, ringing in the ears and loss of hearing.

The treatment of **DCS** symptoms occurring during an excursion to a depth shallower than the saturation plateau consists in undertaking immediate return to the plateau with a speed of **9 mH<sub>2</sub>O · min<sup>-1</sup> (30 fsw · min<sup>-1</sup>)**.

<sup>28</sup> due to technical limitations it is not possible to isolate divers in different chambers of the saturation complex,

Po jej osiągnięciu należy podać nurkowi do oddychania mieszaninę leczniczą poprzez systemy **BIBS**.

Mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się w granicach  $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$ . Oddychanie heliksem leczniczym powinno być przerywane co każde **25 min** na **5 min** oddychania atmosferą kompleksu. Leczenie przy wykorzystaniu mieszanin leczniczych, na głębokości leczniczej, powinno trwać przynajmniej **2 godz.**

Po ustąpieniu wszystkich objawów i zakończeniu leczenia nurek powinien pozostać co najmniej **12 godz** na głębokości leczniczej oddychając atmosferą komory. Dekompresja do plateau saturacji przebiega zgodnie z zasadami dekompresji standardowej. Po leczeniu zabronione są dla nurka dalsze wycieczki na głębokości mniejsze niż plateau saturacji.

Tabela 12

Czynniki lecznicze.

Zakres głębokości		$Hx$
[fsw]	[mH <sub>2</sub> O]	
0–60	0–18	100% <sub>v</sub> O <sub>2</sub>
60–100	18–30	Hx 0,60 O <sub>2</sub>
100–200	30–60,5	Hx 0,38 O <sub>2</sub>
200–350	60,5–106	Hx 0,21 O <sub>2</sub>
350–600	106–181,5	Hx 0,13 O <sub>2</sub>
600–1000	181,5–303	Hx 0,08 O <sub>2</sub>
1000–1200	303–363,5	Hx 0,05 O <sub>2</sub>

### Helioksy lecznicze

Ponieważ mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się pomiędzy  $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$ , to do zabezpieczenia procesu leczenia podczas nurkowań saturowanych używa się  $Hx$  i tlenu o określonym dla każdego zakresu głębokości składzie – tab. 12.

### Objawy DCS po dekompresji z plateau saturacji

Leczenie objawów **DCS** zaobserwowanych podczas odpoczynku po dekompresji z plateau saturacji odbywa się zgodnie z typowymi zasadami leczenia chorób nurkowych metodami powietrznymi lub tlenowo-powietrznymi.

### Zapotrzebowanie na helioksy lecznicze

Mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się pomiędzy  $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$ . Przy planowaniu zabezpieczenia nurkowań saturowanych ważnym jest skalkulowanie zapotrzebowania na helioksy lecznicze. Przykładowo, należy określić zapotrzebowanie na  $Hx$  leczniczy dla 2 nurków na plateau saturacji  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ . Z plateau saturacji  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  możliwa jest wycieczka na maksymalną głębokość  $h^{\text{max}} = 60 + 22 = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ <sup>29</sup>. Należy zatem liczyć się z tym, że maksymalna głębokość leczenia będzie większa od dozwolonej wycieczki  $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ .

<sup>29</sup> ponieważ w tab. 8 nie występuje głębokość plateau  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  wzięto metodą najgorszych okoliczności dozwolona różnicę głębokości  $\Delta h = 22 \text{ mH}_2\text{O}$  dla mniejszej głębokości plateau  $H = 58 \text{ mH}_2\text{O}$  i dodano ją do głębokości plateau  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  uzyskując maksymalną głębokość wycieczki  $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ ; dla większej głębokości plateau występującej w tab. 8 wynoszącej  $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$  dozwolona wycieczka na maksymalną głębokość poniżej plateau saturacji wynosi  $h^{\text{max}} = 84 \text{ mH}_2\text{O}$  jest większa od obliczonej, dlatego metodą najgorszych okoliczności wybrać mniejszą z nich  $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ ,

If **Type II DCS** symptoms are not related to an excursion to a depth shallower than the saturation plateau, the saturation plateau pressure should be increased at a pace of  $1.5 \text{ mH}_2\text{O} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $5 \text{ fsw} \cdot \text{min}^{-1}$ ) until reaching the depth at which the diver's condition will be visibly improved.

Commonly at this depth there is a rapid alleviation of **DCS** symptoms. In the case of no such rapid improvement within **(5; 10)min**, further compression should be carried out until reaching the relief depth, under the supervision of a securing physician. The moment the relief depth is reached the diver should be provided with a treatment breathing mix through **BIBS**. The mix may be heliox, for which the oxygen partial pressure is defined by the range between  $p_{\text{O}_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$ . Breathing with treatment heliox should be interrupted every **25 min** for **5 min** of breathing the chamber complex's atmosphere. Treatment with the use of medicinal mixes, at a treatment depth, should last at least **2 hours**. After all the symptoms subside and the treatment is completed the diver should remain at the treatment depth for at least a further **12 hours**, breathing the chamber's atmosphere. Decompression to the saturation plateau is carried out in accordance with standard decompression principles. After the treatment the affected diver is prohibited from undertaking further excursions to depths shallower than the saturation plateau.

Table 12

Treatment conditions.

Depth range		$Hx$
[fsw]	[mH <sub>2</sub> O]	
0-60	0-18	100% <sub>v</sub> O <sub>2</sub>
60-100	18-30	Hx 0.60 O <sub>2</sub>
100-200	30-60.5	Hx 0.38 O <sub>2</sub>
200-350	60.5-106	Hx 0.21 O <sub>2</sub>
350-600	106-181.5	Hx 0.13 O <sub>2</sub>
600-1000	181.5-303	Hx 0.08 O <sub>2</sub>
1000-1200	303-363.5	Hx 0.05 O <sub>2</sub>

### Treatment helioxes

Since heliox, for which oxygen partial pressure ranges between  $p_{\text{O}_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$ , may be used as a treatment mix, in order to secure the treatment process in saturation diving it is recommended to use  $Hx$  and oxygen with the composition specified separately for each depth range - tab.12.

### DCS symptoms after decompression from the saturation plateau

Treatment of **DCS** symptoms observed during a rest following decompression from the saturation plateau should be carried out in accordance with standard principles related to the treatment of diving disorders with the air or oxygen-air methods.

### Demand for treatment helioxes

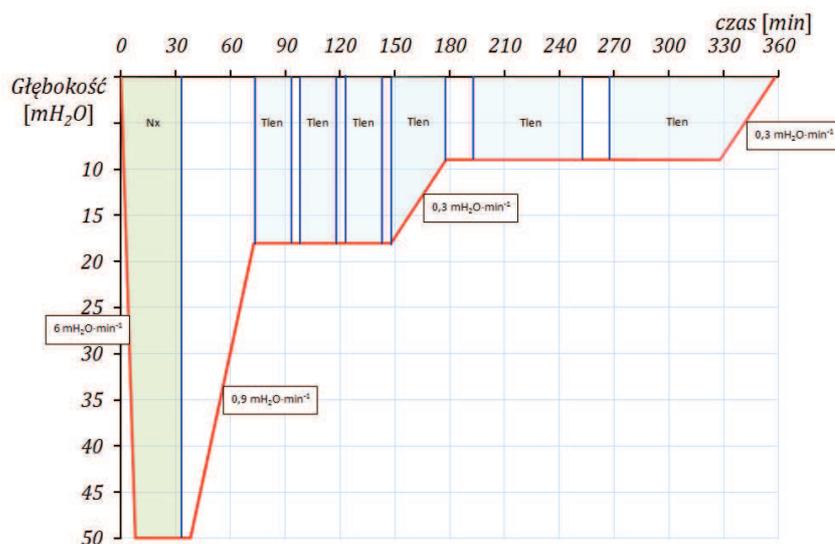
A treatment mix may be heliox, for which the oxygen partial pressure is defined by the range between  $p_{\text{O}_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$ . In ensuring security of saturation dives it is important to calculate the demand for treatment helioxes. For example, it is necessary to determine the demand for the treatment  $Hx$  for 2 divers at the saturation plateau of  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ .

Przy wystąpieniu objawów **DCS typu I** rekompresja o głębokość większą niż **9 mH<sub>2</sub>O** nie jest najczęściej wymagana, lecz w przypadku objawów **DCS typu II** należy liczyć się z koniecznością głębszej kompresji. Przyjęto tutaj, że będzie to głębokość około trzykrotnie większa niż **9 mH<sub>2</sub>O** czyli zakładana głębokość ulgi nie przekroczy **106 mH<sub>2</sub>O**. Zgodnie z tab.12 dla głębokości **h = 106 mH<sub>2</sub>O** należy zabezpieczyć trzy mieszaniny helioksove: **Hx 0,21 O<sub>2</sub>**, **Hx 0,38 O<sub>2</sub>** i **Hx 0,60 O<sub>2</sub>**.

Praktycznie pytanie dotyczy objętości heliosów i tlenu  $V_0$  odniesionych do warunków normalnych. Przyjmując, że podczas wszelkich operacji z gazami podczas nurkowania z plateau saturacji temperatura będzie taka sama  $T = idem$ , to równanie stanu dla gazów doskonałych przybierze formę równania Boyle'a–Mariottea:  $p \cdot V = idem$ . Stąd dla oczekiwanej wentylacji płuc  $\dot{V}_0$  oraz przy założeniu, że nie ulega ona zmianie podczas zmiany głębokości  $\dot{V}_0 \neq f(H) \rightarrow \dot{V}_0 \equiv \dot{V}$  można zapisać:  $p_H^{max} \cdot \dot{V} \cdot \tau = p_0 \cdot V_0$  stąd wynika, że  $V_0 = \frac{p_H^{max}}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$ , gdzie:  $p_H^{max}$  – ciśnienie na maksymalnej dozwolonej głębokości użycia  $Hx$ ,  $\dot{V}$  – założona wentylacja płuc,  $\tau$  – czas leczenia,  $p_0$  – ciśnienie normalne,  $V_0$  – zapotrzebowanie na czynnik oddechowy odniesione do warunków normalnych. Przyjmując, że podczas leczenia nurek będzie wykonywał wysiłek lekki można przyjąć, że maksymalna wentylacja płuc będzie kształtowała się na poziomie  $\dot{V}_0^{max} \equiv \dot{V} = 15 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Najkrótsze leczenie trwa min.  $\tau = 2 \text{ godz}$  stąd minimalne zapotrzebowanie na dwóch nurków na **Hx 0,60 O<sub>2</sub>** wyniesie:  $V_0 = 21,6 \text{ Nm}^3$ . Na **Hx 0,38 O<sub>2</sub>** wyniesie:  $V_0 = 37,8 \text{ Nm}^3$ . A na **Hx 0,21 O<sub>2</sub>** wyniesie:  $V_0 = 64,8 \text{ Nm}^3$ . Zaś zapotrzebowanie na tlen, wyniesie:  $V_0 = 15,1 \text{ Nm}^3$ .

Dobłą praktyką jest to, że podczas planowania takiego jak tutaj nurkowania zabezpiecza się dodatkowo ponad 100% nadmiar czynnika oddechowego.

Stąd należy zabezpieczyć  $V_0 = 130 \text{ Nm}^3$  **Hx 0,21 O<sub>2</sub>**,  $V_0 = 70 \text{ Nm}^3$  **Hx 0,38 O<sub>2</sub>**,  $V_0 = 50 \text{ Nm}^3$  **Hx 0,60 O<sub>2</sub>** oraz  $V_0 = 30 \text{ Nm}^3$  **O<sub>2</sub>**.



Rys. 2. Tabela lecznicza **TT 6A USN** (US Navy diving manual, 2008).

From the saturation plateau of  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  it is permissible to carry out an excursion to the maximum depth of  $h^{\text{max}} = 60 + 22 = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ <sup>29</sup>. Thus, it should be taken into account that the maximum treatment depth will be greater than the allowable excursion depth  $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ . After an occurrence of *Type I DCS* symptoms, recompression by a depth greater than  $9 \text{ mH}_2\text{O}$  is not usually required, however in the case of *Type II DCS* symptoms, presumably deeper compression will be necessary. Here, it was assumed that such a depth will be three times greater than  $9 \text{ mH}_2\text{O}$ , i.e. the relief depth will not exceed  $106 \text{ mH}_2\text{O}$ . According to **tab.12** for the depth of  $h = 106 \text{ mH}_2\text{O}$  it is advised to secure three heliox mixes:  $Hx 0.21 \text{ O}_2$ ,  $Hx 0.38 \text{ O}_2$  and  $Hx 0.60 \text{ O}_2$ .

In practice, the question concerns heliox and oxygen volume  $V_0$  in relation to regular conditions. Assuming that in all operations with gases during dives from the saturation plateau will be carried out in the same temperature  $T = \textit{idem}$ , the equation concerned with the state of perfect gases will take the form of Boyle-Mariotte's equation:  $p \cdot V = \textit{idem}$ . Thus, for the expected lung ventilation  $\dot{V}_0$  and assuming that it will not change during depth alteration  $\dot{V}_0 \neq f(H) \rightarrow \dot{V}_0 \equiv \dot{V}$  it will be expressed as:  $p_H^{\text{max}} \cdot \dot{V} \cdot \tau = p_0 \cdot V_0$ , thus it results that  $V_0 = \frac{p_H^{\text{max}}}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$ , where:  $p_H^{\text{max}}$  – pressure at maximum allowable depth  $Hx$ ,  $\dot{V}$  – assumed lung ventilation,  $\tau$  – treatment time,  $p_0$  – regular pressure,  $V_0$  – demand for a breathing mix with reference to regular conditions. Assuming the diver's only exert light physical effort during the stay at the saturation plateau we may conclude that the maximum lung ventilation will reach  $\dot{V}_0^{\text{max}} \equiv \dot{V} = 15 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . The shortest treatment should last at least  $\tau = 2 \text{ hours}$  hence the minimum heliox demand for two divers in the case of  $Hx 0.60 \text{ O}_2$  will amount to:  $V_0 = 21.6 \text{ Nm}^3$ . In the case of  $Hx 0.38 \text{ O}_2$ , on the other hand, it will reach:  $V_0 = 37.8 \text{ Nm}^3$ . Whereas in the case of  $Hx 0.21 \text{ O}_2$  it will reach:  $V_0 = 64.8 \text{ Nm}^3$ . The oxygen demand will be as follows:  $V_0 = 15.1 \text{ Nm}^3$ .

Good practice ensures a 100% surplus in the volume of the breathing mix in planning dives of this kind. Thus it is required to secure  $V_0 = 130 \text{ Nm}^3 \text{ Hx } 0.21 \text{ O}_2$ ,  $V_0 = 70 \text{ Nm}^3 \text{ Hx } 0.38 \text{ O}_2$ ,  $V_0 = 50 \text{ Nm}^3 \text{ Hx } 0.60 \text{ O}_2$  as well as  $V_0 = 30 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2$ .

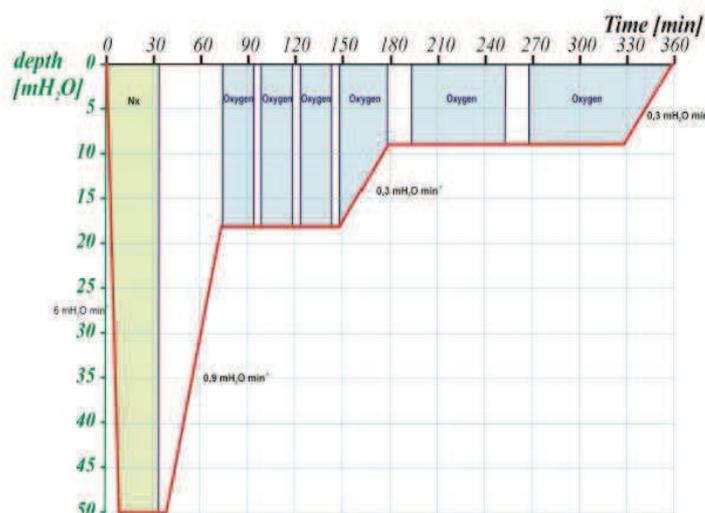


Fig. 2. Treatment table **TT 6A USN** (US Navy diving manual, 2008).

<sup>29</sup> since tab. 8 does not provide for the plateau depth of  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  it was decided to apply by the worst scenario method the allowable difference of depths  $\Delta h = 22 \text{ mH}_2\text{O}$  for a shallower plateau depth of  $H = 58 \text{ mH}_2\text{O}$  and add it to the plateau depth of  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$  to obtain the maximum excursion depth of  $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ ; for a greater plateau depth enlisted in tab. 8 and reaching  $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$  the allowable maximum excursion depth below the saturation plateau reaches  $h^{\text{max}} = 84 \text{ mH}_2\text{O}$  and is greater than the one received through the above calculation. For this reason, by the worst scenario method it is required to select the smaller value equal to  $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ .

Głębokość [mH <sub>2</sub> O]	Czas [min]	Czynnik oddechowy	Ogólny czas	
			[godz:min]	[min]
0-50	8	Nitroks	0:08	8
50	25	Nitroks	0:33	33
50	5	Powietrze	0:38	38
50-18	35	Powietrze	1:13	73
18	20	Tlen	1:33	93
18	5	Powietrze	1:38	98
18	20	Tlen	1:58	118
18	5	Powietrze	2:03	123
18	20	Tlen	2:23	143
18	5	Powietrze	2:28	148
18-9	30	Tlen	2:58	178
9	15	Powietrze	3:13	193
9	60	Tlen	4:13	253
9	15	Powietrze	4:28	268
9	60	Tlen	5:28	328
9-0	30	Tlen	5:58	358

Rys. 2. cd. Tabela lecznicza **TT 6A USN** (US Navy diving manual, 2008).

### Zapotrzebowanie na tlen

Leczenie objawów **DCS** zaobserwowanych podczas odpoczynku po dekompresji z plateau saturacji odbywa się zgodnie z typowymi zasadami leczenia chorób nurkowych. Ważnym jest określenie orientacyjnego zapotrzebowanie na tlen do celów leczniczych, przykładowo dla 2 nurków. Praktycznie pytanie dotyczy objętości tlenu  $V_0$  odniesionej do warunków normalnych dla najdłuższej procedury leczniczej – przedłużonej tabeli **TT 6A USN**. Tabelę rekompresji leczniczej **TT 6A USN** przedstawiono na rys. 2. Przyjmując, że podczas wszelkich operacji z gazami podczas nurkowania z plateau saturacji temperatura będzie taka sama  $T = idem$ , to równanie stanu dla gazów doskonałych przybierze formę równania Boyle'a–Mariottea:  $p \cdot V = idem$ . Stąd można zapisać:  $V_0 = \frac{p}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$ , gdzie:  $p$  – ciśnienie na głębokości leczenia,  $\dot{V}$  – założona akcja oddechowa,  $\tau$  – czas leczenia,  $p_0$  – ciśnienie normalne,  $V_0$  – zapotrzebowanie na czynnik oddechowy odniesione do warunków normalnych. Wyniki obliczeń zebrano w tab. 13. Dobrą praktyką jest utrzymywanie 100% zapasu nienaruszalnego tlenu:  $140 Nm^3$ .

Tabela 13

Zapotrzebowanie na tlen do leczenia według Tabeli rekompresji leczniczej **TT 6A USN**.

TLEN					
Wyszczególnienie	Liczba nurków	Czas pobytu	Przelicznik ciśnieniowy	Wentylacja płuc	Objętość
		[min]	[atm · atm <sup>-1</sup> ]	[dm <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> ]
Leczenie dla przedłużonego reżimu <b>TT 6A USN</b>	2	60	2,8	30	10,1
		40	2,8		6,7
		30	2,5		4,5
		120	1,9		13,7
	2	120	1,9		13,7
		30	1,6		2,9
		150	1,9		17,1
		30	1,6		2,9
RAZEM					71.6
co stanowi 12 butli <b>40 dm<sup>3</sup> / 15,0 MPa</b>					

Depth [mH <sub>2</sub> O]	Time [min]	Breathing mix	Total time	
			[hour: min]	[min]
0-50	8	Nitrox	0:08	8
50	25	Nitrox	0:33	33
50	5	Air	0:38	38
50-18	35	Air	1:13	73
18	20	Oxygen	1:33	93
18	5	Air	1:38	98
18	20	Oxygen	1:58	118
18	5	Air	2:03	123
18	20	Oxygen	2:23	143
18	5	Air	2:28	148
18-9	30	Oxygen	2:58	178
9	15	Air	3:13	193
9	60	Oxygen	4:13	253
9	15	Air	4:28	268
9	60	Oxygen	5:28	328
9-0	30	Oxygen	5:58	358

Fig. 2.cont. Treatment table **TT 6A USN** (US Navy diving manual, 2008).

### Oxygen demand

The treatment of **DCS** symptoms observed during a rest after decompression from the saturation plateau is carried out in accordance with standard principles related to the treatment of diving disorders. It is crucial to determine approximate oxygen demand for treatment purposes, for instance for 2 divers. A practical question concerns the oxygen volume  $V_0$  as referred to regular conditions for the longest treatment procedures - an extended **TT 6A USN** table. The **TT 6A USN** treatment recompression table is presented in fig.2. Assuming that all operations with gases during dives from the saturation plateau will be carried out in the same temperature  $T = idem$ , the equation concerned with the state of perfect gases will take the form of Boyle-Mariotte's equation:  $p \cdot V = idem$ . Hence, we may record it as:  $V_0 = \frac{p}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$ , where:  $p$  – pressure at the treatment depth,  $\dot{V}$  – assumed respiratory activity,  $\tau$  – treatment time,  $p_0$  – regular pressure,  $V_0$  – demand for a breathing mix in relation to regular conditions. Calculations results are shown in tab.13. Good practice ensures a 100% surplus in the inviolable oxygen reserve: **140 Nm<sup>3</sup>**.

Table 13

Oxygen demand in the treatment according to the treatment recompression table. **TT 6A USN**.

OXYGEN					
Detailed procedure	Number of divers	Stay time	Pressure calculator	Lung ventilation	Volume
		[min]	[atm · atm <sup>-1</sup> ]	[dm <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> ]
Treatment for a prolonged regime <b>TT 6A USN</b>	2	60	2.8	30	10.1
		40	2.8		6.7
		30	2.5		4.5
		120	1.9		13.7
		120	1.9		13.7
		30	1.6		2.9
	2	150	1.9		17.1
		30	1.6		2.9
TOTAL					71.6
which corresponds to 12 cylinders of <b>40 dm<sup>3</sup> / 15.0 MPa</b>					

Helioksowe tabele dekompresyjne.

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
	[min]	[min]	$H_x$																		$O_2$
<b>60</b>	10	2:00																	0		
	20	2:00																	0		
	30	2:00																	0		
	40	2:00																	0		
	60	0:40														10	11	16	1		
	80	0:40														10	13	22	2		
$x_{O_2}^{max} = 0.400$	100	0:40													10	16	27	2			
	120	0:40													10	17	28	2			
	[min]	[min]	$H_x$																		$O_2$
[fsw]	[min]	[min]	$H_x$																		$O_2$
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			$MH_2O$																		

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Table 14

Heliox decompression tables.

Helium partial pressure [f <sub>sw</sub> ]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles
			[f <sub>sw</sub> ]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			<b>Hx</b>																		
			<b>Hx0.5</b>																		<b>O<sub>2</sub></b>
<b>60</b>  $x_{O_2}^{max} = 0.400$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	2:00																	0	0	
	20	2:00																	0	0	
	30	2:00																	0	0	
	40	2:00																	0	0	
	60	0:40															10	11	16	1	
	80	0:40															10	13	22	2	
	100	0:40															10	16	27	2	
120	0:40															10	17	28	2		
			<b>Hx</b>																		
			<b>Hx0.5</b>																		<b>O<sub>2</sub></b>
[f <sub>sw</sub> ]	[min]	[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32



Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych				
			[fsw]																						
<b>70</b> $x_{O_2}^{max} = 0.400$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	2:20																			O <sub>2</sub>	0			
	20	2:20																				0	0		
	30	2:20																				0	0		
	40	1:00																				10	16	1	
	60	1:00																				10	14	24	2
	80	1:00																				10	18	30	2
$x_{O_2}^{max} = 0.140$	100	1:00																			10	19	34	2	
	120	1:00																			10	21	37	2	
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	[mH <sub>2</sub> O]		O <sub>2</sub>		
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																									

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych				
			[fsw]																						
<b>80</b> $x_{O_2}^{max} = 0.380$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	2:40																				O <sub>2</sub>	0		
	20	2:40																					0		
	30	2:40																				10	11	16	1
	40	1:20																				10	13	21	2
	60	1:20																				10	18	32	2
	80	1:20																				10	21	38	2
$x_{O_2}^{min} = 0.140$	100	1:20																			10	24	42	3	
	120	1:20																			10	25	45	3	
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	[mH <sub>2</sub> O]		O <sub>2</sub>		
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																									

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			<b>Hx</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>	
<b>70</b> $x_{O_2}^{MAG} = 0.400$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:20																		0	0
	20	2:20																		0	0
	30	2:20																		0	0
	40	1:00															10	10	16	1	1
	60	1:00															10	14	24	2	2
	80	1:00															10	18	30	2	2
	100	1:00															10	19	34	2	2
120	1:00															10	21	37	2	2	
			<b>Hx</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>	
[fsw]	[min]	[min]		57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			<b>Hx</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>	
<b>80</b> $x_{O_2}^{MAG} = 0.380$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:40																		0	0
	20	2:40																		0	0
	30	2:40															10	11	16	1	1
	40	1:20															10	13	21	2	2
	60	1:20															10	18	32	2	2
	80	1:20															10	21	38	2	2
	100	1:20															10	24	42	3	3
120	1:20															10	25	45	3	3	
			<b>Hx</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>	
[fsw]	[min]	[min]		57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32



Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
<b>100</b> $x_{O_2}^{max} = 0.323$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	3:20																	0		
	15	3:20																	0		
	20	2:00														10	11	17	1		
	30	2:00														10	15	24	2		
	40	2:00														10	18	32	2		
	60	2:00														10	25	44	3		
	80	2:00														10	28	52	3		
	100	2:00														10	31	56	3		
	120	2:00														10	32	58	3		
	[fsw]	[min]	[min]	<b>Hx0.5</b>																	
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	

1 mH<sub>2</sub>O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
<b>110</b> $x_{O_2}^{max} = 0.300$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	2:20														10	8	11	1			
	20	2:20														10	12	20	1			
	30	2:20														10	17	28	2			
	40	2:20														10	20	36	2			
	60	2:20														10	27	49	3			
	80	2:20														10	31	58	3			
	100	2:20														10	33	62	4			
	120	2:20														10	35	64	4			
	[fsw]	[min]	[min]	<b>Hx0.5</b>																		O <sub>2</sub>
				57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	

1 mH<sub>2</sub>O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [mins]	Time until the first station [mins]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles						
			[fsw]																								
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20							
<b>100</b> $x_{O_2}^{MAX} = 0.323$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	3:20																	<b>0</b>	<b>0</b>							
	15	3:20																	<b>0</b>		<b>0</b>						
	20	2:00														10	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>1</b>								
	30	2:00														10	<b>15</b>	<b>24</b>				<b>2</b>					
	40	2:00														10	<b>18</b>	<b>32</b>					<b>2</b>				
	60	2:00														10	<b>25</b>	<b>44</b>						<b>3</b>			
	80	2:00														10	<b>28</b>	<b>52</b>							<b>3</b>		
	100	2:00														10	<b>31</b>	<b>56</b>								<b>3</b>	
	120	2:00														10	<b>32</b>	<b>58</b>									<b>3</b>
	[fsw]	[mins]																									
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1		9.1							
			<b>[mH<sub>2</sub>O]</b>																								

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [mins]	Time until the first station [mins]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles									
			[fsw]																											
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20										
<b>110</b> $x_{O_2}^{MAX} = 0.300$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:20																	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>1</b>									
	20	2:20																	10	<b>12</b>		<b>20</b>	<b>1</b>							
	30	2:20																	10	<b>17</b>		<b>28</b>		<b>2</b>						
	40	2:20																	10	<b>20</b>		<b>36</b>			<b>2</b>					
	60	2:20																	10	<b>27</b>		<b>49</b>				<b>3</b>				
	80	2:20																	10	<b>31</b>		<b>58</b>					<b>3</b>			
	100	2:20																	10	<b>33</b>		<b>62</b>						<b>4</b>		
	120	2:20																	10	<b>35</b>		<b>64</b>							<b>4</b>	
	[fsw]	[mins]																				<b>O<sub>2</sub></b>								
				57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1		6.1								
			<b>[mH<sub>2</sub>O]</b>																											

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32



Ciśnienie cząstkowe helu [fsw]	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																	Liczba cykli tlenowych	
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30		20
<b>120</b> $x_{O_2}^{max} = 0,280$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	2:40															10	9	13	1	
	20	2:40															10	14	23	2	
	30	2:40															10	19	33	2	
	40	2:40															10	23	42	3	
	60	2:40															10	30	55	3	
	80	2:40															10	34	63	4	
	100	2:40															10	36	66	4	
	120	2:20															10	35	65	4	
	[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1
[mH <sub>2</sub> O]																					
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 [Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32]																					

Ciśnienie cząstkowe helu [fsw]	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																	Liczba cykli tlenowych		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30		20	
<b>130</b> $x_{O_2}^{max} = 0,263$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	2:40															10	10	6	8	1	
	20	2:40															10	10	12	19	1	
	30	2:40															10	10	18	30	2	
	40	2:20															10	10	22	40	3	
	60	2:20															10	10	29	52	3	
	80	2:20															7	10	33	60	3	
	100	2:20															7	10	35	64	4	
	120	2:20															7	11	35	66	4	
	[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
[mH <sub>2</sub> O]																						
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 [Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32]																						

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
120 $x_{O_2}^{MAX} = 0.280$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:40															10	9	13	4	
	20	2:40															10	14	23		
	30	2:40															10	19	33		
	40	2:40															10	23	42		
	60	2:40															10	30	55		
	80	2:40															10	34	63		
	100	2:40															10	36	66		
	120	2:20															10	35	65		
	[fsw]	[min]	[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1		9.1

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
130 $x_{O_2}^{MAX} = 0.263$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:40															10	10	6	8	4	
	20	2:40															10	10	12	19		
	30	2:40															10	10	18	30		
	40	2:20															10	10	22	40		
	60	2:20															10	10	29	52		
	80	2:20															7	10	33	60		
	100	2:20															7	10	35	64		
	120	2:20															7	11	35	66		
	[fsw]	[min]	[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1		6.1

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32



Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
<b>140</b> $x_{O_2}^{MAX} = 0,248$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	3:00														10	10	6	8	1		
	20	3:00															10	10	12		19	1
	30	3:00														10	10	18	30		2	
	40	2:40													7	10	10	22	40			2
	60	2:40													7	10	10	29	52		3	
	80	2:40													7	10	10	33	60			3
100	2:40													7	10	10	35	64	4			
120	2:40													7	11	11	35	66		4		
[fsw]	[min]	[min]	[min]																		[O <sub>2</sub> ]	
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1		
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																						

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
<b>150</b> $x_{O_2}^{MAX} = 0,294$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	3:20														10	10	7	8	1		
	20	3:00														7	10	10	14		22	2
	30	3:00														7	10	10	19		34	
	40	3:00														7	10	10	24		44	3
	60	3:00														7	10	10	31		56	
	80	3:00														7	10	10	35		64	4
100	3:00														7	10	10	36	66	4		
120	3:00														7	11	11	36	66		5	
[fsw]	[min]	[min]	[min]																			[O <sub>2</sub> ]
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1		
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																						

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20				
<b>140</b> $x_{O_2}^{max} = 0.248$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	3:00																		O <sub>2</sub>	8	1		
	20	3:00																			O <sub>2</sub>	12	1	
	30	3:00																			O <sub>2</sub>	18	2	
	40	2:40																			O <sub>2</sub>	22	2	
	60	2:40																			O <sub>2</sub>	29	3	
	80	2:40																			O <sub>2</sub>	33	3	
	100	2:40																			O <sub>2</sub>	35	4	
	120	2:40																			O <sub>2</sub>	35	4	
																						O <sub>2</sub>		
	[fsw]	[min]	[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1			

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles					
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20						
<b>150</b> $x_{O_2}^{max} = 0.254$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	3:20																			O <sub>2</sub>	7	8	1		
	20	3:00																				O <sub>2</sub>	14	22	2	
	30	3:00																				O <sub>2</sub>	19	34	2	
	40	3:00																				O <sub>2</sub>	24	44	3	
	60	3:00																				O <sub>2</sub>	31	56	3	
	80	3:00																				O <sub>2</sub>	35	64	4	
	100	3:00																				O <sub>2</sub>	36	66	4	
	120	3:00																				O <sub>2</sub>	36	66	5	
																							O <sub>2</sub>			
	[fsw]	[min]	[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1					

1 mH<sub>2</sub>O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32



Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
<b>160</b> $x_{O_2}^{max} = 0,222$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	3:20														7	10	10	8	10	O <sub>2</sub>	1
	20	3:20														7	10	10	15	24		2
	30	3:20														7	10	10	21	37		2
	40	3:20														7	10	10	26	47		3
	60	3:00														7	10	10	30	56		3
	80	3:00														7	10	10	35	66		4
	100	3:00														7	10	10	35	66		5
120	3:00														7	6	11	36	66	5		
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	O <sub>2</sub>	
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																						

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych		
			[fsw]																				
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20			
<b>170</b> $x_{O_2}^{max} = 0,211$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	3:20														7	0	10	10	8	12	O <sub>2</sub>	1
	20	3:20														7	0	10	10	16	28		2
	30	3:20														7	1	10	10	23	42		3
	40	3:20														7	4	10	10	28	52		3
	60	3:20														7	10	10	33	62	4		
	80	3:20														9	14	14	35	66	4		
	100	3:00														7	5	18	36	66	5		
120	3:00														7	9	21	21	36	66	5		
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	O <sub>2</sub>		
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																							



Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
<b>180</b> $x_{CO_2}^{max} = 0,201$ $x_{CO_2}^{min} = 0,140$	10	3:40	<b>Hx</b>															<b>Hx0,5</b>			<b>O<sub>2</sub></b>	1
	20	3:40																7 0 10			10	14
	30	3:40																7 4 10			10	30
	40	3:20																7 0 8			10	45
	60	3:20																7 5 11			11	54
	80	3:20																7 9 15			15	64
<b>100</b> $x_{CO_2}^{max} = 0,140$	100	3:20																7 13 19			19	36
	120	3:20																7 17 23			23	66
			<b>Hx</b>															<b>Hx0,5</b>			<b>O<sub>2</sub></b>	6
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1		
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																						

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
<b>190</b> $x_{CO_2}^{max} = 0,192$ $x_{CO_2}^{min} = 0,140$	10	4:00	<b>Hx</b>															<b>Hx0,5</b>			<b>O<sub>2</sub></b>	1
	20	3:40																7 0 2			10	15
	30	3:40																7 0 7			10	34
	40	3:40																7 4 9			10	46
	60	3:40																7 9 13			13	56
	80	3:20																7 3 18			18	62
<b>100</b> $x_{CO_2}^{max} = 0,140$	100	3:20																7 6 16			21	36
	120	3:20																7 8 20			23	66
			<b>Hx</b>															<b>Hx0,5</b>			<b>O<sub>2</sub></b>	7
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1		
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																						

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles					
			[fsw]																							
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20						
		[min]	<b>Hx</b>																		<b>O<sub>2</sub></b>					
<b>180</b> $x_{O_2}^{max} = 0.201$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	3:40																		7	0	10	10	9	14	1
	20	3:40																		7	0	10	10	17	30	2
	30	3:40																		7	4	10	10	25	45	3
	40	3:20																		7	0	8	10	30	54	3
	60	3:20																		7	5	11	11	35	64	4
	80	3:20																		7	9	15	15	36	66	4
100	3:20																		7	13	19	19	36	66	5	
120	3:20																		7	17	23	23	36	66	6	
		[min]	<b>Hx</b>																		<b>O<sub>2</sub></b>					
		[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1						
			<b>mH<sub>2</sub>O</b>																							
1 mH <sub>2</sub> O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																										

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																		Number of oxygen cycles						
			[fsw]																								
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20							
		[min]	<b>Hx</b>																		<b>O<sub>2</sub></b>						
<b>190</b> $x_{O_2}^{max} = 0.192$ $x_{O_2}^{min} = 0.140$	10	4:00																		7	0	10	10	10	15	1	
	20	3:40																		7	0	2	10	10	19	34	2
	30	3:40																		7	0	7	10	10	26	46	3
	40	3:40																		7	4	9	10	10	31	56	3
	60	3:40																		7	9	13	13	34	62	4	
	80	3:20																		7	3	13	18	18	36	66	5
100	3:20																		7	6	16	21	21	36	66	6	
120	3:20																		7	8	20	23	23	36	66	7	
		[min]	<b>Hx</b>																		<b>O<sub>2</sub></b>						
		[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1							
			<b>mH<sub>2</sub>O</b>																								
1 mH <sub>2</sub> O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																											



Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych								
			[fsw]																										
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20									
<b>200</b> $x_{O_2}^{max} = 0,184$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	4:00																		<b>O<sub>2</sub></b>	11	17	1						
	20	4:00																		<b>Hx0,5</b>	7	0	0	10	10	10	36	2	
	30	3:40																			7	0	3	7	10	10	27	50	3
	40	3:40																			7	0	7	10	10	10	31	58	3
	60	3:40																			7	4	10	14	14	14	35	66	4
	80	3:40																			7	8	14	18	18	18	36	66	5
	100	3:40																			7	12	17	23	23	23	36	66	6
120	3:40																			8	15	21	23	23	23	36	66	7	
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	<b>O<sub>2</sub></b>								
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																													

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie [min]	Czas do pierwszej stacji [min]	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych										
			[fsw]																												
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20											
<b>210</b> $x_{O_2}^{max} = 0,177$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	4:20																				<b>O<sub>2</sub></b>	12	19	1						
	20	4:00																					7	0	1	6	10	10	22	38	2
	30	4:00																					7	0	6	7	10	10	29	53	3
	40	3:40																					7	3	9	10	10	10	33	60	3
	6	3:40																					7	0	9	11	17	17	35	66	5
	80	3:40																					7	3	11	15	20	20	36	66	6
	100	3:40																					7	6	14	19	23	23	36	66	7
[fsw]	[min]	[min]	57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	<b>O<sub>2</sub></b>										
1 mH <sub>2</sub> O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																															

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																	Number of oxygen cycles					
			[fsw]																						
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30		20				
		[min]	<b>Hx0.5</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>					
<b>200</b> $x_{O_2}^{MAX} = 0.184$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	4:00															7	0	0	10	10	11	17	1	
	20	4:00															7	0	4	10	10	20	36	2	
	30	3:40															7	0	3	7	10	10	27	50	3
	40	3:40															7	0	7	10	10	31	58	3	
	60	3:40															7	4	10	14	14	14	35	66	4
	80	3:40															7	8	14	18	18	18	36	66	5
	100	3:40															7	12	17	23	23	23	36	66	6
120	3:40															8	15	21	23	23	23	36	66	7	
		[min]	<b>Hx</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>					
[fsw]	[min]	[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1					
			<b>H<sub>2</sub>O</b>																						
1 mH <sub>2</sub> O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																									

Helium partial pressure [fsw]	Time at the bottom [min]	Time until the first station [min]	Decompression stations																	Number of oxygen cycles					
			[fsw]																						
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30		20				
		[min]	<b>Hx0.5</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>					
<b>210</b> $x_{O_2}^{MAX} = 0.177$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	4:20															7	0	0	10	10	12	19	1	
	20	4:00															7	0	1	6	10	10	22	38	2
	30	4:00															7	0	6	7	10	10	29	53	3
	40	3:40															7	3	9	10	10	10	33	60	3
	60	3:40															7	0	9	11	17	17	35	66	5
	80	3:40															7	3	11	15	20	20	36	66	6
	100	3:40															7	6	14	19	23	23	36	66	7
		[min]	<b>Hx</b>																	<b>O<sub>2</sub></b>					
[fsw]	[min]	[min]	57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1					
			<b>H<sub>2</sub>O</b>																						
1 mH <sub>2</sub> O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																									



## DYSKUSJA

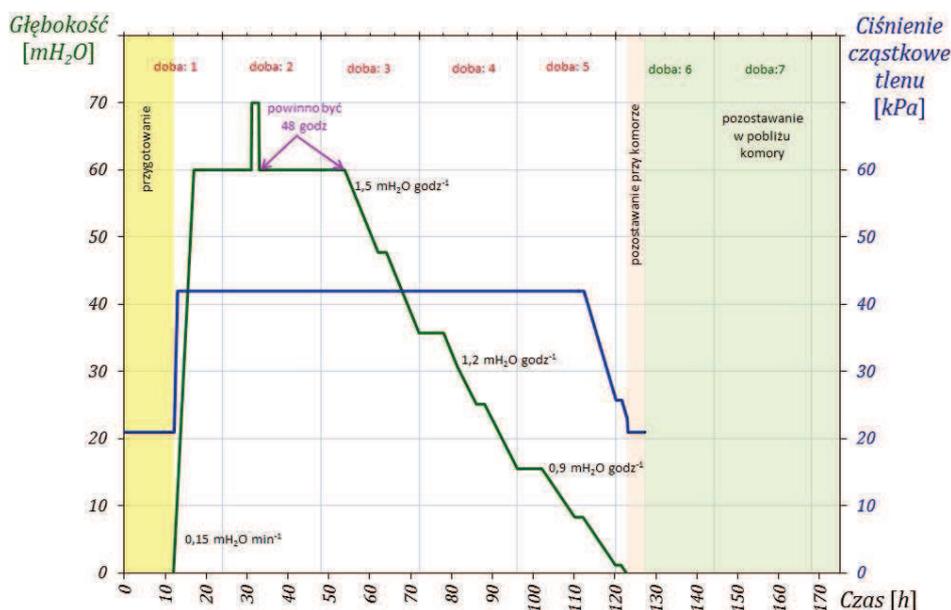
Zasady ochrony przeciwpożarowej, kontroli stanu atmosfery oddechowej, zabezpieczenia przed tlenową toksycznością płucną, postępowania na wypadek utraty kontroli temperatury, utraty kontroli ciśnienia, zabezpieczenia medycznego, kwalifikacji zdrowotnych nurków, przygotowania kondycyjno–adaptacyjnego, zachowania zasad higieny, prowadzenia dokumentacji, kontroli szczelności kompleksu, testu toksykologicznego kompleksu nie będą tutaj poruszane, gdyż zostały opisane wcześniej (R. Kłos, 2007).

## AWARYJNE ZATRZYMANIE KOMPRESJI

Obecnie zaleca się stosowanie nowszej **tabeli Hx US Navy** – tab. 14 (US Navy diving manual, 2008). Wartością wyjściową do planowania dekompresji jest maksymalna osiągnięta głębokość i czas pobytu. Jeśli wstępna kompresja wykonywana była przy pomocy powietrza to czas do **60 min** spędzony na głębokości mniejszej niż **40 fsw (12 mH<sub>2</sub>O)**, może być pominięty przy kalkulowaniu dekompresji. Podczas dekompresji należy utrzymywać ciśnienie cząstkowe tlenu we wdychanym przez maski BIBS awaryjnego czynnika dekompresyjnego w granicach  **$p_{O_2} \in [150 - 280] \text{ kPa}$** . Dekompresje należy prowadzić według rozkładu dekompresji jak to jest pokazane w tabeli. Szybkość przejścia pomiędzy stacjami powinna wynosić **40 fsw · min<sup>-1</sup> (12 mH<sub>2</sub>O · min<sup>-1</sup>)**.

## PLAN ZABEZPIECZENIA LOGISTYCZNEGO W GAZY

W artykule została przeprowadzona przykładowa kalkulacja zapotrzebowania na gazy do zabezpieczenia podstawowego procesu nurkowania saturowanego oraz zabezpieczenie leczenia w trakcie saturacji i powstałych średnio-ciężkich przypadków po saturacji. Przykładowy profil nurkowania szkoleniowego przedstawiono na rys. 3. W tab. 15 podsumowano plan zabezpieczenia logistycznego w podstawowe materiały eksploatacyjne potrzebne do przeprowadzenia saturowanych nurkowań szkoleniowych dla personelu i nurków MW RP.



Rys. 3. Propozycja planu pojedynczego szkoleniowego nurkowania saturowanego.  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/h = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ dni}$ .

## DISCUSSION

The principles regarding fire protection, inspection of the breathing atmosphere' status, protection against oxygen pulmonary toxicity, procedures in case of temperature control loss, pressure control loss, medical security, divers' health qualifications inspection, adaptive preparation, level of observance of the principles of hygiene, documentation maintenance, chamber complex tightness inspection and chamber complex toxicology test shall not be discussed here, as these matters have been described earlier (R. Kłos, 2007).

### EMERGENCY COMPRESSION ARREST

At present it is recommended to apply the most recent *Hx US Navy Table* - tab.14 (US Navy diving manual, 2008).

The baseline value for planning decompression is the maximum depth reached by the diver and his stay time at this depth. In the case when initial compression is carried out with the use of air the time of up to **60 min** spent at a depth shallower than **40 fsw (12 mH<sub>2</sub>O)** may be omitted in decompression calculation.

During the decompression it is required to maintain the oxygen partial pressure of the emergency decompression mix breathed in through BIBS masks within  $p_{O_2} \in [150 - 280] \text{ kPa}$ .

Decompressions should be conducted according to the decompression schedule presented in the table. Transition speed between the stations should amount to **40 fsw · min<sup>-1</sup> (12 mH<sub>2</sub>O · min<sup>-1</sup>)**.

### LOGISTIC SECURITY PLAN REGARDING THE GAS SUPPLY

This article presents a sample calculation regarding gas demand calculation for securing a basic saturation diving process, as well as securing treatment during saturation and possible moderately severe DCS cases after the saturation. An exemplary training dive profile has been presented in fig.3. Tab.15 provides a summary logistic security plan in basic supplies required during training saturation dives with regard to personnel and Polish Navy divers.

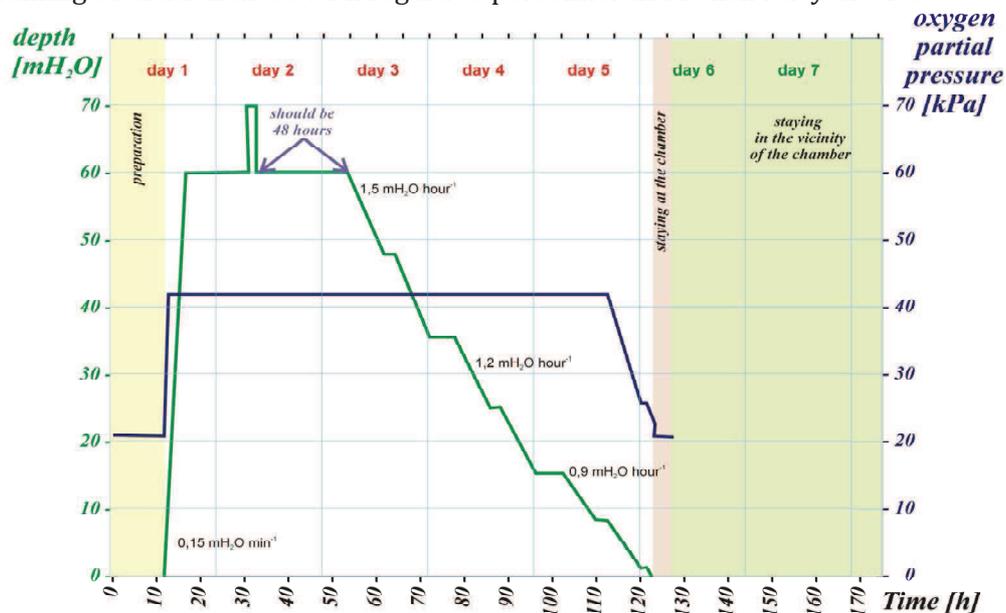


Fig. 3. Proposed shedule for a single training saturation dive.  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/h = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ days}$ .

Tabela 15.

Podstawowe zapotrzebowanie materiałowe na saturację heliokową  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/h = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ dni}$  - rys.3.

Faza	Zapasy nienaruszalne										Zapasy na jedno nurkowanie			
	$H_e$ [Nm <sup>3</sup> ]	$H_x$			$O_2$ [Nm <sup>3</sup> ]	$WS$ [kg]	$GW$ [jedn.]	$H_e$ [Nm <sup>3</sup> ]	$H_x$		$O_2$ [Nm <sup>3</sup> ]	$WS$ [kg]	$GW$ [jedn.]	
		0,60	0,38	0,21					0,13	0,21				0,13
Kompresja	215			51	4	2×96	1	215	51		4	1×96	1	
Nurkowanie										2×14				
Dekompresja					45						45			
Leczenie		2×50	2×70	2×130	2×30									
<b>Razem</b>	<b>215</b>	<b>579</b>			<b>109</b>	<b>192</b>	<b>1</b>	<b>215</b>	<b>65</b>	<b>49</b>	<b>96</b>	<b>1</b>		

nie uwzględniono zapasów gazów na dekompresję w przypadku przerwania kompresji do plateau saturacji

$WS$  –wapno sodowane;  $GW$  –gaz wzorcowy

Table 15

Basic supply demand in heliox saturation  $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/h = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ dm}^3$  - fig. 3

Phase	Inviolable reserves						Reserves for a single dive						
	He [Nm <sup>3</sup> ]	Hx			O <sub>2</sub> [Nm <sup>3</sup> ]	WS [kg]	GW [jedn]	He [Nm <sup>3</sup> ]	Hx		O <sub>2</sub> [Nm <sup>3</sup> ]	WS [kg]	GW [jedn]
		0.60	0.38	0.21					0.13	0.21			
Compression	215			51	4	2×96	1	215	51		4	1×96	1
Dive										14			
Decompression					45						45		
Treatment		2×50	2×70	2×130	2×30								
<b>Total</b>	<b>215</b>			<b>579</b>	<b>109</b>	<b>192</b>	<b>1</b>	<b>215</b>	<b>65</b>	<b>65</b>	<b>49</b>	<b>96</b>	<b>1</b>

gas reserves for decompression in case of compression arrest to the saturation plateau have not been considered  
 WS –soda lime; GW – calibration gas

## **WNIOSKI**

Obecnie Marynarka Wojenna RP ma możliwość prowadzenia szkoleń w technologii nurkowań saturowanych, gdyż w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R00-00014/3 pt.: „Metodyka nurkowań saturowanych” powstała niezbędna baza i wiedza pozwalająca na ich realizację.

Jednak decyzja, co do rodzaju technologii realnie używanej przez Marynarkę Wojenną RP powinna być poprzedzona:

- analizą dotychczasowych polskich osiągnięć,
- warunkach prowadzenia akcji ratowania załóg okrętów podwodnych i innych akcjach,
- możliwościach przeżycia na okręcie podwodnym zwłaszcza gdy dojdzie na nim do podniesienia ciśnienia,
- warunkach udzielenia wsparcia polskiemu przemysłowi,
- zobowiązaniach sojusznicych,
- studium wykonalności rozwiązań uznanych za optymalne dla sił zbrojnych.

Przeprowadzone analizy powinny stanowić wytyczne do opracowania systemu zabezpieczającego wytypowanych zadań i potrzebnej dla ich realizacji technologii prowadzenia prac podwodnych na platformie stanowiącej okręt ratowniczy.

## **OŚWIADCZENIE**

Praca jest wynikiem wdrożenia przeprowadzonego w Akademii Marynarki Wojennej projektu badawczo-rozwojowego nr R00-00014/3 pt.: „Metodyka nurkowań saturowanych” finansowanego ze środków na naukę.

## CONCLUSIONS

Currently, the Polish Navy has the opportunity of conducting training in saturation diving technology, as the research-development project No. R00–00014/3 entitled: "Saturation diving methodology" provided for the necessary database and knowledge, allowing for their implementation.

However, the decision concerning the actual technology type used by the Polish Navy should be preceded by an analysis of:

- previous Polish achievements in the field,
- conditions for carrying out rescue operations for submarine crews and other operations,
- survival possibilities on a submarine, especially in the situation of an increased pressure,
- conditions for supporting the Polish industry,
- alliance obligations,
- a feasibility study on solutions recognised as optimal for the armed forces.

The conducted analyses should constitute guidelines for the preparation of a system securing selected tasks and the required underwater works technologies in their realization on a rescue ship.

## STATEMENTS

This work is a result of the implementation in the Polish Navy Academy of a research–development project no. R00–00014/3 entitled "Saturation diving methodology" financed from the educational fund.

## BIBLIOGRAPHY

1. Miller J. W., Koblick I.G. 1984. *Living and working in the sea*. Melbourne: Van Nostrand Rein-hold Company Inc., 1984, ISBN 0-442-26084-9;
2. Przyłipiak M., Torbus J. 1981. *Diving equipment and works-handbook*. Warsaw: Ministry of Defence Publishing, 1981, ISBN 83-11-06590-X;
3. R., Kłos. 2007. Heliox saturation diving. Part I. *Polish Hyperbaric Research*. 2007, Vol. 20, 3, pp. 7-32;
4. Thomas S.W. 2010. Saturation Fly-Away Diving System (SAT FADS). *Faceplate*. 2010, Vol. October, pp. 8-9;
5. US Navy diving manual. 2008. *Collective work (revision 6)*. The Direction of Commander: Naval Sea Systems Command, 2008, 0910-LP-106-0957.