

# Naplněno před 25 lety

Roman Kudela<sup>1</sup> a Stanislav Kozel<sup>2</sup>

## Abstrakt

Článek se zabývá problematikou měřením množství kyslíku ve čtvrtstoletí starém vzduchu nafoukaném v potápěčské láhvi. Krátce probírá problematiku dýchání směsí s různým množstvím kyslíku. Poté se věnuje výsledkům měření, při nichž bylo zjištěno, že zkoumaná směs je normoxická.

## Klíčová slova

Koroze, kyslík, potápěčská láhev, potápění.

## Abstract

The article deals with the issue of measuring the amount of oxygen in a quarter-century old air filled in a scuba tank. It briefly discusses the issue of breathing mixtures with various amounts of oxygen. Then the results of the measurements are presented, during which it was found that the tested air mixture is normoxic.

## Keywords

Corrosion, diving, oxygen, scuba tank.

## 1. Úvod

Použití nevhodného dýchacího média je příčinou mnoha nehod při pracovních činnostech i při potápění. V létě 2018 mi můj dlouholetý známý, potápěčský veterán a fotograf, Stanislav Kozel řekl, že při úklidu svého sklepa objevil svoje staré potápěčské láhve a původní manometr, ještě z dávných časů. Zajímavé na tom bylo zejména to, že od posledního plnění lahví vzduchem uběhlo 25 let. Tehdy nás napadlo,

<sup>1</sup> Mgr. Roman Kudela, CRAA – Ústav bezpečnosti práce ve výškách, z. ú.

<sup>2</sup> Stanislav Kozel, potápěčský klub Scuba S. W.

že provedeme měření a zjistíme, jaké je po 25 letech složení vzduchu v lahvích. To hlavní, co nás zajímalo, byl obsah kyslíku v plynu v lahvích.

## 2. Vzduch coby dýchací směs

Jednou ze základních fyziologických potřeb člověka je dýchání. Jedná se o proces výměny plynů prostřednictvím nádechu a výdechu mezi organismem člověka a jeho okolním prostředím. Při nádechu dojde k nasátí čerstvého vzduchu do plic, kde se kyslík obsažený ve vzduchu přes plicní sklípky rozpustí do krve a ta jej roznáší dále do těla, kde slouží k chemickým reakcím tvořících nezbytnou energii. Při ní ale zároveň vzniká oxid uhličitý. Ten je po návratu do plic vylučován přes vlásečnice do plic a odtud vydechován ven.

### 2.1 Fyziologická potřeba kyslíku

Kyslík, bezbarvý plyn, je druhým nejčetnějším prvkem obsaženým ve vzduchu, který dýcháme. Pro živé organismy je tím nejdůležitějším prvkem ve vzduchu. Z kyslíku, který se dýcháním dostane ze vzduchu do těla, je 85 – 90 % využito v aerobním metabolismu při výrobě adenosintrifosfátu (uvolnění chemické energie coby energetického zdroje pro buňku) za účelem udržení iontových gradientů, svalových kontrakcí a syntéz. Zejména mozek a srdce jsou na kyslíku zcela závislé. Zatímco mnohé orgány dokážou v případě přerušení dodávky kyslíku určitou dobu fungovat (tzv. „kyslíkový dluh“) v případě selhání zásobování mozku kyslíkem dochází ke ztrátě vědomí během 10 vteřin (již po 7 vteřinách se projeví reverzibilní poruchy zraku – „mžítka před očima“). Po přibližně pěti minutách bez kyslíku dochází k ohrožení života, kolem 5. – 7. minuty bez kyslíku dochází ke klinické smrti (smrti mozku), po deseti minutách ke smrti organismu.

Běžná spotřeba kyslíku (při klidovém dýchání, nikoliv dýchání při zátěži) je přibližně 250 ml/min. Zatímco při nádechu vzduch obsahuje 21 %, při výdechu je to už pouze kolem 18 %.

Stav bez kyslíku (s úplným nedostatkem kyslíku) je nazýván **anoxie**, stav spojený s nedostatkem kyslíku v organismu nebo jeho části **hypoxie** a stav spojený s přebytkem kyslíku pak **hyperoxie**. I nadbytek kyslíku má na lidský organismus

nežádoucí účinky. Závisí však na dávce a době expozice. V případě dlouhodobého působení zvýšeného parciálního tlaku kyslíku dochází ke chronické intoxikace kyslíkem, která se projevuje poškozením plic. V případě vysokého parciálního tlaku kyslíku i při krátkém působení dochází k akutní intoxikaci kyslíkem působící na centrální nervovou soustavu. Ta se projevuje křečemi, záškuby, závratěmi a dalšími projevy vedoucími až ke ztrátě vědomí.

Tabulka 1: Rozsah parciálních tlaků kyslíku a jejich vliv na lidský organismus

pO <sub>2</sub> [ata]	Fyziologická reakce organismu/situace, při níž k daným hodnotám dochází
0,6	<i>anoxie</i> - kóma nebo smrt
0,1	<i>anoxie</i> - bezvědomí, v některých případech i smrt
0,12	<i>těžká hypoxie</i> – dušnost, člověk má tendenci hyperventilovat (=> zhoršení situace), neschopnost soustředit se, poruchy jemné motoriky, závratě, ospalost
0,16	<i>lehká hypoxie</i> - pocit, že nedostatku vzduchu, první příznaky hypoxie, lapání po dechu, bolest hlavy, limitní hodnota pro to, aby tělo vykonalo nějakou práci, při klidovém stavu se dá fungovat
0,21	<i>normoxie</i> (0,18 - 0,21 ata) - běžné hodnoty každodenního života
0,3	<i>hyperoxie</i> – přijatelná saturační dávka při překročení expozici překračující 24 hodiny
0,35	<i>hyperoxie</i> – hranice saturačního potápění
0,4	<i>hyperoxie</i> – hranice trvalého zatížení kyslíkem
0,5	<i>hyperoxie</i> – hranice saturačního potápění během 24 hodin, při překročení dochází k nevratnému poškození plic
1,4	<i>hyperoxie</i> – doporučená hranice pro zatížení kyslíkem pro náročné, namáhavé a dekompresní ponory
1,5	<i>hyperoxie</i> – hranice pro pracovní potápěče při střední zátěži nebo středně namáhavých ponorech
1,6	<i>hyperoxie</i> – maximální přípustný limit pro zatížení kyslíkem při optimálních podmínkách při dekompresi v 6 m
1,8	<i>hyperoxie</i> – limit US Navy pro speciální operace (až 240 minut)
2,5	<i>hyperoxie</i> – limit US Navy pro extrémní operace (maximálně 10 minut)
2,8	<i>hyperoxie</i> – maximální přípustná hodnota pro léčbu v barokomoře při potápěčských nehodách, historický limit sovětské Rudé armády
3	<i>nebezpečná hyperoxie</i> – krátkodobá expozice při hyperbarické léčbě s 50% kyslíkem (při snaze o zmenšení bublinek), téměř jistá akutní otrava

## 2.2 Vzduch

Atmosférický vzduch, který nás obklopuje, je směsí plynů, které ovlivňuje chemické reakce jak v živých organismech, tak v neživé přírodě. Při atmosférickém tlaku 1 bar, je jeho molární hmotnost 28,96 g/mol, molární objem 22,40 dm<sup>3</sup>/mol a hustota 1,29 kg/m<sup>3</sup>. Je tvořen přibližně 21 % kyslíku, 78 % dusíku a 1 % vodních par a vzácných plynů (viz tabulka 2).

Tabulka 2: Složení vzduchu

látka	Procentuální zastoupení ve vzduchu
dusík	78,084
kyslík	20,946
argon	0,93
oxid uhličitý	0,0407
neon	0,0018
helium	0,000524
metan	0,0002
krypton	0,000114
vodík	0,00005
xenon	0,0000087

Kromě již zmíněného dýchání je využíván i k pohonu pneumatických náradí (vrtaček, rázových utahováků atp.), ovládání brzd v některých dopravních prostředcích (vlaků, nákladní automobily atd.), k nafukování hraček, míčů, pneumatik, zvedacích vaků apod. Na podzim je používán ve fukarech při úklidu listů z ulic měst a používá se při mnohých dalších činnostech.

Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o nejlevnější dýchací médium, je stlačený vzduch používán v dýchacích přístrojích používaných záchrannými službami a sbory a při potápění. Tam, v závislosti na narkotickém potenciálu dusíku a toxicitě kyslíku při zvýšeném parciálním tlaku, je jeho použití omezené hloubkou.

### 3. Koroze

Koroze je chemickou reakcí (vzdušného) kyslíku, vody a dalších látek na povrchích kovových předmětů. Vytváří vrstvu, v níž dochází ke změnám vlastností kovového materiálu – jeho narušení. Kyslík se při tom spotřebovává.

© Piškula [2] mezi nehody způsobené nevhodným složením dýchací směsi uvádí jako jednu z příčin nedostatek kyslíku v dýchané směsi spotřebování kyslíku na oxidaci železa v ocelové láhvi, v níž je naplněn a dlouhodobě skladován vzduch s vysokým obsahem vlhkosti. Vrbovský [3] dokonce uvádí, že „snížení koncentrace kyslíku v zásobníku dýchacího přístroje připadá v úvahu při dlouhodobém (několikaměsíčním) skladování naplněných přístrojů, kdy obsah kyslíku může i dosti podstatně poklesnout v důsledku koroze vnitřku zásobníku“.

## 4. Zkoumané láhve

Obě láhve, vlastně všechny tři láhve, ležely u S. Kozla ve sklepech bez povšimnutí od roku 1993, kdy je naposledy naplnil. V té době měl lahví více, proto tyto nepoužíval a žádným zvláštním způsobem o ně nepečoval. Časem na ně zapomněl. Znovu je objevil až při úklidu v roce 2018.

Rok výroby lahví, ani poslední provedenou tlakovou zkoušku, jsme při měření nezkoumali. Pro samotné měření to nebylo podstatné. Ostatně v dobách, kdy je S. Kozel uložil do sklepa, se na tyto věci tolik nehledělo. Důležité tehdy bylo nějakou „fľašku“ vůbec vlastnit a hlavně se potápět. Dnes je tomu naopak. Mnohdy vlastníme úplně všechno a nepotápíme se.

### 4.1 Dvojče

Výrobce:	<i>Aquacentrum Praha</i>
Objem:	<i>2 × 10 litrů</i>
Rok výroby:	<i>1979</i>
Ventil:	<i>Aquacentrum INT s mechanickou rezervou</i>
Tlak plynu v láhvi:	<i>174 bary při zahájení měření</i>
Rok plnění:	<i>1993</i>

Bližší informace ke dvojčeti (datum uvedení do provozu, doba provozu, počet ponorů, poslední tlaková zkouška, celkový počet provedených tlakových zkoušek) nebyly zkoumány, tedy ani zjištěny.

### 4.2 Monoláhev

Výrobce:	<i>Aquacentrum Praha</i>
Objem:	<i>5 litrů</i>
Rok výroby:	<i>nezjištěn</i>
Ventil:	<i>Aquacentrum INT s mechanickou rezervou</i>
Tlak plynu v láhvi:	<i>45 bar při zahájení měření</i>
Rok plnění:	<i>1993</i>

Bližší informace k monoláhvi (rok výroby, datum uvedení do provozu, doba provozu, počet ponorů, poslední tlaková zkouška, celkový počet provedených tlakových zkoušek) nebyly zkoumány, tedy ani zjištěny.

### 4.3 Manometr

Jednalo se o původní („analogový“) manometr slovenského výrobce PVD<sup>3</sup> Stará Turá, ručičkový s bourdonovou trubicí. Ta ale byla poškozena a v důsledku toho manometr měřil značně nepřesně.

## 5. Měřicí technika

K měření jsme použili měřicí přístroj He/O<sub>2</sub> Analyzer od firmy DIVESOFT. Jedná se o přenosný analyzátor určený k analýze dýchacích směsí v potápěčských lahvích, sloužící jak k analýze namíchané směsi, tak coby kontrolní detektor průběhu kontinuálního míchání dýchací směsí<sup>4</sup>.

Měření koncentrace kyslíku probíhá prostřednictvím kyslíkového čidla s možností dvoubodové kalibrace – jednak podle množství kyslíku v okolním vzduchu a podle 100% kyslíku. Měření koncentrace hélia spočívá v měření rychlosti zvuku (odeslání akustického signálu reproduktorem na jednom konci a jeho přijetí mikrofonem na druhém konci měřicího kanálu).

#### Parametry pro měření kyslíku:

Rozsah měření: 0 – 100 % O<sub>2</sub>

Přesnost měření: ± 1 % (při jednobodové kalibraci. Při dvoubodové ± 0,5 %)

Doba životnosti čidla: > 3 roky

#### Parametry pro měření hélia:

Rozsah měření: 0 – 100 % He

Přesnost měření: ± 0,5 %

Doba životnosti čidla: > *principiálně neomezená*

<sup>3</sup> Podjavorinské výrobné družstvo

<sup>4</sup> Navíc v případech, kdy je napojen na počítač, může podle naměřených hodnot sloužit k řízení kontinuální míchačky plynů.

Pro měření tlaku v láhvích jsme použili digitální manometr značky Siemens:

Rozsah měření: 0 – 400 bar

Přesnost měření:  $\pm 0,065$  %

## 6. Výsledky zkoumání

Na základě opakovaných měření jsme zjistili, že obsah kyslíku ve vzdušnině v lahvích po 25 letech byl:

- 20,7 % ve dvojčeti  $2 \times 10$  l,
- 20,6 % v 5l monolávvi.

Vzduch z lahví jsme dále zkoušeli jen sensoricky (čichem a chutí). Při tomto jsme subjektivně nezjistili žádné abnormality, např. olejovou příchut' nebo olejový pach typický pro vzduch z tehdejších kompresorů.

Výraznější závadu, kterou jsme na obou potápěčských lahvích zjistili, byla závada HP manometru. Ten místo 45 bar ukazoval cca 90 bar. Tato závada ale neměla na provedená měření žádný vliv.

## 7. Diskuse

Po zjištění, že vzduch v obou láhvích byl normoxický jsem si vybavil to, co se uvádí v odborné literatuře a to, co se v kurzech vštěpuje studentům, že vzduch v lahvích po nějaké době<sup>5</sup> ztrácí kyslík. Že se doporučuje vzduch z naplněných lahví vydýchat maximálně do 4 měsíců od nafoukání a to v tzv. chráněném vodním prostoru (např. bazén, mělká zátoka, atd.) a pod dozorem jiného potápěče. Starší vzduch raději vypustit. Není nutno zdůrazňovat, že dnešní dokonalá péče o láhve se s tou dřívější nedá srovnat. V minulosti se vše používalo tak dlouho, dokud to fungovalo. Pak se opravovalo. Termíny jako prevence, pravidelný servis, preventivní výměna čehokoliv nebo prohlídka jen tak, nebyly v potápěčském slovníku.

<sup>5</sup> Vrbovský v [3] uvádí, že po několika měsících



## 8. Závěr

Provedené zkoumání ukázalo, že 25 starý vzduch v láhvích byl normoxický. Jednalo se o láhve téhož výrobce, naplněné stejným kompresorem, skladované ve stejných podmínkách. Výsledek s lahvemi jiného výrobce, plněnými jiným kompresorem, používanými a skladovanými v jiných podmínkách, by se mohl značně lišit.

Proto tento příspěvek není návodem pro dlouhodobé skladování naplněných lahví, ani nevykazuje žádné statisticky významné okolnosti. Pouze poukazuje na to, že to, co se uvádí jako absolutní pravda, nemusí vždy platit.

Celý článek s fotografiemi ve větším rozlišení je na webu:

<https://craa.cz/2023/12/31/naplneno-pred-25-lety/>

## Použité zdroje

- [1] BETTS, Edwards A. *The Application of Enriched-Air Mixtures*. 6. vydání. Freeport, NY: ANDI, 2004. ISBN 0976229110.
- [2] PIŠKULA, František; ŠTĚPINA, Jiří a PIŠKULA, Michal. *Sportovní potápění*. Svazarm. Praha: Naše vojsko, 1985.
- [3] VRBOVSKÝ, Vladimír; JAHNS, Jan a kol. *Potápění s přístrojem*. Praha: Svaz potápěčů České republiky, nedatováno.
- [4] JAHNS, Jan. *Fyzika*. Praha: Svaz potápěčů České republiky, 2008.
- [5] KATZ, Pavel. *Potápěčská technika*. Knižnice Svazarmu (Naše vojsko). Praha: Naše vojsko, 1979.