

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Fyziologické rozdíly a možná rizika při potápění s přístrojem  
a na nádech**

Rigorózní práce

Odborný konzultant:  
Ing. Mgr. Miloš Fiala, Ph.D.

Vypracoval:  
Mgr. Tomáš Flodr

Praha, duben 2020

Prohlašuji, že jsem rigorózní práci vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Mgr. Miloše Fialy, Ph.D., a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne .....

.....

Mgr. Tomáš Flodr

## Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své rigorózní práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto rigorózní práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

---

*„Nikdy nepřekonáš oceán, když se budeš bát, že ztratíš břeh z dohledu.“*

Kryštof Kolumbus

## **Poděkování**

Především bych rád poděkoval vedoucímu své rigorózní práce Ing. Mgr. Miloši Fialovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které přispěly k vytvoření této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Janu Wolfovi za odborné konzultace a v neposlední řadě mé milované manželce Anežce za trpělivost a podporu, bez které by tato práce nemohla vzniknout.

## **Abstrakt**

**Název:** Fyziologické rozdíly a možná rizika při potápění s přístrojem a na nádech

**Cíle:** Cílem práce bylo prokázat, má-li ponor na nádech, provedený po ukončení ponoru s přístrojem, vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci a navržení vhodných postupů a omezení pro bezpečné kombinování obou výše uvedených druhů potápění ve stejný den.

**Metody:** Pro práci byla použita metoda rešerše domácích i zahraničních zdrojů zabývajících se problematikou přístrojového a nádechového potápění. Dále byl prováděn kauzální výzkum, kterého se zúčastnilo 34 probandů z řad certifikovaných přístrojových potápěčů se zkušenostmi s kombinováním přístrojového a nádechového potápění ve stejný den.

**Výsledky:** Na základě výzkumu bylo zjištěno, že ponor na nádech provedený po ponoru s přístrojem může za určitých okolností zvýšit riziko vzniku dekompresní nemoci. Byly stanoveny konzervativní postupy a doporučení pro bezpečné kombinování obou druhů potápění ve stejný den, se kterými budou seznámeny domácí i zahraniční potápěčské komunity.

**Klíčová slova:** Přístrojové potápění, dekompresní nemoc, dusíkové zatížení, volné potápění, rizika

## **Abstract**

**Title:** Physiological differences and potential risks while scuba diving and freediving

**Objectives:** Goal of this study was to prove, whether freedive performed after finished dive using self-contained underwater breathing apparatus, may potentially increase the risk of decompression sickness and after all put together appropriate principals and guidance for safe combining of both scuba diving and freediving on the same day.

**Methods:** This study used research of local and foreign sources that covered freediving and diving using self-contained underwater breathing apparatus issues. Casual research was also conducted involving 34 participants, all certified self-contained underwater breathing apparatus divers experienced in combining freediving and scuba diving on the same day.

**Results:** Based on the research has been found that a freedive performed after dive using self-contained underwater breathing apparatus may under certain circumstances increase the risk of decompression sickness. Conservative principals and recommendations for safe combining of scuba diving and freediving on the same day were established. Results of this study will be provided to local and foreign diving communities.

**Keywords:** Scuba diving, decompression sickness, nitrogen load, freediving, risks

# Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	11
1 ÚVOD .....	14
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE .....	16
2.1 Historie potápění .....	16
2.1.1 První zmínky .....	16
2.1.2 Použití techniky .....	16
2.1.3 Dýchací přístroj .....	17
2.2 Potápění s použitím stlačeného dýchacího média .....	18
2.2.1 Rozvoj sportovního potápění .....	18
2.2.2 Vybavení .....	18
2.2.3 Certifikace a organizace .....	19
2.3 Volné potápění .....	20
2.3.1 Rozvoj a členění .....	20
2.3.2 Organizace .....	21
2.4 Fyzikální zákony působící na tělo potápěče .....	21
2.4.1 Archimedův zákon .....	21
2.4.2 Pascalův zákon a tlak .....	22
2.4.3 Boyle-Mariottův zákon .....	22
2.4.4 Daltonův zákon .....	23
2.4.5 Henryho zákon .....	24
2.5 Dusík a jeho distribuce v organismu .....	24
2.5.1 Saturace organismu inertním plynem .....	24
2.5.2 Tkáně .....	25
2.5.3 Desaturace organismu inertním plynem .....	26
2.5.4 Dusíkové zatížení organismu .....	26
2.6 Dekompresní nemoc .....	27

2.6.1	Vznik dekompresní nemoci .....	27
2.6.2	Formy a příznaky DCS .....	28
2.6.3	Příčiny vzniku DCS .....	29
2.6.4	Léčba.....	30
2.7	Rozdíly mezi potápěním s přístrojem a na nádech.....	30
2.7.1	Certifikace a náročnost .....	30
2.7.2	Vybavení.....	30
2.7.3	Dosažená hloubka, čas a motivace potápěče .....	31
2.7.4	Biomechanické procesy .....	31
2.8	Rizika spojená s potápěním s přístrojem a na nádech.....	32
2.8.1	Společná rizika.....	32
2.8.2	Rizika přístrojového potápění.....	33
2.8.3	Rizika nádechového potápění .....	35
2.8.4	Eliminace rizik.....	35
2.9	Kombinace obou druhů potápění .....	36
2.9.1	Syndrom Taravana.....	36
2.9.2	Nádechové potápění před potápěním s přístrojem.....	37
2.9.3	Nádechové potápění po potápění s přístrojem.....	38
2.9.4	Dostupné materiály .....	39
2.9.5	Problematika měření .....	39
2.10	Rešerše dostupných zdrojů .....	40
2.10.1	Komplexnost zkoumaného jevu.....	40
2.10.2	Přístup k podkladům .....	41
2.10.3	Zahraniční zdroje .....	41
2.10.4	Domácí zdroje.....	43
3	CÍLE A ÚKOLY PRÁCE.....	44
3.1	Cíle práce .....	44



3.2	Úkoly práce .....	44
3.3	Výzkumná otázka .....	45
4	METODIKA PRÁCE .....	46
4.1	Kauzální výzkum .....	46
4.1.1	Charakteristika sledovaného souboru .....	46
4.1.2	Tvorba dotazníku .....	46
4.1.3	Struktura dotazníku .....	47
4.1.4	Části dotazníku .....	47
4.1.5	Sběr dat .....	49
4.1.6	Analýza dat .....	49
5	VÝSLEDKY .....	50
5.1	Výsledky rešerše dostupných zdrojů .....	50
5.2	Výsledky kauzálního výzkumu .....	51
5.2.1	Návratnost dotazníků .....	51
5.2.2	Tabulka odpovědí .....	52
5.2.3	Graficky zpracované odpovědi .....	53
5.2.4	Demografické složení respondentů .....	53
5.2.5	Potápěčská certifikace a fakta .....	54
5.2.6	Index tělesné hmotnosti a četnost sportovních aktivit .....	59
5.2.7	Kombinace přístrojového a nádechového potápění ve stejný den .....	61
5.2.8	Regresní analýza .....	65
5.2.9	Výsledek regresní analýzy .....	67
5.2.10	Rozbor faktorů u probandů s výskytem DCS .....	68
5.2.11	Závěr z výstupních dat .....	68
5.3	Výsledky uceleného výzkumu .....	72
5.4	Navržené postupy a omezení .....	72
6	DISKUZE .....	74

6.1	Limity studie .....	75
6.2	Problematika měření .....	76
6.3	Problematika stanovení přesných pravidel.....	77
6.4	Smysl stanovení pravidel .....	78
7	ZÁVĚR .....	79
	SEZNAM LITERATURY .....	81
	PŘÍLOHY .....	88

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\alpha$  – absorpční koeficient

$\beta$  – koeficient logistické regrese

AIDA – Association internationale pour le développement de l'apnée

ANDI – American nitrox divers international

BCD – buoyancy control device

CMAS – Confédération mondiale des activités subaquatiques

CNS – centrální nervový systém

CO<sub>2</sub> – oxid uhlíčitý

DAN – Divers alert network

DCS – decompression sickness

DIWA – Diving instructor world association

dm<sup>3</sup> – decimetr krychlový

$\varepsilon$  – reziduální chyba

EANx – enriched air nitrox

f – frakce

F – vztlak

F<sub>G</sub> – síla působící na těleso

F<sub>VZ</sub> – hydrostatická vztlaková síla

g – gram

GUE – Global underwater explorers

h – hodina

He – hélium

IADS – International association of diving schools

IANTD – International association of nitrox and technical divers

IDEA – International diving educators association

IMCA – International maritime contractors association

IMO – International maritime organisation

kg – kilogram

l – litr

LMC – loss of motor control

m – metr

min – minuta

MPa – megapascal

NAUI – National association of underwater instructors

N<sub>2</sub> – dusík

O<sub>2</sub> – kyslík

P – tlak

Pa – pascal

PADI – Professional association of diving instructors

P<sub>1</sub> – parciální tlak

P<sub>(ATM)</sub> – atmosferický tlak

pCO<sub>2</sub> – parciální tlak oxidu uhličitého

PDIC – Professional diving instructors corporation

P<sub>(H)</sub> – hydrostatický tlak

PHS – posthyperventilační hypoxická synkopa

pO<sub>2</sub> – parciální tlak kyslíku

PSAI – Professional scuba association international

ρ – hustota

SCUBA – self-contained underwater breathing apparatus

s – sekunda

SI – Le système international d'unités

SSI – Scuba schools international

SWB – shallow water blackout

t – čas

T – teplota

TDI – Technical diving international

TRIMIX – dýchací směs dusíku, kyslíku a hélia

V – objem

$x_j$  – závislá proměnná

y – binární proměnná

# 1 ÚVOD

Přestože první zmínky o potápění jsou staré několik tisíc let, rekreační potápění s použitím dýchacího přístroje s otevřeným okruhem a také freediving, tedy volné potápění na nádech provozované z ryze sportovních pohnutek, jsou doménou až dvacátého století, ve větší míře spíše několika posledních desetiletí.

Jedná se tedy o poměrně mladé sportovní odvětví, které se neustále vyvíjí, a to nejen po stránce technické, ale také z hlediska rozsahu znalostí fyzikálně-chemických procesů působících na tělo potápěče a případných medicínských následků. I přes uspokojivý stav poznání v této oblasti, je bohužel nutné si připustit, že současná vědecko-technická úroveň nedokáže stoprocentně reflektovat veškeré aspekty spojené s expozicí lidského jedince v hyperbarickém prostředí. Tuto skutečnost ještě umocňuje fakt, že při ponoru hraje roli nejen mnoho vnějších, ale také vnitřních proměnných, jako například genetická predispozice jedince, věk, fyzická kondice či procentuální zastoupení tukových tkání v těle.

Potápění je tedy možné označit za oblast lidského počínání, kde není možné ve všech případech aplikovat exaktní matematické postupy, spíše empiricko-prediktivní modely. Stejně tak lze jen velmi těžko určit přesná a obecně platná pravidla potápění, jako jsou například bezdekompresní limity, povrchové intervaly, maximální rychlost výstupu, atd. Na světě existuje mnoho desítek potápěčských organizací a každá udává své vlastní, více či méně podobné hodnoty pro bezpečné potápění, které ovšem nejsou neomylné a v čase se mění. Ještě v devadesátých letech minulého století přikročilo mnoho organizací k razantní změně maximální rychlosti výstupu, a to z 18m/min na polovinu, tedy 9m/min. U freedivingu je situace ještě turbulentnější, neboť mezinárodní organizace zastřešující volné potápění (AIDA), ještě před necelými sedmi lety zásadně změnila, po tragickém úmrtí jednoho ze sportovních potápěčů soutěžících na akci Vertical Blue, doposud uznávané závazné normy a pravidla. Ve světle těchto událostí není možné vyloučit, že některé z dnes obecně uznávaných principů bezpečného potápění, budou v budoucnu změněny či nahrazeny jako nedostatečné či překonané.

Je-li tedy značně nesnadné stanovit přesná pravidla a limity pro bezpečné provozování obou druhů potápění zvlášť, pak stanovit takováto pravidla pro jejich eventuální kombinování se jeví jako téměř nemožné.

Právě tato výzva vedla k vypracování rigorózní práce. Autor práce se věnuje volnému potápění přes třicet let, přes deset let je certifikovaný přístrojový potápěč, posledních šest let profesionální dive master organizace IANTD. Měl možnost vést ponory, nebo se jich účastnit jako sportovní potápěč, ve více než 40 zemích na všech kontinentech mimo Antarktidu. Během těchto cest se se setkal s mnoha různými přístupy a názory, které se týkaly kombinování přístrojového a volného potápění. Tyto názory se velmi lišily, často byly dokonce protichůdné. Od tvrzení, že zanoření na nádech po přístrojovém potápění je extrémně nebezpečné v každém případě bez ohledu na hloubku a čas ponoru, přes názor, že provozovat volné potápění po potápění s přístrojem sice možné je, nicméně není to doporučeníhodné, až po tvrzení, že lze oba druhy potápění bez jakéhokoli rizika kombinovat. Ve snaze nalézt jasnou a podloženou odpověď byla problematika konzultována s ostatními profesionálními potápěči, vyhledávána v manuálech potápěčských organizací, na internetu i v domácí a zahraniční odborné literatuře. Bohužel bez jasného výsledku.

Existuje pouze minimum zdrojů, které by reflektovaly problematiku kombinování přístrojového potápění a freedivingu. Vždy se jedná nanejvýš o určitá obecná doporučení. Prakticky neexistují přesná data či dokonce postupy, které by jasně definovaly, za jakých podmínek je možné oba druhy potápění bezpečně kombinovat, zohledňující hloubku, čas a povrchový interval.

Toto byl fundamentální impuls pro další zkoumání dané problematiky, které vyústilo k vytvoření celé rigorózní práce. V průběhu posledních pěti let autor vyhledával relevantní informace v odborných článcích i na internetu, načítal knihy, konzultoval problematiku s mnoha profesionály a sbíral data po celém světě formou anonymních dotazníků od potápěčů, kteří měli zkušenosti s kombinováním obou druhů ponorů.

Všechna získaná data byla zpracována, vyhodnocena a použita k navržení konkrétních postupů a omezení pro bezpečné kombinování potápění s přístrojem a freedivingu ve stejný den.

## **2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE**

### **2.1 Historie potápění**

Touha člověka proniknout pod vodní hladinu má hluboké historické kořeny. Potápění v apnoe, tedy potápění po hlubokém nádechu a zadržení dechu, je historicky nejstarším způsobem naplnění lidských snah o proniknutí pod vodní hladinu (Novomeský, 2013).

#### **2.1.1 První zmínky**

Už z dob před více než 4500 lety př. Kr. se datují archeologické nálezy perel a mušlí z Mezopotámie, jež nebylo možné vylovit sítí, pouze sesbírat z mořského dna rukou. Na asyrské hlíněné tabulce z období přibližně 900 let př. Kr. je vyobrazen plavec pod vodou dýchající z vaku, který má připevněný k tělu (Marx, 1990).

Tito první potápěči hledali na mořském dně škeble, perly a mořské houby, ale také se potápěli z důvodu lovu ryb a mořských živočichů. V antickém Řecku přinesl rozvoj mořeplavby pro potápěče nové uplatnění v podobě záchranných prací na potopených lodích a využití během válečných konfliktů. V Homérově eposu Ilias je možné nalézt první zmínku o nasazení potápěčů do válečné operace. Ti v průběhu Trojské války v letech 1194-1184 př. Kr. navrtávali díry do dna nepřátelských lodí a přeřezávali kotevní lana (Desiderati, 1988).

Potápění v dávné historii však není doménou pouze oblastí Středoziemního moře a Perského zálivu. Známé jsou potápěčské aktivity domorodých Polynésanů ze souostroví Taumotu v Tichém oceánu či např. japonských sběraček perel zvaných Ama.

#### **2.1.2 Použití techniky**

Prvním historicky použitelným technickým zařízením k dlouhodobému pobytu člověka pod vodní hladinou byl potápěčský zvon. Potápěčský zvon je možné chápat jako ze spodní části otevřenou nádobu, která je naplněná vzduchem a umožňuje pobyt a práci pod vodou. Aristoteles ve 4. století př. Kr. zmiňuje ve spisu *Problemata* potápěče dýchajícího pod vodou z nádrže připomínající obrácený kotel (Kindwall, 1990). Podle pověsti také Alexandr Veliký sestoupil u Týru pod vodu v jakémsi zvonu s okny. Jistým milníkem byl potápěčský zvon astronoma a geofyzika Edmunda Halleyho z druhé



poloviny 17. století. Tento zvon mohl být běžně používán po dobu 90 minut v hloubce přes 20 metrů.

Ke konci 18. století začalo více konstruktérů pomýšlet na sestrojení kompaktního zařízení pro jednotlivé potápěče, do kterého by byl za pomoci pumpy vhnán čerstvý vzduch z hladiny. V roce 1834 upravil vynálezce Augustus Siebe měděnou hasičskou přilbu bratrů Deanových, připevnil ji k pogumovanému obleku a spolu s použitím hadice a pumpy položil základ pro pohyb jedinců po mořském dně i mimo potápěčský zvon. Skafandr Siebeho typu byl v jistých modifikacích používán po celém světě více než dvě století (Gilliam, 2007).

### **2.1.3 Dýchací přístroj**

Konstruktéři si uvědomovali dva základní nedostatky Siebeho skafandru v podobě vysoké hmotnosti a závislosti na vzduchu z hladiny. Od 19. století usilovali o vytvoření podstatně lehčího potápěčského aparátu, který by byl plně soběstačný.

Vynálezci Rouquayrol a Denayrouze využili ke konci 19. století jeden ze svých patentů, regulátor stlačeného plynu, pro vytvoření lehkého potápěčského přístroje nazvaného Aérophore. Přístroj umožnil potápěčům dýchat vzduch z válce se stlačeným vzduchem pod tlakem okolního prostředí bez nutnosti manuální regulace, stále byl však spojen s hladinou hadicí dodávající vzduch do zásobníku pod tlakem 16 barů. Problém nutnosti spojení s hladinou dokázal vyřešit v roce 1926 francouzský námořní důstojník Yves Le Prieur. S pomocí vynálezu, který se skládal z tlakové lahve, ručně ovládaného tlakového ventilu a přívodní hadice k ústům, setrval deset minut pod hladinou bazénu bez nutnosti vynoření (Arvidsson, 2016).

Skutečným milníkem v historii potápění byl rok 1942. Jacques-Yves Cousteau, který se již potápěl s Le Prieurovým přístrojem, vynalezl spolu s Émile Gagnamem redukční ventil, který umožnil dýchat vzduch z láhve o stejném tlaku, jaké mělo okolní prostředí (Norton, 2004). Regulace přívodu vzduchu byla automatická, bez nutnosti manuálních zásahů. Zařízení, které zvládlo tlak 150 barů, pracovalo na základě ventilačních požadavků potápěče a aktuálního tlaku okolního prostředí. Vynálezci jej nazvali Aqualung a úspěšně otestovali na moři v roce 1943. Aqualung se brzy proslavil po celém světě a výrazně přispěl k rozšíření potápění mezi širokou veřejnost (Knowless, 2011).

## **2.2 Potápění s použitím stlačeného dýchacího média**

Průlom v potápění za použití stlačeného dýchacího média nastal v roce 1943, kdy byl představen dýchací přístroj Aqualung vynálezců Cousteaua a Gagnama. Dýchací přístroje s otevřeným okruhem fungují i v současné době na stejném principu. Potápeč nadechuje vzduch z tlakové lahve skrz regulátor stlačeného vzduchu pod tlakem okolního prostředí a vydechuje zpět přes regulátor do vody (Knowles, 2011).

### **2.2.1 Rozvoj sportovního potápění**

K významnému rozvoji sportovního a rekreačního potápění došlo v sedmdesátých letech minulého století, kdy již existovalo mnoho organizací, které zastřešovali potápěčský výcvik a vzdělání a také byl na trh uveden kompenzátor vztlaku, zařízení, které umožňovalo potápeči udržovat vyvážený vztlak po celou dobu ponoru. Skutečný boom rekreačního potápění, ke kterému přispěly první potápěčské počítače, které podstatným způsobem zvyšovaly bezpečnost, a také obecně vyšší životní úroveň a popularita cestování, nastal ke konci dvacátého století. V současné době je na světě přes 6 milionů certifikovaných přístrojových potápečů (De Brauwer, 2018).

### **2.2.2 Vybavení**

Pro potřeby této práce se budeme u přístrojového potápění zabývat pouze systémem s otevřeným okruhem. Tento systém je v rekreačním potápění zastoupen v drtivé většině případů, na rozdíl od systémů s polo-uzavřeným či uzavřeným okruhem, které jsou neporovnatelně komplikovanější a finančně náročnější. Tento přístroj, obecně označován jako SCUBA, se skládá z následujících částí:

- Kompenzátor vztlaku (BCD) – někdy též označován jako žaket. Jedná se o vyvažovací vestu vyrobenou obvykle z tkaniny z polyamidových vláken, která se popruhy upíná na trup potápeče. Obsahuje nosič tlakové lahve, přetlakový ventil a inflátor, který je přes středotlakou hadici spojen s dýchací automatikou a umožňuje udržovat hydrostatickou rovnováhu (Dobeš, 2005).
- Dýchací automatika – zařízení typu Cousteau–Gagnam, které je závitem spojené s tlakovou láhví, umožňuje redukovat vysoký tlak zásoby dýchacího média a přes regulátor, umístěný v ústech potápeče, dýchat pod tlakem okolního prostředí. Obvykle obsahuje také záložní regulátor, středotlakou hadici pro připojení k BCD a manometr (Dobeš, 2005).

- Vysokotlaká nádrž stlačeného dýchacího média – obecně označována jako potápěčská láhev. Kovová, hliníková, či z kompozitních materiálů vyrobená nádoba o objemu přibližně 10 – 15l, která je zpravidla umístěna na zadní straně BCD a přes tlakový ventil spojená s dýchací automatikou. Standardně plněna na 220 barů.

Základní potápěčská výbava dále zahrnuje:

- Masky – většinou polo-obličejová jedno či dvou zorníková plastová maska s bezpečnostním tvrzeným sklem, která vyplňuje prostor mezi lidským okem a okolní vodou vzduchem, a umožňuje tím potápěči zřetelně vidět pod vodou.
- Ploutve – plastové či kompozitní ploutve s různou tvrdostí listu, které se nasazují přímo na nohu, nebo se upínají gumovým páskem přes neoprenovou botičku. Výrazně usnadňují pohyb potápěče pod vodou.
- Zátěžový systém – zařízení sloužící spolu s BCD k vyvažování vztlaku potápěče. Zpravidla v podobě zátěžového opasku, který je ověšen olověnou zátěží.
- Potápěčský oblek – většinou mokrý neoprenový oblek o tloušťce 2 – 7mm, sloužící jako ochrana potápěče před chladem a poraněním. Existuje ve variantách short, overal, případně jejich kombinace. Může být doplněn např. kuklou, rukavicemi, botičkami, atd. (Dvořáková, 2005).

Běžně používané vybavení většinou zahrnuje také potápěčský počítač, který jedinci průběžně zobrazuje důležité informace týkající se ponoru. Dále může výbava obsahovat např. signalizační bóji, svítilnu, nůž, lana, atd. (Eisenmann, 1997).

### 2.2.3 Certifikace a organizace

Samostatné provozování přístrojového potápění je možné pouze po úspěšném absolvování kurzu potápěčské organizace. V současné době existuje mnoho desítek národních i mezinárodních potápěčských organizací, které se zpravidla navzájem uznávají. Celosvětově nejrozšířenější je PADI, americká organizace založená v roce 1966. Z ostatních významných organizací je možné zmínit CMAS, SSI, IANTD, NAUI, DIWA, DAN, IADS, IDEA, GUE, ESA, ANDI, PDIC, atd. (Morais, 2018).

Chce-li se přístrojový potápěč kdekoli ve světě potápět, měl by být schopen prokázat se certifikační kartou, kterou získá po absolvování konkrétního kurzu příslušné

organizace. Každá organizace používá jinou metodiku, nicméně obecně je možné rozdělit potápěče dle dosažené kvalifikace do pěti základních úrovní:

- OPEN WATER DIVER
- ADVANCED OPEN WATER DIVER
- RESCUE DIVER
- DIVE MASTER
- DIVE INSTRUCTOR

Každá organizace nabízí mnoho specifických specializací, jako např. vrakové potápění, jeskyní potápění, potápění s EANx či TRIMIX, potápění pod ledem, atd. (Lukeš, 2008).

## 2.3 Volné potápění

Volné potápění, neboli freediving, lze definovat jako zanoření jedince po nádechu a zadržení dechu pod vodní hladinu na určitý časový interval. Tento interval je obvykle vymezen posledním nádechem a prvním výdechem (Néry, 2019).

### 2.3.1 Rozvoj a členění

I přes svoji materiální nenáročnost začal být freediving ve větší míře provozován z ryze sportovních pohnutek až ke konci 20. století. Právě minimální požadavky na potřebné vybavení, spolu se skutečností, že freediving není pro mnohé jen sportem, ale životním stylem, možností, jak v dnešním uspěchaném světě uniknout pod vodní hladinu a opět nalézt harmonii a klid, přispěly zejména v posledních letech k celosvětově značnému nárůstu oblíbenosti této aktivity (Linder, 2015).

Ať už je volné potápění provozováno z jakýchkoli pohnutek, v zásadě je možné rozdělit jej do tří kategorií dle dosažené hloubky.

- **Potápění do malých hloubek (maximálně 20m)** – nejméně náročná varianta. V podstatě dostupná komukoliv, kdo umí plavat, je schopen na kratší časový interval zadržet dech a dokáže vyrovnat tlak ve středouší. Potápění do malých hloubek lze provozovat bez jakéhokoli vybavení, běžně však bude použita alespoň potápěčská maska (Néry, 2019).
- **Potápění do středních hloubek (20-50m)** – více náročná varianta, která vyžaduje určitý stupeň fyzické i mentální přípravy jedince. Nutné zadržet dech

na delší dobu a osvojit si techniku vnitřní disciplíny pro překonání stahů bránice v důsledku narůstajícího  $p\text{CO}_2$  v krvi. K potápění do středních hloubek je používána potápěčská maska, ploutve, neoprenový oblek a zátěžový opasek.

- **Potápění do velkých hloubek (50 a více metrů)** – tyto hloubky jsou běžně dostupné pouze profesionálním freediverům, kteří jsou podrobeni náročné a dlouhodobé fyzické i psychologické přípravě. Potápěči používají masku o minimálním vnitřním objemu, dlouhé pružné ploutve, neoprenový oblek s hladkým povrchem a zátěžový opasek (Novomeský, 2013).

### 2.3.2 Organizace

Jedna z prvních organizací, která ve 20. století zastřešovala potápění, byla francouzská CMAS založená v roce 1959, jejíž první prezident byl průkopník podmořských aktivit Jacques-Yves Cousteau. V roce 1992 vzniká taktéž ve Francii AIDA, zaměřená pouze na aktivity spojené s potápěním na nádech. Postupně přebírá aktivity ostatních asociací a svátá se hlavní mezinárodně uznávanou organizací zastřešující řízení a regulaci všech soutěží ve freedivingu (Néry, 2019).

## 2.4 Fyzikální zákony působící na tělo potápěče

V průběhu ponoru působí na potápěče v hyperbarickém prostředí značné množství fyzikálních zákonů, které jej výrazným způsobem ovlivňují. Důležité fyzikální veličiny při potápění jsou zejména tlak, objem, hmotnost, hustota, teplota, síla a tíha (Virt, 2013).

### 2.4.1 Archimedův zákon

Ve 3. století př. Kr. dokázal řecký fyzik a matematik popsat vztah mezi hydrostatickou vztlakovou silou ( $F_{VZ}$ ) a tíhou tělesa ponořeného do kapaliny ( $F_G$ ), generující vztlak ( $F$ ). Zjednodušeně řečeno, těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která se rovná tíze kapaliny tělesem vytlačené (Virt, 2013).

$$F = F_{VZ} - F_G$$

Potápěč pod vodou může mít pozitivní, negativní nebo neutrální vztlak.

- Pozitivní vztlak ( $F_{VZ} > F_G$ ) – pokud nebude potápěč vykonávat žádný pohyb, bude samovolně stoupat k hladině.

- Negativní vztlak ( $F_{VZ} < F_G$ ) – pokud nebude potápěč vykonávat žádný pohyb, bude samovolně klesat ke dnu.
- Neutrální vztlak ( $F_{VZ} = F_G$ ) – potápěč je ideálně vyvážen a pokud nebude vykonávat žádný pohyb, zůstane ve stejné hloubce (Moon, 2019).

#### 2.4.2 Pascalův zákon a tlak

Klíčovou veličinou při potápění je bezesporu tlak. Absolutní (celkový) tlak ( $P$ ), působící při ponoru na potápěče je roven součtu atmosférického tlaku ( $P_{ATM}$ ) a tlaku hydrostatického ( $P_H$ ).

Atmosférický (normobarický) tlak je vyvolán tíhou vzduchu, který se nachází ve vzdušném obalu planety Země. Jednotkou tlaku dle soustavy jednotek SI je Pascal (Pa). Atmosférický tlak kolísá v řádu několika procent, se stoupající nadmořskou výškou klesá a na hladině moře má průměrnou hodnotu 101325 Pa. Tlak je možné alternativně udávat i v jiných jednotkách, pro potřeby potápění se běžně používá bar (1 bar = 100000 Pa) a hodnota na hladině moře se zaokrouhluje na 1 bar.

Francouzský fyzik Blaise Pascal v 17. století zjistil, že působí-li na kapalinu vnější tlaková síla, pak tlak v každém místě kapaliny vzroste o stejnou hodnotu. Pro potřeby potápění lze tento zákon chápat tak, že atmosférický tlak působící na hladinu vody, působí v horizontální rovině stejnou silou a hodnota tlaku se mění pouze s narůstající hloubkou (Lukeš, 2008).

Hydrostatický tlak ( $P_H$ ) je vyvolán hmotností sloupce tekutiny působící na plochu v gravitačním poli země. Jelikož je voda přibližně 800x hustší než vzduch, hydrostatický tlak v 10 m je stejný jako atmosférický tlak na hladině, tedy 1 bar. Gradient hydrostatického tlaku vyjadřuje, že se hodnota  $P_H$  lineárně zvětšuje se vzrůstající hloubkou, a to o 1 bar každých 10 metrů (Kraus, 2020).

#### 2.4.3 Boyle-Mariottův zákon

V 17. století popsali Robert Boyle a Edmé Mariotte termodynamický vztah pro izotermický děj probíhající v ideálním plynu stálé teploty. Pokud se teplota plynu nemění, objem plynu se mění nepřímo úměrně s tlakem. Vyjádřeno jinak, součin tlaku ( $P$ ) a objemu ( $V$ ) plynu je stálý.

$$PV = \text{Konst.}$$

Ponoří-li se nádechový potápěč, který má v normobarickém prostředí kapacitu plic 6 l, do hloubky 10 m, objem plic se sníží na 3 l, v hloubce 20m na 2 l, atd. (Virt, 2013).

#### 2.4.4 Daltonův zákon

Vzduch je často vnímán jako homogenní směs, ve skutečnosti je směsí mnoha různých plynů, částec prachu, vodních par a mikroorganismů. Pro potřeby této práce bude vzduch dále uvažován pouze jako směs jednotlivých plynů, které jsou uvedeny v následujícím obrázku.

**Obrázek 1** Procentuální zastoupení jednotlivých plynů ve vzduchu

plyn	objem %
dusík	78,09
kyslík	20,95
argon	0,93
oxid uhličitý	0,033 (334 ppm)
neon	0,0018 (18,18 ppm)
helium	0,000524 (5,24 ppm)
metan	0,0002 (2 ppm)
krypton	0,000114 (1,14 ppm)
vodík	0,00005 (0,5 ppm)
xenon	0,0000087 (87 ppb)

Zdroj: Lukeš, 2008

Na začátku 19. století objevil britský fyzik John Dalton zákon parciálních tlaků. Ten říká, že celkový tlak směsi plynů ( $P$ ) se rovná součtu parciálních (dílčích) tlaků ( $P_1, P_2, \dots, P_N$ ), které by vyvíjeli jednotlivé plyny, kdyby při stejné teplotě vyplňovaly stejný objem jako celá směs plynů (Holubová, 2013).

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_N$$

Dle Daltonova zákona se každý plyn ve směsi chová tak, jako by tam ostatní plyny nebyly. Podíl jednotlivých složek ve směsi, nazývaný se frakce ( $F$ ), vyjadřuje procentuální zastoupení složky ve směsi plynů.

$$P_1 = F_1 \cdot P$$

Daltonův zákon je velmi důležitý např. při potápění s použitím EANx, který může v závislosti na parciálním tlaku kyslíku vyvolat od určité hloubky kyslíkovou

toxicitu. Maximální parciální tlak kyslíku používaný v rekreačním potápění je 1.6 Bar a de facto definuje maximální přípustnou hloubku ponoru pro konkrétní dýchací směs (Lukeš, 2008).

#### **2.4.5 Henryho zákon**

Anglický chemik William Henry definoval v 19. století proces rozpouštění plynu v kapalině. Množství fyzikálně rozpuštěného plynu v kapalině je při konstantní teplotě přímo úměrné tlaku plynu nad kapalinou. Jednoduše řečeno, při zvýšení tlaku plynu, který je v kontaktu s kapalinou, dojde v dané kapalině k jeho dalšímu rozpouštění. Tento proces ovlivňuje absorpční koeficient ( $\alpha$ ), objem rozpuštěného plynu v kapalině ( $V$ ), atmosférický tlak ( $P_{ATM}$ ) a tlak plynu v prostoru nad kapalinou ( $P$ ) (Virt, 2013).

$$V = \alpha \cdot P \cdot 100 \cdot P_{ATM}^{-1}$$

Pro potápěče je tento zákon důležitý z hlediska saturace a desaturace organismu inertním plynem.

### **2.5 Dusík a jeho distribuce v organismu**

Dusík ( $N_2$ ), objevený v roce 1772, je inertní plyn, tvořící hlavní složku zemské atmosféry (78.03 %). Je to plyn bez barvy, chuti a zápachu, který jen velmi komplikovaně reaguje s jinými chemickými sloučeninami a nevstupuje do metabolických procesů v organismu. Právě díky své inerci a solubilitě v krvi a tkáních lidského těla velmi výrazně ovlivňuje pobyt potápěče v hyperbarickém prostředí (Novomeský, 2013).

#### **2.5.1 Saturace organismu inertním plynem**

Dusík, stejně jako ostatní inertní plyny obsažené ve vzduchu, vniká při procesu dýchání do krve a tkání. Z hlediska potápění jsou ostatní inertní plyny obsažené v dýchací směsi (jedná-li se o vzduch) zanedbatelné, a pro potřeby této práce bude dále jako inertní plyn uvažován pouze dusík. Proces, během něhož při dýchání potápěče v hyperbarickém prostředí vniká do organismu inertní plyn, se nazývá saturace (nasyčování). Hyperbarické prostředí může být vyvoláno zahájením ponoru, nebo umístěním jedince do přetlakové komory. Pro potřeby této práce budeme dále uvažovat pouze variantu ponoru. Jakmile vzroste parciální tlak inertního plynu v alveolárním vzduchu, tedy jakmile začne potápěč dýchat směs pod hladinou, zahájí se proces



saturace organismu inertním plynem, který zpravidla trvá minimálně po dobu kompresní fáze ponoru (Glazer, 2016).

Proces saturace organismu inertním plynem ovlivňují faktory času, tlaku, absorpce a kapilarizace:

- Čas – faktor času reprezentuje dobu, po kterou je jedinec vystaven hyperbarickému prostředí (doba ponoru). Čím déle je potápeč vystaven zvýšenému parciálnímu tlaku vdechované směsi, tím více inertního plynu do organismu pronikne.
- Tlak – faktor tlaku je rozhodující pro průnik inertního plynu do organismu. Je reprezentován hloubkou ponoru v přímé úměrnosti. Čím hlubší je ponor, tím vyšší je parciální tlak inertního plynu. Faktor tlaku je v nepřímé úměrnosti vůči faktoru času. Čím je faktor tlaku vyšší, tím kratší je potřebná doba pro dosažení určitého stupně nasycení organismu a naopak.
- Absorpce – procentuální zastoupení tukových tkání v těle potápeče ovlivňuje celkovou saturaci organismu dusíkem. Tukové tkáně absorbují inertní plyn několikanásobně více, než tkáně s vyšším obsahem vody.
- Kapilarizace – krevní oběh představuje nejdůležitější způsob transportu inertního plynu z plic do tkání. Tkáně s vyšší kapilarizací jsou rychleji zásobeny inertním plynem z krevní plazmy, než tkáně s kapilarizací nižší (Lechner, 2018).

### 2.5.2 Tkáně

Tkáně v lidském těle je možné z hlediska hustoty kapilární sítě a s tím související dynamiky sycení inertním plynem zjednodušeně rozdělit na rychlé, pomalé a extrémně pomalé, přičemž sycení tkání inertním plynem má exponenciální charakter. Každá tkáň v těle má svůj specifický poločas sycení pro daný inertní plyn, tedy čas, za který se tkáň nasatí tímto plynem na polovinu své úplné saturace.

- Rychlé tkáně – nejrychleji se inertním plynem sytící bohatě vaskularizované tkáně dobře zásobené krví. Např. mozek, mícha, plíce, játra, ledviny a ostatní orgány dutiny hrudní a břišní.
- Pomalé tkáně – Pomalu se sytící tkáně s kapilární sítí menší hustoty. Např. kosti, svaly a kůže.

- Extrémně pomalé tkáně – tkáně, které mají jen velmi řídkou kapilární síť, nebo ji nemají vůbec a sycení inertním plynem je velmi pomalé. Zejména chrupavky, fascie či oční sklivec (Novomeský, 2013).

### **2.5.3 Desaturace organismu inertním plynem**

Saturace je proces, při kterém vniká inertní plyn dýcháním pod zvýšeným parciálním tlakem do plic, následně proniká skrze alveoly do krevního řečiště, odkud je roznášen do jednotlivých tkání lidského organismu. Desaturace (vysycování) je opačný proces, jímž organismus eliminuje nadbytek inertního plynu v tkáních a krvi. Proces desaturace je zahájen ve chvíli, kdy je hodnota parciálního tlaku inertního plynu v alveolách nižší, než hodnota parciálního tlaku téhož plynu v tkáních a krvi. Inertní plyn začne opouštět jednotlivé tkáňové skupiny organismu v opačném směru, než v jakém do organismu pronikl. Tento proces je obvykle zahájen výstupem potápěče z maximální dosažené hloubky. Desaturace inertního plynu z organismu je proces podstatně složitější a časově náročnější, než jakým je proces saturace, a to zejména z důvodu vytváření plynových mikroskopických bublin v tkáních potápěče krátce po započetí desaturace (Rusoke, 2017).

### **2.5.4 Dusíkové zatížení organismu**

Lidský organismus vykazuje určitou míru nasycení inertním plynem již v normobarických podmínkách. Jakmile je jedinec vystaven hyperbarickému prostředí, dochází k další saturaci organismu inertním plynem nad rámec fyziologických hodnot, která dynamicky narůstá se vzrůstající dosaženou hloubkou. Po zahájení výstupu potápěče k hladině se zahájí i proces vysycování inertního plynu z organismu. Tento proces však není ukončen dosažením hladiny, ale může pokračovat i několik hodin po ukončení ponoru. Jedná se o autonomní proces bez nutnosti vědomé účasti jedince. V závislosti na dosažené hloubce a délce ponoru utrpěl organismus potápěče určité dusíkové zatížení. Toto dusíkové zatížení se projevuje i po ukončení ponoru výskytem residuálního (zbytkového) dusíku v organismu jedince, a přetrvává až do úplné desaturace, kdy se hladina inertního plynu v organismu vrací zpět do fyziologických hodnot (Brubakk, 2003).

Úroveň dusíkového zatížení organismu je velmi důležitá pro bezpečné plánování dalších ponorů, neboť podstatným způsobem ovlivňuje jejich profil. Důležitým faktorem při vícečetných ponorech je také povrchový interval, tedy čas mezi ukončením

posledního ponoru a zahájením ponoru následujícího, neboť v jeho průběhu dochází k dalšímu vysycování inertního plynu z organismu (Heithaus, 2003).

## **2.6 Dekompresní nemoc**

Dekompresní nemoc (DCS) je velmi komplexním onemocněním, které reprezentuje více chorobných změn v organismu v širokém spektru klinických příznaků (Novomeský, 2013). DCS (dříve též nazývána kesonová nemoc), jenž byla poprvé popsána v 19. století, představuje jedno z nejzávažnějších rizik spojených s potápěním.

### **2.6.1 Vznik dekompresní nemoci**

Při dýchání vzduchu či plynné směsi obsahující inertní plyn v hyperbarickém prostředí dochází k saturaci organismu inertním plynem (viz. 2.5.1). Potápěč ihned po zahájení ponoru dýchá směs pod tlakem okolního prostředí, tedy pod zvýšeným parciálním tlakem. Inertní plyn pod zvýšeným parciálním tlakem proniká skrze alveolokapilární membrány plic do krevního řečiště. V krevní plazmě se na základě Fickova zákona (který popisuje princip rozpouštění plynu v kapalinách) transformuje z fáze volného plynu do fáze plynu rozpuštěného. Krevní oběh přivádí ke tkáním spolu s kyslíkem a živinami také inertní plyn ve fázi rozpuštěného plynu, který na základě procesu difuze (pohybu molekul přes buněčnou membránu) proniká do buněk jednotlivých tkání lidského organismu (Sun, 2017).

Při zahájení výstupu potápěče z hloubky na hladinu dochází na základě poklesu parciálního tlaku inertního plynu k zahájení desaturace inertního plynu z organismu (viz. 2.5.3). Inertní plyn se na základě fázové separace transformuje zpět z rozpuštěného plynu do plynu volného. Při tomto procesu vznikají v tkáních a krevním řečišti bubliny inertního plynu mikroskopických rozměrů (Terjung, 2011).

Tyto bubliny inertního plynu je možné rozdělit z hlediska jejich vzniku a distribuce v organismu na autochtonní a heterochtonní.

- Autochtonní plynové bubliny – plynové bubliny, které vznikají a následně zůstávají na místě svého vzniku. Zpravidla vznikají v pomalých tkáních, kde dostávají tvar, který je vymezen elasticitou a anatomickou strukturou daných tkání.

- Heterochtonní plynové bubliny – plynové bubliny, které jsou krevním řečištěm roznášeny mimo místa jejich vzniku. Vznikají především v tukových tkáních, ale také v srdci či cévách.

Při pokračování potápěče ve výstupu k hladině dále zvětšují autochtonní i heterochtonní plynové bubliny svůj objem. K zvětšení objemu dochází z důvodu poklesu hydrostatického tlaku dle Boyle-Mariottova zákona (viz. 2.4.3.). Tento proces je ukončen návratem do normobarického prostředí, tedy vynořením se na hladinu. Růst objemu bubliny inertního plynu je zapříčiněn také desaturačním procesem. V tomto případě dochází k nárůstu objemu vnitřního prostoru bubliny i po ukončení ponoru a pobytu v normobarickém prostředí (Novomeský, 2013).

Tyto bubliny mohou v lidském organismu způsobit celou řadu fyziologických komplikací a v některých případech mohou zapříčinit nevratná a fatální poškození.

## **2.6.2 Formy a příznaky DCS**

Dekompresní nemoc lze zjednodušeně definovat jako celkovou reakci organismu na přítomnost bublin inertního plynu v tělních tkáních (Lukeš, 2008). Dle její závažnosti je dělena na dekompresní nemoc prvního stupně (DCS I) a dekompresní nemoc druhého stupně (DCS II).

### **Dekompresní nemoc prvního stupně**

DCS I je méně závažným druhem dekompresní nemoci, kdy nedochází k ohrožení životně důležitých orgánů. Bubliny inertního plynu se při výstupu potápěče na hladinu usadí v určitých tkáních, kde se následně zvětšují (tento proces může pokračovat i po ukončení ponoru) a tkáně iritují a poškozují. DCS I lze rozdělit na kožní formu a svalovou a kloubní formu.

- Kožní forma DCS – při kožní formě DCS dochází k vytvoření a usazení bublin inertního plynu v podkožních tkáních, kde bubliny ucpávají síť vlásečnic. Zvětšující se bubliny následně poškozují jemné stěny vlásečnic a působí výron krve do okolních tkání. Příznaky kožní formy DCS mohou být svědění či mravenčení kůže, vyrážka, modřiny či otok kůže (Rusoke, 2018).
- Svalová a kloubní forma DCS – bubliny inertního plynu v tomto případě vznikají ve vnitřních, bohatě prokrvených kostních tkáních. Bubliny následně prochází houbovitou kostní tkání až k místům pokrytým svalovým vazivem

a chrupavkou, kde dochází k jejich usazování. Při dalším poklesu parciálního tlaku se bubliny inertního plynu dále zvětšují a mechanicky působí na kloubní vazivo, chrupavku a okolní tkáň. Tato forma DCS se projevuje bolestí v kloubech a svalech a při opakovaném či závažném onemocnění může vést k degenerativním změnám tkáň kloubů a trvalému poškození kloubních chrupavek (Rusoke, 2018).

### **Dekompresní nemoc druhého stupně**

DCS II je nemocí přímo ohrožující život potápěče. Vytvářejí ji heterochtonní bubliny inertního plynu, které se pohybují krevním řečištěm a při zvětšování objemu a případném řetězení mohou ohrozit životně důležité funkce. Zvláště závažná je pulmonální a nervová forma.

- Pulmonální forma DCS – bubliny inertního plynu při dostatečném množství a velikosti zahltí alveolární část plic a negativně ovlivňují jejich funkci. Příznaky pulmonální DCS jsou především ztížené dýchání, dušnost, bolest na hrudníku a lapání po dechu.
- Nervová forma DCS – Nejzávažnější forma DCS. Bubliny inertního plynu omezí přísun okysličené krve do tkání mozku a prodloužené míchy. V závislosti na poškozeném centru nervové soustavy dochází k různým typům poruch nervové činnosti, např. k poruchám zraku, řeči, sluchu, částečnému či úplnému ochrnutí, atd. (Sun, 2017).

### **2.6.3 Příčiny vzniku DCS**

Příčinou vzniku dekompresní nemoci v potápěčské praxi je zjednodušeně řečeno přílišná saturace tělních tkání inertním plynem, resp. jeho nedostatečná desaturace v dekompresní fázi ponoru. Tento stav může být vyvolán především nedodržením maximální rychlosti výstupu potápěče na hladinu, překročením určité hloubky a času ponoru bez adekvátních dekompresních zastávek, nedostatečným povrchovým interval při vícečetných ponorech, atd. I při dodržení obecně platných postupů bezpečného potápění může být DCS vyvolána expozicí jedince po ponoru v hypobarickém prostředí, např. při cestování letadlem. Nezanedbatelné faktory, které ovlivňují vznik DCS, jsou také teplota vody při ponoru, hydratace, fyzická kondice a věk potápěče, procento tukových tkání v těle či např. fyzická aktivita po ukončení ponoru (Brubakk, 2003).

#### **2.6.4 Léčba**

K léčbě nejméně závažné, život neohrožující formy DCS, je dostačující klidový režim a dostatečná hydratace potápěče. U závažnějších forem je nezbytná oxygenoterapie, případně kombinace oxygenoterapie s umístěním jedince do hyperbarického prostředí, zpravidla dekompresní komory (Moon, 2019).

### **2.7 Rozdíly mezi potápěním s přístrojem a na nádech**

Mezi potápěním s přístrojem a na nádech existuje celá řada rozdílů. Především ve stylu dýchání, ale také v náročnosti obou aktivit, doby trvání ponoru, nutnosti certifikace, použitém vybavení, motivaci k potápění, biofyzikálních procesech odehrávajících se v těle potápěče, úrovni dosaženého dusíkového zatížení při ponoru, atd. (Schinck, 2007).

#### **2.7.1 Certifikace a náročnost**

Zatímco provozování přístrojového potápění je možné pouze po úspěšném absolvování několikadenního kurzu potápěčské organizace a získání certifikace, potápění na nádech je možné provozovat bez jakýchkoli zkušeností či školení. Tato aktivita je dostupná v podstatě komukoli, kdo umí plavat, je schopen na kratší časový interval zadržet dech a dokáže vyrovnat tlak ve středouší (viz. 1.3.1). Vyšší nároky z hlediska psychické koncentrace leží také na straně přístrojového potápění, neboť jedinec je přinucen dýchat skrze regulátor v pro něj nepřirozeném, vodním prostředí (Schellart, 2016).

Náročnost a nároky na psychickou a fyzickou přípravu u potápění na nádech začnou prudce stoupat se vzrůstající dosaženou hloubkou a prodlužujícím se časem ponoru. Při potápění do středních a velkých hloubek (více než 20m) je již nezbytná nejen vynikající fyzická kondice jedince, ale také značná psychická odolnost a vnitřní disciplína (Linder, 2015). V mnohých aspektech pak může být volné potápění náročnější aktivitou, nežli potápění s přístrojem.

#### **2.7.2 Vybavení**

Volné potápění je ve své nejčistší podobě aktivitou, kterou lze provozovat bez jakéhokoli vybavení. Vrcholní freediveři pak často používají jen neoprenový oblek a zátěžový opasek (Néry, 2019). Zpravidla budou však použity také ploutve a maska. Naproti tomu potápění s přístrojem klade nemalé nároky na materiální vybavení

a zázemí (Schinck, 2007). Mimo masku, ploutve a zátěžový opasek je nezbytný především kompenzátor vztlaku, dýchací automatika a potápěčská láhev. Pro opětovné doplnění dýchacího média do potápěčské láhve při opakovaných ponorech je nezbytný také vysokotlaký kompresor.

### **2.7.3 Dosažená hloubka, čas a motivace potápěče**

Zatímco i středně pokročilí nádechoví potápěči mohou dosahovat stejných či větších hloubek, než jakých běžně dosahují přístrojoví potápěči v rámci rekreačních, bezdekompresních ponorů (zpravidla maximálně 40m), rozhodujícím limitním faktorem při potápění na nádech je čas. Oficiálně potvrzený světový rekord ve statické apnoe drží v současné době francouzský potápěč Stéphane Misfud, s těžko uvěřitelným časem 11 minut 35 sekund (Néry, 2019). Trénovaní freediveři dokáží běžně vydržet bez dechu více než 5 minut. Tyto hodnoty však udávají výdrž bez dechu v naprostém klidu, při jakékoli fyzické aktivitě prudce klesají. Ponor i dobře trénovaného nádechového potápěče tak bude trvat maximálně několik málo minut (Ferretti, 2001). Oproti tomu rekreační ponor s přístrojem, v závislosti na maximální dosažené hloubce potápěče, trvá zpravidla minimálně 30 – 50 minut.

Značné rozdíly panují také v motivaci, se kterou se potápěči noří pod vodní hladinu. Přístrojové potápění je obecně vnímáno jako sport, při kterém potápěči pozorují podmořský svět kolem sebe. Nádechoví potápěči však často svoji aktivitu nevnímají jen jako sport, ale také jako formu osobního rozvoje či dokonce životní filosofii. Tuto skutečnost vystihuje rčení: „Chceš-li poznat svět kolem sebe, potápěj se s přístrojem. Chceš-li poznat své vnitřní já, potápěj se bez něj“ (Linder, 2015).

### **2.7.4 Biomechanické procesy**

Potápěč je během pobytu v hyperbarickém prostředí vystaven fyzikálním jevům, které v normobarickém prostředí neprobíhají a které nastartují mnohé biomechanické procesy v jeho těle. Při potápění s přístrojem i na nádech se jedinec ihned po zahájení ponoru ocitá v prostředí s odlišným tlakem, teplotou i hustotou (Rusoke, 2018).

Zásadním rozdílem z biomechanického hlediska mezi potápěním s přístrojem a na nádech je skutečnost, že při potápění s přístrojem dýchá jedinec po celou dobu ponoru směs pod tlakem okolního prostředí, zatímco nádechový potápěč provede ponor na jeden nádech, který učiní na hladině těsně před zanořením. Přestože jsou oba

potápěči ve stejné hloubce vystaveni stejnému tlaku, procesy, které se odehrávají v jejich tělech, jsou různé. U nádechového potápěče dochází dle Boyle-Mariottova zákona ke stlačování plic s narůstající dosaženou hloubkou. Již v 10 metrech mají plice poloviční objem oproti stavu na hladině (viz. 2.4.3). S narůstající hloubkou se objem plic dále snižuje a působí na potápěče formou nepříjemného tlaku. Přístrojový potápěč je tohoto procesu ušetřen, neboť ať se nachází v jakékoli hloubce, vždy dýchá směs pod stejným tlakem, jako má okolní prostředí. K stlačení dutiny hrudní nedochází a potápěč pocitově tlak nevnímá (Eichhorn, 2015).

Naopak je přístrojový potápěč vystaven daleko většímu dusíkovému zatížení, než potápěč nádechový, kdy na základě dýchání směsi pod tlakem okolního prostředí dochází k saturaci tělních tkání inertním plynem (viz. 1.5.1). K určité saturaci organismu inertním plynem dochází i v průběhu ponoru na nádech, v porovnání s ponorem s přístrojem však jde o neporovnatelně nižší hodnoty (Shi, 2000).

## **2.8 Rizika spojená s potápěním s přístrojem a na nádech**

Při provozování jakékoli formy potápění je jedinec vystaven určité míře rizika, jejíž výše závisí na mnoha faktorech a okolnostech. Některé formy rizika jsou shodné u volného i přístrojového potápění, některé jsou specifické a vztahují se pouze k jedné či druhé formě potápění (Kojima 2020).

### **2.8.1 Společná rizika**

Skutečnost, že se při potápění nachází lidský jedinec v nepřirozeném prostředí, podstatným způsobem zvyšuje rizikovost této aktivity. Mnohá rizika, která by na hladině nepředstavovala vážnější problém, mohou mít pod vodou fatální následky. V konečném důsledku může většina potenciálních problémů vyústit ve smrt utonutím (Novomeský, 2013). Rizika společná pro oba druhy potápění představují především:

- Panika – stav, kdy jedinec přestane uvažovat a chovat se racionálně. Zpravidla nastupuje na základě krizové situace. Někdy ovšem pouhé vědomí, že je jedinec obklopen vodním prostředím a od hladiny jej dělí značná vzdálenost, může paniku vyvolat (Casadesús, 2019).
- Okolní prostředí – mořští predátoři, jedovatí živočichové, ostré útesy a korály, předměty plavající či pohybuující se po hladině, jako např. čluny, lodě, serfová prkna, dále vlny či mořské proudy reprezentují možná rizika okolního prostředí.



- Ztráta výstroje – Ztráta ploutve, zátěžového opasku či masky může představovat vznik krizové situace.
- Podtlakové barotrauma – nedostatečná či žádná kompenzace tlaku v masce a středouší může vést k podtlakovému barotraumatu očí a středoušní dutiny.
- Křeče – nedostatečná adaptace na plavání s ploutvemi může vyvolat vznik křečí především v lýtkovém svalstvu.
- Dusíkové opojení – někdy též nazýváno hlubinné opojení, lze souhrnně označit za jev, kdy na jedince působí narkotický účinek dusíku, který se zvyšuje s rostoucí dosaženou hloubkou, tedy rostoucím parciálním tlakem inertního plynu. Stav potápeče postiženého dusíkovým opojením lze přirovnat ke stavu po požití alkoholu. Projevuje se zpomalenými reakcemi, otupělostí, ztrátou koncentrace či výpadky paměti. Nástup dusíkového opojení závisí na mnoha faktorech a u přístrojového potápění může zpravidla nastat od 30m hloubky dále. U volného potápění nastává zpravidla až ve větších hloubkách přes 50m (Van Wijk, 2017).
- DCS – dekompresní nemoc (viz. 1.6) představující kardinální nebezpečí při přístrojovém potápění, zejména při nedodržení maximální rychlosti výstupu na hladinu, dekompresních zastávek či dostatečného povrchového intervalu, byla zaznamenána i při volném potápění. Ve spojení s potápěním na nádech je označována jako Taravana či Syndrom Taravana. V tomto případě se jedná o nemoc výrazně vzácnější, která byla pozorována jednak u vrcholových freediverů, po jednorázovém, extrémně hlubokém ponoru (více než 100m), či u sběračů perel či lovců ryb, kteří se v rámci pracovní náplně mnoho hodin opakovaně potápějí do menších hloubek (15m - 30m), s velmi krátkými povrchovými intervaly (v rámci několika minut) mezi jednotlivými ponory (Cortegiani, 2013).
- Uzavřené prostory – značné riziko představuje potápění v uzavřených prostorech, především jeskynních a vracích. Hrozí zachycení části výstroje, uvíznutí potápeče v malém prostoru či zamotání do lan a rybářských vlasců.

### **2.8.2 Rizika přístrojového potápění**

Technická náročnost a složitější biomechanické procesy při potápění s přístrojem činí z přístrojového potápění aktivitu s širším spektrem potenciálních rizik než u potápění volného (Eisenmann, 1997). Tuto skutečnost ještě umocňuje fakt, že při

jakékoli krizové situaci nemůže přístrojový potápěč vzhledem k možnému barotraumatu plic a nástupu DCS ukončit ponor a urychleně vystoupat na hladinu (Rusoke, 2018). Mezi rizika přístrojového potápění mimo zmíněná společná rizika patří především:

- Selhání či poškození vybavení – přestože dýchací přístroje s otevřeným okruhem fungují na stejném principu mnoho desetiletí a lze je označit za zařízení velmi spolehlivá, nelze vyloučit možnou technickou závadu. Především selhání regulátoru, manometru či kompenzátoru vztlaku může představovat v hloubce značné nebezpečí (Lukeš, 2008). Obdobné nebezpečí může nastat po přeríznutí středotlakých hadic či části BCD např. o útes či ostrou část lodního vraku.
- Barotrauma plic – při příliš rychlém výstupu na hladinu bez dostatečné exhalace či vymoření se na hladinu se zadržným dechem může dojít na základě nárůstu objemu plynů se snižujícím se tlakem dle Boyle-Mariottova zákona k přetlakovému barotraumatu plic s různě závažnými následky. K vážným následkům v podobě roztržení plíce může dojít i při výstupu z malých hloubek do 10m. (Rusii, 1998).
- Kyslíková toxicita – kyslík vdechovaný v hyperbarickém prostředí se od parciálního tlaku 1.6 bar stává toxickým. V praxi je  $pO_2$  1.6 bar reprezentován hloubkou 66m, která je maximální možná pro použití vzduchu jako dýchacího média. Tato hloubka je výrazně za limitem rekreačního přístrojového potápění, nicméně i rekreačních potápěčů se může problematika kyslíkové toxicity týkat při potápění s běžně používanou hyperoxickou směsí kyslíku a dusíku EANx. Při použití rozšířených směsí EANx32 a EANx36 je maximální možná hloubka ponoru 33m, respektive 28m. Po překročení těchto hloubek dochází k akutní intoxikaci CNS a respiračního systému kyslíkem. K popisu příznaků kyslíkové toxicity se používá zkratka CONVENTID, která je akronymem anglických slov convulsions, visual disturbance, ears, nauzea, twitching, irritability a dizziness, (Farmery, 2012). Příznaky jsou tedy křeče, zhoršené vidění, poruchy sluchu, nutkání ke zvracení, šubání svalů, dráždivost a závratě. Kyslíková toxicita představuje značné riziko velmi rychlým nástupem. Bez pomoci okolních potápěčů zpravidla končí smrtí.
- Hyperkapnie – tento stav lze definovat jako zvýšený obsah oxidu uhličitého v krvi. Jedná se o život ohrožující stav, kdy dochází na základě zvýšené

koncentrace CO<sub>2</sub> v krvi k jejímu okyselení a následným negativním reakcím organismu. Hyperkapnie mimo jiné urychluje nástup dusíkového opojení, snižuje parciální tlak potřebný pro rozvinutí kyslíkové toxicity a negativně ovlivňuje regulaci mozkové cirkulace. Příčin vzniku hyperkapnie může být více, především nevhodné dýchání zadržování dechu pod vodou či plnění potápěčských lahví v nevhodném prostředí s vyšší koncentrací CO<sub>2</sub> (Novomeský, 2013).

### **2.8.3 Rizika nádechového potápění**

Nádechové potápění do velmi malých hloubek po krátký časový interval zpravidla nepředstavuje pro zdravého jedince výraznější riziko. Toto riziko značně narůstá spolu se zvětšující se hloubkou a narůstajícím časem ponoru. Mezi rizika volného potápění mimo zmíněná společná rizika patří především:

- Posthyperventilační hypoxická synkopa – stav, kdy na základě pokročilé hypoxie organismu a především CNS dochází k náhlé ztrátě vědomí jedince. Tento fenomén, někdy též označován jako shallow water blackout (SWB), je zpravidla zapříčiněn voluntární hyperventilací jedince bezprostředně před ponorem. Usilovné zvýšení frekvence dýchání vede ke snížení pCO<sub>2</sub> v krvi. Právě pCO<sub>2</sub> v krvi dává skrze chemoreceptory impuls k opětovnému nadechnutí. Po snížení pCO<sub>2</sub> z důvodu hyperventilace dostávají chemoreceptory v těle tento impuls podstatně později, často již v pokročilé fázi hypoxie CNS. Především v menších hloubkách v poslední fázi ponoru může dojít bez jakýchkoli příznaků k náhlé ztrátě vědomí, která bez pomoci zpravidla končí utonutím (Pellizzari, 2004).
- Ztráta motorické kontroly – LMC (loss of motor control), někdy též označovaný jako Samba, je stav, kdy u jedince dochází na základě poklesu pO<sub>2</sub> v tkáních ke ztrátě motorické kontroly. V některých případech dochází pouze k lokální ztrátě kontroly nad jednotlivými svaly či skupinami svalů. V závažnějších případech dochází k celkové ztrátě kontroly nad tělem zpravidla vedoucí ke ztrátě vědomí (Skolnick, 2017).

### **2.8.4 Eliminace rizik**

Vzhledem k množství proměnných faktorů a komplexnosti problematiky pobytu jedince v hyperbarickém prostředí, není možné všechna rizika spojená s potápěním

eliminovat. Míru rizika je však možné znatelně snížit již ve fázi před zahájením ponoru, v průběhu potápění i po ukončení ponoru (Colwell, 2012).

- Fáze před zahájením ponoru – mezi důležité faktory ovlivňující bezpečnost před samotným ponorem patří např. dobrá fyzická i psychická kondice, dostatečný odpočinek a hydratace, znalost místních specifických podmínek potápěčské lokality, kvalitní příprava a plánování ponorů, kontrola potápěčského vybavení, vyvarování se potápění po požití alkoholu, omamných a psychotropních látek a nevhodných medikamentů. U nádechového potápění též eliminace hyperventilace před ponorem.
- Fáze potápění – velmi důležitým aspektem je dodržení takzvaného buddy týmu, tj. potápění se alespoň jedním partnerem. Základní pravidlo většiny potápěčských organizací zní: „nikdy se nepotápěj sám“. Při selhání techniky u přístrojového potápění či např. blackoutu u freedivingu může včasná pomoc druhého potápěče vést k záchraně života (Lukeš, 2008). Toto pravidlo je fundamentální bez ohledu na úroveň či zkušenosti potápěče. Tuto skutečnost ilustruje příběh ruské profesionální nádechové potápěčky Natalie Molchanové, držitelky 41 světových rekordů. V roce 2015 byla prohlášena za nezvěstnou po předchozím potápění bez doprovodu ostatních potápěčů (Néry, 2019). Důležitým faktorem v průběhu ponoru je dodržení plánu ponoru, maximální stanovené hloubky, maximální rychlosti výstupu 9m/min, dekompresních a bezpečnostních zastávek. Dále častá kontrola aktuální hloubky, času a množství dýchacího média v láhvi.
- Fáze po ukončení ponoru – i fáze po ukončení ponoru může zásadně ovlivnit bezpečnost potápěče. Především je nutné dodržet dostatečné povrchové intervaly mezi dalšími ponory, opět zajistit dostatečnou hydrataci, vyvarovat se zvýšené fyzické námaze a především dodržet obecně uznávaná omezení pro cestování letadlem po potápění (Dvořáková, 2005).

## **2.9 Kombinace obou druhů potápění**

### **2.9.1 Syndrom Taravana**

Tento fenomén, který je spojován s polynéským souostrovím Taumotu, nereflektuje problematiku kombinování přístrojového a volného potápění, nicméně částečně odpovídá na základní otázku z cílů této práce. Taravana, jež v místním jazyce

znamená zkroucení, představuje souhrn zdravotních problémů vyskytujících se u místních lovců perel. Tito domorodí potápěči po staletí sestupovali po hlubokém nádechu ke dnu s použitím závaží (cca 5 kg) uvázaného ke košíku na laně. V hloubce 10 – 40 m sbírali perlorodky po dobu cca 30 – 60 sekund. Tuto aktivitu opakovali okolo šesti hodin, s velmi krátkými povrchovými intervaly mezi jednotlivými ponory, přibližně 3 – 10 minut. U některých potápěčů byly na konci pracovní doby pozorovány příznaky ve formě závratí, nevolností, poruch zraku a sluchu, ochrnutí, či ztráty vědomí. V několika případech byly příznaky natolik závažné, že vedli ke smrti potápěče (Arieli, 2019).

Problematiku fenoménu Taravana studoval v 60. letech minulého století lékař P. Paulev, který při svém pokusu vyvrátil do té doby zažitý axiom, že při potápění na nádech nemohou nastat obdobné zdravotní komplikace, jako při potápění s přístrojem. Paulev osobně vykonal v průběhu několika málo hodin 60 ponorů na nádech do hloubky 20 m, s velmi krátkými povrchovými intervaly, přibližně 2 minuty. Do dvou hodin od ukončení pokusu začal pociťovat závratě a nevolnost, rozostřené vidění a bolesti kloubů a hrudníku. Po následném umístění do hyperbarického prostředí v podobě dekompresní komory tyto příznaky zcela vymizely (Rusoke, 2018). Paulev na své osobě jasně manifestoval možnost vzniku dekompresní nemoci při potápění na nádech.

Příznaky dekompresní nemoci byly diagnostikovány také u sportovních nádechových potápěčů. DCS byla vyvolána u jedinců, kteří se opakovaně po dobu několika hodin potápěli do hloubek minimálně cca 20 m, s poměrně krátkými povrchovými intervaly mezi jednotlivými ponory (podobně jako lovci perel), či po jednotlivém, extrémně hlubokém ponoru výrazně přes 100 m (Schipke, 2006).

Syndrom Taravana ilustruje, že dekompresní nemoc může vzniknout u jedince vyskytujícího se v hyperbarickém prostředí nejen při delším pobytu (potápění s přístrojem), ale také při krátkodobé a opakované expozici (opakované potápění na nádech), či po krátkodobém a jednotlivém pobytu jedince v hyperbarickém prostředí (extrémně hluboký ponor na nádech) (Novomeský, 2013).

### **2.9.2 Nádechové potápění před potápěním s přístrojem**

Přestože je provozování nádechového potápění před potápěním s přístrojem obecně považováno za méně rizikovou aktivitu než potápění na nádech provozované po

potápění s přístrojem, přináší tato kombinace svá rizika. Při ponoru na nádech dochází k určité mikrosaturaci organismu potápěče inertním plynem. Při opakovaných ponorech na nádech se tato mikrosaturace kumuluje a představuje pro jedince určité dusíkové zatížení. Výše dusíkového zatížení závisí mimo jiné na počtu ponorů, jejich hloubce, času a délce povrchových intervalů. Rozhodne-li se jedinec po potápění na nádech provozovat přístrojové potápění, může dojít k situaci, kdy zahájí přístrojový ponor s určitou mírou dusíkového zatížení v podobě reziduálního  $N_2$  v organismu. Toto dusíkové zatížení organismu může představovat značné riziko především z důvodu, že potápěčské počítače nedokážou míru dusíkového zatížení v souvislosti s ponorem na nádech reflektovat a ani obecně platné tabulky a limity potápění nebudou v souvislosti s reziduálním  $N_2$  v organismu aktuální. Přestože by se potápěč při ponoru s přístrojem pohyboval v rámci standardně bezpečných limitů, v důsledku předešlého dusíkového zatížení by mohl být vystaven riziku v podobě vyšší reálné saturace organismu inertním plynem, včetně souvisejících rizik (viz. 1.6.1) (Rusoke, 2018).

### **2.9.3 Nádechové potápění po potápění s přístrojem**

Značně riskantní aktivitou se jeví volné potápění provozované po potápění s přístrojem. Díky dýchání plynného média pod tlakem okolního prostředí dochází při potápění s přístrojem k značné saturaci organismu inertním plynem (viz. 1.5.1). V závislosti na vnitřních i vnějších faktorech může celková desaturace inertního plynu v normobarickém prostředí trvat až 24 hodin (Brubakk, 2003). Rozhodne-li se potápěč, jehož organismus je v důsledku potápění s přístrojem zatížen reziduálním  $N_2$ , k provozování nádechového potápění, naruší jednosměrný proces vysycování inertního plynu a opět tímto plynem mikrosaturuje organismus (Novomeský, 2013).

Určitou míru rizika představuje také skutečnost, že mikroskopické bubliny inertního plynu, které se mohou potenciálně vyskytovat v těle potápěče po přístrojovém potápění, zmenší při ponoru na nádech dle Boyle-Mariottova zákona se vzrůstající hloubkou ponoru svůj objem, což může umožnit jejich migraci v tkáních potápěče. V důsledku zmenšení objemu se autochtonní bubliny inertního plynu transformují na bubliny heterochtonní (viz 1.5.1) a při vynoření na hladinu a opětovném zvýšení svého objemu mohou působit v organismu potápěče destruktivně (Rusoke, 2018).

#### **2.9.4 Dostupné materiály**

Bohužel je nutné konstatovat, že problematikou kombinování přístrojového a volného potápění ve stejný den se zabývá naprosté minimum zahraničních i domácích materiálů. V podstatě je možné nalézt pouze dvě zmínky prokazující výskyt dekompresní nemoci v souvislosti s potápěním na nádech po přístrojovém potápění. Robert M. Wong, bývalý ředitel oddělení potápěčské a hyperbarické medicíny v australské nemocnici Fremantle, popisuje 3 případy výskytu dekompresní nemoci u jedinců, kterým byl uměle simulován ponor s přístrojem umístěním do dekompresní komory před zahájením ponorů na nádech (Denoble, 2018).

Druhý případ popisuje profesor František Novomeský, přednosta ústavu soudního lékařství Jesseniovy fakulty a soudní znalec v oboru potápěčské a hyperbarické medicíny. Novomeský ve své knize Potápěčská medicína popisuje na základě vlastního pozorování vznik příznaků dekompresní nemoci v důsledku opakovaného potápění na nádech bezprostředně po ukončení ponoru s přístrojem bez dostatečně dlouhého povrchového intervalu v normobarickém prostředí (Novomeský, 2013).

Bohužel ani v jednom z výše uvedených případů nejsou udávány přesné parametry ponorů přístrojového ani nádechového potápění, jejich četnost, povrchové intervaly, atd. Doktor Neal W. Pollock, ředitel výzkumu centra hyperbarické medicíny DAN uvádí, že nádechové potápění prováděné po přístrojovém potápění může teoreticky za určitých okolností zvýšit riziko vzniku DCS, nicméně dodává, že v současné době neexistují přesné výzkumy a data, které by jednoznačně definovaly faktory hloubky, času a povrchových intervalů vedoucí k vzniku a rozvoji DCS (Denoble, 2018).

#### **2.9.5 Problematika měření**

Skutečnost, že vznik a distribuci bublin v organismu a následný výskyt DCS, ovlivňuje nejen hloubka ponoru, čas strávený na dně, délka povrchového intervalu, celkový počet ponorů či teplota okolního prostředí, ale také mnoho individuálních faktorů, jako například genetická predispozice jedince, věk, fyzická kondice, stav hydratace, či procentuální zastoupení tukových tkání v těle, značně znesnadňuje konkrétní výzkum a měření s exaktním matematickým výstupem (Eichhorn, 2015).

Jestliže mohou být u jedince za určitých okolností pozorovány příznaky DCS pouze po provozování nádechového potápění, či pouze po provozování potápění s přístrojem, je patrné, že nádechové potápění prováděné po přístrojovém potápění (kdy je organismus jedince vystaven určitému dusíkovému zatížení) může riziko vzniku DCS zvyšovat (Novomeský, 2013).

Bohužel však celosvětově neexistují žádné tabulky či přesné postupy (jako u přístrojového potápění), které by reflektovaly bezpečné kombinování obou druhů potápění. DAN, nezisková organizace s celosvětovou působností, zabývající se bezpečností potápěčů, pojištěním, výzkumem a vývojem v oblasti potápění, v souvislosti s tímto stavem udává pro kombinování nádechového potápění po potápění s přístrojem značně konzervativní doporučení, a to zachovat stejný časový odstup, jako pro létání po přístrojovém potápění, tedy minimálně 12 – 24 hodin v závislosti na množství přístrojových ponorů (Cialoni, 2014). Mnoho národních i mezinárodních potápěčských organizací doporučuje zachovat co možná nejdelší možný časový odstup mezi potápěním s přístrojem a potápěním na nádech (někdy stejně jako DAN až 24 hodin). Tato doporučení však nejsou podložena výzkumem, ale snahou o zajištění maximální možné bezpečnosti potápěčů a eliminaci jakýchkoli potenciálních rizik spojených s kombinováním přístrojového a nádechového potápění.

## **2.10 Rešerše dostupných zdrojů**

Výzkumná metoda rešerše dostupných zdrojů byla autorem této práce zahájena v roce 2016 při několikaměsíčním pobytu ve Střední Americe, konkrétně na ostrově Isla del Maíz, patřící státu Nicaragua. Byly podrobně prostudovány manuály potápěčské organizace PADI i potápěčské knihy dostupné v místním potápěčském centru. Knihy i manuály byly ve španělském jazyce. Od tohoto momentu byly až do roku 2020 kontinuálně studovány knihy zabývající se potápěčskou tematikou, odborné články na internetu i v časopisech i potápěčské manuály různých mezinárodních potápěčských organizací, jako např. IANTD, ISS, PADI, atd. Tyto materiály byly zkoumány v českém, španělském a anglickém jazyce.

### **2.10.1 Komplexnost zkoumaného jevu**

Jak bylo naznačeno v teoretické části, problematika pobytu jedince v hyperbarickém prostředí je velmi komplexní s mnoha proměnnými, které značným způsobem ovlivňují a znesnadňují konkrétní výzkum a měření s exaktním



matematickým výstupem. Zkoumat vzácný jev jakým je dekompresní nemoc, která nastala po přístrojovém potápění, její vznik, průběh i případnou léčbu je značně obtížné. Zkoumat tento vzácný jev, který nastal v souvislosti s dalším vzácným jevem – tedy dekompresní nemoc, která se rozvinula po volném potápění po předešlém ukončení potápění s přístrojem, je ještě nepoměrně obtížnější.

### **2.10.2 Přístup k podkladům**

V souvislosti s výše uvedeným se není možné divit skutečnosti, že k problematice kombinování potápění s přístrojem a volného nádechového potápění existuje jen naprosté minimum zdrojů, a to jak domácích, tak také zahraničních, přestože existuje bezpočet knih, manuálů a článků, které se zabývají samostatně přístrojovým potápěním a samostatně volným nádechovým potápěním. V souvislosti se vznikem a průběhem dekompresní nemoci je situace obdobná.

### **2.10.3 Zahraniční zdroje**

Poměrně hojně je však možné v zahraničních zdrojích nalézt knihy a články zabývající se syndromem Taravana. Problematika syndromu Taravana sice přímo nereflektuje problematiku kombinování přístrojového a nádechového potápění, nicméně určitým způsobem odpovídá na výzkumnou otázku této práce, má-li ponor na nádech, provedený po ukončení ponoru s přístrojem, vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci.

Arieli, Foresta či Cortegiani podrobně popisují syndrom Taravana, který je spojován především s polynéským souostrovím Taumotu. Taravana, jež v místním jazyce znamená zkroucení, představuje souhrn zdravotních problémů vyskytujících se u místních lovců perel. Tito domorodí potápěči po staletí sestupovali po hlubokém nádechu a zadržení dechu ke dnu s použitím závaží, zpravidla okolo 5kg, uvázaného ke košíku na laně. V hloubce 10 – 40 m sbírali perlorodky po dobu přibližně 30 – 60 sekund. Tuto aktivitu opakovali okolo šesti hodin, s velmi krátkými povrchovými intervaly mezi jednotlivými ponory, přibližně 3 – 10 minut. U některých potápěčů byly na konci pracovní doby pozorovány příznaky ve formě závratí, nevolností, poruch zraku a sluchu, ochrnutí, či ztráty vědomí. V několika případech byly příznaky natolik závažné, že vedli až ke smrti potápěče (Arieli, 2019).

V 60. letech dvacátého století se pokusil lékař dánského námořnictva P. Paulev za pomoci empirického experimentu provedeného na své osobě vyvrátit do té doby zažitý axiom, že při potápění na nádech nemohou nastat obdobné zdravotní komplikace, jako při potápění s přístrojem. Paulev osobně vykonal v průběhu několika málo hodin 60 ponorů na nádech do hloubky 20 m, s velmi krátkými povrchovými intervaly, přibližně 2 minuty. Do dvou hodin od ukončení pokusu začal pociťovat závratě a nevolnost, rozostřené vidění a bolesti kloubů a hrudníku. Po následném umístění do hyperbarického prostředí v podobě dekompresní komory tyto příznaky zcela vymizely (Rusoke, 2018). Paulev tímto nebezpečným experimentem docílil podobné úrovně dusíkového zatížení organismu, jakému jsou vystaveni polynéští lovci perel, a jasně demonstroval, že u potápěče může za určitých specifických okolností dojít ke vzniku a rozvoji dekompresní nemoci i při volném potápění na nádech, nikoli pouze při potápění s přístrojem, jak bylo do té doby obecně uznáváno.

Schipke uvádí, že na přelomu dvacátého a jednadvacátého století byly příznaky dekompresní nemoci diagnostikovány také u sportovních nádechových potápěčů. DCS byla vyvolána u jedinců, kteří se opakovaně po dobu několika hodin potápěli do hloubek minimálně cca 20 m, s relativně krátkými povrchovými intervaly mezi jednotlivými ponory (podobně jako lovci perel). Dekompresní nemoc byla také vícekrát oficiálně potvrzena po pouhém jednom ponoru. Nutno podotknout, že se jednalo o extrémně hluboký ponor na hranici lidských možností, výrazně přesahující 100 m (Schipke, 2006).

Jak bylo zmíněno výše, syndrom Taravana (tento výraz je v současnosti obecně používán pro označení vzniku a výskytu dekompresní nemoci v souvislosti s volným nádechovým potápěním) částečně odpovídá na výzkumnou otázku této práce.

Může-li samostatně prováděné nádechové potápění (byť velmi specificky strukturované) u potápěče zapříčinit vznik a výskyt dekompresní nemoci, pak může za určitých podmínek mít také vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci, je-li provozované po předešlém ukončeném potápění s přístrojem.

Až v roce 2018 byly Denoblem sepsány pravděpodobně nejvíce relevantní informace týkající se problematiky kombinování přístrojového a nádechového potápění a následného vzniku a rozvoje dekompresní nemoci. Denoble uvádí, že ředitel oddělení potápěčské a hyperbarické medicíny v australské nemocnici Fremantle Robert M.

Wong, popisuje 3 případy výskytu dekompresní nemoci u jedinců, kterým byl uměle simulován ponor s přístrojem umístěním do dekompresní komory před zahájením ponorů na nádech (Denoble, 2018).

Bohužel však nejsou udávány přesné parametry při simulaci ponorů přístrojového potápění v dekompresní komoře, ani hloubky ponorů u nádechového potápění, jejich četnost, povrchové intervaly mezi jednotlivými ponory, atd. Robert M. Wong bohužel nezmínil ani ostatní důležité parametry, jako například věk potápěčů, jejich pohlaví, fyzickou kondici, index tělesné hmotnosti, atd.

Denoble dále cituje doktora Neala W. Pollocka, ředitele výzkumu centra hyperbarické medicíny DAN - organizace s celosvětovou působností zabývající se bezpečností potápěčů, pojištěním, výzkumem a vývojem v oblasti potápění. Pollock uvádí, že nádechové potápění prováděné po přístrojovém potápění může teoreticky za určitých okolností zvýšit riziko vzniku dekompresní nemoci, nicméně dodává, že v současné době neexistují přesné výzkumy a data, které by jednoznačně definovaly faktory hloubky, času a povrchových intervalů vedoucí k vzniku a rozvoji DCS (Denoble, 2018).

#### **2.10.4 Domácí zdroje**

Velmi cenným domácím zdrojem (a de facto také jediným), který reflektuje problematiku kombinování přístrojového a volného potápění, je kniha profesora Františka Novomeského *Potápěčská medicína* z roku 2013. František Novomeský, přednosta ústavu soudního lékařství Jesseniovy fakulty, soudní znalec v oboru potápěčské a hyperbarické medicíny a profesionální potápěč s mnohaletou praxí ve své knize popisuje, na základě vlastního pozorování, vznik příznaků dekompresní nemoci v důsledku opakovaného potápění na nádech bezprostředně po ukončení ponoru s přístrojem bez dostatečně dlouhého povrchového intervalu v normobarickém prostředí (Novomeský, 2013). Ani Novomeský však bohužel, ve své jinak velmi obsáhlé knize, neuvádí žádné přesné hodnoty a parametry týkající se ponorů s přístrojem, které předcházeli ponorům na nádech. Uvedeny bohužel nejsou ani povrchové intervaly mezi ponory s přístrojem, ani mezi ponory na nádech.

## 3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE

### 3.1 Cíle práce

Cílem práce bylo prokázat, má-li ponor na nádech, provedený po ukončení ponoru s přístrojem, vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci a navržení vhodných postupů a omezení pro bezpečné kombinování obou výše uvedených druhů potápění ve stejný den.

Tyto postupy reflektují hloubku, čas a povrchový interval mezi jednotlivými ponory a byly sestaveny na základě rešerše domácích i zahraničních zdrojů zabývajících se riziky jednotlivých druhů potápění i jejich eventuální kombinací a kauzálního výzkumu u certifikovaných potápěčů, kteří mají zkušenost s kombinováním volného a přístrojového potápění ve stejný den.

### 3.2 Úkoly práce

Pro dosažení cíle práce, tj. sestavení výše zmíněného systému postupů a omezení pro bezpečné kombinování přístrojového a volného potápění, bude nezbytné splnit následující úkoly:

- Shromáždit a analyzovat dostupné zdroje zabývající se kombinováním volného a přístrojového potápění a jejich rizik.
- Shromáždit a nastudovat dostatek materiálů zabývajících se procesem vzniku dekompresní nemoci při pobytu jedince v hyperbarickém prostředí, a to jak při dýchání plynné směsi pod tlakem okolního prostředí, tak také při ponoru se zadržným dechem.
- Vyhledat a kontaktovat vhodné probandy z řad certifikovaných přístrojových potápěčů, kteří mají zkušenosti s kombinováním volného a přístrojového potápění.
- Vytvořit nestandardizovaný dotazník.
- Distribuovat a zajistit navrácení vyplněných dotazníků.
- Zaznamenat získaná data.
- Utřídit a analyzovat získaná data.
- Ze získaných dat vyvodit závěry vedoucí k sestavní konkrétních postupů a doporučení bezpečného kombinování přístrojového a volného potápění.

### **3.3 Výzkumná otázka**

Pro řešení dané problematiky byla stanovena následující výzkumná otázka:

Má ponor na nádech, provedený po ukončení ponoru s přístrojem, vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci?

## **4 METODIKA PRÁCE**

Pro práci byla použita metoda rešerše domácích i zahraničních zdrojů zabývajících se problematikou přístrojového a nádechového potápění. Dále byl prováděn kauzální výzkum, kterého se zúčastnilo 34 probandů z řad certifikovaných přístrojových potápěčů se zkušenostmi s kombinováním přístrojového a nádechového potápění ve stejný den.

### **4.1 Kauzální výzkum**

Na základě rešerše dostupných domácích i zahraničních zdrojů bylo zjištěno, že ponor na nádech provedený po ukončeném ponoru s přístrojem může mít za určitých specifických okolností vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci. V současné době však neexistuje jakýkoliv podložený výzkum, který by reflektoval problematiku kombinování přístrojového a volného potápění a rizika s ním spojená, poskytující přesná data, která by zohledňovala faktory hloubky, času a povrchového intervalu. Proto byla pro tuto práci zvolena také metoda kauzálního výzkumu.

#### **4.1.1 Charakteristika sledovaného souboru**

Celkem bylo ve sledovaném souboru osloveno 34 probandů ve věku 18 – 55 let. Kritériem pro výběr reprezentativního vzorku byla platná certifikace přístrojového potápění a zkušenost s kombinováním přístrojového a volného nádechového potápění ve stejný den. V souboru jsou zastoupeni potápěči mužského i ženského pohlaví, různých národností, různého stupně dosažené potápěčské certifikace, a to jak z řad profesionálních, tak také rekreačních potápěčů. Kritériem při kombinování obou druhů potápění bylo dodržení obecně platných a uznávaných postupů pro bezpečné přístrojové potápění dané organizace, jejíž certifikace je daný potápěč držitelem.

#### **4.1.2 Tvorba dotazníku**

Aby bylo možné rozvinout poznatky získané z rešerše domácích i zahraničních dostupných zdrojů a vytvořit systém konkrétních postupů a omezení pro bezpečné kombinování přístrojového a nádechového potápění ve stejný den, bylo zapotřebí strukturovat otázky v dotazníku tak, aby především reflektovaly zásadní veličiny ovlivňující vznik a distribuci bublin inertního plynu v organismu, tedy veličiny ovlivňující vznik a rozvoj dekompresní nemoci. Tyto veličiny jsou hloubka, čas, počet ponorů a povrchový interval (doba, kdy se potápěč vyskytuje v normobarickém

prostředí – zpravidla mezi ukončením předchozího ponoru a zahájením ponoru následujícího) jednak mezi jednotlivými ponory s přístrojem a jednotlivými ponory na nádech, ale také mezi ukončením ponorů s přístrojem a zahájením ponorů nádechových. Jelikož skutečnost vzniku a rozvoje dekompresní nemoci ovlivňují určitým způsobem i faktory jako např. fyzická kondice potápěče či procentuální zastoupení tukových tkání v těle, jsou v dotazníku obsaženy také otázky zabývající se touto problematikou. Naopak záměrně vynechány byly v rámci zachování jednoduchosti a přehlednosti dotazníku otázky, které se zabývají faktory, které sice také mohou určitým způsobem ovlivnit vznik a rozvoj DCS, ale jejich vliv je pouze marginální, jako např. byl-li ponor prováděn v sladké či slané vodě, teplota vody, teplota vzduch, atd.

#### **4.1.3 Struktura dotazníku**

Dotazník byl vypracován v textovém editoru Microsoft Word 2010. Jedná se o anonymní nestandardizovaný dotazník. Výzkum této práce a dotazník byl schválen Etickou komisí Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy. Žádost autora práce schválená Etickou komisí je přílohou této rigorózní práce. Dotazník obsahuje úvod, kde je představen autor práce a zkoumaná problematika, zjednodušený informovaný souhlas, kde jsou probandi informováni, že vyplněním a odevzdáním dotazníku dobrovolně souhlasí se svojí účastí v této výzkumné studii, jakož i o právu odmítnout účast nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, informace do kdy a na jakou e-mailovou adresu mají vyplněný dotazník odeslat a pokyny a vysvětlivky k vyplnění dotazníku. Probandi jsou informováni, že účast v tomto výzkumu je dobrovolná.

Samotný dotazník je rozdělen na dvě ucelené části. První část obsahuje otázky obecného charakteru, druhá část se zabývá problematikou kombinování přístrojového a volného nádechového potápění ve stejný den. Dotazník celkem obsahuje 26 otázek, z toho 25 uzavřených a 1 polouzavřenou. Otázky jsou číslované, stručné a jasně formulované. Každý proband může na otázky odpovídat stejným způsobem. Dotazník byl vypracován ve dvou jazykových variantách, a to v anglické a české.

#### **4.1.4 Části dotazníku**

První část dotazníku obsahuje následující otázky (SCUBA zde reprezentuje potápění s přístrojem, FREEDIVE reprezentuje volné nádechové potápění), které si

kladou za cíl zejména získat obecné informace týkající se potápěčské historie probandů, jejich tělesné kondice a četnosti sportovních aktivit:

1. Pohlaví
2. Věk
3. Dosažená certifikace
4. Kolik let se věnujete SCUBA potápění
5. Kolik let se věnujete FREEDIVE potápění
6. Celkový počet ponorů SCUBA
7. Celkový počet ponorů FREEDIVE
8. Maximální dosažená hloubka SCUBA
9. Maximální dosažená hloubka FREEDIVE
10. Maximální doba ponoru SCUBA
11. Maximální doba ponoru FREEDIVE
12. Kolikrát týdně se zpravidla věnujete sportovním aktivitám
13. Do jaké kategorie spadá Váš index tělesné hmotnosti
14. Kolikrát za rok se věnujete SCUBA potápění
15. Kolikrát za rok se věnujete FREEDIVE potápění

Druhá část dotazníku je zaměřena na konkrétní případy kombinování přístrojového a nádechového potápění, se kterými mají probandi osobní zkušenost, a obsahuje následující otázky:

16. Kolik SCUBA ponorů za den jste provedl/a před FREEDIVE potápěním
17. Maximální hloubka těchto SCUBA ponorů provedených před FREEDIVE ponory
18. Jak dlouhý byl povrchový interval mezi posledním SCUBA a prvním FREEDIVE ponorem
19. Maximální dosažená hloubka u FREEDIVE ponorů po SCUBA potápění
20. Celkový počet FREEDIVE ponorů po SCUBA potápění
21. Povrchový interval mezi jednotlivými FREEDIVE ponory po SCUBA potápění
22. Pozoroval/a jste po dokončení FREEDIVE ponorů po předešlém SCUBA potápění nějaké zdravotní komplikace
23. Pokud ano, jaké komplikace jste pozoroval/a
24. Byla Vám poskytnuta první pomoc



25. Byla potřeba léčba formou pobytu v dekompresní komoře
26. Pozorujete v souvislosti s výše uvedenými zdravotními komplikacemi jakékoli trvalé následky

#### **4.1.5 Sběr dat**

Data byla sbírána formou vyplněných dotazníků v průběhu září a října 2020. Dotazníky byly všem probandům odeslány přes e-mailovou adresu autora této práce. Vyplněné dotazníky byly odeslány autorovy práce zpět na e-mail. Posledním možným dnem pro odeslání vyplněného dotazníku bylo 6.10.2020. Autor práce získal e-mailové adresy od probandů v průběhu posledních pěti let formou osobního kontaktu. Probandi byly částečně z řad profesionálních potápěčů, částečně z řad rekreačních potápěčů, které autor práce poznal od roku 2016 při společném potápění na různých potápěčských lokalitách po světě. Část probandů je zastoupená z řad přátel autora práce. V každém případě se jedná o potápěče s platnou certifikací a zkušeností s kombinováním přístrojového a nádechového potápění ve stejný den.

#### **4.1.6 Analýza dat**

Jednotlivé odpovědi probandů uvedené ve strukturovaném dotazníku byly utříděny do tabulky a analyzovány pomocí regresní analýzy.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Výsledky rešerše dostupných zdrojů

Na základě podrobné rešerše dostupných domácích i zahraničních zdrojů v průběhu posledních 5 let bylo zjištěno, že ponor na nádech provedený po ukončeném ponoru s přístrojem může mít za určitých specifických okolností vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci.

Dále bylo zjištěno, že může dojít ke vzniku a rozvoji dekompresní nemoci i po provádění volného nádechového potápění. Toto zjištění bylo poněkud překvapivé, neboť vznik dekompresní nemoci je zpravidla spojován výhradně s potápěním s použitím stlačeného dýchacího média, tedy přístrojovým potápěním, neboť potápěč v průběhu ponoru dýchá stlačené dýchací médium pod tlakem okolního prostředí a tím dochází k saturaci organismu inertním plynem. Tento inertní plyn (zpravidla dusík), se v tkáních a krevním řečišti formuje do bublin mikroskopických rozměrů a následně při své migraci organizmem může způsobovat zdravotní komplikace různého charakteru a různé závažnosti (tento fenomén je souhrnně označován jako dekompresní nemoc).

Při volném nádechovém potápění však nedochází v průběhu ponoru k žádnému dýchání, neboť ponor je vymezen časovým intervalem mezi posledním nádechem a prvním výdechem a tím pádem by nemělo docházet ani k saturaci organismu inertním plynem, tak, jako při potápění s přístrojem, kdy potápěč po celou dobu ponoru plynule dýchá. Přesto bylo prokázáno, že i při ponoru se zadržným dechem dochází k určité mikrosaturaci organismu inertním plynem.

Tento poměrně překvapivý fenomén dokládají případy, kdy u jedinců provozujících nádechové potápění došlo ke vzniku a rozvoji dekompresní nemoci. Dekompresní nemoc spojená s volným nádechovým potápěním je někdy též označována jako Taravana či syndrom Taravana. Tento název pochází z polynéského souostroví Taumotu a představuje souhrn zdravotních problémů vyskytujících se u místních lovců perel, kteří se živili sběrem perlorodek z mořského dna. Tito potápěči se při výkonu své práce opakovaně nořili do převážně středních hloubek okolo 25m s velmi krátkými, pouze několikaminutovými povrchovými intervaly mezi jednotlivými ponory, často kontinuálně mnoho hodin bez přestávky. U některých potápěčů byly na konci pracovní doby pozorovány příznaky ve formě závratí, nevolností, poruch zraku a sluchu,

ochrnutí, či ztráty vědomí, tedy závažné příznaky dekompresní nemoci. V několika případech byly příznaky natolik závažné, že vedly ke smrti potápěče. Obdobné zdravotní komplikace, i když ne v tak extrémní podobě, byly diagnostikovány také u sportovních freediverů, kteří se v rámci tréninku potápěli opakovaně po delší časový úsek. V obou případech jsou společnými jmenovateli opakování ponorů minimálně hodinu bez přestávky, střední hloubka ponorů a velmi krátké povrchové intervaly mezi jednotlivými ponory.

Druhý případ vzniku dekompresní nemoci v souvislosti s volným nádechovým potápěním byl pozorován výhradně u vrcholových soutěžních freediverů. Ti v touze po překonání světového rekordu neustále posouvají hloubku ponoru, často až na hranici lidských možností. Tyto ponory, zejména v kategorii "No limit", běžně přesahují hranici 150m. Příznaky dekompresní nemoci byly prokazatelně diagnostikovány při takovýchto výkonech už po pouhém jednom ponoru.

Z výše uvedeného lze konstatovat, že dekompresní nemoc vzniklá na základě provozování volného nádechového potápění může být vyvolána jednak po provedení jednoho, extrémně hlubokého ponoru mimo možnosti běžných potápěčů, nebo po provedení několika desítek ponorů bez přestávky do hloubek alespoň cca 20m s velmi krátkými povrchovými intervaly mezi těmito ponory, v řádu jednotek minut. Bohužel je také nutné konstatovat, že neexistují žádná mezinárodní pravidla či normy, jako v případě přístrojového potápění, která by jasně definovala za pomoci veličin času, hloubky a povrchového intervalu, bezpečné provozování volného nádechového potápění.

## **5.2 Výsledky kauzálního výzkumu**

### **5.2.1 návratnost dotazníků**

Pro potřeby výzkumu této rigorózní práce bylo s dotazníkem osloveno elektronickou formou celkem 34 probandů. Do termínu odevzdání bylo nazpět elektronickou formou odevzdáno 32 dotazníků, přičemž dva dotazníky byly nekompletně vyplněny. Za relevantní je dále v této práci považováno 30 dotazníků.

## 5.2.2 Tabulka odpovědí

Následující tabulka zobrazuje odpovědi ze všech třiceti včas a řádně vyplněných a odeslaných strukturovaných dotazníků. Řádky reprezentují jednotlivé otázky dotazníku (který je k dispozici v příloze této práce) v sekvenční posloupnosti, řádek 1 je roven otázce číslo 1, řádek 2 je roven otázce číslo 2, atd. Sloupce představují jednotlivé probandy. Čísla uvedená u průniku konkrétních otázek a jednotlivých probandů představují odpověď, a to tak, že číslo 1 reprezentuje první možnost odpovědi, číslo 2 druhou možnost, číslo 3 třetí možnost, atd.

**Obrázek 2 Odpovědi probandů na otázky strukturovaného dotazníku**

Odpovědi na jednotlivé otázky strukturovaného dotazníku (1 - první otázka, 2 - druhá otázka, atd.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Probandi	1	1	3	2	3	5	2	3	4	3	4	3	3	2	4	4	1	1	5	3	5	5	2	-	2	2	2
	2	1	3	4	4	6	4	5	4	2	4	2	4	2	5	5	3	2	3	2	4	2	2	-	2	2	2
	3	2	2	1	3	4	2	3	3	2	3	2	4	2	2	2	1	1	1	3	4	3	2	-	2	2	2
	4	1	3	4	4	5	4	5	3	3	4	3	5	2	5	4	3	2	2	2	2	3	2	-	2	2	2
	5	1	5	4	3	6	3	4	3	3	4	3	3	2	5	4	1	4	3	3	1	1	2	-	2	2	2
	6	1	2	1	1	4	2	1	1	1	2	1	3	2	1	1	3	3	2	1	3	5	2	-	2	2	2
	7	2	2	1	4	3	3	4	3	3	4	3	2	4	3	2	2	1	1	2	1	2	2	-	2	2	2
	8	1	3	1	2	1	1	2	2	2	4	2	1	3	2	2	2	2	1	2	4	2	1	1,3	2	2	2
	9	1	2	2	4	2	3	4	4	2	4	2	2	3	4	3	2	1	2	1	2	5	2	-	2	2	2
	10	1	4	4	4	5	4	5	4	2	4	2	3	2	5	4	2	3	4	3	4	5	2	-	2	2	2
	11	1	2	4	5	4	4	5	4	2	4	3	3	1	4	3	2	2	2	2	3	2	2	-	2	2	2
	12	1	3	2	3	5	3	4	2	2	4	3	2	2	4	3	1	1	1	1	4	2	2	-	2	2	2
	13	1	3	1	1	2	1	3	4	3	2	3	1	3	2	2	2	4	3	3	3	3	1	1,6	2	2	2
	14	2	2	4	4	4	4	4	3	3	4	3	5	2	4	3	2	1	4	1	2	3	2	-	2	2	2
	15	1	3	1	2	5	2	3	2	1	3	1	2	4	1	1	2	1	2	2	4	1	2	-	2	2	2
	16	1	4	4	3	6	3	4	4	3	4	3	2	2	4	3	3	2	4	3	3	4	2	-	2	2	2
	17	1	3	1	3	4	3	4	3	2	3	2	2	3	2	2	2	1	1	1	2	1	2	-	2	2	2
	18	1	5	4	5	5	5	5	5	3	5	4	5	2	5	5	4	4	3	3	5	3	2	-	2	2	2
	19	1	2	2	4	4	3	4	3	2	4	3	2	1	3	3	2	1	4	2	4	4	2	-	2	2	2
	20	2	3	1	2	5	1	2	1	1	3	1	1	3	1	2	1	1	5	1	2	2	2	-	2	2	2
	21	1	2	4	3	4	4	4	3	3	4	3	2	2	3	3	1	1	1	2	4	4	2	-	2	2	2
	22	2	4	4	3	6	4	4	3	3	5	3	2	2	5	4	2	2	5	3	3	4	2	-	2	2	2
	23	2	2	1	4	4	2	2	1	1	2	1	3	3	1	2	2	1	2	1	5	3	2	-	2	2	2
	24	1	3	3	5	5	2	3	3	2	4	2	2	2	4	3	1	1	5	2	4	2	2	-	2	2	2
	25	1	2	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	2	5	4	2	2	3	1	4	1	2	-	2	2	2
	26	1	4	5	6	6	5	5	5	4	5	4	4	2	5	5	4	3	3	3	5	3	11,2,3,6	-	2	2	2
	27	2	3	1	3	5	2	3	2	3	3	3	2	2	1	2	2	1	5	1	5	3	2	-	2	2	2
	28	1	2	4	4	2	4	3	4	2	4	3	4	1	4	4	2	4	3	3	2	3	2	-	2	2	2
	29	2	4	3	3	6	4	4	4	3	4	3	3	2	5	4	3	2	5	2	1	4	2	-	2	2	2
	30	1	3	1	3	5	2	3	3	2	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	5	1	2	-	2	2	2

Zdroj: Autor

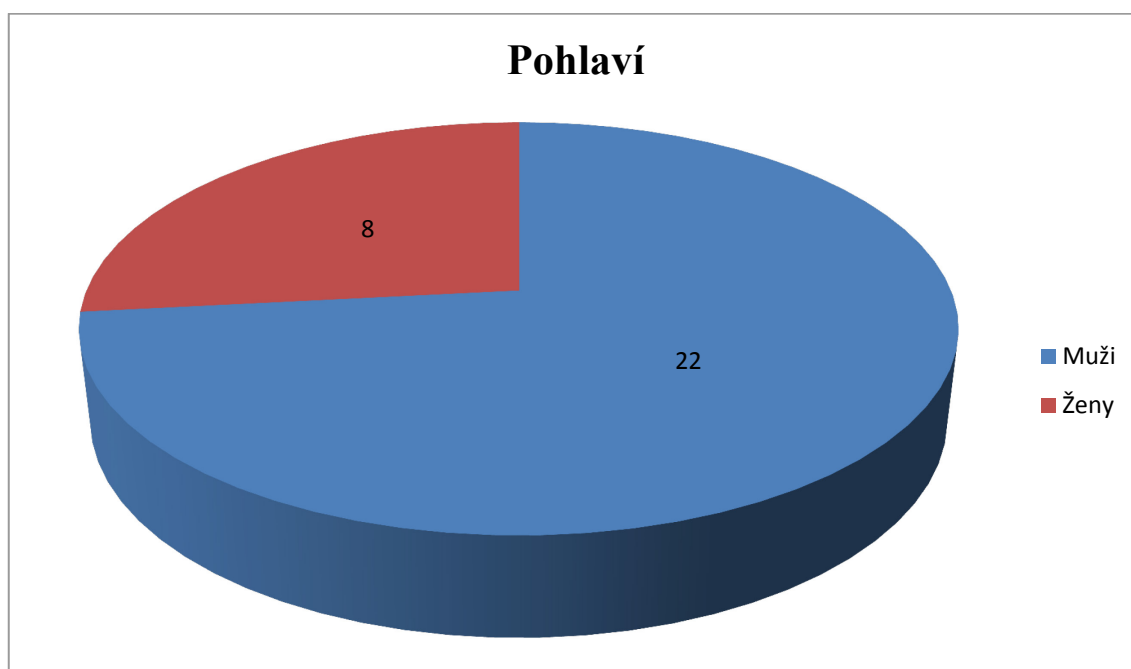
Všichni probandi mohli odpovídat na otázky stejným způsobem. Pouze probandi, kteří odpověděli na otázku 22 ano, odpovídali následně na otázku 23, u které mohli, jako u jediné, zvolit více odpovědí. U ostatních otázek bylo možné zvolit pouze jednu odpověď. Proškrtlá pole u otázky 23 znamenají, že 27 probandů na tuto otázku neodpovídalo.

### 5.2.3 Graficky zpracované odpovědi

Odpovědi na jednotlivé otázky budou níže popsány a znázorněny formou výsečových grafů. Jednotlivé fragmenty grafu, které jsou barevně odděleny, reprezentují procentuální poměr odpovědí, které uvedli zúčastnění probandi. Toto grafické znázornění je také doplněno číslicí, která reprezentuje číselné vyjádření počtu probandů, kteří zvolili danou odpověď. Název grafu koresponduje s danou otázkou, možnosti jednotlivých odpovědí jsou uvedeny v pravé části a barevně korespondují s jednotlivými fragmenty výsečového grafu.

### 5.2.4 Demografické složení respondentů

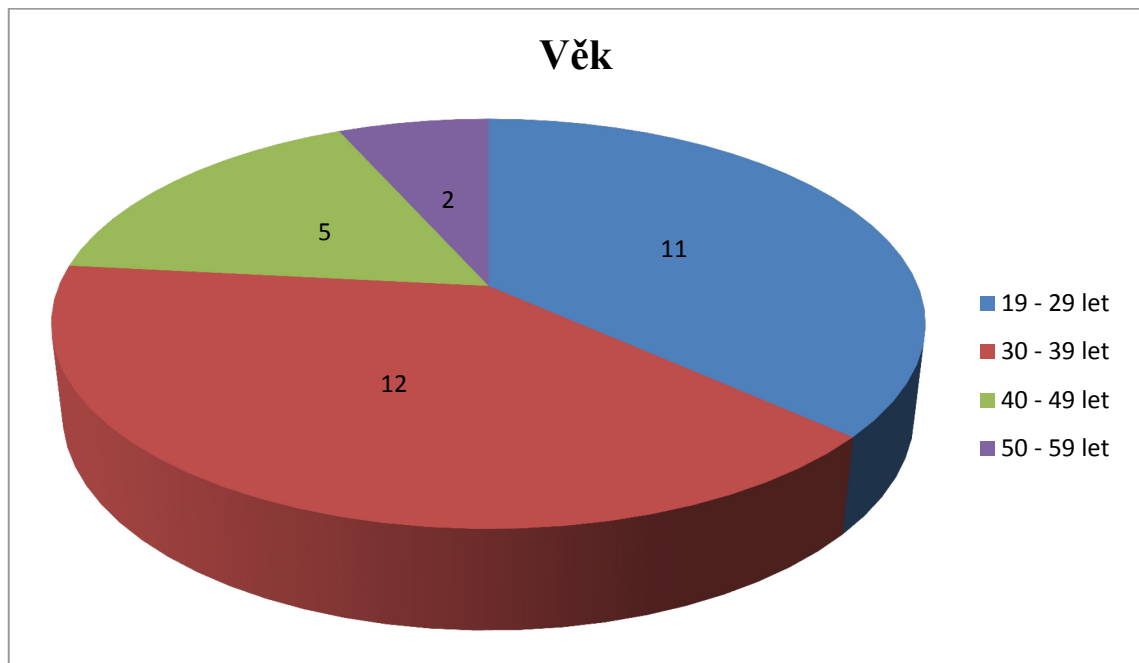
**Graf 1 Pohlaví probandů – otázka č. 1**



Zdroj: Autor

Majoritně je v tomto výzkumu zastoupené mužské pohlaví v poměru téměř 3:1, konkrétně se výzkumu zúčastnilo 22 mužů a 8 žen.

**Graf 2 Věk probandů – otázka č. 2**

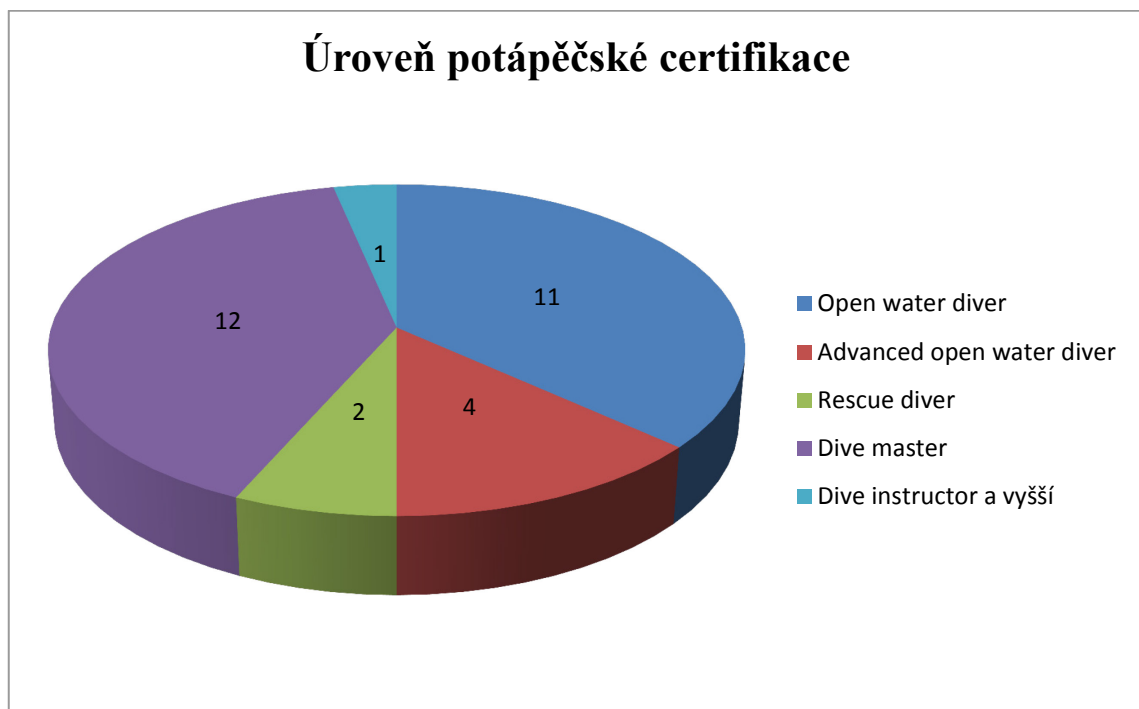


Zdroj: Autor

Všichni probandi byli ve věku mezi 19 a 59 lety, přičemž majoritní zastoupení zaujímají věkové skupiny 19 – 29 let a 30 – 39 let.

### 5.2.5 Potápěčská certifikace a fakta

**Graf 3 Úroveň potápěčské certifikace – otázka č. 3**



Zdroj: Autor

Probandi byli zastoupeni v celém spektru úrovně potápěčského vzdělání, nejvíce byla zastoupena základní úroveň Open water diver a profesionální úroveň Dive master.

**Graf 4 Doba provozování přístrojového potápění – otázka č. 4**



Zdroj: Autor

Nejvíce je zastoupena skupina probandů věnujících se přístrojovému potápění mezi 3 a 10 lety.

**Graf 5 Doba provozování nádechového potápění – otázka č. 5**



Zdroj: Autor

Nádechovému potápění se probandi věnují nejvíce v kategoriích 5 - 10 let, 10 - 20 let a více než 20 let.

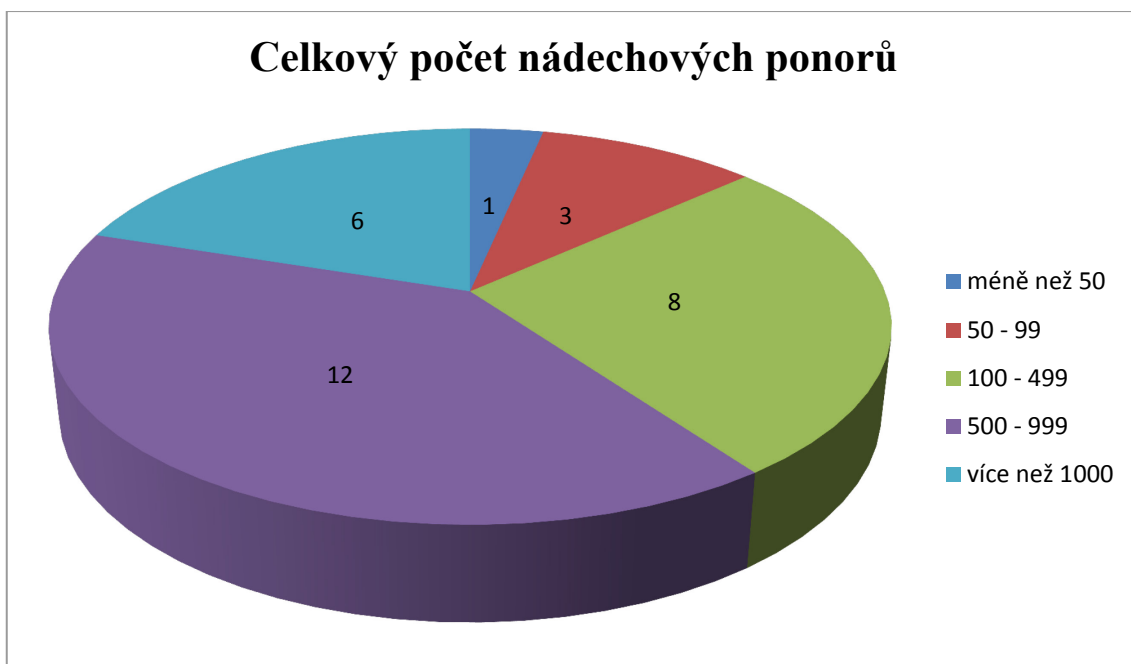
**Graf 6 Celkový počet přístrojových ponorů – otázka č. 6**



Zdroj: Autor

Většina probandů celkem vykonala 50 – 999 přístrojových ponorů.

**Graf 7 Celkový počet nádechových ponorů – otázka č. 7**

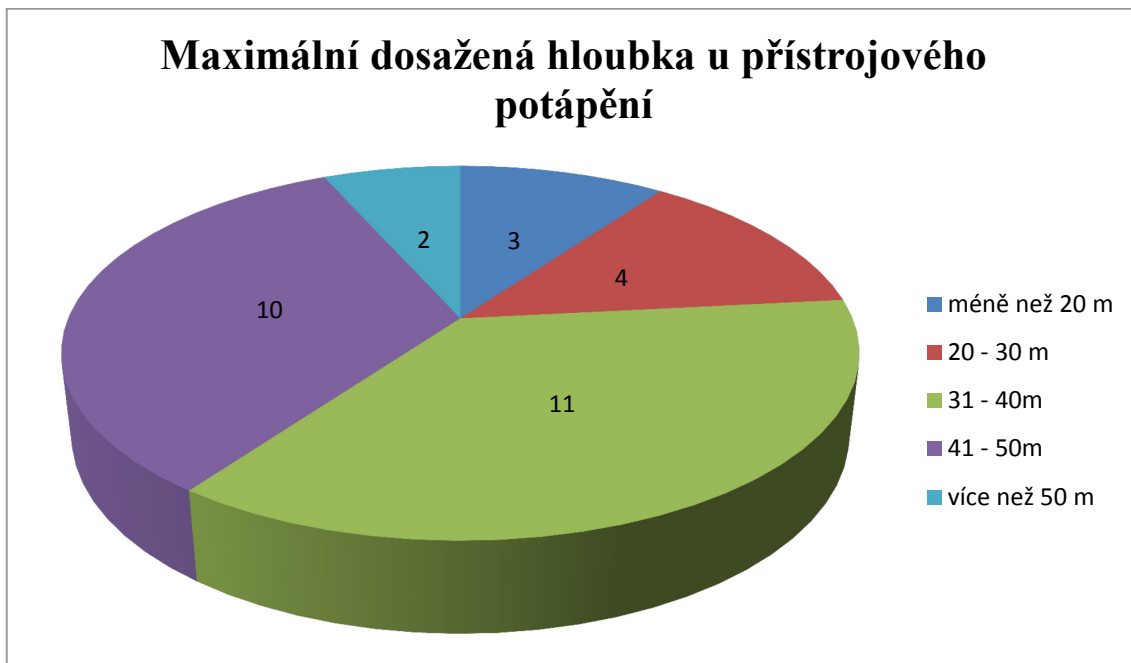


Zdroj: Autor



Pouze čtyři probandi vykonali méně než 100 nádechových ponorů. Většina jich vykonala 100 – 999, šest probandů vykonalo více než 1000 nádechových ponorů.

**Graf 8 Maximální dosažená hloubka u přístrojového potápění – otázka č. 8**



Zdroj: Autor

Maximální dosažená hloubka u přístrojového potápění je nejvíce zastoupená v kategoriích 31 – 40 m a 41 -50 m.

**Graf 9 Maximální dosažená hloubka u nádechového potápění – otázka č. 9**



Zdroj: Autor

Maximální dosažená hloubka u nádechového potápění je většinou zastoupená v kategoriích 10 - 30 m. Jeden proband dosáhl maximální hloubky 31 – 50m.

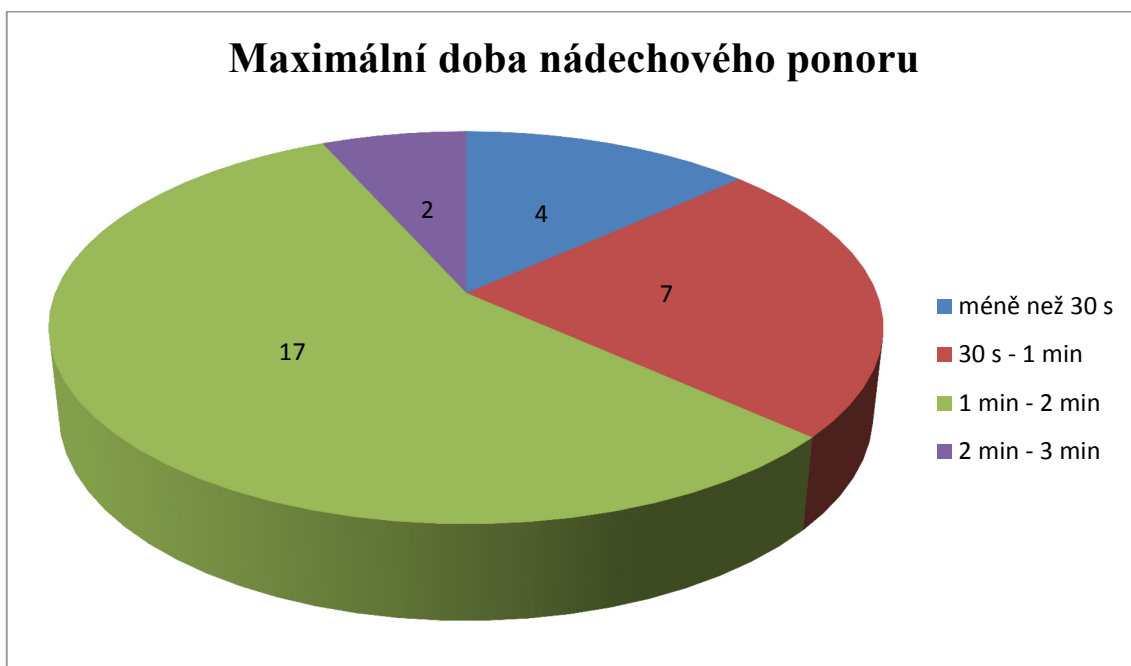
**Graf 10 Maximální doba přístrojového ponoru – otázka č. 10**



Zdroj: Autor

Většina probandů vykonala nejdelší přístrojový ponor v rozmezí 51 – 60 min.

**Graf 11 Maximální doba nádechového ponoru – otázka č. 11**

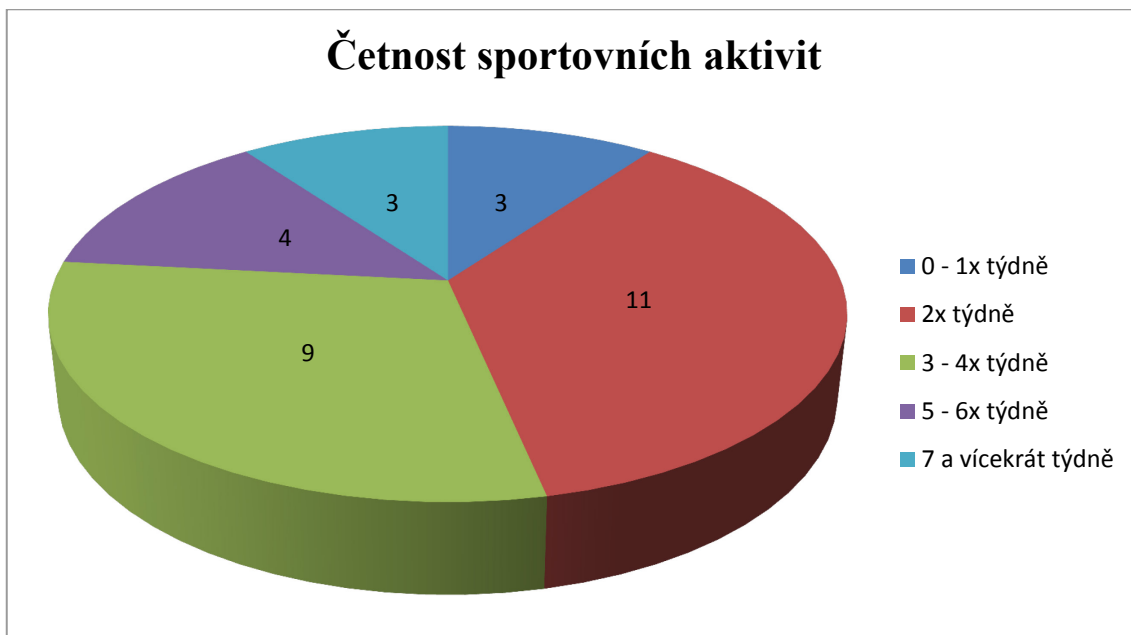


Zdroj: Autor

Většina probandů dokázala při ponoru zadržet dech na maximálně 1 – 2 min. Pouze dva vydrželi v rozmezí 2 – 3 min. Šest nevydrželo s dechem více než 1 min.

### 5.2.6 Index tělesné hmotnosti a četnost sportovních aktivit

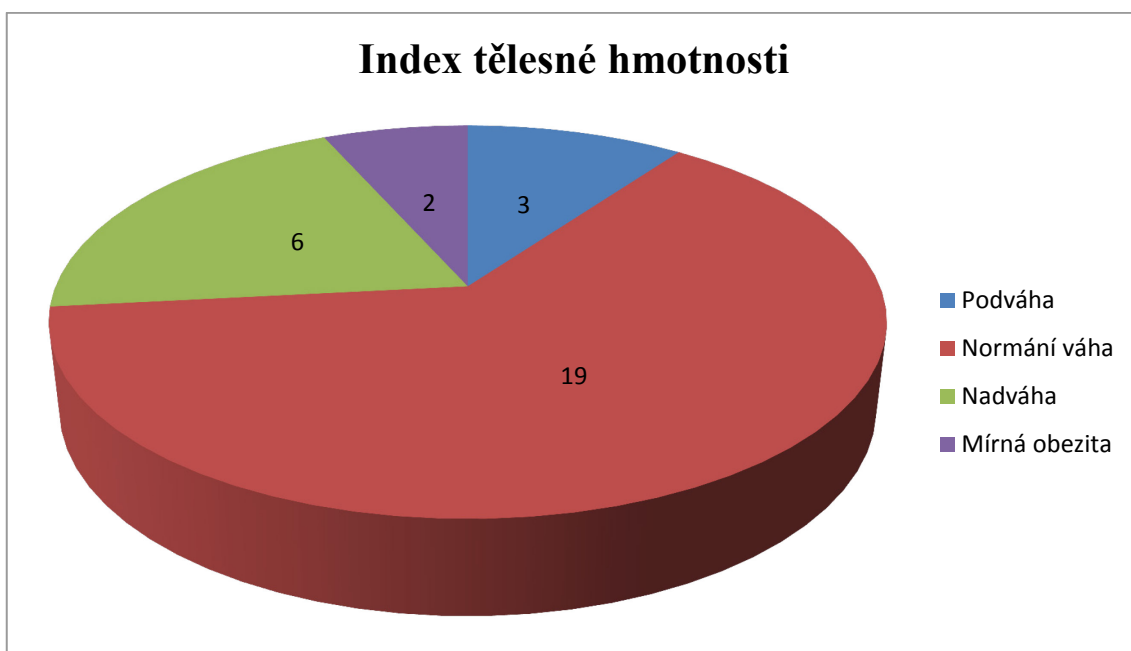
Graf 12 Četnost sportovních aktivit – otázka č. 12



Zdroj: Autor

Většina probandů se věnuje sportovním aktivitám 2 – 4x týdně. Přibližně rovnoměrně jsou zastoupeny kategorie 0 – 1x týdně, 5 – 6x týdně a 7x a vícekrát týdně.

Graf 13 Index tělesné hmotnosti – otázka č. 13



Zdroj: Autor

Naprostá většina probandů si drží normální váhu. Šest probandů spadá do kategorie nadváha a zbylých pět spadá do kategorií mírná obezita a podváha.

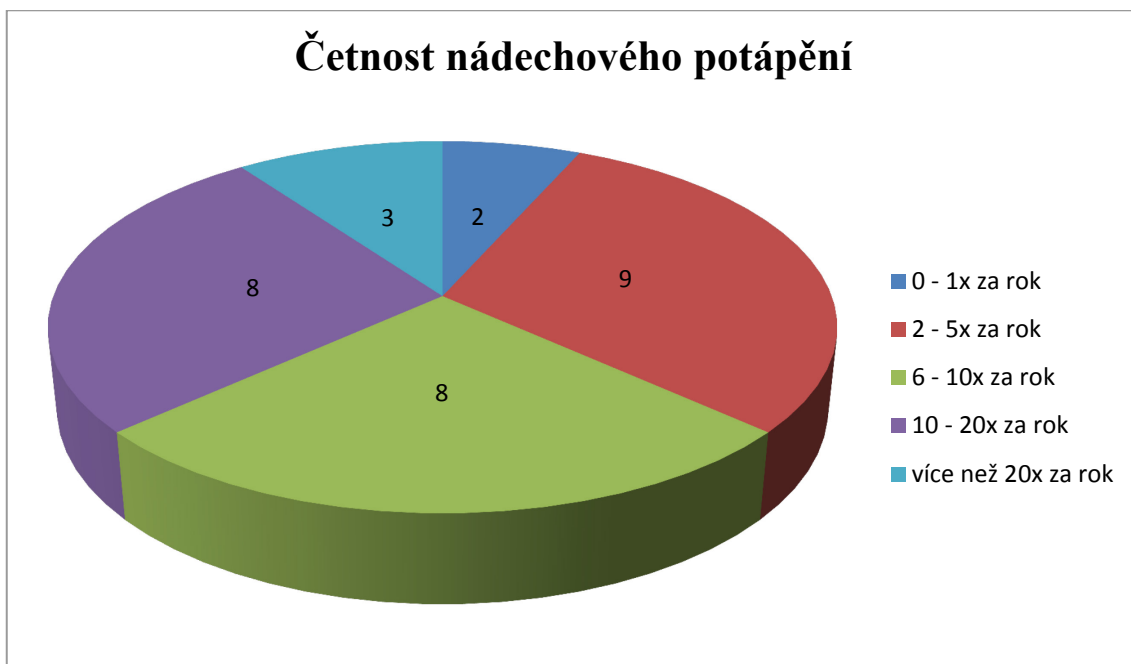
**Graf 14 Četnost přístrojového potápění – otázka č. 14**



Zdroj: Autor

Četnost přístrojového potápění je probandy relativně rovnoměrně rozprostřena v celém spektru možností. Nejméně z nich se potápění věnuje 6 – 10x za rok.

**Graf 15 Četnost nádechového potápění – otázka č. 15**



Zdroj: Autor

Nádechovému potápění se nejvíce, tedy devět, probandů věnuje 2 – 5x za rok. Osm probandů se shodně věnuje nádechovému potápění v rozmezí 6 – 10x za rok a 10 – 20x za rok. Celkem pět probandů se této aktivitě věnují 0 – 1x za rok a více než 20x za rok.

### **5.2.7 Kombinace přístrojového a nádechového potápění ve stejný den**

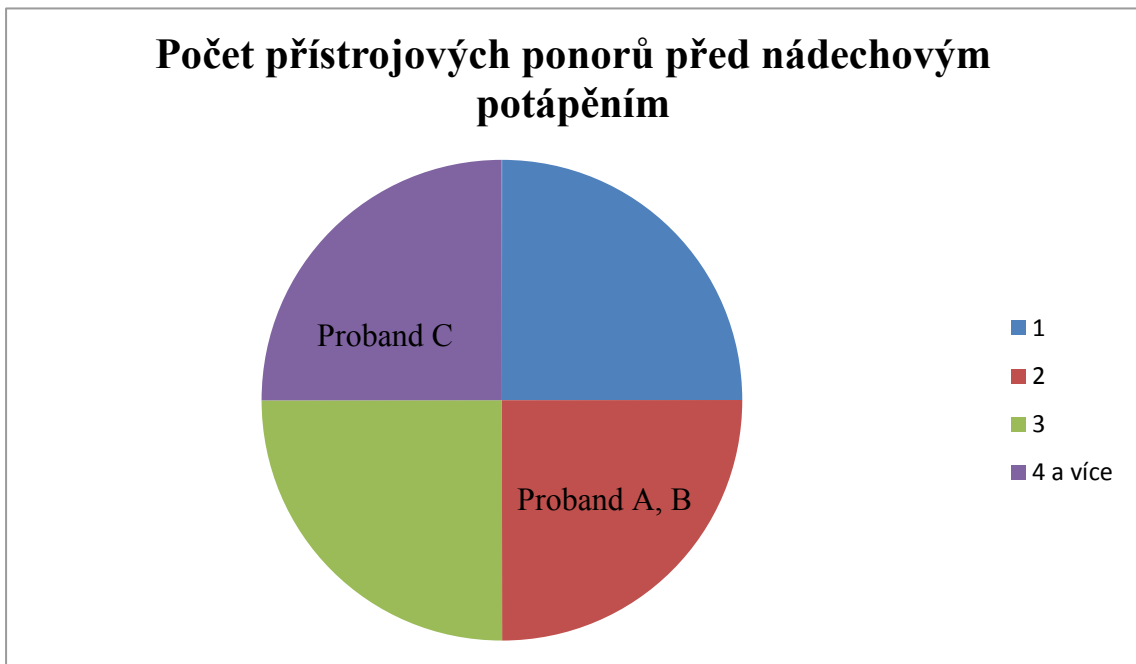
V druhé části dotazníku odpovídali probandi na otázky spojené s kombinováním přístrojového potápění a volného nádechové potápění ve stejný den. Ze třiceti respondentů, kteří nejprve vykonali od jednoho do čtyř a více různě strukturovaných přístrojových ponorů a následně po variabilně dlouhém povrchovém intervalu v normobarickém prostředí prováděli různě hluboké a časově strukturované ponory na nádech, následně tři pocítovali určité zdravotní komplikace. Tyto zdravotní komplikace vykazovali příznaky dekompresní nemoci prvního stupně. Ani v jednom případě nebyla potřeba lékařská pomoc či hyperbarická léčba formou umístění do dekompresní komory a ani v jednom případě nepocítují tito probandi jakékoli trvalé zdravotní následky s tímto spojené.

Tito tři probandi, kteří po ukončení nádechového potápění po předešlém potápění přístrojovém jeví známky dekompresní nemoci, jsou v tabulce odpovědí uvedeni pod čísly 8, 13 a 26, a dále budou pro potřeby tohoto výzkumu označeni jako probandi A, B a C.

Následující část se již nezabývá odpověďmi ostatních zúčastněných probandů, kteří po kombinování přístrojového a nádechového potápění nejevili známky dekompresní nemoci, ale reflektuje pouze odpovědi výše zmíněných probandů A, B a C, u kterých ke vzniku a rozvoji dekompresní nemoci došlo.

Obdobně jako v první části, i zde budou jednotlivé odpovědi popsány a také znázorněny formou výsečových grafů. Jednotlivé barevně vyznačené fragmenty grafu však v této části reprezentují přímo konkrétní možnosti odpovědí, které jsou slovně zformulovány v pravé části grafu. Konkrétní otázky a fragmenty grafu spolu barevně korespondují. Název grafu opět představuje konkrétní otázku. Odpovědi probandů A, B a C jsou vepsány přímo do jednotlivých fragmentů grafu, tak, jak byly probandy vyplněny do dotazníku.

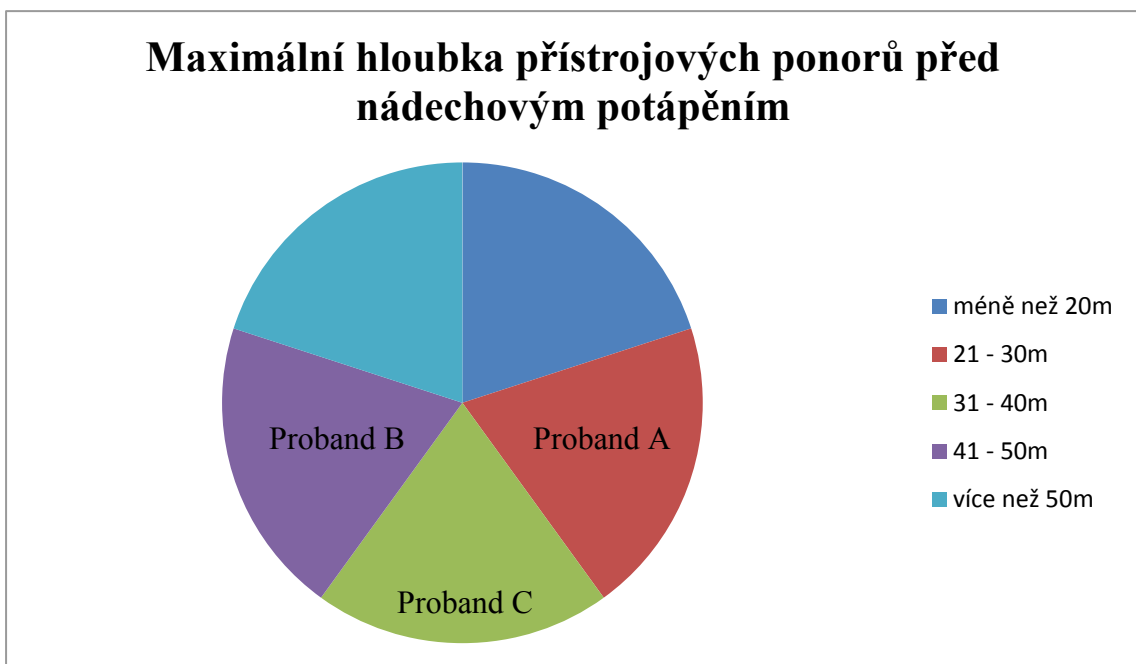
**Graf 16 Počet přístrojových ponorů před nádechovým potápěním – otázka č. 16**



Zdroj: Autor

Probandi A a B vykonali před nádechovým potápěním celkem dva přístrojové ponory, Proband C jich vykonal 4 a více.

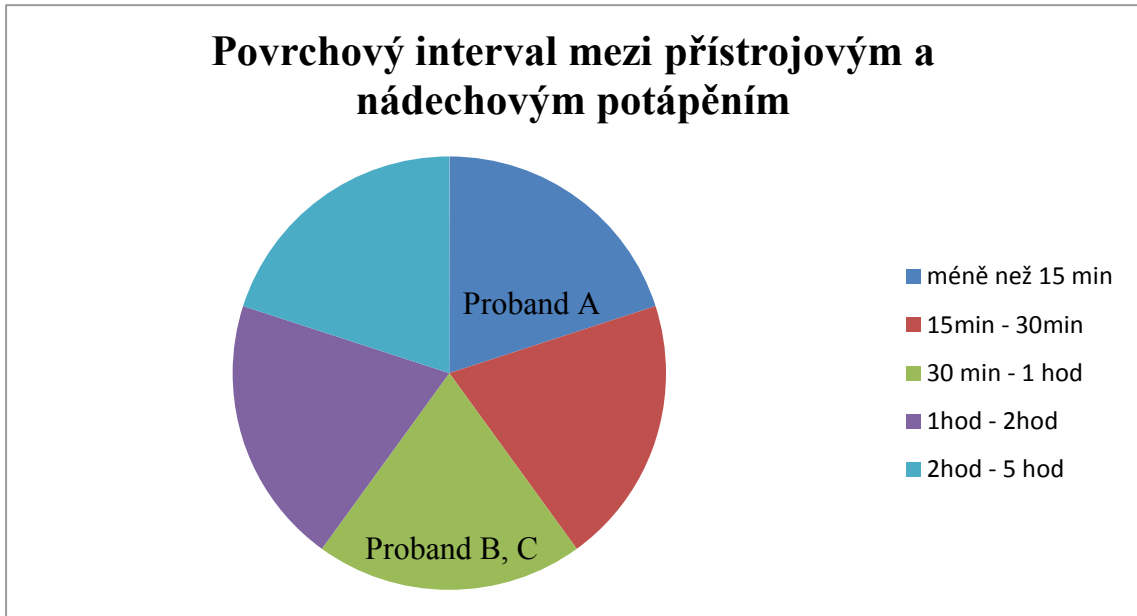
**Graf 17 Maximální hloubka přístrojových ponorů před nádechovým potápěním – otázka č. 17**



Zdroj: Autor

Proband A vykonal před nádechovým potápěním nejhlubší přístrojový ponor do 21 – 30m, proband B do 41 – 50m a proband C do 31 – 40m.

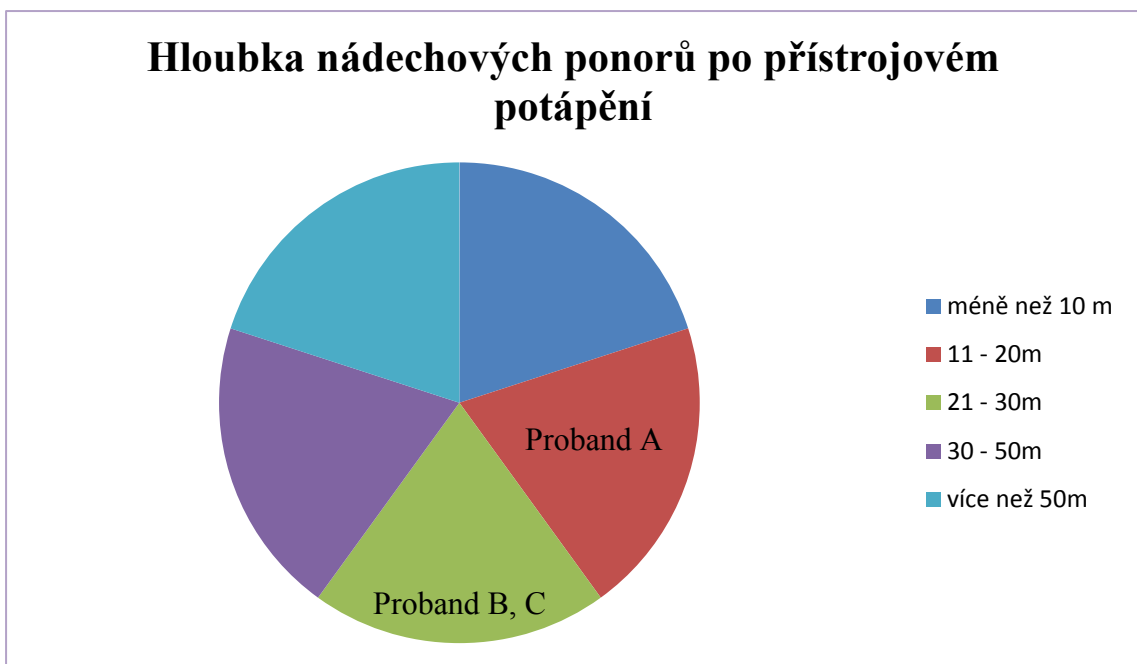
**Graf 18 Povrchový interval mezi přístrojovým a nádechovým potápěním – otázka č. 18**



Zdroj: Autor

Proband A zachoval povrchový interval mezi posledním přístrojovým ponorem a prvním nádechovým ponorem méně než 15 minut. Probandi B a C 30 minut – 1 hodinu.

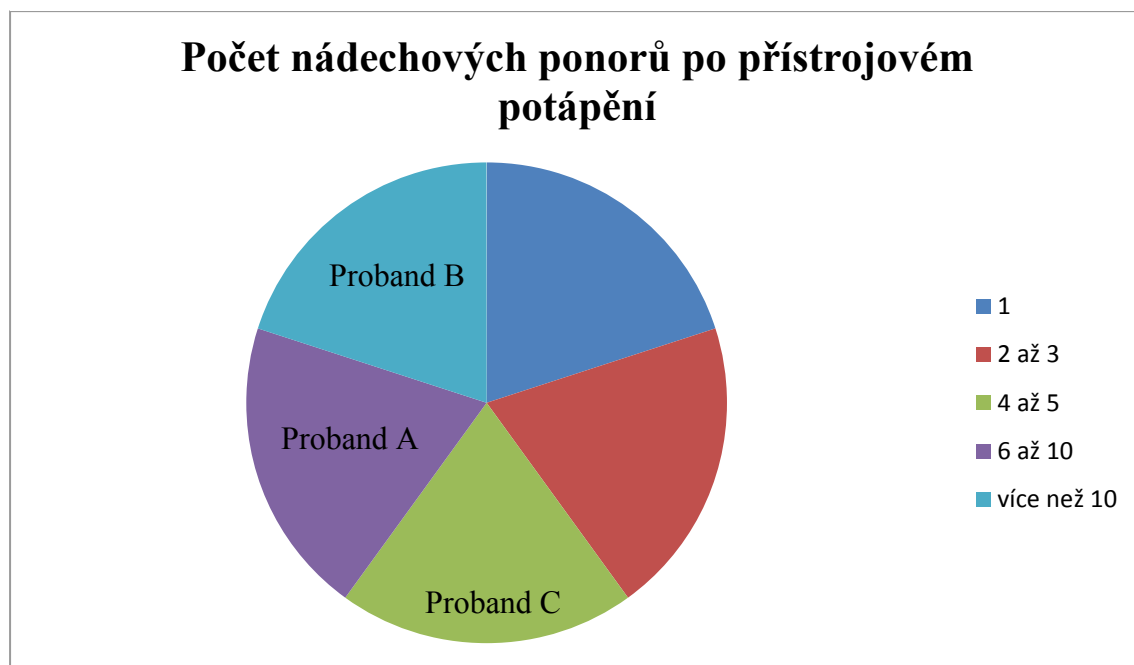
**Graf 19 Hloubka nádechových ponorů po přístrojovém potápění – otázka č. 19**



Zdroj: Autor

Proband A dosáhl při nádechovém potápění po přístrojovém potápění maximální hloubky 11 – 20m, probandi B a C do 21 – 30m.

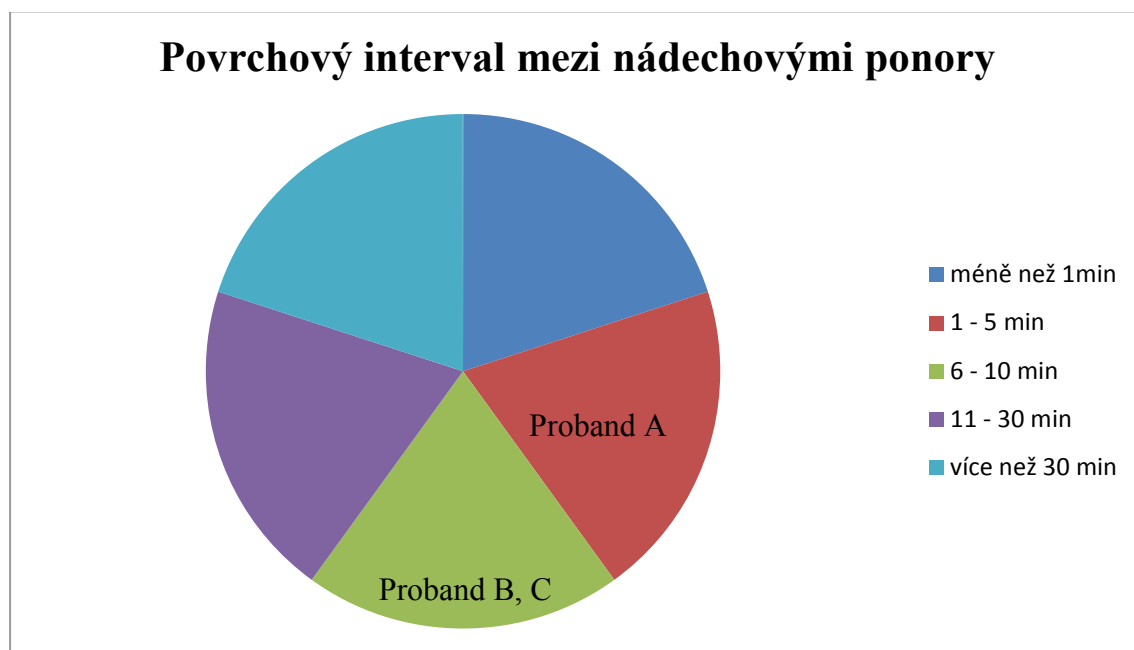
**Graf 20 Počet nádechových ponorů po přístrojovém potápění – otázka č. 20**



Zdroj: Autor

Proband A vykonal po přístrojovém potápění 6 – 10 nádechových ponorů, proband B více než 10 a proband C jich vykonal 4 – 5.

**Graf 21 Povrchový interval mezi nádechovými ponory – otázka č. 21**

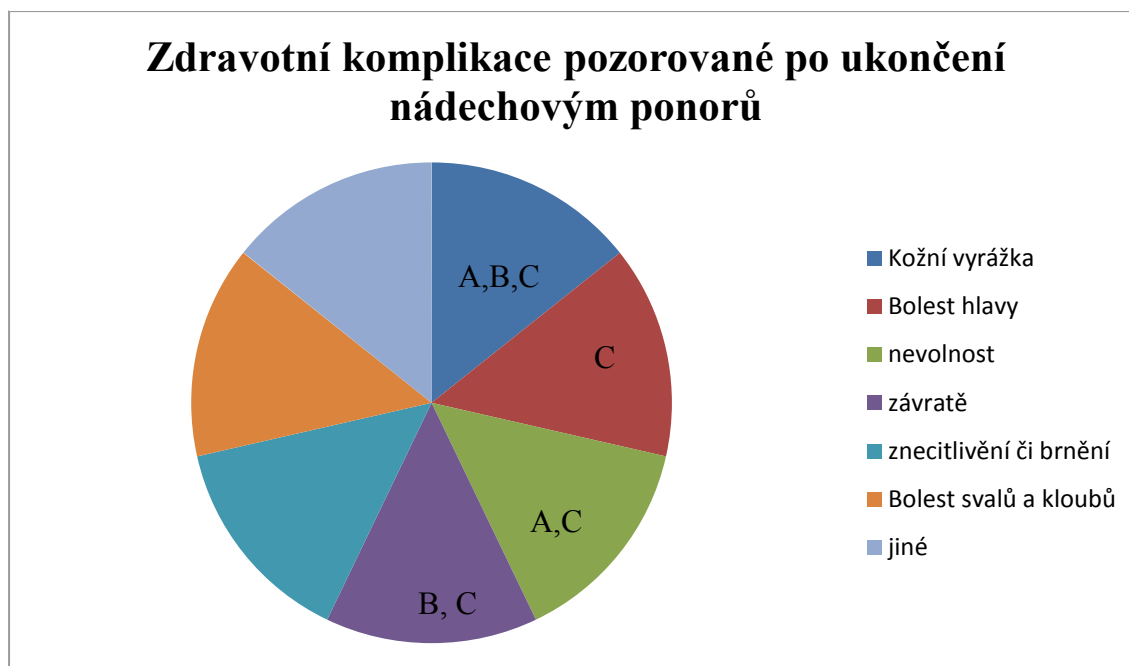


Zdroj: Autor



Proband A zachoval povrchový interval mezi jednotlivým nádechovými ponory v rozmezí 1 – 5 minut, Probandi B a C v rozmezí 6 – 10 min.

**Graf 22 Zdravotní komplikace pozorované po ukončení nádechových ponorů – otázka č. 22**



Zdroj: Autor

Pro přehlednost jsou v tomto grafu probandi označeni pouze písmeny. Proband A pozoroval po ukončení nádechových ponorů po předešlém provozování přístrojové potápění zdravotní komplikace ve formě kožní vyrážky a nevolnosti. Proband B pozoroval příznaky kožní vyrážky a závratí. Proband C pozoroval příznaky kožní vyrážky, bolesti hlavy, závratí a nevolnosti.

### 5.2.8 Regresní analýza

Jednotlivé odpovědi probandů na otázky strukturovaného dotazníku, uvedené v obrázku 2, byly použity jako podklad pro statistickou metodu regresní analýzy. Tato analýza v tomto případě odhaduje hodnotu binární proměnné na základě znalosti jiných závislých proměnných, tedy vznik dekompresní nemoci na základě kvantifikací odpovědí na jednotlivé otázky strukturovaného dotazníku.

Vzhledem k binární podstatě závislé proměnné a poměrně malé velikosti vzorku byla datová analýza provedena pomocí následujících logistických regresí o jedné proměnné:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{j,i} + \varepsilon_i,$$

kde  $i$  označuje jednotlivce,  $i = \{1, \dots, 30\}$ ,  $y$  představuje binární proměnnou označující vznik dekompresní nemoci (pokud  $y = 1$ , došlo ke vzniku dekompresní nemoci, pokud ke vzniku dekompresní nemoci nedošlo,  $y = 0$ ),  $x_j$  označuje  $j$ -tou závislou proměnnou, tedy kvantifikaci odpovědí na jednotlivé otázky,  $\beta_0$  a  $\beta_1$  jsou jednotlivé koeficienty z logistické regrese,  $\varepsilon$  označuje reziduální chybu. Tato analýza byla opakována ve všech  $j$  závislých proměnných. Výsledky jednotlivých regresí jsou uvedeny v následujícím obrázku.

**Obrázek 3 Výsledky jednotlivých regresí**

Proměnná	Koeficient
<b>Obecné</b>	
Pohlaví	-17.72
Věk	0.51
Certifikace	-0.15
SCUBA zkušenost	-0.36
Freedive zkušenost	<b>-0.77</b>
SCUBA ponory	-0.61
Freedive ponory	-0.31
SCUBA max. hloubka	0.62
Freedive max. hloubka	1.62
SCUBA max. doba	-0.06
Freedive max. doba	0.94
Sportovní aktivita	-0.91
BMI	0.83
SCUBA roční frekvence	-0.18
Freedive roční frekvence	-0.03
<b>Kombinace SCUBA a Freedive</b>	
SCUBA ponory před - počet	0.92
SCUBA ponory před - max. hloubka	<b>0.99</b>
Povrchový interval SCUBA - Freedive	-0.31
Freediveponory před - počet	0.54
Freedive ponory před - max. hloubka	1.38
Povrchový interval Freedive - Freedive	-0.14

Zdroj: Autor

Proměnné představují jednotlivé otázky strukturovaného dotazníku. SCUBA reprezentuje přístrojové potápění, freedive volné nádechové potápění. Zkušenost SCUBA i freedive odkazuje na počet let, kolik se probandi danému druhu potápění věnují. SCUBA a freedive ponory představují celkový počet vykonaných přístrojových a nádechových ponorů. BMI reprezentuje index tělesné hmotnosti.

Kladná hodnota koeficientu znamená, že daná proměnná zvyšuje riziko vzniku dekompresní nemoci, záporná hodnota koeficientu znamená, že daná proměnná riziko vzniku dekompresní nemoci snižuje. Tučně zvýrazněné hodnoty u koeficientu označují statisticky významné hodnoty na 10% hladině. 10% hladiny významnosti dosahují proměnné zkušenost s freedivingem (počet let, kolik se potápěč nádechovému potápění věnuje) a maximální hloubka přístrojových ponorů provedených před nádechovým potápěním. U ostatních koeficientů proměnných, které nejsou zvýrazněny, nemá smysl interpretovat ani znaménko, neboť tyto koeficienty nedosahují významnosti 10% a statisticky jsou nevýznamné.

Statistická významnost byla posuzována na základě výsledků z-statistiky, která reflektuje poměr hodnoty koeficientu dané proměnné a směrodatné odchylky. Jednotlivé kardinální hodnoty koeficientů nemá v tomto případě smysl interpretovat, klíčová je statistická významnost na alespoň 10% hladině z provedené z-statistiky vyplývající.

### **5.2.9 Výsledek regresní analýzy**

Na základě statistické metody regresní analýzy bylo zjištěno, že na 10% hladině významnosti jsou statisticky významné proměnné ovlivňující vznik a rozvoj dekompresní nemoci v souvislosti s nádechovým potápěním provozovaným po ukončeném přístrojovém potápění počet let, kolik se daný jedinec nádechovému potápění věnuje, a maximální hloubka přístrojových ponorů, vykonaných před zahájením nádechového potápění. První uvedený faktor je ve vztahu ke vzniku dekompresní nemoci v nepřímé úměrnosti. Čím déle jedinec provozuje nádechové potápění, tím se snižuje riziko vzniku DCS při provozování nádechového potápění po ukončeném přístrojovém potápění. Druhý faktor je ve vztahu k DCS v přímé úměrnosti. Čím hlubší vykoná jedinec přístrojové ponory před zahájením nádechového potápění, tím větší je riziko vzniku dekompresní nemoci v souvislosti s kombinováním přístrojového a nádechového potápění.

### **5.2.10 Rozbor faktorů u probandů s výskytem DCS**

Na základě výsledků regresní analýzy bylo zjištěno, že maximální hloubka přístrojového ponoru provedeného před zahájením nádechového potápění negativním způsobem ovlivňuje míru rizika vzniku dekompresní nemoci, naopak míra zkušenosti s nádechovým potápěním toto riziko ovlivňuje pozitivním způsobem. Následující část práce si klade za cíl provést rozbor kombinování přístrojových a nádechových ponorů probandů A, B a C, u kterých došlo k manifestaci dekompresní nemoci.

Bylo zjištěno, že dekompresní nemoc může být u různých jedinců vyvolána různým způsobem, respektive její vyvolání je možné způsobit více druhy strukturování jednak přístrojových a nádechových ponorů, ale také různou délkou povrchového intervalu mezi jednotlivými ponory.

Proband A nejprve vykonal dva přístrojové ponory do maximální hloubky mezi jednadvaceti a třiceti metry. Následně de facto ihned po ukončení přístrojového potápění zahájil potápění nádechové. Maximální hloubka nádechových ponorů byla mezi jedenácti a dvaceti metry. Těchto ponorů vykonal šest až deset, přičemž povrchové intervaly mezi jednotlivými ponory byly v rozmezí jedna až pět minut.

Proband B nejprve vykonal taktéž dva přístrojové ponory do maximální hloubky mezi jednačtyřiceti a padesáti metry. Následně po ukončení přístrojového potápění zahájil potápění nádechové s přestávkou na povrchový interval třicet minut až jedna hodina. Maximální hloubka nádechových ponorů byla mezi jednadvaceti a třiceti metry. Těchto ponorů vykonal více než deset, přičemž povrchové intervaly mezi jednotlivými ponory byly v rozmezí šest až deset minut.

Proband C nejprve vykonal čtyři a více přístrojových ponorů do maximální hloubky mezi jednatřiceti a čtyřiceti metry. Následně po ukončení přístrojového potápění zahájil potápění nádechové s přestávkou na povrchový interval třicet minut až jedna hodina. Maximální hloubka nádechových ponorů byla mezi jednadvaceti a třiceti metry. Těchto ponorů vykonal čtyři až pět, s povrchovými intervaly mezi jednotlivými ponory v rozmezí šest až deset minut.

### **5.2.11 Závěr z výstupních dat**

Všichni tři probandi vykazovali lehké příznaky dekompresní nemoci prvního stupně. Je zřejmé, že organismus potápěčů, který trpěl již po přístrojových ponorech

určitou mírou dusíkového zatížení, byl následnými mikrosaturacemi organismu inertním plynem vyvolanými opakovaným nádechovým potápěním zatížen natolik, že celková saturace překročila hranici, kdy je organismus schopen se přirozeným způsobem při pobytu v normobarickém prostředí tohoto reziduálního dusíku zbavit. Tato skutečnost byla následně manifestována vnějšími projevy dekompresní nemoci.

Tyto tři případy dokládají skutečnost, že je-li tělo potápěče již saturováno inertním plynem do určité míry, pak může být kritická hranice úrovně dusíkového zatížení při vykonávání následných nádechových ponorů dosažena různými způsoby. Například po vykonání nemnoha hlubokých ponorů s delším povrchovým intervalem mezi jednotlivými ponory, či po vykonání více ponorů, při kterých sice není dosahováno takové hloubky, nicméně jsou vykonávány v rychlém sletu za sebou s poměrně krátkými povrchovými intervaly.

Proband A utrpěl po dokončení přístrojového potápění patrně nejmenší dusíkové zatížení, neboť provedl pouze dva přístrojové ponory do nejmenší maximální hloubky. Následně prováděl několik nádechových ponorů (více než proband B a méně než proband C) do nejmenší maximální hloubky, nicméně dodržel pouze velmi krátké povrchové intervaly, jednak mezi provozování přístrojových a nádechových ponorů, i také mezi jednotlivými nádechovými ponory.

Proband B provedl před zahájením nádechového potápění také dva přístrojové ponory, nicméně do větší maximální hloubky než proband A. Do větší maximální hloubky prováděl také následné nádechové ponory, ale celkově jich vykonal více než proband A. Povrchové intervaly mezi potápěním s přístrojem i mezi jednotlivými nádechovými ponory dodržel delší než proband A. Proband A i B jevíli přibližně stejně závažné příznaky dekompresní nemoci ve formě kožní vyrážky a nevolnosti a kožní vyrážky a závratí.

Proband C vykonal před zahájením nádechových ponorů výrazně více přístrojových ponorů než probandi A a B s největší maximální dosaženou hloubkou. Povrchové intervaly mezi potápěním s přístrojem a potápěním na nádech i jednotlivými nádechovými ponory zachoval přibližně stejné jako proband B, nicméně vykonal celkově nejvíce nádechových ponorů do (spolu s probandem B) největší maximální hloubky. U probanda C byly pozorovány závažnější projevy dekompresní nemoci, než u probandů A a B, ve formě kožní vyrážky, bolesti hlavy, nevolnosti a závratí.

V problematice dusíkového zatížení organismu dokládají tyto tři případy pravdivost nepřímé úměrnosti mezi hloubkou a časem ponoru. U přístrojového potápění obecně platí, že čím hlouběji se jedinec potopí, tedy čím více je vystaven většímu tlaku okolního prostředí, tím více je jeho organismus saturován inertním plynem. Čím déle je tomuto zvýšenému tlaku okolního prostředí vystaven, tedy čím delší je ponor, tím více dochází k saturaci organismu inertním plynem. Nepřímou úměrnost lze zjednodušeně vyjádřit tvrzením, že čím je ponor hlubší, tím méně času je zapotřebí k tomu, aby byl organismus potápěče saturován inertním plynem na určitou úroveň. Naopak platí, že čím je ponor delší, tím menší hloubky je nutné dosáhnout k tomu, aby bylo dosaženo stejné úrovně saturace organismu inertním plynem. Tato skutečnost platí jak u přístrojového, tak u nádechového potápění.

Vztah nepřímo úměrný lze nalézt také mezi celkovým dusíkovým zatížením organismu, respektive míře rizika vzniku dekompresní nemoci a délkou povrchového intervalu. Čím delší je povrchový interval mezi přístrojovým a nádechovým potápěním, tím více dochází k přirozené desaturaci inertního plynu z organismu a tím menší je riziko následného vzniku dekompresní nemoci. Naopak čím kratší je povrchový interval, tím je riziko vzniku dekompresní nemoci větší. Vyjádřeno jiným způsobem, čím delší bude povrchový interval mezi přístrojovým a nádechovým potápěním, tím více mikrosaturací organismu bude potřeba podstoupit (tedy vykonat celkově více nádechových ponorů a do větší hloubky) aby byla překročena celkové limitní množství inertního plynu v organismu potřebného k vyvolání dekompresní nemoci. Naopak čím bude povrchový interval kratší, tím méně ponorů a do menších hloubek bude dostačovat k tomu, aby bylo překročeno toto limitní množství inertního plynu v organismu.

Nebezpečí vzniku a rozvoje dekompresní nemoci spojené s kombinováním nádechového a přístrojového potápění je i při zachování delšího povrchového intervalu mezi přístrojovými a nádechovými ponory reálné v případě vykonání několika velmi hlubokých ponorů, stejně tak, jako při vykonání mnoha ponorů do středních hloubek v rychlém sletu za sebou. Toto nebezpečí hrozí i v případě vykonání nemnoha ponorů do malých a středních hloubek, je-li dodržen pouze velmi krátký povrchový interval mezi přístrojovým a nádechovým potápěním.

Výsledky ve vztahu k závažnosti dekompresní nemoci lze označit za očekávatelné. Ze všech tří probandů, u kterých se projevíly příznaky dekompresní

nemoci, byla nejzávažnější forma nemoci pozorována u probanda C, který utrpěl již po dokončení přístrojového potápění největší dusíkové zatížení organismu, neboť vykonal nejvíce přístrojových ponorů do největší maximální hloubky. Následně provedl také nejvíce hlubokých nádechových ponorů. Vyjádřeno logicky, byla-li struktura ponorů u probanda C taková, že vykazovala celkově největší míru fyzického zatížení a největší absolutní saturaci organismu inertním plynem, pak se také příznaky dekompresní nemoci jeví v nejzávažnější formě.

Bohužel však tento logický postup v případě pobytu lidského jedince v hyperbarickém prostředí nelze uplatňovat absolutně. Tuto skutečnost dokládá fakt, že někteří z respondentů v kauzálním výzkumu provedli strukturu ponorů z celkového hlediska ve více zatěžující formě (celkově provedli více přístrojových i nádechových ponorů, dosáhli větší maximální hloubky u obou druhů ponorů a dodrželi kratší či stejně dlouhé povrchové intervaly mezi jednotlivými nádechovými ponory i mezi potápěním s přístrojem a na nádech) než probandi A a B (kteří jeví známky dekompresní nemoci prvního stupně), přesto nepociťovali jakékoli zdravotní komplikace a nejeví známky dekompresní nemoci. Jistou roli může hrát i skutečnost, že index tělesné hmotnosti u obou respondentů A i B spadá do kategorie nadváha, neboť tukové tkáně výrazně urychlují proces saturace organismu inertním plynem.

Celkově tato skutečnost ilustruje individuální reakci lidského organismu na pobyt v hyperbarickém prostředí a dokládá složitost jevu, kterým je vznik a rozvoj dekompresní nemoci, který je ovlivněn nejen hloubkou a délkou ponoru a povrchovým intervalem, ale také genetickou predispozicí jedince, úrovní hydratace a odpočinku, fyzickou kondicí, tělesnou konstitucí a mnoha jinými faktory. Jistou podobnost lze spatřovat v pobytu lidského jedince ve vysoké nadmořské výšce, kde někdo může jevit známky vysokohorské nemoci a bez akutní pomoci je vystaven ohrožení života již v určité nadmořské výšce, zatímco jiný se může pohybovat ve výrazně vyšší výšce bez jakýchkoli obtíží či komplikací. Stejně tak při kombinování přístrojového a nádechového potápění může u určitého potápěče dojít ke vzniku a rozvoji dekompresní nemoci, zatímco jiný nebude pociťovat jakékoli zdravotní obtíže a k manifestaci dekompresní nemoci u něj nedojde, přestože strukturoval ponory stejným, či dokonce náročnějším způsobem.

### 5.3 Výsledky uceleného výzkumu

Na základě souhrnných výsledků z obou výzkumných metod byly zjištěny následující skutečnosti:

- Nádechové potápění provozované po ukončeném potápění s přístrojem může zvýšit riziko vzniku dekompresní nemoci.
- Klíčové faktory ovlivňující míru tohoto rizika jsou hloubka ponoru, čas ponoru a povrchový interval mezi jednotlivými ponory i mezi přístrojovým a nádechovým potápěním.
- Míra rizika vzniku dekompresní nemoci je ovlivněna také individuálními faktory, jako např. genetickou predispozicí jedince, procentuálním zastoupením tukových tkání v těle, fyzickou kondicí, úrovní hydratace, únavou, atd.
- Dekompresní nemoc může být vyvolána nejen po přístrojovém potápění a kombinování přístrojového a nádechového potápění, ale také pouze po provozování nádechového potápění.

### 5.4 Navržené postupy a omezení

Výsledkem a smyslem této rigorózní práce bylo navržení následujících postupů a omezení pro bezpečné kombinování přístrojového a nádechového potápění ve stejný den. Vzhledem ke skutečnosti, že je problematika expozice jedince v hyperbarickém prostředí ovlivněna nejen vnějšími, ale také vnitřními individuálními faktory, jsou tyto postupy, zpracované na základě výsledků výzkumných metod, navrženy tak, aby reflektovaly individuální schopnosti a možnosti potápěčů, kteří se rozhodnou kombinovat oba výše zmíněné druhy potápění. Tyto postupy jsou navrženy pro potápění do maximální nadmořské výšky 300m nad mořem.

Navržené postupy a omezení:

- Maximálně 2 přístrojové ponory před nádechovým potápěním.
- Maximální hloubka přístrojových ponorů 30m.
- Povrchový interval mezi posledním přístrojovým ponorem a prvním nádechovým ponorem minimálně 120 min.
- Hloubka nádechových ponorů maximálně do poloviny svého historicky nejhlubšího provedeného nádechového ponoru.



- Délka nádechového ponoru maximálně do poloviny svého historicky nejdelšího nádechového ponoru.
- V každém případě maximální hloubka nádechových ponorů 20m.
- V každém případě maximální čas nádechových ponorů 2 min.
- Maximálně 3 nádechové ponory po přístrojovém potápění.
- Povrchový interval mezi nádechovými ponory minimálně 10 min.

Nezbytné podmínky:

- Dobrá fyzická i psychická kondice jedince.
- Naprosté zdraví.
- Žádné medikamenty.
- Žádný alkohol.
- Žádné omamné či psychotropní látky.
- Nikdy se nepotápět sám.
- Dodržovat ostatní obecné zásady bezpečného volného potápění.

## 6 DISKUZE

Výsledky práce, kterých bylo pomocí výzkumných metod dosaženo, jsou v souladu se současným stavem poznání dané problematiky a potvrzují, že ponor na nádech, provedený po ukončeném přístrojovém ponoru, může za určitých okolností nejen zvýšit riziko vzniku dekompresní nemoci, ale také ji může reálně vyvolat.

Tuto skutečnost dokládá kauzální výzkum, ve kterém probandi odpovídali na dvacet šest otázek anonymního dotazníku. Na základě analýzy těchto odpovědí bylo zjištěno, že potápěč, který se věnuje oběma druhům potápění, tedy přístrojovému i nádechovému, nejčastěji splňuje následující kritéria:

- Muž.
- Věk 19 – 39 let.
- Potápěčské certifikace Open water diver nebo Dive master.
- 3 – 10 let zkušeností s přístrojovým potápěním.
- 5 – 20 let zkušeností s nádechovým potápěním.
- 50 – 999 přístrojových ponorů, maximální hloubka 31 – 40m, maximální čas ponoru 51 – 60min.
- 500 – 999 nádechových ponorů, maximální hloubka 21 – 30m, maximální čas ponoru 1 – 2min.
- Četnost sportovních aktivit 2x týdně.
- Index tělesné hmotnosti spadající do normální váhy.
- Provozování přístrojového potápění více než 20x za rok.
- Provozování nádechového potápění 2 – 20x za rok.

Na základě analýzy odpovědí tří probandů, u kterých došlo po vykonání nádechových ponorů po ukončeném přístrojovém potápění k manifestaci dekompresní nemoci, bylo zjištěno, že ani jeden z nich v mnoha ohledech nesplňuje tato kritéria. Probandi A a B splňují pouze věk, pohlaví, základní potápěčskou certifikaci Open water diver a částečně maximální hloubku nádechových ponorů, nicméně oba měli oproti průměru méně zkušeností s nádechovým i přístrojovým potápěním, celkově vykonali méně obou druhů ponorů s menší maximální dosaženou hloubkou, oba provozují sportovní aktivity pouze 0 – 1x týdně a oba trpí mírnou nadváhou. S těmito výsledky kontrastují odpovědi probanda C, který se téměř u všech odpovědí pohybuje na opačném spektru možností.

Je také muž, nicméně ve věku 40 – 49 let, dosažené profesionální potápěčské certifikace Dive instructor, věnující se přístrojovému i nádechovému potápění přes 20 let, v obou případech vykonal více než tisíc ponorů s maximální dosaženou hloubkou u přístrojového potápění přes 50m, u nádechového potápění v rozmezí 31 – 50m. Sportovním aktivitám věnuje prostor 5 – 6x týdně, index tělesní hmotnosti má na úrovni normální váhy.

Tyto tři případy dokládají skutečnost, že ke vzniku a rozvoji dekompresní nemoci může dojít stejně tak u málo zkušených jedinců s horší fyzickou kondicí, jako u pravidelně sportujícího a velmi zkušeného profesionálního potápěče. Na základě odpovědí těchto tří probandů z druhé části dotazníků, které reflektují konkrétní případy kombinování přístrojového a nádechového potápění a jsou podrobně zpracovány ve výsledcích této práce, bylo také zjištěno, že je-li tělo potápěče již saturováno inertním plynem do určité míry, pak může být kritická hranice úrovně dusíkového zatížení při vykonávání následných nádechových ponorů dosažena různými způsoby. Například po vykonání nemnoha hlubokých ponorů s delším povrchovým intervalem mezi jednotlivými ponory, či po vykonání více ponorů, při kterých sice není dosahováno takové hloubky, nicméně jsou vykonávány v rychlém sletu za sebou s poměrně krátkými povrchovými intervaly.

Tyto skutečnosti ilustrují komplexnost problematiky pobytu jedince v pro něj nepřírodném, hyperbarickém prostředí a potvrzují, že současná vědecko-technická úroveň nedokáže stoprocentně reflektovat veškeré aspekty, které jsou s touto expozicí lidského jedince v hyperbarickém prostředí spojené.

## **6.1 Limity studie**

Limitem studie byl bezesporu nízký počet účastníků kauzálního výzkumu. Přestože se v dnešní době těší přístrojové potápění i volné nádechové potápění značné oblibě, jedinců, kteří by se věnovali oběma druhům potápění a ještě by je kombinovali ve stejný den, není mnoho. Přestože se autor práce zabývá výzkumem více než pět let a aktivně se věnuje oběma druhům potápění po celém světě, a to i na profesionální úrovni, bylo získáno pouze třicet čtyři kontaktů na potápěče, kteří měli zkušenosti s kombinováním přístrojového a nádechového potápění ve stejný den. Ze třiceti čtyř odeslaných dotazníků, zkoumajících vztahy a příčiny mezi množstvím přístrojových a nádechových ponorů, jejich hloubkou, časem, povrchovým intervalem a mírou rizika

vzniku dekompresní nemoci, jich bylo řádně vyplněných a ve stanoveném časovém limitu odevzdaných třicet.

Z třiceti probandů, kteří kombinovali přístrojové a nádechové potápění ve stejný den, pociťovali určité zdravotní komplikace pouze tři z nich. Tyto zdravotní komplikace se dostavily po dokončení nádechových ponorů po předešlém přístrojovém potápění a ve všech případech jevíly známky dekompresní nemoci prvního stupně. Vyvozovat jakékoli závěry pouze na základě tří případů může být poměrně zavádějící a pochopitelně by bylo výrazně lepší, pokud by bylo k dispozici větší množství probandů, u kterých došlo k manifestaci dekompresní nemoci v souvislosti s kombinováním obou druhů potápění.

Na druhou stranu je potřeba si uvědomit, že vznik a rozvoj dekompresní nemoci je sám osobě velmi komplexním a vzácným jevem, v drtivé většině případů spojeným s výhradně přístrojovým potápěním. Je-li však vznik a rozvoj dekompresní nemoci pozorován nejen na základě přístrojového potápění, ale na základě provedených nádechových ponorech až po ukončení přístrojového potápění, jedná se o jev ještě nepoměrně vzácnější. V tomto kontextu se jeví data získaná ve třech případech od probandů, kteří prodělali dekompresní nemoc na základě kombinování obou druhů potápění, jako velmi cenná.

## **6.2 Problematika měření**

Dalším limitem této studie je problematika měření a stanovení přesných matematických hodnot. Jak bylo již několikrát zmíněno, jedinec, který se vyskytuje v hyperbarickém prostředí, je vystaven mnoha různým vnějším i vnitřním vlivům a faktorům, které určitým způsobem ovlivňují fyziologické procesy, které se v jeho organismu odehrávají. Například rychlost saturace organismu inertním plynem, hranice nástupu dusíkového opojení či hranice překročení maximálního možného tolerovaného množství inertního plynu a následná manifestace dekompresní nemoci, to vše jsou procesy, které budou u každého jedince probíhat odlišně a budou ovlivněny mnoha různými faktory od genetické predispozice až po míru hydratace a odpočinku jedince před ponorem.

Z tohoto důvodu není možné v souvislosti s přístrojovým a nádechovým potápěním ve všech případech aplikovat přesné matematické postupy. Pravidla a normy jsou obecně určována spíše na základě empiricko-prediktivních modelů. Také výstupní

data z kauzálního výzkumu nelze ve všech případech přesně matematicky vyjádřit. Především v souvislosti s manifestací dekompresní nemoci je nutné spoléhat na subjektivní pozorování probandů. Jen velmi těžko lze objektivně změřit a vyjádřit úroveň bolesti hlavy či definovat stupeň závažnosti závratí. Stejně těžko lze změřit a matematicky vyjádřit také úroveň saturace organismu jednotlivých potápěčů inertním plynem.

V souvislosti s úrovní saturace organismu inertním plynem (která je klíčová pro vznik a rozvoj dekompresní nemoci) by se nabízela určitá možnost pokračování v dalším výzkumu. Přestože není v současné době technicky možné tuto míru saturace přesně změřit a matematicky vyjádřit, je možné na základě fyzikálního principu Dopplerova jevu, který reflektuje změnu frekvence vlnění při nenulové vzájemné rychlosti vysílače a přijímače, detekovat bubliny inertního plynu v krevním řečišti. Tyto bubliny lze při použití Dopplerova přístroje detekovat na základě ultrazvukových paprsků, pro které představují při svém pohybu krevním řečištěm překážku v šíření zvuku. Slabinou této metody však zůstává skutečnost, že je Dopplerův přístroj schopen detekovat pouze heterochtonní plynové bubliny, tedy ty, které opouštějí místa svého vzniku a pohybují se krevním řečištěm. Nepohybující se autochtonní bubliny bohužel není možné touto formou detekovat. Další nevýhodu lze spatřovat v procesu vyhodnocení pozorovaného jevu. Přístroj detekuje překážky v šíření ultrazvukových paprsků formou zvuku, který je graficky znázornitelný na obrazovce, nicméně vyhodnocení závisí na zkušenosti pozorovatele.

### **6.3 Problematika stanovení přesných pravidel**

Na základě výše zmíněné komplikované problematiky měření se stejně komplikované jeví i stanovení přesných pravidel pro pobyt jedince v hyperbarickém prostředí v režimu částečně přístrojového a částečně nádechového potápění. Vzhledem k množství ovlivnitelných i neovlivnitelných faktorů, které na jedince při ponoru působí, je nezbytné uznat, že stanovit takováto pravidla, která by absolutně definovala hloubku, čas a povrchový interval, je prakticky nemožné. Každý potápěč je originál, s unikátní kombinací genetické výbavy, fyzické a psychické zdatnosti, tělesné konstituce, zkušeností, schopností a úrovně potápěčských dovedností. Výsledky kauzálního výzkumu potvrdily, že kombinování přístrojového a volného potápění může u jednoho potápěče zapříčinit vznik a rozvoj dekompresní nemoci, zatímco druhý

potápěč nebude pociťovat žádné zdravotní komplikace, přestože strukturoval ponory stejně či dokonce více zatěžujícím způsobem, než první potápěč. Proto byla pravidla bezpečného kombinování z části stanovena tak, aby zohledňovala schopnosti každého jednotlivého potápěče ve vztahu ke svojí maximální dosažené hloubce a maximálnímu času nádechového ponoru. Dalším limitem této práce je využitelnost stanovených postupů, které je možné uplatňovat pouze v nadmořských výškách 0 – 300m nad mořem.

#### **6.4 Smysl stanovení pravidel**

Výsledkem této rigorózní práce bylo navržení postupů a omezení pro bezpečné kombinování přístrojového a nádechového potápění ve stejný den. Smysl v sestavení těchto pravidel nespočívá v nabádání potápěčů ke kombinování přístrojového a volného potápění. Tato pravidla také nelze brát jako závazná a stoprocentně neomylná. Byly zaznamenány případy, kdy potápěči provedli bezchybně a velmi konzervativně přístrojový ponor, s dodržением všech obecně platných a mezinárodně uznávaných postupů bezpečného přístrojového potápění, a přesto u nich došlo k manifestaci nekompresní nemoci. Naopak jsou známy případy, kdy se jedinci pohybovali strukturou provedených ponorů daleko za hranicí bezpečného potápění, a přesto po ukončení ponoru nejevili jakékoli známky zdravotních komplikací. Ve světle těchto událostí je zřejmé, že výše sestavená pravidla bezpečného kombinování přístrojového a nádechového potápění je nutné vnímat spíše jako určitá doporučení a omezení pro potápěče, kteří se rozhodnou tyto dva druhy potápění ve stejný den kombinovat. Tato doporučení si kladou za cíl minimalizovat rizika spojená s vykonáváním nádechových ponorů po předešlém ukončeném přístrojovém potápění, v žádném případě však tato rizika nemohou eliminovat.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této rigorózní práce bylo odpovědět na výzkumnou otázku, má-li ponor na nádech, provedený po ukončení ponoru s přístrojem, vliv na zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci a sestavit systém vhodných doporučení a postupů pro bezpečné kombinování obou výše uvedených druhů potápění ve stejný den.

Na základě rešerše dostupných zdrojů bylo na výzkumnou otázku odpovězeno kladně. Tuto skutečnost potvrdil také výsledek kauzálního výzkumu, kde byl na základě statistické metody regresní analýzy na 10% hladině významnosti potvrzen vliv kombinování přístrojového a nádechového potápění na vznik dekompresní nemoci.

Byl navržen systém konkrétních doporučení a postupů pro bezpečné kombinování přístrojového a nádechového potápění ve stejný den, který reflektuje maximální dosaženou hloubku, čas ponoru a povrchové intervaly mezi jednotlivými ponory.

Vzhledem ke skutečnosti, že se problematikou kombinování přístrojového a nádechového potápění ve stejný den doposud zabývalo naprosté minimum domácích i zahraničních výzkumů, a prakticky neexistují přesná data, závazná pravidla či postupy, lze výsledek této práce považovat za přínosný, především pro domácí i zahraniční potápěčské komunity, které s ním budou seznámeny.

Limitem této práce byl nízký počet probandů, vzácnost zkoumaného jevu dekompresní nemoci, minimum existujících zdrojů reflektujících kombinování přístrojového a nádechového potápění a komplexnost problematiky pobytu lidského jedince v hyperbarickém prostředí. Na navržený systém postupů pro bezpečné kombinování obou výše uvedených druhů potápění ve stejný den nelze tedy nahlížet jako na obecně platná a závazná pravidla, spíše jako na určitá doporučení a omezení, která mají za cíl minimalizovat potenciální rizika spojená s kombinováním obou druhů potápění.

Bylo by bezesporu velmi zajímavé v tomto výzkumu pokračovat a pokusit se přispět k vytvoření, je-li to vůbec možné, obecně uznávaných pravidel a postupů (jako např. v případě přístrojového potápění) pro bezpečné kombinování přístrojového a nádechového potápění ve stejný den. Takovýto výzkum by však vyžadoval stovky experimentálních ponorů a kladl by nemalé nároky na personální, materiální i technické

zajištění, které zdaleka přesahují možnosti jednotlivce. Takovýto výzkum by mohl být pravděpodobně proveden pouze pod záštitou jedné z velkých nadnárodních potápěčských organizací.

Autor práce v žádném případě nikoho nenabádá ke kombinování přístrojového a nádechového potápění. Tato práce si klade za cíl poskytnout potápěčům, kteří se rozhodnou kombinovat oba druhy potápění ve stejný den, konkrétní doporučení a omezení, která povedou k minimalizaci potenciálních rizik z těchto aktivit vyplívajících. Je potřeba brát na vědomí, že přístrojové i nádechové potápění jsou rizikovými sporty, a že i v případě bezchybného dodržení všech obecně uznávaných pravidel a předpisů může vést pobyt jedince v hyperbarickém prostředí k trvalému poškození organismu a v krajním případě až ke smrti.



## SEZNAM LITERATURY

ARIELI, R. Taravana, vestibular decompression illness, and autochthonous distal arterial bubbles. *Respiratory Physiology & Neurobiology* [online]. 2019 [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S156990481830257X>.

AQUILA, I., PEPE, F. et al. Scuba diving death: Always due to drowning? Two forensic cases and a review of the literature. *Medico-Legal Journal* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0025817217734481>.

ARVIDSSON, J. *Diving equipment: choice, maintenance and function*. Oxford: Dived up publications, 2016. ISBN 978-1-909455-13-9.

BARANOVA, T., BERLOV, D. et al. Genetic determination of the vascular reactions in humans in response to the diving reflex. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpheart.00080.2016>.

BRUBAKK, O.A., NEUMANN, S.T. *Physiology and medicine of diving*. Philadelphia: Saunders Ltd., 2003. ISBN 978-0702-0257-16.

BUZZACOTT, P., DENOBLE, P.J. Possible central nervous system oxygen toxicity seizures among US recreational air or enriched air nitrox open circuit diving fatalities 2004–2013. *Brain Injury* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02699052.2016.1255781>.

CASADESÚS, J.M., AGUIRRE, F. et al. Diving-related fatalities: multidisciplinary, experience-based investigation. *Forensic Science, Medicine and Pathology* [online]. 2019, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12024-019-00109-2>.

CIALONI, D. et al. Flying after diving: in-flight echocardiography after a scuba diving week. *Aviation, space, and environmental medicine*, 2014, s. 993-998.

COLWELL, Keith. *RYA jak přežít na moři*. Brno: Asociace PCC (APC), 2012. ISBN 978-80-904360-8-4.

CORTEGIANI, A., FORESTA, G. et al. An Atypical Case of Taravana Syndrome in a Breath-Hold Underwater Fishing Champion: A Case Report. *Case Reports in Medicine*

[online]. 2013, [cit.2020-07-12]. Dostupné z:  
<http://www.hindawi.com/journals/crim/2013/939704>.

DE BRAUWER, M., SAUNDERS, J.B. et al. Time to stop mucking around? Impacts of underwater photography on cryptobenthic fauna. *Journal of Environmental Management* [online]. 2018, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479718304298>.

DENOBLE, J. P., BUZZACOTT, P. *DAN annual diving report*. Durham: NC Divers aletr network, 2018. ISBN 978-1-941027-79-0.

DESIDERATI, M.B. *A pictorial history of diving*. New York: Best Pub Co., 1988. ISBN 978-094-133-2095.

DIMMOCK, K., MUSA, G. *Scuba diving tourism*. New York: Routledge, 2013. ISBN 978-0-203-12101-6.

DOBEŠ, D. *Přístrojové potápění: praktická příručka pro každého potápěče*. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0700-0.

DVOŘÁKOVÁ, Z., SVOZIL, Z. *Potápění: základy potápění, výcvik a vybavení, potápěčské sporty*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1100-1.

EICHHORN, L., LEYK, D. Diving Medicine in Clinical Practice. *Deutsches Aerzteblatt Online* [online]. 2015 [cit. 2020-07-12]. Dostupné z:  
<https://www.aerzteblatt.de/10.3238/arztebl.2015.0147>.

EISENMANN, J. *Potápění: potápěčská technika pro každého*. Praha: Gnóm, 1997. ISBN 80-85460-05-X.

FARMERY, S., SYKES, O. Neurological oxygen toxicity. *Emergency Medicine Journal* [online]. 2012, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z:  
<http://emj.bmj.com/lookup/doi/10.1136/emmermed-2011-200538>.

FERRETTI, G. Extreme human breath-hold diving. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2001, 254-271 [cit. 2020-07-12]. Dostupné z:  
<http://link.springer.com/10.1007/s004210000377>.

GLAZER, T., TELIAN, S. Otologic Hazards Related to Scuba Diving. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach* [online]. 2016, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1941738116631524>.

GILLIAM, B. *Diving pioneers and innovators*. Jacksonville: New World Publications, 2007. ISBN 978-1878-3484-25.

GOLDMAN, S., SOLANO-ALTAMIRANO, J.M. Decompression sickness in breath-hold diving, and its probable connection to the growth and dissolution of small arterial gas emboli. *Mathematical Biosciences* [online]. 2015, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025556415000024>.

HEITHAUS, M.R., FRID, A. Optimal diving under the risk of predation. *Journal of Theoretical Biology* [online]. 2003, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022519303000730>.

HUCHIM-LARA, O., CHIN, W. et al. Decompression sickness among diving fishermen in Mexico. *Undersea and Hyperbaric Medicine* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.uhms.org/publications/uhm-journal/download-uhm-journal-pdfs.html?task=document.viewdoc&id=1529>.

HOLUBOVÁ, R., RICHTEREK, L. *Fyzika III*. Olomouc: Prodos, 2014. ISBN 978-80-7230-290-1.

HUTŇAN, D., HOCHMUTH, Z. et al. *Cave diving manual*. Praha: IANTD Central Europe, s.r.o. Nakladatelství Galén, 2018. ISBN 978-80-7492-390-6.

JACKSON, J. *Potápění k vrakům celého světa*. Praha: Svojtka & Co., 2008. ISBN 978-80-7352-707-5.

KÄSINGER, H., MUNZINGER, P. *Šnorchlování*. České Budějovice: Kopp, 2004. ISBN 80-7232-230-3.

KINDWALL, P.E. *A short history of diving and diving medicine*. Philadelphia: WB Saunders, 1990. ISBN 0-7216-2934-2.

KNOWLES, J. *Jacques Cousteau: Conservation heroes*. Chelsea: Chelsea House Publishers, 2011. ISBN 978-1604-1394-71.

- KOVACS, CH., BUZZACOTT, P. Self-reported exercise behaviour and perception of its importance to recreational divers. *International Maritime Health* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: [https://journals.viamedica.pl/international\\_maritime\\_health/article/view/50710](https://journals.viamedica.pl/international_maritime_health/article/view/50710).
- LEMAITRE, F., FAHLMAN, A. et al. Decompression sickness in breath-hold divers: A review. *Journal of Sports Sciences* [online]. 2009, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640410903121351>.
- LECHNER, M., SUTTON, L. et al. Otorhinolaryngology and Diving-Part 1: Otorhinolaryngological Hazards Related to Compressed Gas Scuba Diving. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery* [online]. 2018, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://archotol.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jamaoto.2017.2617>
- LINDER, N., SIMHA, P. *Freediving*. Praha: IFP Publishing, 2015. ISBN 978-80-87383-45-2.
- LUKEŠ, J., SKOUMAL, D. *Advanced open water diver manuál*. Praha: IANTD Central Europe, 2008.
- MARX, F.R. *The history of underwater exploration*. Dover: Dover publishing, 1990. ISBN 978-0486-2648-75.
- KOJIMA, Y., KOJIMA, A. et al. Recreational diving-related injury insurance claims among Divers Alert Network Japan members. *Diving and Hyperbaric Medicine Journal* [online]. 2020, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://www.dhmjournal.com/index.php/journals?id=71>
- KRAUS, I. *Fyzika: encyklopedie velkých objevů a osobností*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06700-0.
- MOON, E.R. *Hyperbaric oxygen therapy indications*. New York: Best publishing. 2019. ISBN 978-1-947239-16-6.
- MORAIS, J., MEDEIROS, A. et al. Research gaps of coral ecology. *Marine Environmental Research* [online]. 2018, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141113618303532>.

NÉRY, G. *Hlubiny: život bez dechu na hranicích lidských možností*. Praha: XYZ, 2019. ISBN 978-80-7597-529-4.

NORTON, T. *Hvězdy pod mořem: vyjíměčné životy průkopníků potápění*. Praha: BB art, 2004. ISBN 80-7341-154-7.

NOVOMESKÝ, F. *Potápěčská medicína*. Martin: Osveta, 2013. ISBN 978-80-8063-397-4.

PAPADOPOULOU, V., GERMONPRÉ, P. et al. Variability in circulating gas emboli after a same scuba diving exposure. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2018, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-018-3854-7>.

PELLIZZARI, U., TOVAGLIERI, S. *Manual of freediving*. Napoli: Idelson Gnocchi Pub, 2004. ISBN 978-1928-6492-74.

RUSSI, E. W. Diving and the risk of barotrauma. *Thorax* [online]. 1998, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://thorax.bmj.com/cgi/doi/10.1136/thx.53.2008.S20>.

RUSOKE-DIERICH, O. *Diving medicine*. New York: Springer, 2018. ISBN 978-3319-7383-52.

SCHELLART, N. Contrast Sensitivity of Air-Breathing Nonprofessional Scuba Divers at a Depth of 40 Meters. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 2016, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.2466/pms.1992.75.1.275>.

SCHINCK, A., SCHINCK, P. *Potápění: výstroj, rizika, potápěčské kurzy*. Čestlice: Rebo, 2007. Teorie & praxe. ISBN 978-80-7234-704-9.

SCHIPKE, J.D., GAMS, E. et al. Decompression Sickness Following Breath-hold Diving. *Research in Sports Medicine* [online]. 2006, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15438620600854710>.

SHI, Z. Research on Nitrogen-Oxygen Saturation Diving with Repetitive Excursions. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science* [online]. 2000, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/jpa/19.101?from=CrossRef>.

SUN, Q., GAO, G. Decompression Sickness. *New England Journal of Medicine* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMicm1615505>.

SKOLNICK, A. *Na jeden nádech: volné potápění, smrt a touha pokořit hranice lidských možností*. Přeložil Jakub FUTERA. Brno: Jota, 2017. ISBN 978-80-7462-992-1.

TERJUNG, R. *Comprehensive Physiology* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011, [cit. 2020-07-12]. ISBN 9780470650714.

TETZLAFF, K., THOMAS, P. Short and long term effects of diving on pulmonary function. *European Respiratory Review* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://err.ersjournals.com/lookup/doi/10.1183/16000617.0097-2016>.

TRAINITO, E., AMSLER, K. *Podmořské divy světa: nejlepší místa k potápění*. Praha: Ottovo nakladatelství, 2004. ISBN 80-7181-126-2.

VAN WIJK, CH., MARTIN, J. et al. Diving under the influence: issues in researching personality and inert gas narcosis. *International Maritime Health* [online]. 2017, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: [https://journals.viamedica.pl/international\\_maritime\\_health/article/view/48821](https://journals.viamedica.pl/international_maritime_health/article/view/48821).

VIRT, R. *Manuál IANTD Advanced EANx diver*. Praha: IANTD Central Europe s.r.o., 2013.

WILLIAMS, M. *Deep sea treasure*. Portsmouth: Heinemann, 1981. ISBN 978-0434-8666-01.

WHAYNE, T.F. Medical Management and Risk Reduction of the Cardiovascular Effects of Underwater Diving. *Current Vascular Pharmacology* [online]. 2018, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://www.eurekaselect.com/153479/article>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

### Seznam obrázků

Obrázek 1 Procentuální zastoupení jednotlivých plynů ve vzduchu .....	23
Obrázek 2 Odpovědi probandů na otázky strukturovaného dotazníku.....	52
Obrázek 3 Výsledky jednotlivých regresí.....	66

### Seznam grafů

Graf 1 Pohlaví probandů – otázka č. 1.....	53
Graf 2 Věk probandů – otázka č. 2 .....	54
Graf 3 Úroveň potápěčské certifikace – otázka č. 3 .....	54
Graf 4 Doba provozování přístrojového potápění – otázka č. 4 .....	55
Graf 5 Doba provozování nádechového potápění – otázka č. 5 .....	55
Graf 6 Celkový počet přístrojových ponorů – otázka č. 6 .....	56
Graf 7 Celkový počet nádechových ponorů – otázka č. 7 .....	56
Graf 8 Maximální dosažená hloubka u přístrojového potápění – otázka č. 8.....	57
Graf 9 Maximální dosažená hloubka u nádechového potápění – otázka č. 9.....	57
Graf 10 Maximální doba přístrojového ponoru – otázka č. 10 Zdroj: Autor.....	58
Graf 11 Maximální doba nádechového ponoru – otázka č. 11 .....	58
Graf 12 Četnost sportovních aktivit – otázka č. 12.....	59
Graf 13 Index tělesné hmotnosti – otázka č. 13.....	59
Graf 14 Četnost přístrojového potápění – otázka č. 14.....	60
Graf 15 Četnost nádechového potápění – otázka č. 15.....	60
Graf 16 Počet přístrojových ponorů před nádechovým potápěním – otázka č. 16.....	62
Graf 17 Maximální hloubka přístrojových ponorů před nádechovým potápěním – otázka č. 17.....	62
Graf 18 Povrchový interval mezi přístrojovým a nádechovým potápěním – otázka č. 18 .....	63
Graf 19 Hloubka nádechových ponorů po přístrojovém potápění – otázka č. 19 .....	63
Graf 20 Počet nádechových ponorů po přístrojovém potápění – otázka č. 20 .....	64
Graf 21 Povrchový interval mezi nádechovými ponory – otázka č. 21 .....	64
Graf 22 Zdravotní komplikace pozorované po ukončení nádechových ponorů – otázka č. 22.....	65

# PŘÍLOHY

## Příloha 1 – Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

### Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

**Název projektu:** Fyziologické rozdíly a možná rizika při potápění s přístrojem a na nádech

**Forma projektu:** výzkumná práce - rigorózní práce

**Období realizace:** září 2020 - prosinec 2020

**Předkladatel:** Mgr. Tomáš Flodr MBA, UK FTVS, oddělení technických sportů

**Hlavní řešitel:** Mgr. Tomáš Flodr MBA, UK FTVS, oddělení technických sportů

**Místo výzkumu (pracoviště):** elektronické dotazování

**Spoluřešitel(é):** -

**Vedoucí práce (v případě studentské práce):** Ing. Mgr. Miloš Fiala, Ph.D.

**Finanční podpora:** -

**Popis projektu:** Projekt se bude zabývat popisem možných rizik a fyziologických rozdílů při potápění s přístrojem a volném potápění na nádech. Cílem bude snaha zjistit, může-li ponor na nádech provedený po ponoru s přístrojem mít vliv na případné zvýšení rizika vzniku dekompressní nemoci. Účastníci budou do projektu zapojeni pouze formou anonymních dotazníků, kdy budou odpovídat na otázky související s jejich již dříve prožitými zkušenostmi. Dotazník bude zaslán pomocí e-mailu. Otázky nebudou zjišťovat žádná citlivá data.

**Charakteristika účastníků výzkumu:**

Předpokládaný počet účastníků: cca. 25 - 35. Věk účastníků mezi 18 – 55 lety, muži i ženy. Všichni certifikováni potápěči minimálně Open Water diver. Všichni účastníci výzkumu jsou buďto bývalí kolegové autora projektu, nebo potápěči, se kterými se v minulosti autor potápěl. Všichni budou kontaktováni přes e-mail, který si s autorem projektu v minulosti vyměnili.

**Zajištění bezpečnosti:**

Vzhledem ke skutečnosti, že účastníci výzkumu pouze odpoví na anonymní dotazník, který se týká jejich již dříve prožitých zkušeností, není potřeba jakkoli zajišťovat bezpečnost. Rizika prováděného průzkumu nebudou vyšší než rizika běžně očekávaná u tohoto typu výzkumu.

**Etické aspekty výzkumu:** Žádné vulnerabilní skupiny ani jednotlivci nejsou do výzkumu zahrnuti.

**Potenciální střet zájmů:** Předkladatel této práce, ani ostatní účastníci neprovádějí tento výzkum pro žádnou organizaci. Výzkumník, ani nikdo zúčastněný, nemá soukromý zájem na výsledku výzkumu. Výsledek výzkumu nemůže žádným způsobem vést k osobnímu prospěchu a nemůže ohrozit integritu a důvěryhodnost výzkumu. Výzkum je motivován výlučně láskou ke sportu a potápění.

**Ochrana osobních dat:** Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: e-mailová adresa, věk, pohlaví, úroveň potápěčské odbornosti, počet ponorů, které budou bezpečně uchovány v heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít pouze předkladatel žádosti. Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotliví účastníci nebyli rozpoznatelní v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 1 dne po testování anonymizována. Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v rigorózní práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

**Požíování fotografií/videí/audio nahrávek účastníků:**

Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie, audionahrávky ani videozáznam

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

**Text informovaného souhlasu (IS):** zjednodušený IS ve formě úvodu k dotazníku přiložen.

Povinností všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.



UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešleslavín

Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 17. 9. 2020

Podpis předkladatele: 

Datum a podpis odpovědného pracovníka z místa výzkumu:

### Vyjádření Etické komise UK FTVS

**Složení komise: Předsedkyně:** doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.  
**Členové:** prof. MUDr. Jan Heller, CSc.                      Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.  
                  prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.              Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D.  
                  PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.                      MUDr. Simona Majorová


Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: ..... 144/2020

dne: ..... 18. 9. 2020

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a **neshledala rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

**Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise UK FTVS.**

**UNIVERZITA KARLOVA**  
**Fakulta tělesné výchovy a sportu**  
**Josef Martího 31, 162 52, Praha 6**  
- 20 -

  
podpis předsedkyně EK UK FTVS

## Příloha 2 – Zjednodušený informovaný souhlas pro dotazníky

### Zjednodušený informovaný souhlas pro dotazníky

Dobrý den, jmenuji se Tomáš Flodr, jsem absolventem Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy. V současné době jsem profesionální potápěč IANTD. Ve své rigorózní práci se věnuji problematice přístrojového a volného potápění a prosím Vás o vyplnění dotazníku zjišťujícího, může-li ponor na nádech provedený po ponoru s přístrojem mít vliv na případné zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci. Vyplnit dotazník by Vám mělo zabrat maximálně 10 minut. Dotazník prosím zašlete na e-mail [flodrtom@seznam.cz](mailto:flodrtom@seznam.cz) nejpozději do 6.10.2020. Získaná data budou zpracována, publikována a uchována v anonymní podobě, budou využita pro výzkum na UK FTVS a ochráněna před jiným užitím. S výsledky studie se můžete seznámit na emailové adrese: [flodrtom@seznam.cz](mailto:flodrtom@seznam.cz). Vyplněním a odevzdáním dotazníku potvrzujete, že dobrovolně souhlasíte se svojí účastí v této výzkumné studii, o které jste byl/a informován/a, jakož i o právu odmítnout účast nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS. Předem děkuji za Vaši ochotu a spolupráci.

## Příloha 3 – Dotazník česká verze

### Dotazník

#### Fyziologické rozdíly a možná rizika při potápění s přístrojem a na nádech

Dobrý den, jmenuji se Tomáš Flodr, jsem absolventem Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy. V současné době jsem profesionální potápěč IANTD. Ve své rigorózní práci se věnuji problematice přístrojového a volného potápění a prosím Vás o vyplnění dotazníku zjišťujícího, může-li ponor na nádech provedený po ponoru s přístrojem mít vliv na případné zvýšení rizika vzniku dekompresní nemoci. Vyplnit dotazník by Vám mělo zabrat maximálně 10 minut. Dotazník prosím zašlete na e-mail [flodrtom@seznam.cz](mailto:flodrtom@seznam.cz) nejpozději do 6.10.2020. Získaná data budou zpracována, publikována a uchována v anonymní podobě, budou využita pro výzkum na UK FTVS a ochráněna před jiným užitím. S výsledky studie se můžete seznámit na emailové adrese: [flodrtom@seznam.cz](mailto:flodrtom@seznam.cz). Vyplněním a odevzdáním dotazníku potvrzujete, že dobrovolně souhlasíte se svojí účastí v této výzkumné studii, o které jste byl/a informován/a, jakož i o právu odmítnout účast nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS. Předem děkuji za Vaši ochotu a spolupráci.

Vysvětlivky a pokyny k vyplnění dotazníku:

U každé otázky zaškrtněte vždy pouze jednu možnost, pouze u otázky 23 je možné zaškrtnout více možností. SCUBA – reprezentuje potápění s přístrojem, FREEDIVE – reprezentuje volné potápění na nádech.

#### První část dotazníku - obecné informace

##### 1)Pohlaví:

- muž  
 žena

##### 2)Věk:

- méně než 18  
 19-29  
 30-39  
 40-49  
 50-60  
 více než 60

##### 3)Dosažená certifikace:

- Open water diver  
 Advanced OWD  
 Rescue diver  
 Dive master  
 Dive instructor a vyšší

##### 4)Kolik lete se věnujete SCUBA potápění:

- méně než rok  
 1-3 roky  
 3-5 let  
 5-10 let  
 10-20 let  
 více než 20 let

##### 5)Kolik lete se věnujete FREEDIVE potápění:

- méně než rok  
 1-3 roky  
 3-5 let  
 5-10 let  
 10-20 let  
 více než 20 let

##### 6)Počet ponorů SCUBA:

- méně než 50  
 50-99  
 100-499  
 500-999  
 1000 a více

**7)Počet ponorů FREEDIVE:**

- méně než 50
- 50-99
- 100-499
- 500-999
- 1000 a více

**8)Maximální dosažená hloubka SCUBA:**

- méně než 20m
- 20m-30m
- 31m-40m
- 41m-50m
- více než 50m

**9)Maximální dosažená hloubka FREEDIVE:**

- méně než 10m
- 10m-20m
- 21m-30m
- 31m-50m
- více než 50m

**10)Maximální doba ponoru SCUBA:**

- méně než 30min
- 30min-40min
- 41min-50min
- 51min-60min
- více než 60min

**11)Maximální doba ponoru FREEDIVE:**

- méně než 30s
- 30s-1min
- 1min-2min
- 2min-3min
- 3min-4min
- více než 4 min

**12)Kolikrát týdně se zpravidla věnujete sportovním aktivitám:**

- 1x
- 2x
- 3x-4x
- 5x-6x
- více než 7x

**13)Do jaké kategorie spadá Váš index tělesné hmotnosti:**

- podváha
- normální váha
- nadváha
- mírné obezita
- těžká obezita

**14)Kolikrát za rok se věnujete SCUBA potápění:**

- 1x
- 2x-5x
- 6x-10x
- 10x-20x
- více než 20x

**15)Kolikrát za rok se věnujete FREEDIVE potápění:**

- 1x
- 2x-5x
- 6x-10x
- 10x-20x
- více než 20x

**Druhá část dotazníku - kombinování SCUBA a FREEDIVE potápění**

**16)Kolik SCUBA ponorů za den jste provedl/a před FREEDIVE potápěním:**

- 1
- 2
- 3
- 4 a více

**17)Maximální hloubka těchto SCUBA ponorů:**

- méně než 20m
- 21m-30m
- 31m-40m
- 41m-50m
- více než 50m

**18)Jak dlouhý byl povrchový interval mezi posledním SCUBA a prvním FREEDIVE ponorem:**

- méně než 15 min
- 15min-30min
- 30min-1hod
- 1hod-2hod
- 2hod-5hod

**19)Maximální dosažená hloubka u FREEDIVE ponorů po SCUBA potápění:**

- méně než 10m
- 11m-20m
- 21m-30m
- 30m-50m
- více než 50m

**20)Celkový počet FREEDIVE ponorů po SCUBA potápění:**

- 1
- 2-3
- 4-5
- 6-10
- více než 10

**21)Povrchový interval mezi jednotlivými FREEDIVE ponory po SCUBA potápění:**

- méně než 1min
- 1min-5min
- 6min-10min
- 11min-30min
- více než 30min

22) Pozoroval/a jste po dokončení FREEDIVE ponorů po předešlém SCUBA potápění nějaké zdravotní komplikace:

- ano  
 ne

25) Byla potřeba léčba formou pobytu v dekompresní komoře:

- ano  
 ne

23) Pokud ano, jaké komplikace jste pozoroval/a:

- kožní vyrážka  
 bolest hlavy  
 nevolnost  
 křeče  
 bolest svalů a kloubů  
 závratě  
 znecitlivění či brnění  
 Jiné.....

26) Pozorujete v souvislosti s výše uvedenými zdravotními komplikacemi jakékoli trvalé následky:

- ano  
 ne

24) Byla Vám poskytnuta první pomoc:

- ano  
 ne

## Příloha 4 – Dotazník anglická verze

### Questionnaire

#### Physiological differences and potential risks while scuba diving and freediving

Good day, my name is Tomas Flodr, I am a Faculty of physical education and sport of Charles University graduate. Currently I am a professional IANTD scuba diver. My rigorous thesis is focused on combining scuba diving and freediving on the same day. Please fill this questionnaire which focuses on searching conclusion, whether freedive performed after dive using self-contained underwater breathing apparatus may potentially increase the risk of decompression sickness. To fill this questionnaire should be a matter of 10 minutes. Filled questionnaire please send to e-mail address [flodrtom@seznam.cz](mailto:flodrtom@seznam.cz) before October 6, 2020. Acquired data will be stored and published in anonymous way and will be used for FTVS UK research only and protected against any misuse. You can obtain the results of this study at e-mail: [flodrtom@seznam.cz](mailto:flodrtom@seznam.cz). By filling and sending of this questionnaire you confirm, that you voluntarily agree with your participation in this study. You have the right to refuse any time your participation in this study without any repression by informing the ethic committee of FTVS UK, only in a written form. Thank you for your collaboration.

Instructions:

*Every question is to be marked with only one answer. Question 23 may have more answers. SCUBA – represents diving using self-contained underwater breathing apparatus, FREEDIVE – represents freediving.*

#### First part – basic information:

##### 1)Sex:

- Male
- Female

##### 2)Age:

- under 18
- 19-29
- 30-39
- 40-49
- 50-60
- over 60

##### 3)Certification level:

- Open water diver
- Advanced OWD
- Rescue diver
- Dive master
- Dive instructor and higher

##### 4)How many years have you been SCUBA diving:

- less than 1 year
- 1-3 years
- 3-5 years
- 5-10 years
- 10-20 years
- over 20 years

##### 5) How many years have you been freediving:

- less than 1 year
- 1-3 years
- 3-5 years
- 5-10 years
- 10-20 years
- over 20 years

##### 6) Number of SCUBA dives:

- less than 50
- 50-99
- 100-499
- 500-999
- over 1000

**7)Number of freedives:**

- less than 50
- 50-99
- 100-499
- 500-999
- over 1000

**8)Max reached depth SCUBA:**

- less than 20m
- 20m-30m
- 31m-40m
- 41m-50m
- over 50m

**9) Max reached depth FREEDIVE:**

- less than 10m
- 10m-20m
- 21m-30m
- 31m-50m
- over 50m

**10)Max length of SCUBA dive:**

- less than 30min
- 30min-40min
- 41min-50min
- 51min-60min
- over 60min

**11) Max length of FREEDIVE:**

- less than 30s
- 30s-1min
- 1min-2min
- 2min-3min
- 3min-4min
- over 4 min

**12)How many times a week do you usually practice sport:**

- 1x
- 2x
- 3x-4x
- 5x-6x
- more than 7x

**13)What is your body mass index:**

- underweight
- normal weight
- overweight
- mild obesity
- severe obesity

**14)How many times a year do you practice SBUBA:**

- 1x
- 2x-5x
- 6x-10x
- 10x-20x
- more than 20x

**15) How many times a year do you practice freediving:**

- 1x
- 2x-5x
- 6x-10x
- 10x-20x
- more than 20x

**Second part –  
Combining of scuba and freediving**

**16)How many SCUBA dives have you made during the day before freediving:**

- 1
- 2
- 3
- 4 and more

**17)Max depth of these SCUBA dives:**

- méně než 20m
- 21m-30m
- 31m-40m
- 41m-50m
- více než 50m

**18)How long was the surface interval before last scuba dive and first freedive:**

- méně než 15 min
- 15min-30min
- 30min-1hour
- 1hour-2hour
- 2hour-5hour

**19)Max depth of freedives performed after scuba diving:**

- less than 10m
- 11m-20m
- 21m-30m
- 30m-50m
- over 50m

**20)Total number of freedives performed after scuba diving:**

- 1
- 2-3
- 4-5
- 6-10
- over 10

**21)Surface interval between these freedives performed after scuba diving:**

- less than 1min
- 1min-5min
- 6min-10min
- 11min-30min
- over 30min

**22)Have you noticed after free dives performed after finished scuba diving any health issues:**

- yes
- no

**23)If yes, which health issues have you noticed:**

- skin rash
- headache
- nausea
- cramps
- muscle or joint pain
- vertigo
- numbness or prickliness
- other.....

**24)Have you obtained any first aid treatment:**

- yes
- no

**25)Was a hyperbaric chamber treatment necessary:**

- yes
- no

**26)Do you feel any enduring consequences connected to these health issues suffered:**

- yes
- no