



Fizika potapljanja – avtonomija potopa

Bodoče potapljače ali zgolj slučajne sogovornike pogosto zanima, koliko časa lahko potapljač ostane pod vodo. To je eno najpomembnejših vprašanj za zagotavljanje varnega potapljanja. Odgovor nanj ni enoličen in je odvisen od mnogih dejavnikov. Najpomembnejši so **velikost jeklenke, globina potopa in potapljačeva poraba zraka**. Izračun avtonomije jeklenke, kot se v potapljaškem jeziku temu reče, je ena osnovnih nalog na vsakem potapljaškem tečaju, ne glede na kategorijo ali potapljaško šolo. Vseeno pa si oglejmo nekaj osnovnih izračunov in zakonitosti.

dr. Mitja Slavinec  Foto: dr. Mitja Slavinec

Povprečna poraba zraka

Pri izračunu dolžine potopa (avtonomija jeklenke) običajno privzamemo, da potapljač pri umirjenem plavanju na vodni površini porabi v povprečju **20 litrov zraka na minuto**. To je seveda le povprečna ocena, ki pa v mnogih primerih dobro velja. V resnici se dejanska poraba zraka razlikuje od potapljača do potapljača. Na porabo v veliki meri

vplivajo tudi okoliščine potopa, kot so fizični napor (npr. plavanje proti toku ali kakšna podvodna opravila), temperatura in podobno. V teh primerih se poraba lahko tudi podvoji ali celo potroji. Prav tako je pri začetnikih poraba zraka običajno večja kot pri izkušenih potapljačih, ki dihajo bolj umirjeno in enakomerno. Izkušeni potapljači manj zraka pretočijo tudi skozi kompenzator plovnosti.

Pri izračunu moramo upoštevati, da potapljač pod vodo **dihaja zrak pri tlaku, ki je enak tlaku okolice**. Tlak v vodi narašča z globino in se **vsakih 10 m poveča za 1 bar**. Temu je treba dodati še normalni zračni tlak, ki je na morju približno 1 bar. Tako je npr. na globini 20 m tlak 3 bare (1 bar zračnega tlaka + 2 bara vodnega tlaka).

Ekvivalentna prostornina

Računanje ekvivalentne prostornine je pripomoček, s katerim si olajšamo izračun. Prostornino zraka, ki ga potapljač pod vodo diha, preračunamo na prostornino, ki bi jo ta zrak imel na površini pri normalnem zračnem tlaku 1 bar. Enako naredimo tudi s prostornino zraka v jeklenki.

Če potapljač npr. na globini 20 m vdihne 4 litre zraka, bi ta zrak na površini imel

prostornino 12 litrov (4 litre pomnožimo s 3, ker je tlak na globini 20 m trikrat večji kot na površini). Ekvivalentna prostornina 4 litrov zraka na globini 20 m je torej 12 litrov. Podobno je ekvivalentna prostornina zraka v 15-litrski jeklenki, napolnjeni do tlaka 200 barov, enaka 3000 litrov (15 l pomnožimo z 200). Pri načrtovanju rekreativnega potopa velja pravilo, da je četrtnina razpoložljivega zraka namenjena za **rezervo**. V spodnji tabeli podajamo: ekvivalentne prostornine zraka v jeklenkah tipičnih dimenzij, napolnjenih do tlaka 200 barov, s koliko zraka razpolagamo pri načrtovanju potopa (od 200 barov odštejemo 50 barov rezerve) in koliko časa v povprečju bi s tem zrakom lahko dihali na površini, na globini 10 m in na globini 20 m (pri povprečni porabi 20 l/min).

Varnostna dekompresija

Po vsakem potopu je predpisan varnostni postanek 3 minute na globini od 3 do 5 metrov, kar imenujemo **varnostna dekompresija**. Izračunajmo, koliko zraka pri tem potapljač porabi. Izračunajmo ekvivalentno prostornino porabljenega zraka za 3-minutni postanek na globini 5 m: $20 \text{ l/min} \cdot 3 \text{ min} \cdot 1,5 = 90 \text{ l}$. Ekvivalentna prostornina zraka, ki ga potapljač porabi med varnostno dekompresijo, je približno 90 litrov. V 12-litrski jeklenki bi se zaradi tega tlak zmanjšal za 7,5 bara ($90 / 12 = 7,5$). Nič pa ni narobe, če med varnostno dekompresijo podihamo nekoliko več zraka in s tem učinkoviteje izločimo čimveč dušika. Gornji rezultat



velikost jeklenke	ekvivalentna prostornina pri 200 barih	ekvivalentna prostornina pri 150 barih	čas dihanja na površini	čas dihanja na 10 m	čas dihanja na 20 m
10 l	2.000	1.500	75 min	37 min	25 min
12 l	2.400	1.800	90 min	45 min	30 min
15 l	3.000	2.250	112 min	56 min	37 min
18 l	3.600	2.700	135 min	67 min	45 min

Tabela 1: Ekvivalentne prostornine in možni časi dihanja na različnih globinah za jeklenke tipičnih velikosti 10, 12, 15 in 18 litrov, ki se pri potapljanju najpogosteje uporabljajo. V prvem stolpcu je velikost jeklenke, v drugem je ekvivalentni volumen vsega zraka, v tretjem ekvivalentni volumen zraka, ki ga imamo na razpolago (odšteti je 50 barov rezerve), in v zadnjih kolonah še povprečen čas dihanja na globinah 10 m in 20 m.

Iz gornje tabele vidimo, da se razpoložljivi čas z naraščajočo globino drastično krajša.



zato lahko posplošimo v eno od zlatih pravil potapljanja:

Varnostni postanek naj traja vsaj toliko časa, da tlak v jeklenki pade za 10 barov.

Avtonomija jeklenke

Kot primer si oglejmo, koliko časa se potapljač z 12-litrsko jeklenko lahko potaplja na globini 20 m.

Največja dovoljena hitrost dvigovanja je 10 m na minuto. Pri izračunu ekvivalentne prostornine uporabimo **tlak na polovični globini** (20 m / 2 = 10 m), **2 bara**, kar je v bistvu povprečen tlak (na globini 20 m je tlak 3 bare, na površini je tlak 1 bar, povprečje je 2 bara). Iz globine 20 m se bo potapljač dvigoval 2 minuti, pri čemer bo porabil 80 litrov zraka (20 l/min * 2 min * 2 = 80 l). Enako količino zraka porabi za spust,

k čemur dodajmo še 120 litrov za varnostno dekompresijo, kar skupaj zneso 280 litrov. To odštejemo od 1800 litrov, kolikor jih ima potapljač skupaj na razpolago na začetku potopa (Tabela 1) in

za sam potop ostane 1520 l. Efektivna poraba na globini 20 m je 60 litrov na minuto (20 l/min * 3), kar zadostuje za dobrih 25 minut (1520 l / 60 l/min = 25,3 min).

Z 12-litrsko jeklenko se torej potapljač na 20 m lahko zadrži 25 minut (iz tabel razberemo, da je to še nedekompresijski potop, znotraj varnostne krivulje). Skupna dolžina tega potopa je seveda daljša, saj moramo prišteti še varnostni postanek 3 minute in dvakrat 2 minuti za spust in dvig, tj. 32 minut.

Na podoben način lahko izračunamo avtonomijo jeklenk za poljudne potope. V vsakem primeru pa se izkaže, da se čas pod vodo z naraščajočo globino zelo hitro krajša. K temu pripomoreta vsaj dva razloga: z globino se povečuje efektivna poraba zraka in daljšajo se dekompresijski postanki. Zato naj se odgovor na eno najpogostejših vprašanj: **»Koliko si se najgloblje potopil?«** glasi: **»Pod vodo sem bil skupaj najdlje več kot eno uro.«**

IZRAČUN PORABE ZRAKA

S tabelo si lahko pomagamo pri izračunu porabe zraka (kar je označeno z zeleno so podatki o potopu, ki jih vpisujemo). Iz globine v metrih (prva vrstica prvi stolpec) izračunamo povprečen tlak (tlak na polovični globini) in čas potopa (globina deljena z 10). Ti številki prepisemo v četrto kolono in v peto vpišemo rezultat. V drugi vrstici prepisemo rezultat iz prve vrstice (poraba pri dvigu je enaka porabi pri spustu). V tretji vrstici vpišemo tlak in čas potopa, ju prepisemo v četrto kolono in rezultat v peto kolono. V četrti vrstici je že vpisana poraba na varnostni dekompresiji. V peti in šesti vrstici po enakem postopku izračunamo porabo na morebitnih predpisanih dekompresijskih postankih in seštevek vseh vrednosti v peti koloni nam da skupno porabo. Elektronsko verzijo tabele si lahko skopirate s spletne strani Slovenske potapljaške zveze www.spz.si

		GLOBINA m	TLAK	ČAS min	PORABA	LITRI
↓	SPUST	20 →	2	2	20 X 2 X 2 = 80 <small>l/min</small>	80
↑	DVIG	_____				80
→	POTOP	20 →	3	25	20 X 3 X 25 = 1500 <small>l/min</small>	1500
→	VARNOSTNA DEKOMPRES.	3 - 5	1,5	3	20 X 1,5 X 3 = 90	90
→	DEKOMP.* 3m	3	1,3	*	20 X 1,3 X	
→	DEKOMP.* 6m	6	1,6	*	20 X 1,6 X	
SKUPAJ						1750

* v primeru predpisane dekompresije vpišeš čas