

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **20** (1992/1993)

Številka 2

Strani 66-70

Miha Slavinec:

## POTAPLJANJE

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/20/1127-Slavinec.pdf>

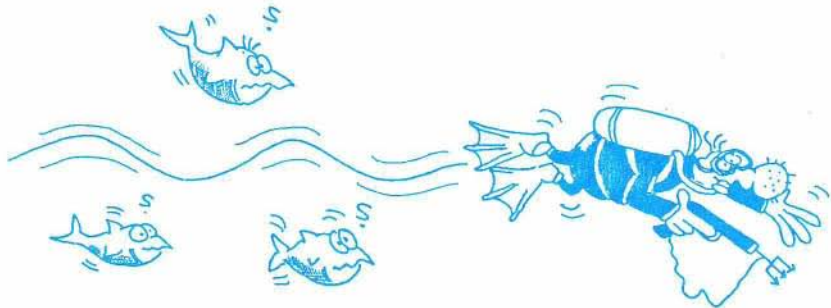
© 1992 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

## POTAPLJANJE

Če se nam kaka dragocena stvar potopi v tako globoko vodo, da več ne dosežemo dna, potem priskočijo na pomoč potapljači. Srečamo se s potapljanjem, ki pa ni le dvigovanje predmetov na površino, ampak tudi raziskovalna dejavnost in zanimiv šport. Oglejmo si nekaj fizikalnih zakonitosti, ki spremljajo potapljanje.



Slika 1.

Osnovni problem pri potapljanju je zrak. Potapljač ga lahko stisnjenega po cevi dobiva s površine, ali pa ga v jeklenki nese s sabo.

Na potapljača, ki se je potopil do globine  $h$ , deluje tlak:

$$p(h) = p_0 + \rho gh, \quad (1)$$

kjer je  $p_0$  je zračni tlak na gladini,  $\rho$  pa gostota tekočine, v kateri se potaplja. V vodi torej na vsakih deset metrov globine tlak naraste za 1 bar. Tlak v potapljačevem telesu mora biti enak tlaku okolice, saj bi ga drugače zmečkalo. Ocenimo, kako globoko bi lahko po cevki dihal površinski zrak. Največjo tlačno razliko, ki jo lahko ustvarijo mišice prsnega koša, ocenimo na 0,2b in iz enačbe (1) izračunamo, da bi se s cevko lahko potapljali le do globine 2 m. Že na tej globini bi zelo težko dihali, globlje pa bi bila sila na potapljača zaradi povečanega tlaka okolice tako velika, da sploh ne bi mogel več vdihniti. Potapljač mora torej dobivati zrak, ki je pod tlakom, enakim tlaku okolice. To dosežemo tako, da mu po cevi s črpalko ali kompresorjem zrak tlačimo v globino, ali pa na jeklenko montiramo hidrostatski regulator, ki poskrbi, da je tlak zraka, ki ga diha, vedno enak tlaku okolice. Dihanje preko cevi se je uveljavilo predvsem pri raznih podvodnih delih, ki se po navadi opravljajo na majhnem prostoru, trajajo pa dolgo časa.

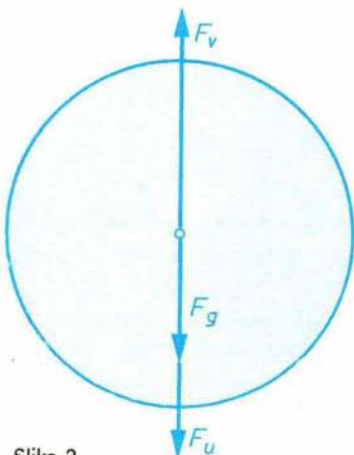
Bolj zanimivo je samostojno potapljanje. Tudi tu bi radi ostali pod vodo čim več časa, to pa je odvisno od velikosti jeklenke in od tlaka zraka v njej. Jeklenka, ki zdrži visok tlak, mora imeti debele stene, zato pa je težka in draga. Uveljavile so se jeklenke, ki zdržijo tlak do 200b in imajo prostornino od 10 do 20 litrov. Z večjimi jeklenkami bi bili potapljači preveč okorni in neokretni.

Ocenimo, kako dolgo smo lahko s tako jeklenko pod vodo. Zaradi lažje predstave bomo zrak iz jeklenke v mislih izotermno, to je pri konstantni temperaturi, razpeli toliko, da bo njegov tlak enak tlaku na gladini. Po Boylevem zakonu je

$$p_1 V_1 = p_0 V_0, \quad (2)$$

kjer je  $p_1$  tlak v jeklenki,  $V_1$  prostornina jeklenke,  $V_0$  pa prostornina razpetega zraka. Za dvajset litrsko jeklenko napolnjeno do tlaka 200b dobimo torej 4000 litrov razpetega zraka. Človek porabi v povprečju 20 litrov zraka na minuto ne glede na tlak, torej bi zrak v jeklenki zadoščal za 200 minut dihanja na površini. Potapljač pa v vodi diha zrak pod tlakom okolice, kar je v globini desetih metrov 2b. To pomeni, da bi lahko na tej globini s tem zrakom dihal le 100 minut. Čim globlje se potapljač potopi, tem prej porabi zrak, ki ga ima v jeklenki. Na globini 40m bi torej lahko bil le 40 minut.

Toliko časa se tako globoko ne sme zadrževati, ker bi to bilo nevarno za njegovo zdravje. V krvi imamo raztopljene različne pline, največ dušika. Količina plina, ki se lahko raztopi v tekočini, je odvisna od tlaka tekočine. Potapljač, ki dolgo časa diha zrak pod povečanim tlakom, ima v krvi razto-



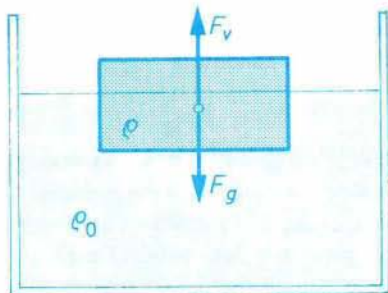
Slika 2.

pljenega dosti več dušika, kot bi ga imel na površini. Če bi se po daljšem zadrževanju v veliki globini hitro dvignil na površino, se presežek dušika ne bi mogel dovolj hitro izločiti iz krvi v telo. V žilah bi nastali plinski mehurčki, ki bi ustavili krvni obtok, in potapljanje bi se tragično končalo. Po daljšem potapljanju v velikih globinah se mora potapljač počasi dvigniti na površino in se še zadrževati na manjših globinah (izvajati tako imenovano dekompresijo), da se lahko dušik brez plinskih

mehurčkov izloči iz krvi. Velja pravilo, da potapljanje ne bo nevarno, če bo vsota globine, izražene v metrih, in časa, izraženega v minutah, manjša od 50. To pomeni, da se na globini 40 m lahko brez nevarnosti zadržujemo le 10 minut. Če je potapljanje daljše, mora potapljač upoštevati podatke posebnih dekompresijskih tabel o tem, koliko časa se mora pri dvigovanju zadrževati na posamezni globini. Vsako potapljanje mora potapljač vnaprej načrtovati, da mu ne zmanjka zraka za dekompresijske postanke na manjših globinah.

Priporočana hitrost potapljanja ali dviganja je okrog 20m na minuto. Potapljači nimajo merilnikov hitrosti, zato si pomagajo z mehurčki izdihanega zraka. Na zračni mehurček v vodi deluje sila vzgona, ki kaže navzgor, sili teže zraka in vodnega upora pa kažeta navzdol (slika 2). Silo vodnega upora izračunamo iz enačbe:

$$F_u = 6\pi\eta r v, \quad (3)$$



Slika 3.

kjer je  $\eta$  koeficient viskoznosti za vodo,  $r$  polmer mehurčka,  $v$  pa je hitrost, s katero se dviga. Izenačimo vse tri sile, ki delujejo na mehurček:

$$\frac{\rho_0 g 4\pi r^3}{3} = \frac{\rho g 4\pi r^3}{3} + 6\pi\eta r v. \quad (4)$$

Z  $\rho_0$  smo, kot na začetku, označili gostoto vode, z  $\rho$  pa gostoto zraka. Iz enačbe (4) sledi:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g(\rho_0 - \rho)}}. \quad (5)$$

Mehurčki, ki se dvigajo s hitrostjo 20m/min, imajo polmer okrog milimetra. Potapljači se torej lahko orientirajo tako, da se dvigajo tako hitro, kot se dvigajo najmanjši mehurčki izdihanega zraka.

Od dihanja se preselimo k plavanju. Na potopljeno telo z maso  $m$  deluje sila teže  $F_g = mg$ , ki kaže navzdol, in sila vzgona tekočine  $F_v$ , ki kaže navzgor (slika 3). Slednjo izračunamo iz enačbe:

$$F_v = \rho_0 g V, \quad (6)$$

kjer je  $\rho_0$  gostota tekočine,  $V$  pa prostornina izpodrinjene tekočine. Telo se bo potopilo, če bo sila vzgona manjša od sile teže telesa:

$$\rho_0 g V < mg = \rho g V. \quad (7)$$

Tu smo z  $\rho$  označili povprečno gostoto telesa. Iz gornje enačbe razberemo pogoj za plavanje:  $\rho_0 > \rho$ . Potapljač se najlažje potaplja ali dviga, če je sila vzgona enaka sili njegove teže. Tedaj pravimo, da ima potapljač nevtralno plovnost. Če potapljač nima nevtralne plovnosti, ga ves čas dviga ali spušča, kar mora preprečevati s plavanjem rahlo navzgor ali navzdol. Tako potapljanje pa je dosti bolj utrudljivo kot sicer.

Plovnost potapljača se spreminja z dihanjem. Ko potapljač vdihne, ima pozitivno plovnost, ko izdihne, pa negativno. Med plavanjem zato niha gor in dol (slika 1). Res pa lahko z zadrževanjem zraka nekoliko pripomore k uravnavanju plovnosti.

Na plovnost vpliva tudi porabljeni zrak. Opazujmo potapljača z jeklenko, ki je na začetku polna. Ko pod vodo diha, se mu jeklenka prazni, ob nespremenjeni prostornini postaja lažja in voda začne potapljača dvigovati. Ko porabi ves zrak, je jeklenka lažja približno za 5kg, tako da se sila vzgona



Slika 4.

