

Kako skozi zmešnjavo sodobne potapljaške tehnike?

Matjaž Vidmar

1. Nitrox za ceno zraka

V "dobrih starih časih" potapljaška jeklenka baje sploh ni mogla vsebovati prav nič drugega razen zraka in kompresorskega olja. Danes vsak potapljaški center, ki daj kaj nase, vsepovsod glasno objavlja, da ponuja mešanice nitrox za ceno zraka. Se mi je že zgodilo, da sem v takšnem centru dobil jeklenko s sumljivo vsebino. Na moje godrnjanje se je našel analizator kisika in potrdil, da vsebina jeklenke res ni samo navaden zrak. Malo računanja na pamet je pokazalo, da je potop z izmerjeno vsebino še vedno izvedljiv. Potem trikrat preveriti, da sem podatek pravilno vnesel v Aladina in je tudi Aladin (potapljaški računalnik) pravilno izračunal največjo dopustno globino.

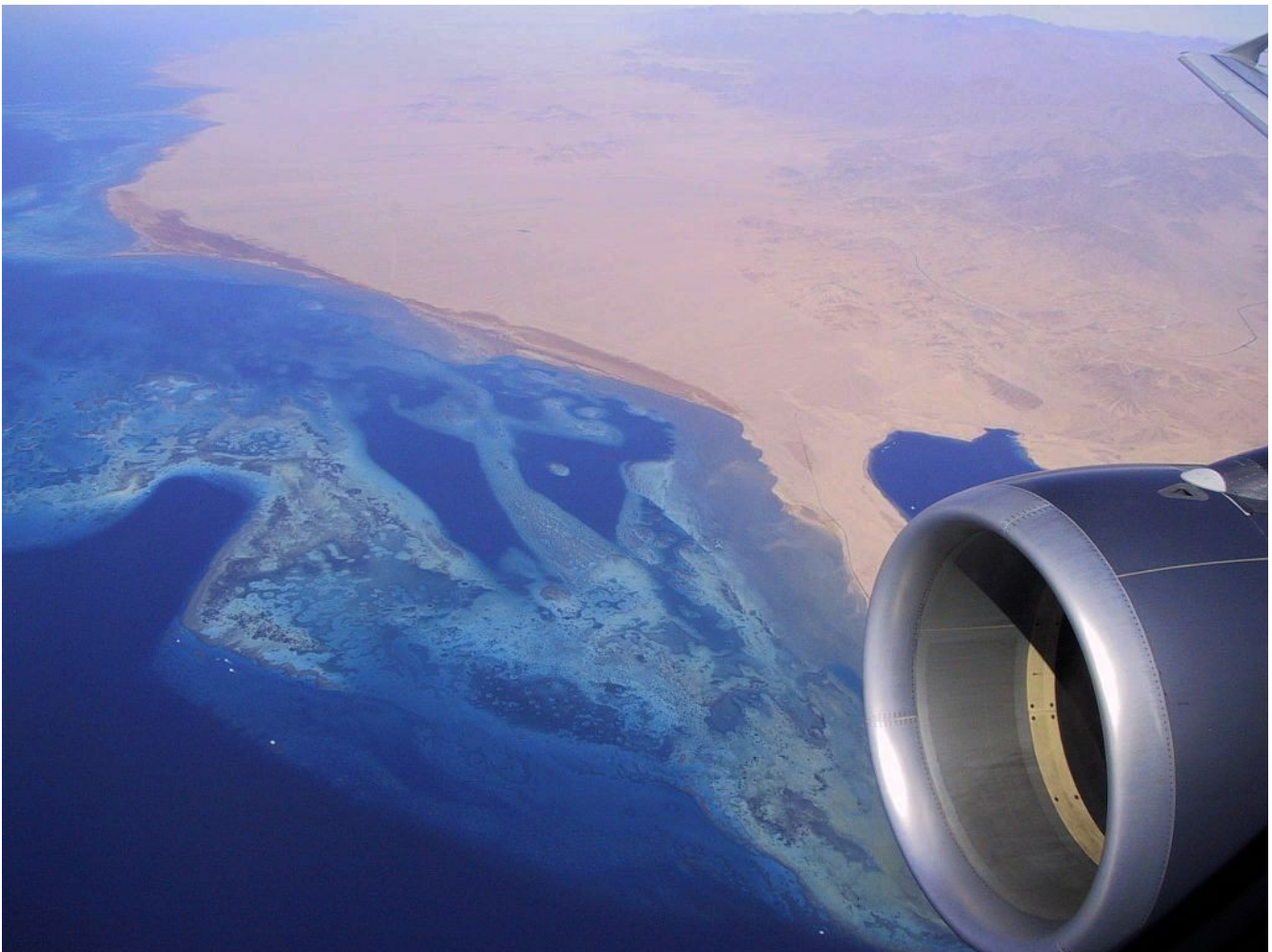
Vede ali nevede, verjetno se je že marsikomu zgodilo, da je moral opraviti takšen neprostovoljni potop z nitrox-om. Morala zgodbe je preprosta: novotarije zahtevajo dodatno znanje prav od vseh nas potapljačev, čeprav se marsikdo želi potapljati s čisto navadnim zrakom. Po pravici povedano smo sami potapljači večinoma takšni, da iščemo in želimo novo. Nekoč je bilo potapljanje omejeno na vrhunske športnike in nekaj poletnih mesecev z razmeroma toplo morskovo vodo. Suha obleka, plinske mešanice, kompenzator plovnosti, potapljaški računalnik, celoobrazna maska, podvodni skuter, dihalne naprave s polzaprtim in zaprtim krogom in druge novotarije danes omogočajo skoraj vsakomur, ne samo vrhunskim športnikom, udobno potapljanje v vseh letnih časih, v vseh možnih razmerah, v globinah in v trajanju potopa, o katerih se v "dobrih starih časih" niti sanjati ni smelo!

Kako do dodatnega znanja, ki ga zahteva prisotnost vseh teh novotarij? Resne potapljaške šole zelo počasi in previdno uvajajo novotarije v svoje učne programe, saj si s tem nakopljejo gromozansko odgovornost. Manj resne šole najdejo tu svoj življenjski prostor in učijo prav vse po vrsti, po načelu butalskega čevljarja. Neresne šole spoznamo že po temu, da o isti novotariji različne šole učijo različno ter so njihovi nauki pogosto skregani z zdravo pametjo. Poklicnih potapljačev danes ne moremo več vprašati za nasvet, saj so jih že povsod nadomestili daljinsko upravljani roboti ROV (Remotely-Operated Vehicle).

Še manj uporabnega znanja lahko dobimo v porumenelem priročniku za vojaške potapljače. Če vojaški strokovnjaki obravnavajo navadno meso za topove (pehoto) kot potrošni material, se hkrati dobro zavedajo visoke cene šolanja podvodnega diverzanta in še dražje potapljaške opreme. Za vojaškega potapljača torej izbirajo vrhunske športnike, da sploh zmorejo izredno naporne podvodne diverzantske akcije. Vrhunska potapljaška oprema nikakor ne sme pasti v roke sovražniku, pač pa jo mora diverzant prinesiti nazaj domov. Po možnosti naj bo isti diverzant ponovno uporaben za naslednjo akcijo čez en teden ali čez en mesec. Pri vsem tem

vojaških strokovnjakov prav nič ne zanima, če se potapljač po uspešno izvedeni akciji trese od mraza, če je tisti večer omotičen od prehitre dekompresije oziroma ga boli glava od strupenosti kisika. Prav tako vojaških strokovnjakov ne zanima, če se upokojenemu potapljaču na stara leta sesedejo kosti od številnih nepopolnih dekompresij.

Na butalskega čevljarja se ne morem zanašati, prav tako me poklic vojaškega potapljača ne zanima. Tudi nisem nikakršen športnik niti vrhunski potapljač. V vodo grem zato, da bom tam kaj lepega videl in pri tem čimbolj užival. Uživati hočem ne samo pod vodo, pač pa tudi pred in po potopu. Vse to želim početi še dolgo vrsto let in obdržati vse potope v čim lepšem spominu. Seveda me zanimajo novotarije, zato preberem in pretuhtam prav vse, kar najdem. V upanju, da najdem somišljenike, sem se odločil napisati ta članek.



slika 1 - Južni kraji in letalska turbina.

Kdo od nas ne sanja o toplih južnih krajih, jatah pisanih tropskih ribic in barvitih pokrajinah koralnih grebenov? Seveda se takoj spomnimo na potniško letalo, ki nas tja popelje. Marsikdo pri tem pozabi, da imamo potapljači še dosti več skupnega z letalsko turbino, kot to izgleda na prvi pogled. Oboji potrebujemo za svoje delovanje kisik iz zraka in oboji to počnemo v zelo spremenljivih

razmerah tlaka in temperature.

V milijonih let naravnega razvoja smo se vsa živa bitja prilagodili kar najbolje izkoristiti zrak s tlakom približno 1bar in vsebnostjo kisika 21%. Inženirji so načrtovali celotno potniško letalo kot tudi njegove turbinske motorje za delovanje na nadmorski višini približno 12km, kjer znaša zračni tlak komaj četrtno tlaka na tleh. Občasno moramo seveda oboji delovati tudi pri povečanem tlaku. Potapljači občutimo na globini 30m kar štirikratni običajni tlak zraka. Letalo mora tudi vzleteti in na vzletni stezi njegovi motorji občutijo štirikratni tlak od tistega na njihovi nazivni delovni višini 12km.

Kaj se zgodi, če da pilot letala poln plin na začetku vzletne steze? Turbinski motorji delujejo takrat s štirikratnim nazivnim tlakom. Zelo verjetno bo s polnim plinom prišlo do poškodb motorjev, če ne bo celo razgnalo kakšne turbine! Pilot potniškega letala mora biti pri vzletu zelo previden s plinom. Kaj pa potapljač na globini 30m, kjer je tlak prav tako štirikraten? Primerjava potapljača z letalsko turbino je tu popolnoma na mestu: neprimerno obnašanje (preobremenitev) v globini je vzrok večine potapljaških nesreč. Primerjava z letalsko turbino bo tudi rdeča nit celotnega članka, kako se znajti v zmešnjavi sodobne potapljaške tehnike.

2. Lastnosti kisika

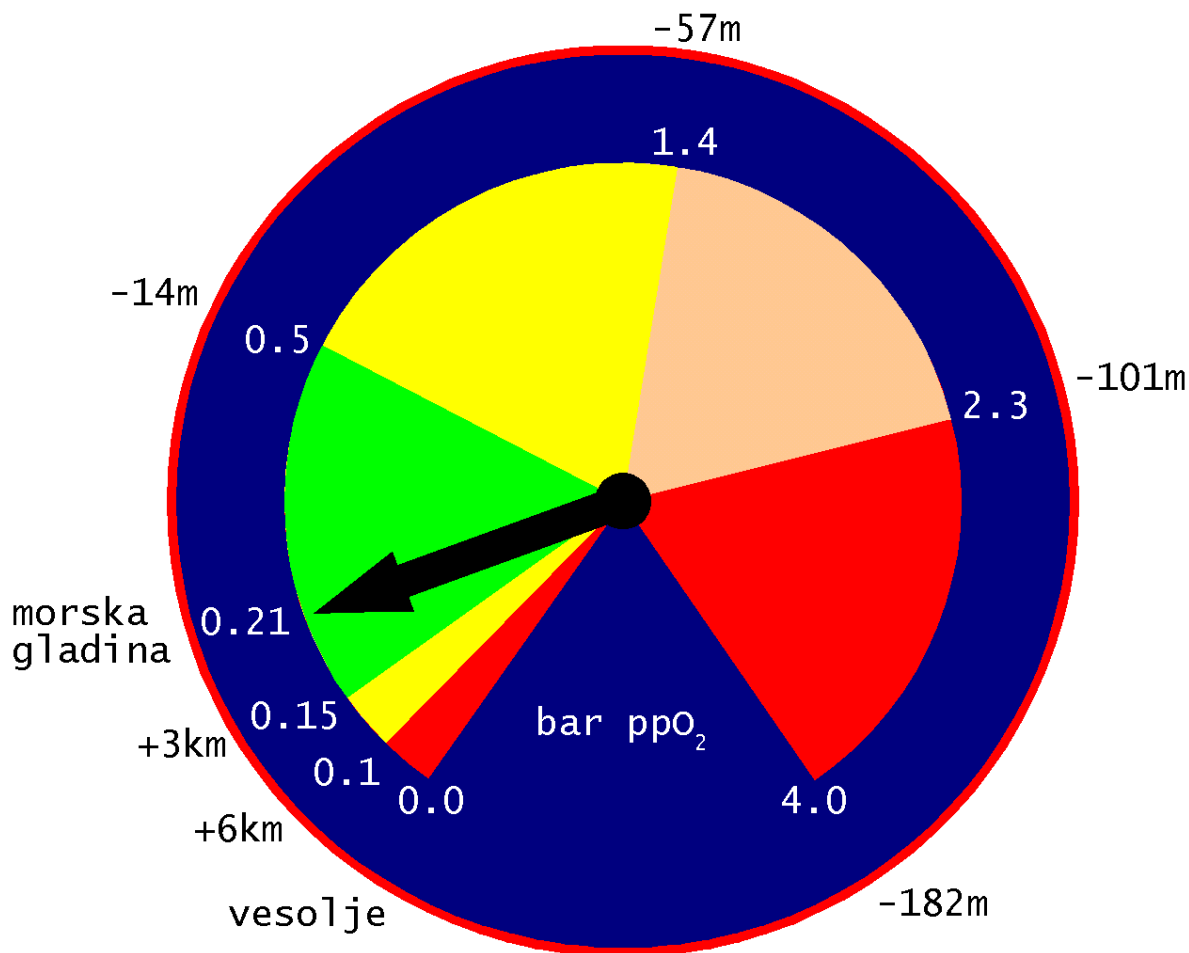
Energija iz kemijskih reakcij danes poganja številne naprave in živa bitja. Čeprav so možne tudi drugačne kemijske reakcije, gre večinoma za reakcijo med gorivom in kisikom. Električno energijo za pogon mobilnega telefona ali digitalnega fotoaparata danes zagotavlja kemijska reakcija med litijem in kisikom (iz kemikalij) znotraj baterije. Ogrevanje in razpenjanje plinov v letalskem motorju omogoča kemijska reakcija med kerozinom in kisikom iz zraka. Nenazadnje vsa živa bitja pridobivamo večino energije z izgorevanjem hrane s kisikom.

Hitrost kemijske reakcije izgorevanja je odvisna tudi od tega, v kakšni količini in obliki je kisik na razpolago. Čisti kisik se lahko nahaja v treh različnih oblikah: atomarni kisik (O), običajni molekularni kisik (O₂) oziroma ozon (O₃). Atomarni kisik (O) je od vseh treh kemično najbolj reaktiven in izredno strupen plin. Na srečo je izredno kratkoživ in se hitro pretvori v molekularni kisik (O₂). Ozon (O₃) je manj strupen, ker se pri njegovem razpadu tvori nevarne zvrsti kisika počasneje.

Niti običajni molekularni kisik (O₂) ni brez nevarnosti. Zrak vsebuje 20.8% molekularnega kisika (O₂), približno 78% molekularnega dušika (N₂) in slab odstotek žlahtnih plinov, v glavnem argona (Ar). Žlahtni plini in molekularni dušik (N₂) so kemično skoraj povsem neaktivni (inertni) v primerjavi z molekularnim kisikom (O₂). Preveč kisika (O₂) bo razgnalo letalsko turbino. Pomanjkanje kisika (O₂) bo ugasnilo plamen v letalskem motorju (flameout).

Hitrost kemijskih reakcij je odvisna od količine kisika.

Slednjo določa tlak (pritisk) plinske zmesi ter odstotek kisika (O_2) v njej. S stališča kemijskih reakcij smemo plinske zmesi obravnavati tako, da za vsak plin zapišemo njegov delni tlak, po angleško "partial pressure", "parcialni pritisk" oziroma kratica "pp". Zrak s tlakom 1bar torej vsebuje 0.208 bar ppO_2 . Nekateri viri uporabljajo povsem enakovredno kratico "p" in oznako " pO_2 ". Za točnost našega računanja zadošča, da pišemo odstotek kisika 21% in njegov delni tlak 0.21bar ppO_2 pri običajnem zračnem tlaku 1bar. Žal človek nima nobenega neposrednega čutila za zaznavanje količine kisika ppO_2 v plinu, ki ga vdihuje. Človek lahko zazna le posledice neprimerne ppO_2 in to šele takrat, ko je že prepozno!



Slika 2 - Manometer delnega tlaka kisika.

Zdrav človek brez škode prenese zmanjšanje delnega tlaka kisika na 0.1bar, kar ustreza nadmorski višini približno 6km v zemeljskem ozračju. Za polet na večje višine mora biti letalo opremljeno s tlačno kabino oziroma z maskami, ki zagotavljajo plinsko mešanico z dovolj visokim ppO_2 . Izurjeni alpinisti v vrhunski kondiciji seveda zmorejo tudi višje od 6000m brez dihalnih naprav. Po drugi strani lahko strastne kadilce z uničenimi pljuči prizadene pomanjkanje kisika ali hipoksija že na nadmorski višini komaj 3000m. Strogi letalski predpisi zato zahtevajo, da se zračni tlak v potniški kabini zadržuje na vrednosti, ki ustreza nadmorski višini

2400m. Hipoksija povzroča najprej zaspanost, potem nezavest in je vedno škodljiva, saj povzroča odmiranje celic živčnega sistema.

Delni tlak kisika višji od 0.5bar škodljivo učinkuje na številne organe človeškega telesa. Pri potapljanju z zrakom kot dihalno mešanico se to zgodi globlje od 14m. Z izjemo strupenosti kisika za osrednji živčni sistem CNS (Central Nervous System) se vsi ostali škodljivi učinki kisika pojavijo šele pri res dolgotrajnem izpostavljanju povišanemu ppO_2 pri poklicnih potapljačih med večdnevnim bivanjem v potapljaških zvonovih. Zmanjšanje učinkovitosti pljuč, ocenjeno v enotah OTU (Oxygen Toxicity Unit), je opazno šele pri izpostavljenosti previsokemu ppO_2 v velikostnem razredu 10ur.

Strupenost kisika za osrednji živčni sistem CNS je zagotovo najnevarnejši pojav, ki ga srečamo pri športnem potapljanju. Molekularni kisik (O_2) se med izgorevanjem v človeškem telesu pretvarja tudi v različne nevarne, strupene in kemično zelo reaktivne oblike, kot so superoksidni anion (O_2^-) in vodikov peroksid (H_2O_2). Človeško telo te nevarne snovi razgrajuje z encimi. Če se dotok kisika v tkiva tako poveča, da proizvodnja encimov ne zadošča več za razgrajevanje nevarnih oblik oziroma spojin kisika, pride do udara CNS s krči celega telesa in nezavestjo.

Strupenost kisika CNS je raziskovala že angleška vojna mornarica med drugo svetovno vojno. Poskusi v barokomori (hiperbarični komori) so pokazali, da do udara CNS zagotovo pride pri dihanju čistega kisika s tlakom 4bar v nekaj deset minutah med mirovanjem na suhem. Na srečo udar CNS nima trajnih posledic, če se dovod kisika pod previsokim tlakom pravočasno prekine. Nadaljnji poskusi angleške vojne mornarice so pokazali, da do udara CNS pride hitreje in pri nižjem tlaku kisika, če je potapljač pod vodo v neudobni potapljaški opremi (psihična obremenitev?) Udar CNS še bolj pospešuje fizična obremenitev, ko potapljač ne miruje, pač pa hitro plava oziroma opravlja drugo naporno delo pod vodo.

Poskusi so hkrati pokazali, da na nastop udara CNS ne vplivajo starost, kondicija, kadilske razvade, temperatura vode, izurjenost niti izkušnje potapljača. Celo ponovni poskusi z isto osebo so dali neponovljive rezultate. Laboratorijski poskusi so dokazali edino učinek povečane količine ogljikovega dioksida (povečan $ppCO_2$) v dihalni mešanici, kar stimulira dotok kisika v tkiva in pospeši udar CNS celo pri nižjih delnih tlakih kisika (ppO_2). V dihalni napravi na zaprti krog to zahteva obvezno uporabo svežih kemikalij (dihalnega apna) za učinkovito odstranjevanje CO_2 . Česar marljivi angleški raziskovalci niso mogli napovedati, je povečanje $ppCO_2$ v pljučih potapljačev, ki namerno zadržujejo dih, da varčujejo z zrakom z dihalnimi napravami na odprti krog, saj takšne, danes običajne naprave takrat še niso obstajale!

Udar CNS lahko sicer napovedujejo različni opozorilni znaki, največkrat se navaja trzanje ustnic in drugih obraznih mišic, vendar noben od teh znakov ni zanesljiv. Izkušnje iz druge svetovne vojne so vojaške potapljače z dihalno napravo na zaprti krog s čistim kisikom in celoobrazno masko omejile na globino 13m, kjer doseže tlak 2.3bar.

Zaprta krog s čistim kisikom se je izkazal kot zelo nevarna naprava tudi med prvimi športnimi potapljači takoj po drugi svetovni vojni, ki so zato prešli na potapljanje z odprtim krogom na čisto navaden zrak. V navadnem zraku doseže delni tlak kisika vrednost 2.3bar šele na globini 100m, ta globina pa je bila s športno potapljaško tehniko izpred pol stoletja popolnoma nedosegljiva iz številnih drugih razlogov. Zmogljivejše jeklenke, tople potapljaške obleke, kompenzator plovnosti in uporaba različnih plinskih mešanic omogočajo danes zelo zahtevne športne potope, kjer je najnevarnejša omejitev ponovno zahrbtni morilec CNS.

Udar CNS ne izbira med začetnikom in potapljačem z dolgoletnimi izkušnjami: oba bosta utonila, če jima zaradi krčev in nezavesti izpade regulator iz ust. Številne nesreče so pokazale, da meja 2.3bar ppO_2 niti zdaleč ni varna! Mejo ppO_2 so zato večkrat prestavili navzdol: DAN in drugi strokovnjaki danes priporočajo mejo 1.6bar za čisti kisik in mejo 1.4bar ppO_2 za zrak in druge plinske mešanice, oboje pri dihalnih napravah na odprti krog. Dihalne naprave na zaprti krog zahtevajo še strožjo mejo za ppO_2 ! Pri potapljanju z zrakom doseže delni tlak kisika vrednost 1.4bar na globini 57m.

Kljub strožjim mejam dihanje visokega ppO_2 izrablja encime, ki jih človeško telo ne more sproti nadomeščati. Strupenost kisika CNS zato časovno omejuje zadrževanje v globini. Količino izrabljenih encimov prikazujejo potapljaški računalniki kot odstotek največje dovoljene obremenitve s strupenostjo CNS. Po zaključenem potopu in dihanju zraka z običajnim tlakom 1bar potrebuje človeško telo poldrugo uro (90min), da nadomesti polovico količine manjkajočih encimov.

Hm, pritisk je zelo preprosto meriti ter preko njega določiti varno globino potopa z zrakom, kisikom oziroma kdove kakšno plinsko mešanico. Niti zdaleč pa ni ppO_2 edino merilo! Prav vsi poskusi od druge svetovne vojne do poročil sodobnih potapljaških nesreč potrjujejo, da je količina vsrkanega kisika odvisna od kakršne koli fizične ali psihične obremenjenosti potapljača, kar vse pospešuje dihanje in krvni obtok ter s tem dotok kisika. Spet velja primerjava z letalsko turbino: če pilot ne pretirava s plinom, tudi turbine ne bo razgnalo. Neobremenjen in umirjen potapljač lahko gre povsem varno z zrakom tudi globlje od 57m. Obratno lahko živčno dihanje in naporno hitro plavanje sprožita udar CNS tudi dosti plitveje od priporočene globinske meje 40m za zrak!

Končno velja razmisliti o uporabi drugačne opreme: izpad regulatorja iz ust povzroči utopitev, s celoobrazno masko se to ne more zgoditi... Dihanje v regulator z ustnikom se je v športnem potapljanju uveljavilo iz zgodovinskih razlogov: nezanesljivost nekdanje potapljaške opreme, pomanjkanje manometrov in preprosto odpravljanje napak pod vodo. Poklicni in vojaški potapljači uporabljajo celoobrazne maske oziroma vodotesne čelade, žal pa prav nobena šola športnega potapljanja danes ne poučuje pravilne uporabe, vzdrževanja, postopkov v sili, niti odpravljanja napak takšne opreme.

3. Razredčilni plini

Motorji z notranjim izgorevanjem so preračunani za delovanje z zrakom, torej za uporabo razredčenega kisika. Prav tako smo se vsa živa bitja v milijonih let razvoja prilagodili dihanju zraka, torej razredčenega kisika. Čisti kisik je že pri običajnem tlaku 1bar na morski gladini nevaren in škodljiv, za potapljanje pa je skoraj neuporaben. Zrak vsebuje 78% molekularnega dušika (N_2) in slab odstotek (0.93%) argona (Ar). Na morski gladini pri skupnem zračnem tlaku 1bar to pomeni 0.78bar pp N_2 in 0.01bar ppAr.

V človeških pljučih nastopa še en kemično neaktiven plin, na katerega smo pozabili: hlapi vodne pare (H_2O). Relativna vlažnost zraka je v pljučih skoraj 100%, kar pri običajni telesni temperaturi pomeni delni tlak vodne pare 0.063bar pp H_2O . Vodna para iz pljuč izriva zrak, zato so delni tlaki vseh sestavin zraka: kisika, dušika in žlahtnih plinov v pljučih nekoliko nižji. Glavna posledica prisotnosti vodne pare (H_2O) v pljučih je pospešen pojav hipoksije pri letenju na velikih višinah oziroma potovanju v vesolje. Pri potapljanju je zaradi visokega skupnega tlaka plinov učinek vodne pare (H_2O) zelo majhen, a je švicarsko natančni profesor Bühlmann v svojih dekompresijskih izračunih upošteval tudi pp H_2O .

Zrak seveda ni edina mešanica plinov, ki je uporabna za potapljanje. Kot razredčilo za kisik lahko uporabimo katerikoli plin, ki kemično ni aktiven in je torej nestrupen. Pri izbiri razredčila moramo upoštevati več lastnosti plina: (1) gostejši plin otežuje dihanje pri povišanem tlaku, (2) tudi nestrupeni plini imajo narkotične učinke in (3) vsi plini se raztapljajo v krvi in drugih tkivih, kar zahteva dekompresijske postanke in počasen prehod v okolje z nižjim skupnim tlakom.

vrsta plina	kemijska formula	molekularna masa g/mol	gostota kg/m ³ @1bar	hitrost difuzije	narkotičnost (/N ₂)
vodik	H ₂	2.016	0.0899	3.728	0.55
helij	He	4.003	0.1787	2.645	0.23
neon	Ne	20.180	0.900	1.178	0.28
dušik	N ₂	28.013	1.251	1	1
kisik	O ₂	31.999	1.429	0.936	1.7
argon	Ar	39.948	1.784	0.837	2.33
kripton	Kr	83.798	3.749	0.578	7.14
smejalni plin	N ₂ O	44.013	1.977	0.798	15.0
ogljikov dioksid	CO ₂	44.010	1.977	0.798	20.0
ksenon	Xe	131.293	5.894	0.462	25.64

Slika 3 - Razpredelnica lastnosti nestrupenih plinov.

Iz razpredelnice je razvidno, da prav noben plin ni nedolžen. Masa molekule plina oziroma njegova gostota določata upor, ki ga bo potapljač čutil pri dihanju takšnega plina pod velikim pritiskom. Hitrosti raztapljanja (difuzije) razredčilnih plinov v krvi in tkivih ter njihovega izločanja je obratno sorazmerna korenu molekularne mase oziroma gostote. Narkotičnost je težko primerljiva, ker so učinki različnih plinov različni. Primerjava difuzije in narkotičnosti je v razpredelnici mišljena v razmerju do najbolj znanih pojavov, difuzije in globinske pijanosti dušika.

Lažji plini imajo hkrati manjše narkotične učinke, a se hitreje raztapljajo v krvi in tkivih ter zelo dobro odvajajo toploto. Težji plini so zelo narkotični, ksenon (Xe) je celo bolj narkotičen od smejalnega plina (N_2O), oba se uporabljata kot anestetika v medicini. Nekateri plini so izredno dragi: neon (Ne), kripton (Kr) in ksenon (Xe) pridobivamo edino z destilacijo zraka in še to v majhnih količinah, kar pomeni, da je polnjenje jeklenke s takšnim plinom do tisočkrat dražje od polnjenja z navadnim zrakom.

Vodik (H_2) je v mešanici s kisikom močno eksploziven, ko delež kisika presega približno 5%. Mešanice z vodikom so torej uporabne le v velikih globinah, ko ppO_2 ostane varno nad mejo hipoksije, kljub majhnemu relativnemu deležu kisika. Vodik je nezamenljiv pri potapljanju v največje globine: svetovni rekord dobrih 700m so dosegli potapljači francoskega podjetja Comex z dihanjem globinske plinske mešanice, ki je vsebovala 50% helija (He), 49% vodika (H_2) in manj kot en odstotek kisika.

Helija (He) je v zemeljskem ozračju še manj kot neona (Ne). Večino helija pridobijo danes iz vrtin za pridobivanje naravnega plina metana. Ker helij ni pretirano drag (desetkratna cena polnjenja enake jeklenke z zrakom) in so vse njegove fizikalne in kemične lastnosti sprejemljive, se mešanice plinov s helijem danes pogosto uporabljajo pri poklicnem, vojaškem in športnem potapljanju v velikih globinah. Helij nikakor ni nedolžen plin: podobno kot se dušikova pijanost pojavi na globini okoli 60m, se narkotični pojav z imenom helijeva mrzlica (HPNS) pojavi na globini okoli 150m. Helij prodira v kri in tkiva trikrat hitreje od dušika in se tudi trikrat hitreje izloča, kar zahteva drugačne dekompresijske postopke in zelo strog nadzor plovnosti oziroma hitrosti dvigovanja potapljača na površje.

Argon (Ar) ima s stališča potapljanja zelo podobne lastnosti kot dušik (N_2). Argon nekoliko počasneje prodira v kri in tkiva, je pa tudi nekoliko bolj narkotičen od dušika. Argon zato ni uporaben v globinskih dihalnih zmesih, pač pa kvečjemu v dekompresijskih mešanicah. Ker je argon kemično neaktiven in nestrupen ter je dober toplotni izolator, se uporablja za napihovanje suhih potapljaških oblek. Človek sicer dobi manjši del kisika tudi preko dihanja skozi kožo, torej bi argonu za napihovanje obleke morali dodati vsaj malo kisika? Kaj pa dekompresija kože, prepojene z argonom v globini? Ko je koža izpostavljena drugačnemu razredčilnemu plinu od dihalne mešanice v pljučih potapljača, lahko pride do tvorbe mehurčkov in dekompresijske bolezni celo brez sprememb tlaka zaradi pojava ICD (Isobaric Counter Diffusion).

V razpredelnico sta za primerjavo dodana še dva plina, ki nista ravno razredčilo. Kisik (O_2) je jasno sestavni del vseh dihalnih mešanic. Nekoč so mislili, da kisik (O_2) ni narkotičen. Potem so s poskusi ugotovili, da je vsaj toliko narkotičen kot dušik (N_2). Zadnji poskusi kažejo, da je kisik (O_2) precej bolj narkotičen od dušika (N_2), kar postavlja na glavo marsikatero teorijo o narkotičnosti plinskih mešanic. Ogljikov dioksid (CO_2) se sprošča v pljučih in je močno narkotičen, pri večjih delnih tlakih tudi strupen. CO_2 je edini plin, za katerega imamo čutilo: njegova prisotnost proži dihanje. Končno ne smemo pozabiti, da se narkotični učinki različnih plinov med sabo ne seštevajo na preprost način!

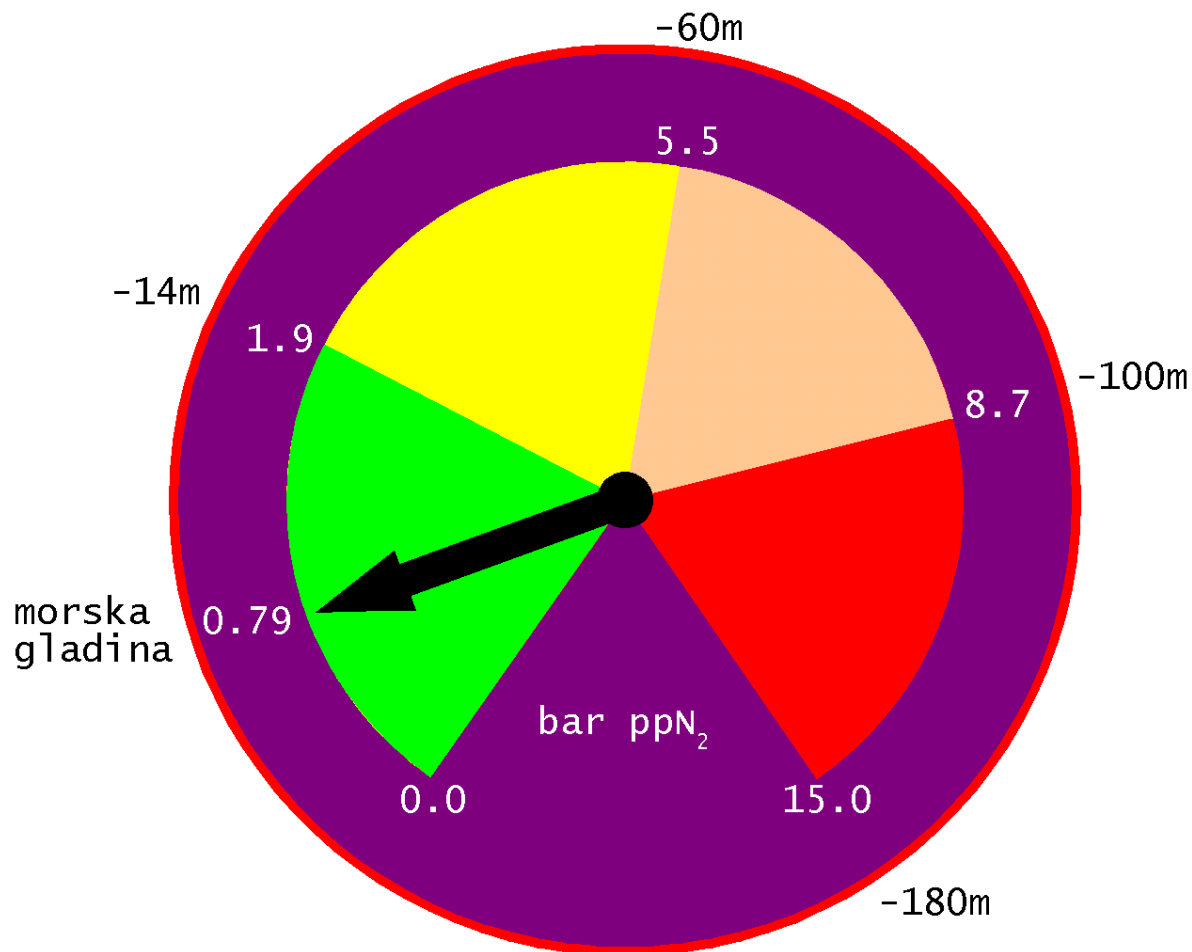
Pri uporabi tehničnih plinov moramo dodatno paziti na njihovo točno sestavo. Varilski argon (Ar) lahko na primer vsebuje do 15% ogljikovega dioksida (CO_2) in je za potapljanje neuporaben. Prav tako je neuporaben balonarski helij (He), ki mora po predpisih vsebovati četrtno kisika (O_2), da se otroci pri igranju z baloni ne zadušijo. Končno vsebuje surovi neon (Ne), pridobljen z destilacijo zraka, kar četrtno helija (He).

4. Dekompresijski računi

Prvi nevaren in nadležen pojav, s katerim se soočimo pri potopu z zrakom oziroma drugačnimi mešanicami kisika in razredčilnih plinov, so dušikova pijanost, helijevo mrzlica (HPNS) oziroma narkotični učinki drugih plinov. Čeprav se prvi znaki dušikove pijanosti lahko pojavijo plitveje, pojav postane nevaren pri delnem tlaku dušika (ppN_2) dobrih 5bar oziroma v globini okoli 60m. Dušikova pijanost lahko popolnoma onesposobi potapljača vse do nezavesti v globini 100m.

Na dušikovo pijanost, helijevo mrzlico oziroma narkotične učinke drugih razredčilnih plinov se človeško telo prilagaja tako med samim potopom kot tudi pri ponovnem potapljanju v čedalje večje globine. Vse narkotične učinke močno omili že upočasnjen spust v globino. Spet velja primerjava z letalskim motorjem, kjer prihaja do poškodb in odpovedi predvsem ob hitrih spremembah režima delovanja. Preudaren pilot zato motorju dodaja plin počasi in preudaren potapljač se spušča v globino prav tako počasi.

V globini naleti potapljač na novo nevšečnost: dušik, helij oziroma drugi razredčilni plini se pospešeno raztapljajo najprej v krvi, ki raztopljene pline prenaša še v vsa ostala tkiva človeškega telesa. Sam vdor raztopljenih plinov v globini je z izjemo narkotičnosti neškodljiv. Težave se pojavijo s padcem skupnega tlaka med dvigom na površje, ko morajo raztopljeni plini spet zapustiti kri in ostala tkiva. Če je upadanje tlaka prehitro, se v krvi in tkivih tvorijo mehurčki plinov, ki zamašijo žile in poškodujejo tkiva z usodnimi posledicami imenovanimi dekompresijska bolezen. Pri veliki prenasičenosti tkiv z razredčilnimi plini rastejo mehurčki zelo hitro. Obratno je izločanje mehurčkov zelo počasno, saj ne moremo doseči velikega podtlaka raztopljenih plinov v tkivih.



Slika 4 - Manometer delnega tlaka dušika.

Dekompresijska bolezen se pojavi pri vsakem dovolj velikem padcu zračnega tlaka in to ne samo pri potapljanju. Dekompresijsko bolezen lahko povzroči polet na veliko višino z letalom brez tlačne kabine. Ker znaša tlak v vesoljskem skafandru komaj 0.3bar oziroma dosti manj kot v notranjosti vesoljske ladje ali postaje, morajo vesoljci pred izstopom na sprehod po vesolju opraviti dekompresijski postanek v trajanju ene cele ure ali več!

Kako varno iz globine nazaj na površje v okolje z nižjim tlakom, je prvi razvozlal škotski zdravnik John Scott Haldane pred dobrimi sto leti. Haldane je ugotovil, da je razvoj mehurčkov v krvi in tkivih neškodljivo majhen, ko je razmerje med začetnim tlakom v globini in končnim tlakom na površju oziroma dekompresijskem postanku zadosti majhno. Haldane je ugotovil varno vrednost tega razmerja 2:1, kar pomeni, da lahko potapljač iz globine 10m vedno varno pride na površje.

Haldane-jevo delo so nadaljevali številni raziskovalci: ameriški zdravnik Robert D. Workman (vojna mornarica ZDA) je ugotovil, da je varno razmerje tlakov nekoliko manjše, okoli 1.6:1 in je za različna tkiva različno. To pomeni, da se potapljač lahko

neposredno vrne na površje iz največje globine komaj 6m. Švicarski profesor Albert A. Bühlmann je delo številnih raziskovalcev končno združil, dodal veliko svojih izsledkov in objavil natančne postopke izračuna dekompresijskih postankov za potapljanje z zrakom in drugimi plinskimi mešanici. Večina sodobnih potapljaških računalnikov in programov za izračun dekompresijskih postankov uporablja objavljene postopke profesorja Bühlmann-a.

Sodobni izračuni hitrosti dvigovanja na površje in dekompresijskih postankov upoštevajo, da dušik, helij oziroma drugi razredčilni plini prodirajo v tkiva in se iz njih izločajo z zelo različnimi hitrostmi. Hitrost prodiranja in izločanja plinov opišemo z razpolovnim časom, ko se v določeno tkivo prenese oziroma izloči polovica presežka razredčilnega plina. V grobem lahko človeška tkiva razdelimo v tri velike skupine:

(1) hitra tkiva: kri in dobro prekrvavljena tkiva (živčni sistem, jetra) imajo razpolovni čas za dušik od nekaj minut do deset minut,

(2) srednja tkiva: mišice in ostala mehka tkiva imajo razpolovni čas za dušik od nekaj deset minut do nekaj ur,

(3) počasna tkiva: kosti so izredno slabo prekrvavljene in imajo razpolovni čas za dušik v velikostnem razredu kar 10 ur!

Natančnejši izračuni profesorja Bühlmann-a razdelijo človeška tkiva v kar 16 različnih razpolovnih časov. Vsi navedeni časi so za helij približno trikrat krajši.

Ker je zadrževanje v globini pri potapljanju na dah res kratkotrajno, potapljači na dah niti v večjih globinah ne poznajo dekompresijskih postopkov. Obratno se med večdnevnim bivanjem v globini v potapljaškem zvonu prav vsa tkiva človeškega telesa nasitijo z razredčilnimi plini, kar zahteva dolgotrajno dekompresijo.

V času potapljanja z eno samo jeklenko z zrakom se nasitijo le hitra tkiva (1), ki edina potrebujejo celovit a na srečo kratkotrajen postopek dekompresije v trajanju nekaj minut. V srednja tkiva (2) prodre manj plina, kar omogoča skrajšane in razmeroma plitve dekompresijske postanke v trajanju v razredu deset minut. V počasna tkiva (3) prodre le malo plina, kar običajno ne zahteva dekompresijskih postankov, ki so za počasna tkiva izredno dolgotrajni (več ur).

Posledice neupoštevanja zahtevanih dekompresijskih postankov so zelo različne in so odvisne predvsem od vrste prizadetega tkiva:

(1) Najnevarnejši je dekompresijski prekršek za nasičena hitra tkiva: kri in živčni sistem. Porumenele potapljaške tablice tega pojava sploh ne poznajo: težki potapljač v skafandru je potreboval kar nekaj dolgih minut, da je iz globine sam priplezal oziroma so ga pomočniki privlekli nazaj na površje, medtem pa je nevede opravil celovito dekompresijo hitrih tkiv. Iz istega razloga je pojav pomanjkljivo opisan prav v vseh potapljaških priročnikih.

Sodobna lahka potapljaška oprema omogoča veliko hitrejše premikanje pod vodo. Potapljač razvije s plavutmi potisk več kot 40N (teža mase 4kg) in se lahko premika s hitrostjo 30m/min. Še večji potisk omogoča napihnjen kompenzator plovnosti, ki pri prostornini 20l dodaja 200N (teža mase 20kg) pozitivne plovnosti. Ohlapna suha obleka se lahko napihne tudi za dodatnih 50l, kar pomeni 500N (teža mase 50kg) dodatne plovnosti. Tudi debela neoprenska mokra obleka ni nedolžna, saj zahteva več kot 10kg uteži. Povsem jasno se potapljač samo s potiskom plavuti nikakor ne more zoperstaviti okvari kompenzatorja plovnosti, napaki pri napihovanju suhe obleke oziroma izgubi pasu z utežmi. Hitro in pravilno ukrepanje v globini ter takojšnja pomoč sopotapljača lahko edina preprečita usodno "izstrelitev" potapljača na površje.

Dekompresijski prekršek za nasičena hitra tkiva ima takojšnje in usodne posledice. Mehurčki v krvi zamašijo žilice, ki oskrbujejo vsa tkiva vključno z živčnim sistemom. Celice živčnega sistema odmrejo v 7 do 9 minutah po prekinitvi pretoka krvi. "Izstrelitev" potapljača iz globine 20m na sicer "nedekompresijskem" potopu torej pomeni invalidski voziček, iz globine 30m pa zanesljivo smrt v 10 minutah! Povsem jasno prevoz v barokomoro prav nič ne pomaga, saj bo nesrečnik prej umrl. Jeklenka s čistim kisikom na kopnem pomaga zelo malo, ker skozi zamašene žile s kisikom še tako bogata kri ne more.

Edini učinkoviti protiukrep po "izstrelitvi" je TAKOJŠEN ponovni potop, preden v nekaj minutah mehurčki dušika (mehurčki helija v manj kot minuti) zamašijo žile, po možnosti v spremstvu varnostnega potapljača. Hitro rastoči mehurčki v nekaj minutah preprečijo oskrbo živčnega sistema s kisikom, kar povzroči najprej paralizo spodnjih udov in nato celega telesa. Stanje ponesrečenca se izredno hitro slabša iz minute v minuto. Kljub obupnemu stanju ponesrečenca je še vedno edini učinkoviti protiukrep ponovni potop, kar zdaj nujno zahteva varnostnega potapljača. Ponovni potop stisne mehurčke, da se mimo njih prebije vsaj malo krvi, ki oskrbuje živčni sistem in hkrati prazni mehurčke. Celoobrazna maska pri tem preprečuje utopitev ponesrečenca, dihanje čistega kisika pa pospešuje praznjenje mehurčkov.



Slika 5 - Edina učinkovita in zares delujoča barokomora.

Kakšen je potem varen postopek dviga iz globine 30m na površje pri "nedekompresijskem" potopu? Po Haldane-ju smemo delati skoke v razmerju tlakov največ 2:1. Iz tlaka 4bar v globini 30m se torej smemo takoj dvigniti na tlak vsaj 2bar v globini 10m. Tu moramo počakati oziroma izredno upočasniti nadaljnji dvig. Iz tlaka 2bar v globini 10m smemo na tlak 1bar na površju v razpolovnem času prizadetega tkiva, to je povprečno 3min za kri in hitra tkiva. Dovoljena hitrost dvigovanja je torej samo 3.3m/min v zaključnem delu potopa. Če prištejemo še minuto za plavanje iz globine 30m na 10m, zahteva varen dvig iz 30m na površje cele 4min pri potopu, ki ga porumenele potapljaške tablice imenujejo "nedekompresijski"?

Vse šole športnega potapljanja so se zavedle te hude pomanjkljivosti potapljaških tablic. Ker je hitrost dviga težko nadzorovati, še posebno v plitvini, so potapljaške šole uvedle zelo preprost in učinkovit protiukrep z imenom "varnostni postanek". Ostala je le nejasnost okoli globine izvajanja "varnostnega postanka". Po Haldane-ju se je pri povratku iz globine 30m smiselno ustaviti na globini 10m za razpolovni čas 3min. Torej precej globlje od tistega, kar uči večina šol. Od tod tudi novo ime za takšen dekompresijski postanek: "globinski postanek" ali "deep stop" po angleško.

Če isti račun pogledamo nekoliko drugače, pri dvigu iz 30m na površje moramo nekje počakati vsaj 3min. Hitrost dviga torej ne sme biti večja od 10m/min, kar je povsem skladno s sodobnimi priporočili vseh potapljaških šol. Pri dvigu iz večjih globin lahko seveda naredimo več takšnih "globinskih postankov", po možnosti v enakem razmerju tlakov in s skrbnim nadzorom hitrosti dviganja med njimi.

Potapljaški računalniki poleg obveznih dekompresijskih postankov prikazujejo tudi skupni čas dviga na površje. Hkrati nas opozarjajo na prehitro dviganje tudi v odsotnosti obveznih postankov na določeni globini. Žal je opazovanje računalnika med plavanjem silno nerodno. Piskanje računalnika postane moteče, ker tlačni senzor sproži že mahanje z roko med plavanjem. Hitrost dviga mora zato potapljač obvladati sam, saj je uporaba računalnika v danih razmerah silno nerodna, odziv pa prepočasen.

(2) Dekompresijski prekrški za srednja tkiva povzročajo najbolj znane oblike dekompresijske bolezni: po angleško "bends", ko je nekoga "zvil". Dekompresijski prekršek za srednja tkiva je tudi edini pojav, ki ga zanesljivo obvladajo potapljaške tablice.

Pri potapljanju z eno jeklenko zraka je čas zadrževanja v globini krajši od razpolovnega časa srednjih tkiv. To preprosto pomeni, da srednja tkiva v globini sicer sprejmejo nekaj dušika, ampak ne dosežejo nasičenja z dušikom. Dekompresijski postanki so zato krajši od razpolovnega časa tkiva ter plitvejši od tistega, kar za nasičena tkiva zahteva Haldane-jevo razmerje tlakov. Obvezni dekompresijski postanki do nekaj deset minut na globini 3m ter nekaj minut na globini 6m poskrbijo za pravilno dekompresijo srednjih tkiv.

Po dekompresijskem prekršku za srednja tkiva sicer pomaga kisik na kopnem oziroma res hiter prevoz v barokomoro, je pa ponovni potop v spremstvu varnostnega potapljača veliko učinkovitejša rešitev, še posebej PREDEN se stanje ponesrečenca poslabša! Poškodba srednjih tkiv je sicer boleča, ni pa življenjsko tako nevarna kot dekompresijski prekršek hitrih tkiv.

Ker sta nastajanje in rast mehurčkov v srednjih tkivih upočasnjena, si potapljač sme privoščiti celo krajši dekompresijski prekršek v trajanju nekaj minut. V teh nekaj minutah lahko potapljač izpluje na površje ter dokonča dekompresijski postanek za srednja tkiva v barokomori na krovu plovila oziroma se ponovno potopi z novo jeklenko plina. Vojaški in poklicni potapljači uporabljajo takšne

nevarne postopke iz različnih razlogov. Za nas nedeljske potapljače je takšno nadaljevanje dekompresije po krajšem prekršku uporabno predvsem kot postopek v sili v primeru odpovedi naše opreme.

Kar nekateri potapljači sicer počnejo, je pa popolnoma nepotrebno, je dodajanje "varnostnega postanka" najplitvejšemu "obveznemu" dekompresijskemu postanku na 3m. Tak postanek nima prav nobenega vpliva niti na hitra tkiva, ker je preplitev, niti na srednja tkiva, ki so svoj obvezni postanek že opravila. POZOR! Globinski postanek za hitra tkiva NE more skrajšati plitvih postankov za srednja tkiva, pač pa ravno obratno, jih podaljšuje!

Pri potapljanju s helijevimi mešanicami tudi srednja tkiva dosežejo nasičenje s trikrat hitrejšim helijem. To preprosto pomeni, da tudi dekompresija srednjih tkiv zahteva Haldane-jeva razmerja tlakov, torej bistveno globlje in daljše dekompresijske postanke kot pri potapljanju z zrakom. Ni vse tako slabo: s helijem se "globinski postanki" za hitra tkiva lahko kar zlijejo z nekaterimi dekompresijskimi postanki srednjih tkiv...

(3) Pri potapljanju z eno jeklenko zraka bo v počasna tkiva prodrlo tako malo dušika, da dekompresijski postanki niso potrebni. To pa še ne pomeni, da je potop minil brez posledic za naše kosti. Kosti so po povratku na površje kljub vsemu prenasočene z dušikom. Polet z letalom (tudi v tlačnih kabinah je tlak nekoliko znižan) ali izlet v gore sproži tedaj dekompresijski prekršek v kosteh.

Dekompresijski prekršek za kosti sproži zelo zahrbtnen pojav z imenom osteonekroza, ko odmrejo celice, ki obnavljajo naše kosti. Ponesrečenec sicer ne opazi niti ne občuti ničesar. Prve uničujoče in nepopravljive spremembe na kosteh so opazne na rentgenskih posnetkih šele čez tri mesece do štiri leta po dekompresijskem prekršku! Vojaškimi potapljačem na stara leta kosti preprosto razpadejo.

Protiukrep za osteonekrozo je dobro opisan v vseh potapljaških priročnikih: obvezni odmor 12ur po nedekompresijskem potopu, 24ur po dekompresijskem potopu oziroma 48ur po kakršnemkoli dekompresijskem prekršku pred poletom s potniškim letalom s tlačno kabino oziroma pred izletom v gore. Tudi vsi potapljaški računalniki nas na to pridno opozarjajo z ikonico "NO-FLY".

Pri potapljanju s helijevimi mešanicami se je treba zavedati, da trikrat hitrejši helij v velikih globinah prodre v znatnih količinah tudi v naše kosti. Vse to spet pomeni daljše in globlje dekompresijske postanke ter resno nevarnost zahrbtne osteonekroze tudi brez poleta z letalom!

(4) Zakaj točka štiri, če sem poenostavil razlago na tri vrste tkiv? Pri uporabi plinskih mešanic tehnični potapljači med dolgimi dekompresijskimi postanki menjajo vrsto plina za učinkovitejšo dekompresijo. Nesrečna menjava dihalnega plina na napačni globini sproži rast mehurčkov in vrtočlavo podobno kot prehiter spust v globino. Ker se to zgodi med dvigom in dekompresijskimi postanki, pojav ICD (Isobaric Counter Diffusion) skoraj vsi avtorji uvrščajo med dekompresijske bolezni.

Avtorji najpogosteje opisujejo nesrečen preklop iz globinske mešanice trimix (zrak razredčen s helijem) na bolj narkotičen zrak. Udar ICD se pokaže z bruhanjem in odpovedjo ravnatežnih čutil v notranjem ušesu (vrtoglavica). Laboratorijski poskusi z živalmi kažejo, da se nekaj podobnega zgodi tudi pri ponesrečenem preklopu iz zraka na mešanico argon-kisik, ki bi sicer lahko bila odlična izbira za učinkovito dekompresijo. ICD sicer mine brez posledic, če potapljač ne utone in kljub vsemu uspe narediti vse obvezne dekompresijske postanke.

V letalstvu je najzahtevnejši trenutek celotnega poleta pristanek, ko se kolesa letala dotaknejo pristajalne steze. Žal se malokateri potapljač zaveda, da je pri potapljanju najzahtevnejši trenutek prav izstop iz vode! Celotno telo potapljača je tedaj močno preobremenjeno, saj je delovalo v globini in tlaku, na katere ni prilagojeno. Vsa tkiva so tedaj prenasočena z razredčilnimi plini, ki se morajo šele izločiti na kopnem. Med dekompresijskimi postanki namreč izločimo le manjši del razredčilnih plinov, tisto najnujnejše, kar je potrebno za varen povratak na gladino. Telo je v globini in med dekompresijo izrabilo encime, ki se borijo s strupenostjo kisika CNS. Končno je tedaj potapljač premražen, torej še toliko bolj nebogljen.

Se komu še ni zgodilo, da se mu je med borbo s tokovi, visokimi valovi, vetrom, skalnato obalo in zibajočo potapljaško barko preprosto zavrtilo v glavi? Je to dovolj resen opozorilni znak, da delamo nekaj hudo narobe? Pilot vam bo povedal, da je po pristanku in parkiranju letala nujno počasi in pravilno ohladiti turbine. Isto velja za preobremenjeno telo potapljača ob koncu zahtevnega potopa. Če je z našim počutjem na površju karkoli narobe, se takoj umirimo, napihnemo kompenzator plovnosti in se v miru odpočijmo! Za pomoč zaprosimo osebje potapljaške barke, saj smo ga itak preplačali.

Po potapljanju z jeklenko se v nobenem primeru ne smemo potapljati na dah, saj bi s spremembami tlaka spodbudili nastajanje in rast mehurčkov v prenasočeni tkivih. Površinska napetost mehurčkov se obnaša kot enosmerni ventil v tlačilki zraka: ob vsakem dvigu mehurčki pridobijo novo vsebino, ki je med kratkim potopom ne morejo oddati. Po potopu si privoščimo vsaj uro popolnega počitka. Cel dan po potopu se ne smemo ukvarjati z napornimi športi, kar prav tako lahko sproži nastajanje mehurčkov.

Opisani dekompresijski računi so podobni vzdrževanju avta oziroma letala. Avto peljemo k mehaniku, ko ima zadosti kilometrov, letalo pa, ko nabere zadosti ur. Koliko sta se avto oziroma letalo medtem v resnici izrabila, je odvisno predvsem od ravnanja voznika oziroma pilota. Žal ni profesor Bühlmann pri pripravi dekompresijskih tablic v prav nič boljšem položaju kot mehaniki: potapljaški računalnik mu je sicer izmeril globino in čas, kaj pa je medtem potapljač točno počel v globini, mu ni znano.

Poročila vseh potapljaških nesreč jasno kažejo, da so vsi škodljivi učinki kisika in vseh drugih plinov pod visokim tlakom sorazmerni podvodni dejavnosti potapljača. Nesreče in dekompresijske

bolezni prizadenejo predvsem potapljače, ki so hitro plavali oziroma opravljali naporno delo pod vodo. Potapljaške tablice in računalniki so torej račun brez krčmarja! Na srečo nas nedeljskih potapljačev so ti pripomočki preračunani za največjo možno obremenitev vojaških potapljačev.

Potapljač bi že moral imeti dobro kondicijo, ampak to naj nabira s kolesarjenjem in hribolazenjem v dneh, ko se ne potaplja. Potapljač v nobenem primeru ne sme nabirati kondicije pod vodo, še posebno ne v velikih globinah. V tem pogledu je dal najpomembnejši prispevek k varnosti potapljanja kompenzator plovnosti, ki je bistveno zmanjšal obremenitev potapljača med potopom.

Na področju potapljaških računalnikov se nekaj vendarle premika. V zadnjih letih so prišli na tržišče računalniki, opremljeni s sondo za merjenje srčnega utripa. Preveč živahnega potapljača računalnik preprosto kaznuje z dodatnimi dekompresijskimi postanki. Koliko lahko takšnemu izračunu dekompresije v resnici zaupamo, še ni znano. Je pa to zelo pohvalen korak proizvajalcev v pravo smer!

5. Potapljanje z zrakom

Vsa dolgovezna teorija o kisiku in plinih naj bi nazadnje odgovorila na preprosto vprašanje: do katere globine pa se lahko potapljam? Kako globoko lahko pridem z navadnim zrakom? Odgovor ni preprost! Lovci na korale se vsak dan potapljajo z zrakom na 100m. Tvegajo sicer res veliko, ampak verjetno so se naučili, kako preživeti? Nekateri šole potapljanja učijo, da je že v globini komaj 33m potreben dodatek helija. Resnica bo verjetno nekje vmes?

V času druge svetovne vojne so potapljači sil osi uporabljali zaprti krog s čistim kisikom: vojaški uspehi italijanskih podvodnih diverzantov so dobro znani. Angleži so že preizkušali polzaprti krog z nitrox-om v globinah, kamor jim nasprotniki s čistim kisikom niso mogli slediti. Američani so imeli monopol z naravnimi izvori helija in so uspešno preizkušali mešanice helij-kisik na velikih globinah. Prav gotovo so vse vojskujoče strani uporabljale najnovejšo tehnologijo tudi za potapljanje, vključno z izbiro najprimernejših plinskih mešanic.

Medtem je nemški okupator v zasedeni Franciji in kvizlinški vichy-ski republiki zasegel ves bencin. Avtomobile je bilo treba predelati na zemeljski plin metan, ki je potreboval visokotlačne kompresorje, jeklenke in regulacijske ventile. Francoska vojna mornarica je bila zaprta v pristanišču Toulon, njeni častniki pa brez dela. Enemu od njih se je porodila zamisel: kompresor, jeklenke in ventile za metan bi se dalo uporabiti tudi za zrak! Avtomobili na metan se danes sicer še vedno izdelujejo, a so prava redkost, torej izum, ki se ni uveljavil. Obratno je izum do tedaj neznanega častnika in njegovega avtomehnika za vse večne čase spremenil tok zgodovine in uvedel novo panogo turistične industrije z imenom športno potapljanje!

Strupenost kisika CNS omejuje globino potapljanja z zrakom na slabih 60m. Podobno omejitev okoli 60m narekujejo tudi narkotični učinki dušika in drugih sestavin zraka. Ena sama večja 200-barska jeklenka 15l ali 18l omejuje trajanje potopa tako, da je meja 60m komaj dosegljiva. Na drugi strani niti helij ni nedolžen. V mešanici s kisikom zahteva pri kratkotrajnih potopih z eno jeklenko daljše in globlje dekompresijske postanke kot zrak. Dekompresijski prekršek z zrakom ali bolj preprosto trenutno izgubo nadzora plovnosti lahko popravimo s ponovnim potopom. Pri heliju je takšna napaka usodna.

Zaključek je preprost: čisto navaden zrak je najbolj varna mešanica za potapljanje med 0m in 60m globine z eno samo jeklenko in preprostimi ventili za odprti krog. Globlje od 60m je smiseln dodatek helija v dihalno mešanico, tam potrebujemo dve ali več jeklenk oziroma komplicirano dihalno napravo na polzaprti ali zaprti krog. Ne glede na uporabljeno tehniko se v vsakem primeru nevarnost potopa zelo hitro povečuje z globino!

Z zrakom si lahko privoščimo povsem brezskrben potop do globine približno 14m. Potapljaškega računalnika niti dekompresijskih tablic ne potrebujemo, saj z manjšo 200-barsko jeklenko (10l) sploh ne moremo do obvezne dekompresije. Preprost mehanski globinomer povsem zadošča. Pod vodo si lahko privoščimo hitro plavanje in vsakovrstne vragolije s polno močjo. Kakršnakoli napaka pod vodo vključno z "izstrelitvijo" na površje se večinoma konča brez posledic. Sopotapljača potrebujemo le zato, da nam pod vodo ni dolgčas. Skladno s temi ugotovitvami vse potapljaške šole omejujejo začetniško kategorijo na globino okoli 14m, kjer se začetniškim napakam navkljub nikomur ne more zgoditi nič hudega.

Globina 14m sploh ni nobena huda omejitev! Večina vodnega življenja se nahaja plitveje, v izobilju sončne svetlobe in toplejši vodi blizu površja. Naše reke in jezera večinoma sploh ne dosegaajo te globine. Hitro plavanje v močnem toku reke si seveda smemo privoščiti le v plitvi vodi. Tudi v toplih južnih krajih ni kaj dosti drugače: v Rdečem morju najdemo globlje od 14m le še mrtve korale. Končno, potapljamo se zato, da bi pod vodo uživali in se imeli lepo, ne pa zmrzovali najprej v temačnih globinah, potem pa še na dekompresijskih postankih.

15m in globlje se pravila potapljanja v marsičem spremenijo. Nikakor ne smemo neposredno z veliko hitrostjo nazaj na površje, niti pri "nedekompresijskem" potopu ne! Globlje od 14m v nobenem primeru ne odmetavamo uteži, saj bi s tem povzročili usodno "izstrelitev" na površje. Minute pod vodo se zelo hitro nabirajo, zaloga zraka kopni hitreje in kmalu zaidemo v področje obveznih dekompresijskih postankov. Računalnik, globinomer, ura, tablice postanejo del obvezne opreme. Najpomembnejši del opreme sicer postane naš sopotapljač, ki nam pomaga v primeru odpovedi opreme oziroma naših lastnih težav z narkotičnostjo oziroma strupenostjo dihalne zmesi v globini.

V globini moramo prilagoditi tudi naše obnašanje: nobenih hitrih in napornih gibov, nobenega napornega dela, nobenega hitrega plavanja, nobenega oddaljevanja od sopotapljača, ki nam edini lahko pomaga v težavah. V globino se spuščamo in iz nje se dvigamo počasi,

da se telo lahko prilagaja oziroma v primeru nenadne okvare opreme ohranjamo vsaj nevtralno plovnost. Spustu oziroma dvigu v modro, brez vsakega priročnega orientirja, se izogibamo! Če je le možno, uporabljamo pri spustu in dvigu morsko dno, skalnato steno oziroma vrv boje kot pomagalo za uravnavanje globine in hitrosti spusta oziroma dviga. Najpomembnejši je odnos s sopotapljačem, s katerim moramo biti predvsem dobro uigrani, da čim prej ugotovimo in takoj ukrepamo, ko gre kaj narobe.

Preden opišem, kako bi se sam rad potapljal v večjo globino, bom poskusil opisati, kako se sam NE želim potapljati. Sredi poletja klub organizira izlet na morje, s sabo vzamejo tudi začetnika. Vodja se ima za velikega tehničnega potapljača in vsem po vrsti razlaga, katere tečaje za najbolj zmešane pline je že opravil. Vodja določi potop ob 30m globoki steni, ne določi pa parov potapljačev, saj lahko gremo vsi skupaj? Do stene najprej res naporno plavanje po površju. Začetnik je zadnji, se muči v klubski opremi, ki mu ne stoji najboljše. Ves zasopel priplava do skupine, kjer ga oštejejo, da je zadnji. Sledi potop na štrbunk v modro s popolnoma izpraznjenim kompenzatorjem plovnosti na dno stene v globino 30m. Zasopel in prestrašen začetnik komaj sledi skupini in vsebino svoje jeklenke podiha v zelo kratkem času. Fizikalni učinek hitrega in zasoplega dihanja v globini 30m na telo začetnika je sicer povsem primerljiv z umirjenim dihanjem v globini 70m! Če se potop ne zaključi s potapljaško nesrečo, sledi predčasen dvig na površje. Tam začetnika spet oštejejo, da je vsem ostalim pokvaril potop. Ko sam opazim takšen razvoj dogodkov, se opisani skupini potapljačev takoj izognem. Rajši grem tedaj sam na plitvejši potop oziroma si poiščem drugačnega sopotapljača, zakaj pa ne začetnika?

Če je le možno, se sam najrajši odpravim v vodo z obale, brez skakanja v vodo in brez spusta v modro. Če dostop do vode vključuje naporno hojo oziroma plezarijo, se na obali najprej odpočijem, saj je popolnoma nesmiselno prazniti dragoceno vsebino jeklenke s sopihanjem na kopnem. Izogibam se neučinkovitemu plavanju po površju, kjer me lahko povozi kakšen nedeljski pomorščak s svojim motornim plovilom. Pod vodo se najprej ustavim na globini dveh do treh metrov, kjer ponovno pregledam vso opremo, nastavim pasove kompenzatorja plovnosti ter zategnem pas z utežmi. Seveda potrpežljivo počakam, da isto stori tudi moj sopotapljač.

V globino se spuščam počasi. Če je le možno, sledim dnu ali steni. Pri tem skrbno nadzorujem lastno plovnost, razdaljo do sopotapljača ter njegovo obnašanje. Dodatna poraba zraka zaradi počasnejšega spusta je zelo majhna, prav tako je dodaten vnos dušika v telo zelo majhen. Počasen spust zagotovo ne omejuje mojega zadrževanja v globini. Bolj točno, počasno gibanje med spustom pomeni dodatno varčevanje z zrakom ter zviševanje vseh varnostnih faktorjev narkotičnosti, CNS in dekompresije.

V globini diham sproščeno. To pomeni ne prehitro in ne prepočasi. Zadrževanje dihanja pomeni povečevanje $ppCO_2$ v pljučih in povečano nevarnost udara strupenosti kisika CNS v globini. Sproščeno dihanje pomeni porabo zraka okoli 20 litrov v minuti, seveda pomnoženo s tlakom v globini. Upočasnjeno dihanje si smem privoščiti le med dekompresijskim postankom z zrakom v plitvini, ko poraba

zraka upade na 10 litrov v minuti ali manj.

Moj in sopotapljačev manometer določata, kdaj začneva z dvigom. Moja oziroma njegova jeklenka morata vsaka sama zase omogočati varen povratek obeh na površje. Potapljaški računalnik imam nastavljen na srednjo vrednost varnostnega faktorja, da naredim nekoliko daljše dekompresijske postanke že v globini. Dvig ob dnu ali steni je sicer dovolj počasen sam po sebi, da globinski postanki niso potrebni in jih računalnik sam briše.



Slika 6 - Varno izpeljan potop z zrakom v globino 48m.

Priprava na zahtevnejšo globino se seveda začne že dan prej, še najboljše z nekoliko plitvejšim potopom v podobnih razmerah, da preizkusiva tehniko, se uskladiva in uigrava s sopotapljačem, predvsem pa preveriva razpoloženje obeh za takšen podvig. Seveda narediva grob račun z globino, dekompresijskimi postanki in razpoložljivim zrakom. Globinski potapljač mora imeti tablice v glavi, ker tiste v žepu ne pomagajo kaj dosti.

Groba ocena za "nedekompresijski" čas globlje od 15m pravi, da je vsota globine v metrih ter števila minut v globini enaka 50. v globini 35m znaša "nedekompresijski" čas 15min, ker velja $35+15=50$. Manj previdni potapljači uporabljajo vsoto 55. Dvig na površje iz

"nedekompresijskega" globinskega potopa traja kar zajetno število minut, če upoštevamo največjo dopustno hitrost dviga 10m/min in globinske (varnostne) postanke. Če prekoračimo "nedekompresijski" čas, bo povratak na površje vključno z vsemi postanki vsaj v trajanju celotnega zadrževanja v globini, globlje od 40m tudi dvakrat toliko.

Potapljaške tablice sicer dajejo natančnejši rezultat, ampak to še ne pomeni, da je takšen rezultat tudi zanesljiv. Vsaj dva razloga govorita proti slepemu zaupanju tablicam: (1) tablice ne upoštevajo potapljačeve aktivnosti v globini in (2) tablice preveč poenostavljajo izračun, kot bi imeli opraviti z dekompresijo enega samega tkiva. Za primerjavo Bühlmann-ov izračun vsebuje kar 16 različnih tkiv! Končno so tablice odvisne od pozornosti in poštenosti samega potapljača pri odčitavanju ure. Če mora potapljač istočasno izračunavati še odstotek CNS, mu sploh ostane še kaj časa za opazovanje podvodnega sveta?

Sam sem vnet zagovornik uporabe potapljaškega računalnika, saj je njegova uvedba praktično izkoreninila resnične dekompresijske nesreče. Računalnik seveda ne zna ravnati z vsebino jeklenke, z utežmi, s kompenzatorjem plovnosti niti s suho obleko. Računalnik se ukvarja z vsemi 16 različnimi tkivi, nas opozarja na prehiter dvig in hkrati izračunava učinek strupenosti kisika v odstotkih CNS. Ker naredi vse sam, potapljaški računalnik izloča možnost človeške napake in hkrati psihično ne obremenjuje potapljača z duhamornimi izračuni med samim potopom. Povsem jasno računalnik v nobenem primeru ne more in ne sme nadomestiti grobega izračuna pred potopom, ki ga mora imeti globinski potapljač ves čas v glavi!

Natiskane podvodne potapljaške tablice danes zagotovo sodijo izključno v muzej, ker so v žepu kompenzatorja plovnosti toliko kot neuporabne! Pred potopom seveda velja natančneje oceniti predvidene dekompresijske in ostale zahteve potopa s pomočjo ročnega izračuna, tablic oziroma enim od številnih potapljaških programov za osebni računalnik. Koliko gre zaupati kakšnemu programu, naj presodi vsak sam: za kratico RGBM nekateri hekerji trdijo, da pomeni "Reduced Gradient Bubble Model", nekateri globinski potapljači pa "Really Good Bends Model", po naše "model", ki te "res dobro zvije".

Ker osebnega računalnika ne moremo odnesti s sabo v vodo, se bo treba odločiti, kakšen podvodni potapljaški računalnik kupiti? Vsak proizvajalec potapljaških računalnikov jasno hvali svojega konja. Takoj na začetku velja izločiti ponesrečene izdelke: najnovejše čudo z osvetljenim barvnim zaslonom TFT-LCD ali organskim LED bo v samo dveh ali treh potopih pojedlo baterijo in živce svojega lastnika. Ista baterija bi v staromodnem računalniku s črno-belo številčnico delovala dve ali tri leta!

Vsak proizvajalec se sicer hvali, kateri postopek dekompresijskega računa uporablja njegovo čudo: Bühlmann, RGBM ali kdove kaj. Žal so proizvajalci zelo skrivnostni, kako njihovo čudo obravnava dekompresijske prekrške oziroma kaj se zgodi, če opravljamo dekompresijske postanke samo malenkost globlje ali plitveje od zahtevane vrednosti. Nekaterim izdelkom se strga in nemočno napišejo "SOS" na zaslon, drugi nesmiselno podaljšujejo

minute dekompresijskega postanka v nasprotju s fizikalnim dogajanjem. Tu nam lahko pomagajo le izkušnje drugih potapljačev, katerih izdelkov se je pametno izogibati?

Pri izbiri potapljaškega računalnika sem iskal takšnega, ki uporablja preverjeni postopek računanja prof. Bühlmann-a in njegov tlačni senzor deluje tudi kot tlačni višinomer na kopnem. Ta pride prav pri vseh izletih v hribe, ne samo pri potapljanju v gorskih jezerih. Povrhu kopenski višinomer potrebuje dosti natančnejši tlačni senzor od podvodnega globinomerja, kar je dodatno zagotovilo za kakovost izdelka, ki jo lahko sami preverimo na prvem izletu v gore.

Nekateri računalniki imajo vgrajen tudi visokotlačni senzor za vsebino jeklenke. Spet drugim računalnikom lahko dokupimo visokotlačni senzor z (dolgovalovnim) radijskim oddajnikom, ki ga privijemo v prvo stopnjo in ne potrebuje fizične povezave z računalnikom. Kar bi jaz želel, je radijski visokotlačni senzor jeklenke sopotapljača. Saj nekateri proizvajalci že ponujajo tudi to možnost, ampak potem sva s sopotapljačem vezana na opremo istega proizvajalca!

Iz porabe zraka se da ugotoviti, kdaj gre med potopom kaj narobe. Še zanesljivejši znak je seveda srčni utrip. Moj naslednji potapljaški računalnik bo zagotovo takšen, ki ima možnost povezave s sondo za srčni utrip v obliki paščka z vgrajenim radijskim oddajnikom. Hkrati upam, da se spametujejo tudi proizvajalci takšne opreme in začnejo izdelovati med sabo združljive naprave. Vzajemna možnost stalnega nadzora tlaka v jeklenki in srčnega utripa sopotapljača s samodejnim alarmom, ko gre kaj narobe, nas razbremenjuje stalnega opazovanja sopotapljača ter hkrati bistveno povečuje varnost potapljanja. Radijska zveza kratkega dosega bi nam celo omogočala določiti smer, kam se je naš sopotapljač izgubil?

6. Plinske mešanice

Potapljanje z zrakom prinaša celo vrsto zahtev in omejitev. Povsem jasno se takoj postavi vprašanje, ali si lahko z izbiro drugačnih plinov oziroma v drugačnih medsebojnih razmerjih olajšamo potop, podaljšamo čas na dnu, skrajšamo dekompresijske postanke oziroma varno dosežemo še večjo globino? Najpreprostejša mešanica plinov je spet dušik-kisik poimenovana "nitrox", kjer sta dušik (N_2) in kisik (O_2) v drugačnem medsebojnem razmerju kot v zraku ter slab odstotek žlahtnih plinov obravnavamo kar kot dušik.

Poklicni potapljači so z izrazom "nitrox" najprej poimenovali plinsko mešanico za dolgotrajno bivanje v potapljaških zvonovih. Med dolgotrajnim bivanjem v globini strupenost kisika prizadene poleg osrednjega živčnega sistema CNS tudi pljuča (OTU), oči in druge organe človeškega telesa. Primerna plinska mešanica mora torej vsebovati manjši odstotek kisika, kar bi danes poimenovali "s kisikom osiromašeni nitrox" oziroma "hipoksični nitrox".

Zahteve turistične industrije športnega potapljanja so

drugačne. Adrenalinskemu turistu z eno samo jeklenko je nujno obljuditi čim več minut na potopljeni razbitini. Nobenih dekompresijskih postankov, kjer se turist dolgočasi. Izumiti je treba "trotel-ziher" način potapljanja, kjer se niti največjemu bedaku ne more zgoditi nič hudega. Povsem izključiti možnost dekompresijske nesreče, saj en sam prevoz v barokomoro požre izkupiček cele sezone!

Preprosto povedano, konkurenčnost v turistični industriji zahteva, da mejo brezskrbnega potapljanja kakšnih 14m z zrakom pomaknemo na 20m, 25m ali celo globlje. Površno razmišljanje turističnih poslovnežev postavi dušik (N_2) na zatožno klop. Kako v dihalni mešanici znižati delni tlak dušika oziroma s čim ga nadomestiti? Argon (Ar) je sicer poceni, je pa v globini 20m že preveč narkotičen in kar se dekompresije tiče, je komaj malenkost boljši od dušika. Helijev (He) "nedekompresijski" čas je krajši od dušika. Predvsem pa je helij še dosti bolj nevaren od dušika v primeru dekompresijskih prekrškov.

Površno gledano je edina možna rešitev za "trotel-ziher" mešanico povečanje vsebnosti kisika, da z njim izpodrinemo "nadležni" dušik. Takšno dihalno mešanico bi pravilno imenovali "s kisikom obogateni nitrox" ali po angleško EAN (Enriched Air Nitrox). Oznaka EAN36 pomeni mešanico, ki vsebuje 36% kisika, preostalih 64% je v glavnem dušik in nekaj malega žlahtnih plinov.

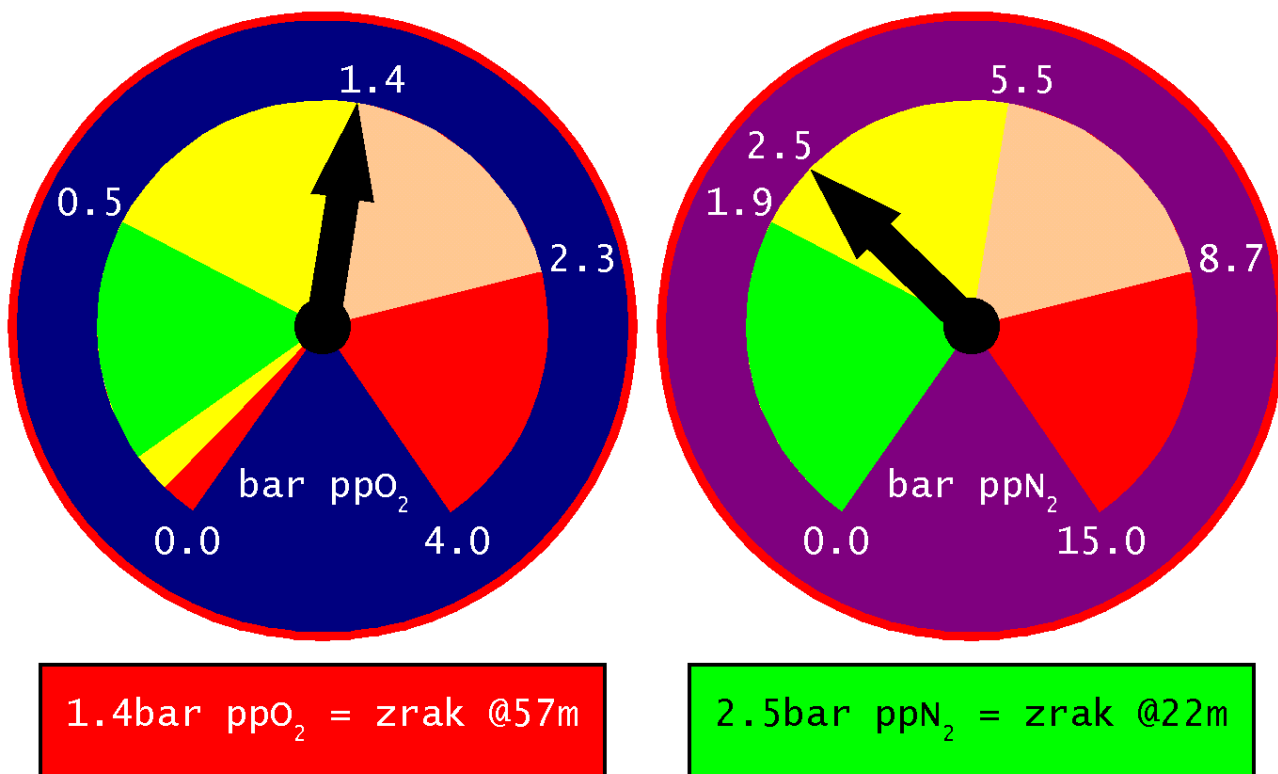
Kaj mešanica EAN36 v resnici doprinese? Zagotovo povečanje brezskrbne globine, ki še dovoljuje neumnosti, kot so odmetavanje uteži, nepremišljeno napihovanje kompenzatorja plovnosti, nesposobnost rokovanja s suho obleko oziroma kakršenkoli drug nepredvidljiv odziv paničnega podvodnega turista. Za zrak znaša ta brezskrbna globina približno 14m, ko še ne bo treba naročiti dragega helikopterja za prevoz v barokomoro niti izpolnjevati številnih formularjev policije ob smrti turista. Manjša vsebnost dušika v EAN36 premakne to brezskrbno globino "izstrelitve" na površje na približno 20m, kar v zelo tekmovalni turistični industriji sploh ni zanemarljiv rezultat!

Adrenalinskemu turistu je seveda njuno razložiti celotno zgodbo o EAN36 na drugačen način, sicer bo užaljen in se bo odpravil na potapljanje h konkurenci. Predvsem je z EAN36 turist postal tehnični potapljač, ki se ne potaplja več z navadnim zrakom kot začetniki. Temu sledi zgodba o nevarnosti požara pri polnjenju jeklenk s kisikom oziroma nitrox-om ter zelo površna razlaga, kako uporabljati analizator kisika. Na koncu nekaj v resnici pomembnega: povečana strupenost kisika CNS pri potapljanju z nitrox-om!

EAN36 vsebuje skoraj dvakrat toliko kisika kot navaden zrak. To pomeni, da v mešanici EAN36 doseže ppO_2 nevarno mejo 1.4bar že v globini 29m. Največja dopustna globina potopa se na ta način razpolovi! Potop z EAN36 na 29m je torej enakovreden potopu z zrakom na 57m, vsaj kar se tiče najhujšega zahrbtnega morilca potapljačev: strupenosti kisika CNS. Po drugi strani EAN36 vsebuje le petino manj dušika kot navaden zrak. Potop z EAN36 v globino 29m torej ustreza potopu v globino 22m z navadnim zrakom, vsaj kar se dekompresije tiče. Nekaj sicer je tudi to, ni pa ravno zavidanja vreden

rezultat!?

Sam se potapljam z nitrox-om le v primeru, ko nimam druge izbire. Povečana strupenost kisika EAN36 je zame izredno omejujoča. Na globini komaj 29m se moram obnašati, kot bi bil z zrakom na 57m: nobenega hitrejšega plavanja, nobene obremenitve, majhna razdalja in stalno spremljanje sopotapljača!



slika 7 - Mešanica EAN36 v globini 29m.

Reklame in gradiva tečajev nitrox vsebujejo celo vrsto trditev o potapljanju z EAN (s kisikom obogatena mešanica), ki jih je praksa ovrgla:

- (1) EAN naj bi omogočal daljše nedekompresijske potope: adrenalinski turist podiha zrak iz 12l aluminijevke v Egiptu dosti prej, kot bi prišel v področje obveznih dekompresijskih postankov z zrakom.
- (2) EAN naj bi omogočal krajše odmore med posameznimi potopi: potapljaški računalnik pokaže, da postane seštevek strupenosti CNS omejitveni dejavnik pri ponovnem potapljanju.
- (3) EAN naj bi bil v globini manj narkotičen, ker vsebuje manj dušika: najnovejši poskusi kažejo, da je kisik (O₂) skoraj dvakrat bolj narkotičen od dušika (N₂), zaradi večje vsebnosti kisika je tudi EAN bolj narkotičen od zraka.

Povečana narkotičnost in povečana nevarnost zastrupitve CNS pri uporabi EAN pomenita, da se z EAN nikoli ne smemo potapljati

brez sopotapljača, niti v plitvem bazenu ne! Iz istega razloga bi moral vsak učitelj EAN, ki ima vsaj malo kosmate vesti, svoje učence najprej izšolati za uporabo celoobrazne maske!

Poklicni in globinski potapljači sicer ne znajo pojasniti, čemu bi obogatili dihalno zmes s kisikom?! Poklicni potapljači delajo ravno obratno: v potapljaških zvonovih dihalo osiromašeni nitrox oziroma zrak razredčen s helijem, da se izognejo vsem strupenim učinkom kisika. Globinski potapljači sicer uporabljajo EAN50 kot dekompresijsko zmes, ampak samo zato, da z njo nadomestijo še dosti nevarnejši 100% čisti kisik! Celovo vojaški potapljači uporabljajo v svojih dihalnih napravah na polzaprti krog EAN40 do EAN60 kot zamenjavo za 100% čisti kisik, saj jih je med bojno akcijo manj strah nekaj izdajalskih mehurčkov dušika kot pa zastrupitve s čistim kisikom v zaprtem krogu.

Ko že razpravljamo o plinskih mešanicah, ne smemo pozabiti, da bo treba plinsko zmes tudi izmeriti ali preveriti. Žal imata dušik (N_2) in kisik (O_2) zelo podobne fizikalne lastnosti ter se močno razlikujeta edino v kemični aktivnosti. Manometrov z lepo zeleno-rumeno-rdečo skalo, ki bi znali meriti posebej ppN_2 in posebej ppO_2 , žal ne zna izdelati prav nihče! Ker je dušik kemično neaktiven, je v neznanu plinski zmesi lažje izmeriti ppO_2 in tega odšteti od celotnega tlaka, da dobimo še rezultat za ppN_2 .

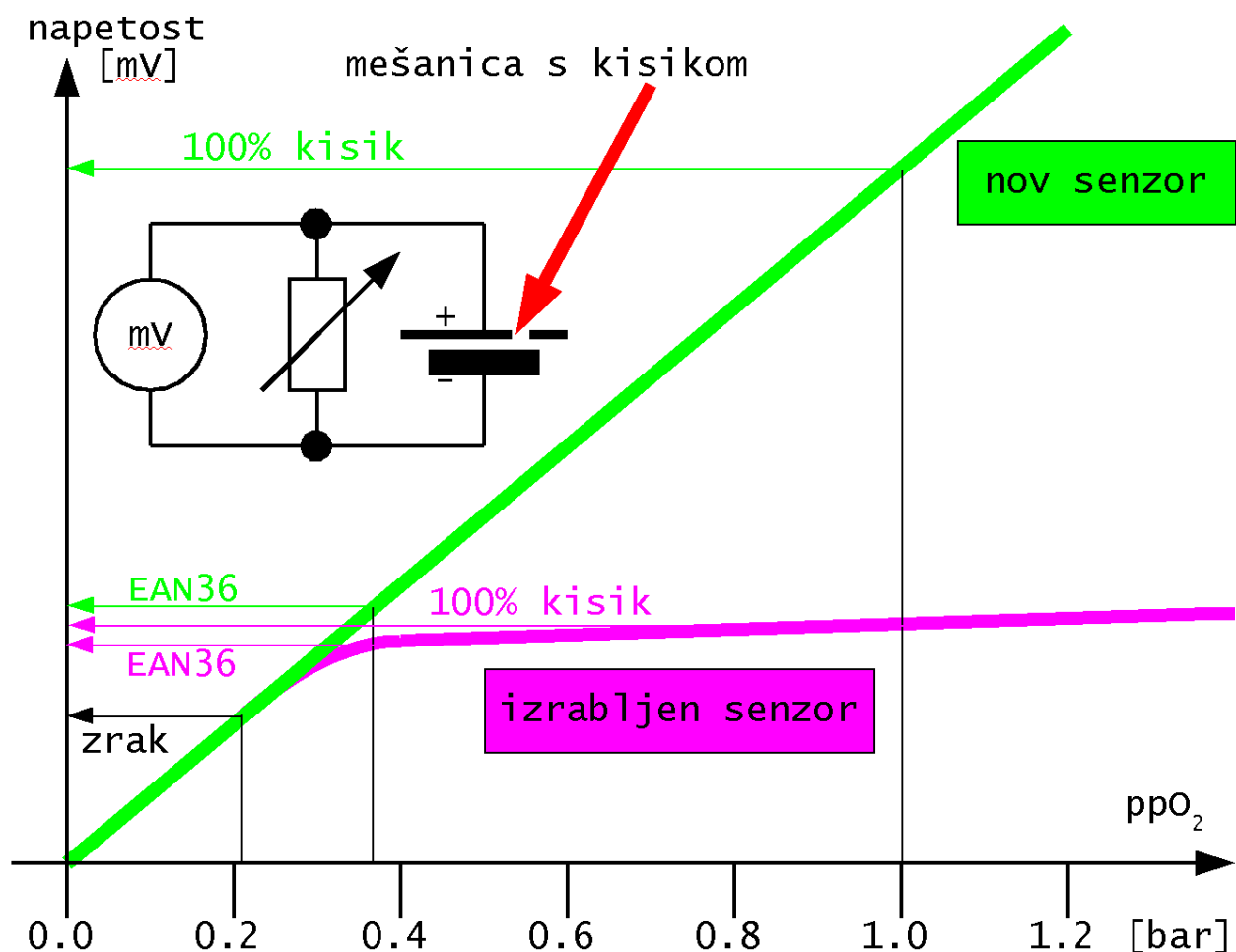
V potapljaški tehniki se je od različnih senzorjev kisika najbolj uveljavila gorivna celica oziroma galvanski člen (baterija), ki kot pozitivno elektrodo uporablja kisik iz neznanu plinske mešanice. Galvanski člen proizvaja elektriko z izgorevanjem negativne kovinske elektrode v kisiku neznanu plinske mešanice. Proizveden električni tok je sorazmeren delnemu tlaku kisika ppO_2 v plinski mešanici. Na popolnoma enak način delujejo tudi nekatere baterije za slušne aparate, katerim moramo pred uporabo odstraniti nalepko preko luknjic v pozitivni elektrodi.

Za meritev ppO_2 moramo gorivno celico obremeniti z nastavljivim uporom male vrednosti, da znaša padec napetosti na upor le nekaj deset milivoltov. V tem primeru bo napetost na upor premosorazmerna delnemu tlaku kisika ppO_2 vsaj pri novem senzorju. Napetost merimo z milivoltmetrom, ki ima skalo umerjeno kar v barih ppO_2 . Ker je hitrost kemijskih reakcij močno odvisna od temperature in se senzor stara (življenjska doba gorivne celice je največ poldrugo leto), moramo pred vsako meritvijo napravo umeriti z znanimi plini.

Baterije so vedno vir težav in opisani senzor kisika ni nobena izjema. Kaj se zgodi, če avta ne vozimo par mesecev? Ko odpremo vrata, se mala lučka v potniški kabini še prižge. Žarometi, ki so malo večjo porabnik elektrike, komaj brlijo. Največji porabnik elektrike zaganjač se sploh ne zgane. Baterijo bo treba zamenjati!

Kaj se zgodi z analizatorjem kisika, ki je celo zimo ležal pozabljen v predalu v potapljaškem centru "nitrox za ceno zraka"? Pri malih tokovih, ko senzor umerjamo z zrakom, dobimo tudi z izrabljenim senzorjem pravilen rezultat! Pri srednjih tokovih z mešanico EAN36 vnaša izrabljeni senzor že hudo napako, rezultat je

premajhen. s 100% čistim kisikom daje izrabljeni senzor manjši tok kot nov senzor z EAN36!



slika 8 - Odziv senzorja za delni tlak kisika.

Takšno nespametno umerjanje kisikovega senzorja z zrakom, ki ga danes še vedno poučuje marsikatero potapljaška šola, je povzročilo že marsikatero zastrupitev s kisikom! Večina žrtev je sicer med uporabniki dihalnih naprav na zaprti krog, zato je "rebreather" prišel na tako slab glas.

Kisikov senzor moramo umerjati vsaj v dveh točkah in še tedaj se lahko zanesemo nanj edino v področju med tema dvema točkama. Za merjenje mešanic EAN moramo torej umerjati senzor z vsaj dvema znanima plinoma, na primer dve neodvisni meritvi za 100% čisti kisik in za zrak. Če rezultata teh dveh poskusnih meritev nista v razmerju 100:21, senzor obvezno zavržemo!

S spreminjanjem razmerja med dušikom in kisikom v dihalni mešanici zagotovo ne moremo kaj dosti globlje kot z navadnim zrakom. Za varen potop v večje globine uporabljamo mešanice s helijem (He), ker je neon (Ne) daleč predrag, vodik (H_2) pa eksploziven v zmesi s kisikom. Poklicni in vojaški potapljači uporabljajo mešanico helij-kisik, imenovano tudi heliox, brez dodatkov drugih plinov. Mešanica

helija (He) z majhnim deležem kisika (O₂) na primer omogoča dolgotrajno in povsem udobno bivanje v globini 90m pri tlaku 10bar.

Glavna pomanjkljivost heliox-a so globoki in dolgi dekompresijski postanki. Po Haldane-ju se moramo ustaviti vsaj na polovičnem tlaku. Pri povratku iz tlaka 10bar v globini 90m se moramo ustaviti najkasneje pri tlaku 5bar v globini 40m. Poklicni in vojaški potapljači takšen dekompresijski postanek rešujejo s potapljaškim zvonom, podmornico oziroma potopljivo barokomoro, ki jo zaprto dvignejo na ladjo, da potapljači varno dokončajo dekompresijo.

Rekreativni potapljač si preprosto ne more privoščiti dolgega dekompresijskega postanka na 40m, ki mu sledijo še daljši plitvejši dekompresijski postanki, saj je poraba kakršnekoli dihalne mešanice daleč previsoka! Rešitev naloge izgleda na prvi pogled korak v napačno smer: drag helij delno zamenjamo s cenejšim, gostejšim in bolj narkotičnim dušikom?! Mešanice helij-dušik-kisik ali bolj preprosto čisto navaden zrak razredčen s helijem imenujemo trimix.

Oznaka trimix 14/35 pomeni, da takšna mešanica vsebuje 14% kisika in 35% helija, ostalih 51% je dušik. Matematik bo takoj pogruntal, da ta razmerja dobimo iz 65% zraka, ki mu dodamo 35% helija. Oznaka trimix sicer dopušča poljubno razmerje med deležema dušika in kisika. Običajno je najugodnejše razmerje dušik/kisik zelo blizu 4:1 oziroma čisto navaden zrak in takšen trimix imenujejo tudi "heli-air".

Trimix 14/35 doseže največji dovoljeni ppO₂ 1.4bar pri skupnem tlaku 10bar v globini 90m. Pripadajoči delni tlak helija ppHe znaša v isti globini 3.5bar. Kar se tiče helija, je po Haldane-ju prvi obvezni dekompresijski postanek pri tlaku 1.75bar, torej okoli 7.5m! Resnični obvezni dekompresijski postanek za srednja tkiva bo sicer globlji, ker se učinka helija in dušika seštevata, še vedno pa bo po kratkotrajnem zadrževanju v globini 90m dovolj plitev, da zanj ne potrebujemo potapljaškega zvona niti podmornice!

Računi pokažejo, da je trimix zelo uporabna zmes plinov za kratke potope na globine med 60m in 120m. Pri tem do 60m zadošča ena sama jeklenka. Do 120m so potrebne štiri jeklenke: dve veliki za globinski trimix in dve manjši za dekompresijske zmesi. Štiri jeklenke so verjetno smiselna meja, kar se da otovoriti enega potapljača. Globlje od 120m se nujno veča delež helija, kar pomeni tudi dosti globlje postanke. Število jeklenk postane preveliko, da bi jih lahko nosil en potapljač.

Helij se po svojih fizikalnih lastnostih močno razlikuje od dušika oziroma kisika. Količino helija v mešanici dušika in kisika lahko preprosto izmerimo preko toplotne prevodnosti, saj je helij dosti boljši prevodnik toplote kot pa dušik oziroma kisik. Najpomembnejša lastnost katerekoli dihalne mešanice seveda ostaja delež kisika in tu ostajamo vezani na nezanesljivi senzor kisika.

Ker trimix ni samo ena vrsta mešanice, pač pa obstaja cela množica uporabnih kombinacij treh plinov, bi potrebovali eno celo goro najrazličnejših potapljaških tablic. Žal ne moremo računati na

izkušnje poklicnih niti vojaških potapljačev, ker ti trimix-a v preteklosti niso uporabljali. Potapljaškega računalnika za zrak ne smemo uporabljati, ker kakršenkoli dodatek helija pogloblja in podaljšuje dekompresijske postanke. Programe za trimix za osebne računalnike in za nekatere najnovejše potapljaške računalnike sicer dobimo, vendar se moramo zavedati, da so vsi ti izdelki v najboljšem primeru preverjeni na razmeroma maloštevilnih potopih.

Niti potapljaške šole, ki poučujejo trimix, si niso enotne. Enotne so si kvečjemu v najvišjem dopustnem delnem tlaku kisika in plinske mešanice označujejo z MOD (Maximum Operating Depth) oziroma globino, kjer ppO_2 doseže 1.4bar. Nekatere šole učijo, da je narkotičen samo dušik, druge, da sta narkotična samo dušik in helij, tretje, da sta narkotična samo dušik in kisik ter četrte, ki pravijo, da so narkotični vsi trije plini, ki sestavljajo trimix. Različne šole tako za isto mešanico trimix izračunavajo različen END (Equivalent Narcotic Depth), to je navidezna globina, kjer bi bil zrak enako narkotičen kot obravnavana mešanica na dejanski globini.

Še manj enotnosti je o pravilni uporabi dekompresijskih mešanic po globinskem potopu s trimix-om, saj nepravilna menjava mešanic lahko povzroči nastop udara ICD (Isobaric Counter Diffusion). Nekatere potapljaške šole udara ICD sploh ne poznajo in dihalne mešanice računajo izključno z MOD in END, kar verjetno pomeni KONEC za novopečenega globinskega potapljača? Globinsko (100m in globlje) potapljanje s trimix-om danes še vedno pomeni precejšno mero tveganja zaradi številnih pojavov, ki jih natančno še ne poznamo.

Plinski mešanici s kisikom obogateni nitrox (EAN) in trimix navsezadnje sledita istemu osnovnemu razmišljanju: poiskati kompromisno rešitev med dekompresijskim časom na eni strani in narkotičnostjo ter strupenostjo plinov na drugi strani. S kisikom obogateni nitrox oziroma EAN je ponesrečena izbira: malenkost zmanjšane dekompresijske zahteve ne odtehtajo zelo povečane nevarnosti zastrupitve CNS. Povrhu so majhne prednosti različnih mešanic EAN uporabne izključno v razponu globin med 15m in 25m. Turistični podjetniki torej še niso izumili čudežne plinske mešanice, ki bi odtehtala potapljaško neznanje in nedisciplino adrenalinskih turistov.

Za trimix obstajajo bolj tehtni razlogi: potapljanje v globino 90m z navadnim zrakom je izredno tvegano, primerna mešanica helij-kisik (heliox) pa pri povratku iz globine 90m zahteva potapljaški zvon oziroma podmornico za globoke in dolge dekompresijske postanke. Trimix 14/35 omogoča dokaj varen potop v globino 90m z izvedljivimi dekompresijskimi postanki, ki pa so še vedno daljši kot pri tveganem potapljanju z zrakom v isto globino. Plitveje od 60m dodatek helija nima koristih učinkov, pač pa podaljšuje dekompresijske postanke in vnaša celo vrsto nevarnosti, povezanih s hitro difuzijo helija.

10bar oziroma 90m je meja, do katere lahko vsaj v teoriji varno izvedemo celoten potop: spust, zadrževanje v globini, dvig, dekompresijske postanke in povratek na površje v okolje s tlakom 1bar z eno in isto plinsko mešanico (heliox ali trimix). Mešanice za

še večje globine morajo vsebovati tako majhen delež kisika, da so na površju pri 1bar hipoksične. Praktična meja za uporabo učinkovitejših potovalnih in dekompresijskih mešanic je seveda plitvejša: dekompresija s čistim kisikom oziroma EAN50 v plitvini je smotrna že pri potapljanju z zrakom globlje od 40m.

Globlje od 120m postaja delež in s tem učinek dušika tako majhen, da med trimix-om in heliox-om ni bistvenih razlik. Ogromna poraba plina v globini in na dekompresijskih postankih seveda zahteva veliko število jeklenk oziroma dihalno napravo na zaprti krog (rebreather). Globlje od 200m postane že sam heliox pregosta zmes za dihanje, zato je treba zmes razredčiti z vodikom (H_2) v hydreliox, to se pravi mešanico vodik-helij-kisik. Na srečo je v teh globinah zahtevani odstotek kisika zadosti majhen, da hydreliox ni eksploziven.

Kje potem leži meja, do katere se človek lahko potopi? Slavni poskus podjetja Comex na dobrih 700m z mešanico vodik-helij-kisik je bil omejen s časom bivanja v suhi barokomori na 43 dni: 18 dni za spust in zadrževanje v globini ter 25 dni za povratek nazaj v okolje s tlakom 1bar. Zelo malo, če pomislimo, da je velika večina oceanskega dna globlja od 1000m! Še manj na našem sosednjem planetu Venera, kjer znaša samo pritisk ozračja kar 93bar in vsebuje v glavnem ogljikov dioksid (CO_2) s temperaturo $467^{\circ}C$ na površju...

7. Polzaprti in zaprti krog

Med zmerno dejavnostjo: počasna hoja po ravnem ali počasno plavanje s plavutmi pod vodo, človek podiha približno 20l zraka ali drugačne plinske zmesi v minuti. Ta prostornina 20 litrov ni odvisna niti od točne sestave plinske zmesi, niti od pritiska okolice, saj dihanje proži delni tlak ogljikovega dioksida $ppCO_2$, ki se sprošča skozi pljuča. Pri zunanjem tlaku 1bar človek porabi okoli 0.8l kisika v minuti. Pri dihanju zraka na kopnem to pomeni, da od razpoložljivih 21% kisika v zraku porabimo komaj 4%. Poraba zraka in hkrati kisika je seveda sorazmerna dejavnosti in se pri res veliki fizični obremenitvi trikrat do štirikrat poveča.

Ker je dihanje odvisno od izločenega $ppCO_2$, ostaja dihalna prostornina pri zmerni dejavnosti enaka 20l. Pri povečanem tlaku okolice in pri isti prostornini to pomeni znatno slabši izkoristek plinske mešanice. 20l mešanice v globini 90m pri tlaku 10bar se na površju pri 1bar razpne v 200l, torej z dihanjem izkoristimo komaj 0.4% vsebine mešanice. Vseh ostalih 99.6% vsebine jeklenke bomo v veliki globini 90m preprosto zavrgli, bolj točno uporabili za odstranjevanje razmeroma majhnih količin ogljikovega dioksida (CO_2) iz naših pljuč.

Kaj je bolj smotrno, zavreči z ogljikovim dioksidom (CO_2) onesnaženi zrak ali ga obnoviti z kemičnim sitom? V potniškem letalu je ceneje vzdrževati zračni tlak v potniški kabini in celo kabino stalno preprihovati s svežim zrakom, saj je v okolici letala zrak v izobilju, ki ga kompresorji turbinskih motorjev primerno stisnejo in ogrejejo. Kakovostne visokotlačne jeklenke nam omogočajo, da naša

preprosta potapljaška oprema za plitve potope deluje povsem enako kot kabina potniškega letala v odprtem krogu, saj izdihani zrak zavržemo. Odprti krog je za dihanje preprosta in varna rešitev ter ga uporabljamo povsod tam, kjer je to možno.

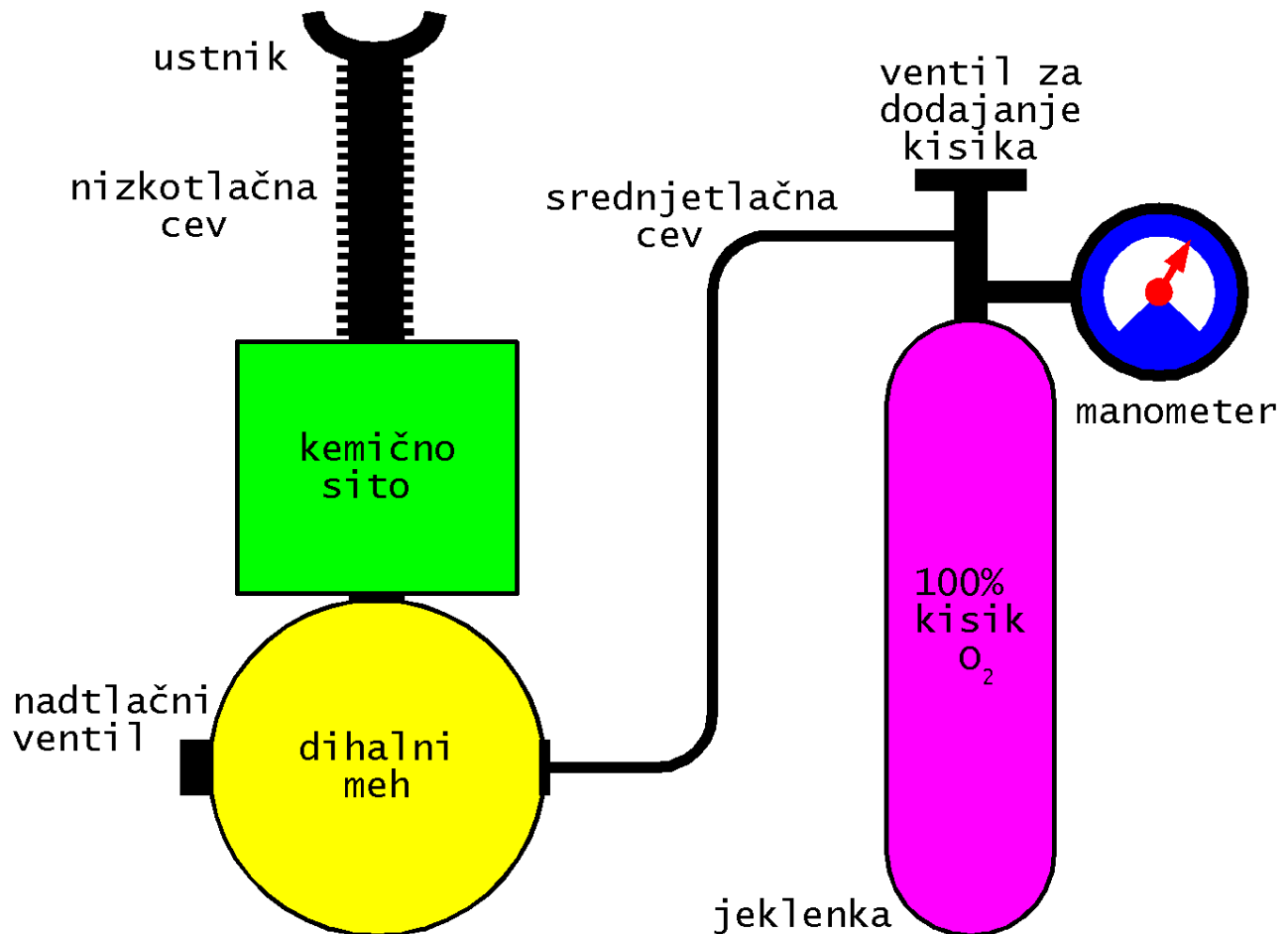
V okolici podmornic in vesoljskih ladij ni izvorov zraka, zaloga zraka na krovu pa je zelo dragocena. V podmornicah in v vesoljskih ladjah zato ozračje obnavljamo: s pomočjo kemičnih sit odstranjujemo ogljikov dioksid (CO_2) in druge nečistoče ter dodajamo kisik. Ogljikov dioksid (CO_2) lahko odstranimo iz plinske zmesi s katerikoli lugom (hidroksidom). Čisti natrijev lug (NaOH) oziroma kalijev lug (KOH) sta prenevarna: NaOH je v burni reakciji z morsko vodo zahteval življenje številnih potapljačev ameriške vojne mornarice. Največkrat se uporablja gašeno apno $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s 5% dodatkom NaOH ali KOH ali z višjim odstotkom $\text{Ba}(\text{OH})_2$ za pospeševanje kemijske reakcije, imenovano tudi dihalno apno. V vesoljskih ladjah ter v vrhunski potapljaški opremi se uporablja učinkovitejši litijev hidroksid (LiOH), ki lahko odstrani več kot dvakratno količino CO_2 v primerjavi z apnom.

Ostale nečistoče odstranimo iz ozračja podmornice ali vesoljske ladje z aktivnim ogljem. Kisik dodajamo iz jeklenke v plinastem stanju, uplinimo tekoči kisik iz primerno hlajene posode oziroma prižgemo "kisikovo svečo" (kemični generator kisika). V potniških letalih se kemični generatorji kisika aktivirajo le v primeru izgube nadtlaka v potniški kabini. Uporabljajo se tudi kemikalije, ki ogljikov dioksid (CO_2) pretvarjajo neposredno v kisik (O_2) v sorazmerni količini. Sovjetska vesoljska, letalska in podvodna tehnika uporablja v ta namen kalijev superoksid (KO_2). Kalijev superoksid eksplozivno reagira z vodo, zato se uporablja le v nekaterih vojaških potapljaških dihalnih napravah na zaprti krog sovjetskega izvora. Nevarni KO_2 naj bi bil tudi vzrok manjše nesreče na krovu ruske vesoljske postaje Mir.

V stoletju parnih strojev so izdelovali tlačne posode iz bakra, ki so zdržale kvečjemu 30bar. Angleški inženir Henry A. Fleuss je s takšno tlačno posodo leta 1878 izdelal prvo avtonomno potapljaško napravo na čisti kisik. Zaradi omejene količine plina je Fleuss izdelal dihalno napravo na zaprti krog s čistim kisikom (oxygen rebreather) in kemičnim sitom s kalijevim lugom (KOH). Kljub takojšnjemu uspehu pri reševanju podvodnega zapleta med gradnjo londonske podzemeljske železnice se potapljanje z avtonomno napravo ni uveljavilo. Naprave na zaprti krog s čistim kisikom so začeli uporabljati gasilci pred zastrupitvijo z ogljikovim monoksidom (CO), rudarji v premogovnikih pred zadužitvijo z metanom (CH_4) in podmorničarji za samoreševanje iz potopljenih podmornic.

Preprosto dihalno napravo na zaprti krog s čistim kisikom (oxygen "pendulum" rebreather) imenovano ARO (Auto Respiratore Ossigeno) so izpopolnili Italijani v obdobju med obema svetovnima vojnoma. Med drugo svetovno vojno so tako napravo učinkovito uporabljali podvodni diverzanti vseh vojskujočih strani, ljudje žabe oziroma lahki potapljači namesto prejšnjih težkih potapljačev. Čisti kisik omejuje globino potapljanja na 6m (današnja meja 1.6bar ppO_2), mogoče kakšen meter več s celoobrazno masko. Zastrupitev CNS s kisikom je bila vzrok številnih nesreč.

ARO uporablja en sam dihalni meh, da plini prečkajo kemično sito dvakrat, med vdihom in med izdihom potapljača in tako učinkovito izkoristijo dihalno apno v kemičnem situ v obeh smereh. Dihalni meh nosi potapljač na prsih, da je razlika v pritisku vode med pljuči in mehom čim manjša in je dihanje manj naporno. Mala jeklenka čistega kisika 2l/200bar omogoča zadrževanje pod vodo tri do pet ur in to neodvisno od globine potopa! Pomanjkljivost naprave je mrtva prostornina rebraste nizkotlačne cevi, ki zadržuje manjšo količino ogljikovega dioksida (CO₂) še pred sitom. Športni ARO so običajno opremljeni z ustnikom, vojaški ARO pa s celoobrazno masko.



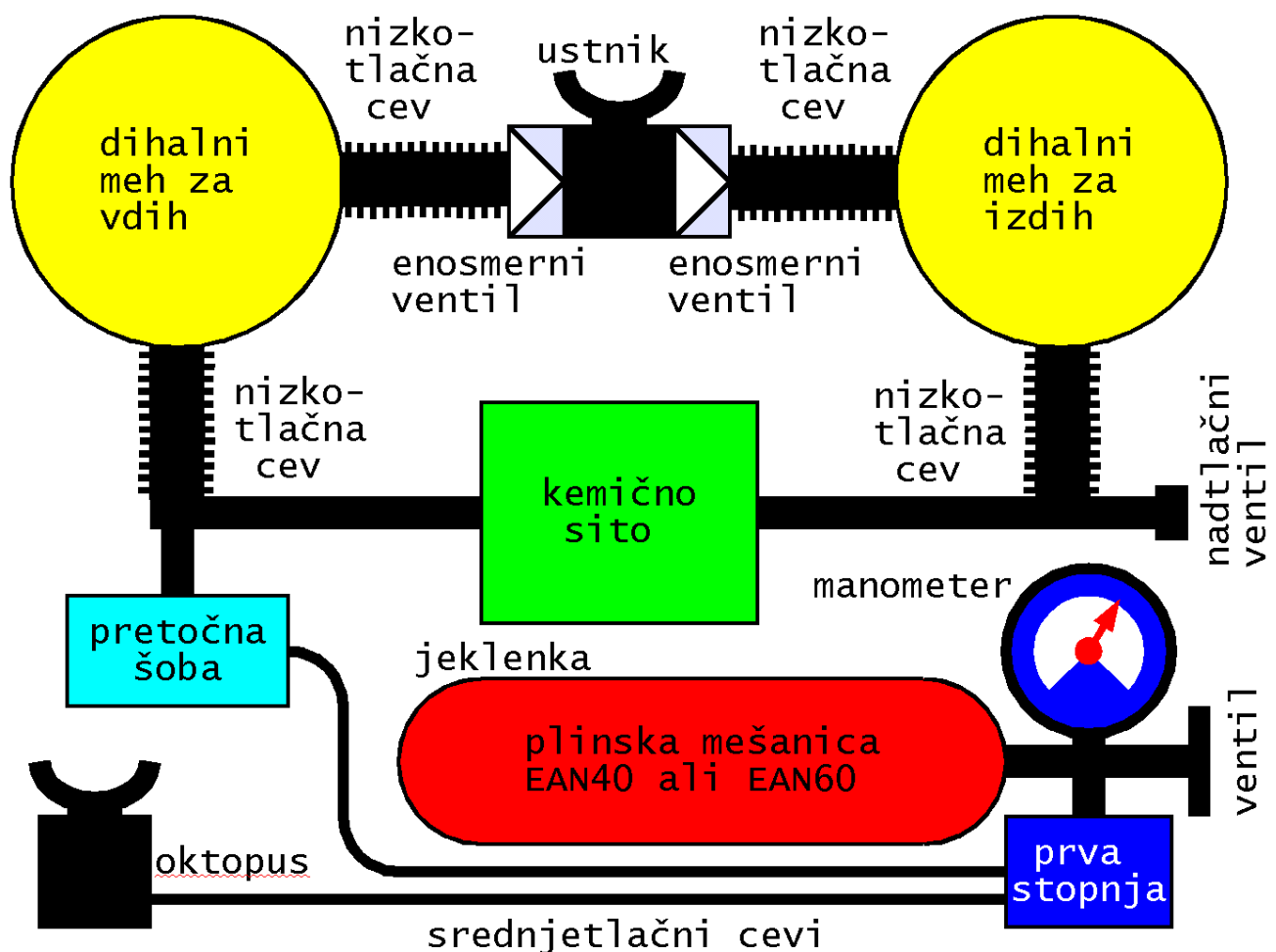
Slika 9 - Preprost zaprti krog na čisti kisik.

ARO med svojim delovanjem ne sprošča mehurčkov v okolico, kar je bistveno za prikrito delovanje podvodnih diverzantov. Ventila na jeklenki sta običajno dva vzporedno: eden stalno dodaja male količine kisika v dihalni krog, drugega pa z roko sproži potapljač, da lahko hitro napihne oziroma prepriha dihalni krog. Ker se v dihalnem mehu kopičijo ostanki drugih plinov, je priporočljivo preprihati dihalni krog vsaj vsake četrte ure. Višek plina tedaj zapusti dihalni krog preko nadtlačnega ventila na dihalnem mehu.

Preprost zaprti krog na čisti kisik ARO so v desetletju po

drugi svetovni vojni v športnem potapljanju izpodrinile varnejše in preprostejše dihalne naprave z odprtim krogom na navaden zrak, kot jih večinoma uporabljamo še danes. ARO se v športnem potapljanju danes uporablja le še v plitvih visokogorskih jezerih, kjer nižji zračni tlak okolice omogoča celo nekoliko večjo globino. Zaradi nevarnosti zastrupitve s kisikom (O_2), kopičenja ostankov drugih plinov v dihalnem krogu (nevarnost hipoksije) kot tudi zastrupitve z ogljikovim dioksidom (CO_2) (hiperkapnija zaradi izrabljenega dihalnega apna) je ne glede na globino obvezen sopotapljač.

Podmornice in vesoljske ladje uporabljajo (električni) ventilator, ki dihalno zmes poriva skozi kemično sito. V potapljaških dihalnih napravah na zaprti krog to nalogo počne prsni koš potapljača, kar pomeni dodatno obremenitev za človeka. Napor pri dihanju WOB (Work Of Breathing) se da zmanjšati z uporabo dveh ločenih dihalnih mehov za vdih in izdih. Oba mehova nosi potapljač na prsih, da je razlika v pritisku vode med pljuči in mehovima čim manjša ter je dihanje manj naporno. Dva enosmerna ventila vgrajena v samem ustniku določata smer potovanja plinov in zelo zmanjšujeta mrtvi volumen naprave, v katerem zaostaja neprečiščena dihalna zmes z znatnim deležem ogljikovega dioksida (CO_2).



Slika 10 - Polzaprti krog na obogateni nitrox (EAN).

Globino potapljanja dihalne naprave na zaprti krog je možno povečati edino z dodajanjem razredčilnih plinov. Naloga ni preprosta: razredčilni plin se med dihanjem ne izrablja, zato se začne kopičiti v dihalnih mehovih. Če razredčilni plin izpodrine ves kisik, bo potapljač podlegel hipoksiji! Jeklenko naprave na zaprti krog sicer lahko napolnimo z zmesjo dušika in kisika, lahko tudi s čisto navadnim zrakom, ampak v tem primeru moramo zagotoviti stalno prepihanje dihalnega meha s svežo mešanico iz jeklenke, da preprečimo hipoksijo. Takšno napravo imenujemo polzaprti krog ali SCR (Semi-Closed Rebreather), saj višek plinov v dihalnih mehovih stalno odvaža nadtlačni ventil.

Polzaprti krog se po osnovnem načrtu ne razlikuje od zaprtega kroga na čisti kisik. Obe predstavljeni rešitvi sta možni tudi za polzaprti krog: en sam dihalni meh oziroma ločena dihalna mehova. Razlika je v ventilih ter v velikosti jeklenk. Polzaprti krog zahteva večji pretok plinske zmesi, ki mora biti zelo natančno nastavljen s primerno pretočno šobo. Ker se pretok in z njim povezana velikost jeklenke večata z dodajanjem dušika oziroma drugih razredčilnih plinov, se največkrat uporablja nitrox EAN40 ali celo EAN60. Pri uporabi EAN40 moramo upoštevati, da potrebujemo za isti čas potopa približno petkrat večjo jeklenko (5l do 10l) v primerjavi s čistim kisikom!

Tudi pri polzaprtem krogu je poraba plina neodvisna od globine potopa in je dosti manjša kot pri odprtem krogu. Polzaprti krog sicer sprošča nekaj mehurčkov, a je teh še vedno tako malo, da je omogočeno prikrito delovanje podvodnih diverzantov. Polzaprti krog z EAN so izumili Angleži med drugo svetovno vojno, da jim potapljači sil osi s čistim kisikom niso mogli slediti v globino.

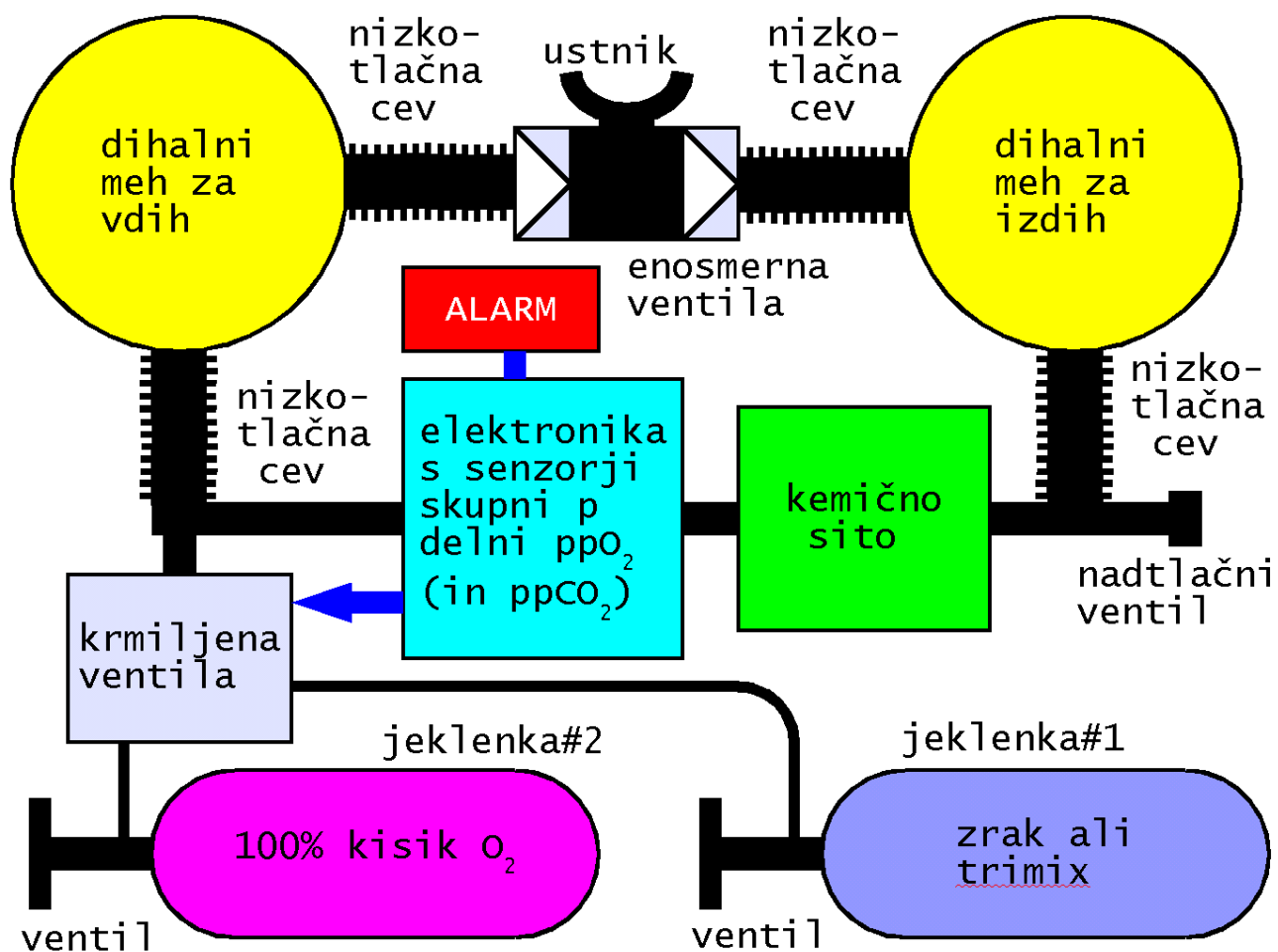
Največja globina potapljanja s polzaprtim krogom je odvisna od odstotka kisika v mešanici EAN. Z mešanico EAN40 je največja globina okoli 30m, saj ppO_2 v dihalnem krogu nekoliko upade zaradi porabe potapljača. Mešanice z manj kot 40% kisika se v polzaprtem krogu uporabljajo bolj poredkoma, ker postaneta jeklenka in proizvodnja mehurčkov tako veliki, da naprava nima več nobene prednosti v primerjavi s preprostejšim in varnejšim odprtim krogom.

Dihalna naprava z zaprtim krogom na čisti kisik (oxygen rebreather) običajno ni opremljena z nobenim reševalnim pripomočkom (oktopus ipd), saj lahko potapljač iz razmeroma majhne dovoljene globine za čisti kisik vedno varno priplava na površje, odsotnost razredčilnih plinov pa ne zahteva dekompresijskih postankov. V dihalni napravi s polzaprtim krogom SCR je jeklenka opremljena s skupnim ventilom prve stopnje, ki dovaja plinsko mešanico pretočni šobi s točno določenim srednjim tlakom. Ista prva stopnja običajno napaja še čisto navaden oktopus za odprti krog. Oktopus je namenjen reševanju sopotapljača oziroma samoreševanju v primeru okvare polzaprtega kroga (poplava dihalnega kroga, izrabljeno dihalno apno ipd).

Dihalna naprava na zaprti krog bi dosegla izjemno dobro učinkovitost izkoriščanja zaloga plinov, ko bi mogli sproti nastavljeni mešanico v dihalnem krogu. V podmornici oziroma v vesoljski ladji je to tudi edino smiselno. Prve (neuspešne) poskuse

potapljaškega zaprtega kroga z nastavljivo mešanico je opravila ameriška vojna mornarica že davnega leta 1951 z elektronskim senzorjem za paramagnetne lastnosti kisika. Američana John Kanwisher in Walter Starck sta razvila prvo uporabno potapljaško napravo z zaprtim krogom in elektronsko regulacijo dihalne zmesi za globinsko potapljanje imenovano "Electrolung" že leta 1968.

"Electrolung" je vseboval kemične senzorje za delni tlak kisika ppO_2 in električni ventil za dodajanje kisika, ki je ne glede na globino zadrževal varen ppO_2 0.5bar v dihalnem krogu. Kljub preverjenemu delovanju in dokazanim prednostim se "Electrolung" ni uveljavil na tržišču zaradi nerazumevanja takratne potapljaške skupnosti. Preteči je moralo več kot četrto stoletje, preden so se podobne dihalne naprave na zaprti krog z elektronsko regulacijo ali ECCR (Electronic Closed-Circuit Rebreather) uveljavile v športnem potapljanju.



Slika 11 - Zaprti krog z elektronsko regulacijo (poenostavljeno).

Sodobni ECCR-ji imajo poleg običajnih gradnikov dihalne naprave na zaprti krog še vrsto senzorjev za skupni tlak plinske zmesi, delni tlak kisika ppO_2 , prisotnost ogljikovega dioksida CO_2 in mogoče še kaj. Glede na izmerjeno vsebino dihalne mešanice in globino naprava krmili ventila, ki dodajata kisik (O_2) oziroma

razredčilni plin v dihalni krog. Če elektronika ne more več vzdrževati varne dihalne zmesi, se sprožita vidni in zvočni alarm.

ECCR lahko kot razredčilni plin uporablja dušik (N_2), helij (He) ali mešanico obeh. Iz varnostnih razlogov razredčilni plin vedno vsebuje tudi kisik, da lahko potapljač z ročnim upravljanjem ventilov vedno prepriha dihalni krog z varno mešanico. Jeklenka za razredčilni plin torej vsebuje zrak ali trimix in je opremljena s prvo stopnjo ter oktopusom v primeru popolne odpovedi zaprtega kroga (poplava dihalnega kroga, izrabljeno dihalno apno ipd). Prav tako je s prvo stopnjo in ločenim oktopusom opremljena tudi jeklenka kisika, da lahko v primeru odpovedi zaprtega kroga potapljač varno dokonča dekompresijo v plitvini. Oktopusa, prvi stopnji in manometra obeh jeklenk na poenostavljenem načrtu nista narisana. Poraba plinov ECCR je silno majhna, zato velikost jeklenk določajo reševalni postopki z uporabo oktopusov v odprtem krogu (bailout).

ECCR-ji se med sabo razlikujejo po vrsti in številu senzorjev in krmiljenih ventilov. Večina sodobnih naprav vsebuje tri galvanske senzorje ppO_2 in en sam krmiljen ventil za kisik, razredčilni plin pa mora potapljač sam po potrebi dodajati v dihalni krog. Trije senzorji naj bi zagotavljali večjo varnost, saj bi elektronika morala izločiti slab senzor. Žal se v praksi trije enaki senzorji starajo na enak način, tudi vlaga iz dihalnega kroga kondenzira na vseh treh na enak način. Elektronika lahko z enim samim krmiljenim ventilom le povečuje delež kisika, nikakor pa ne more zmanjšati deleža kisika v prebogati zmesi. Uporabnik naprave mora pred potopom potrpežljivo umeriti vse tri senzorje za kisik, sicer tvega res veliko!

Trgovci so poskušali naprave ECCR prodati pod geslom, da bo z ECCR dekompresija bistveno krajša oziroma sploh ne bo več potrebna, saj ECCR stalno optimizira delež kisika v plinski mešanici, torej optimizirani nitrox med samim potopom! Elektroniko so programirali tako, da ECCR vzdržuje zelo visok delni tlak kisika kar 1.3bar ppO_2 med celotnim potopom. Potapljač je v tem primeru obremenjen z visokim ppO_2 dosti bolj kot pa v običajnem potopu z odprtim krogom z EAN, kjer ppO_2 doseže visoko vrednost le v najglobljem delu potopa.

Ko potapljač s takšnim ECCR zazna opozorilne znake udara CNS, zanj skoraj ni več rešitve: prepričevanje dihalnega kroga z razredčilnim plinom nič ne pomaga in dvig v plitvino prav tako nič ne pomaga. Elektronika bo v obeh primerih takoj začela dodajati kisik, da se ppO_2 ponovno dvigne na nastavljeno vrednost. Potapljač se lahko reši edino tako, da zapre glavni ventil na kisikovi jeklenki oziroma uporabi oktopus razredčila. Oboje je v veliki globini zelo tvegano!

Dodatno tveganje predstavlja umerjanje kisikovih senzorjev. Ne glede na izvor plina jih na kopnem brez barokomore ne moremo umerjati na ppO_2 višji od 1bar, pod vodo pa naj senzor deluje pri 1.3bar ppO_2 ? V primeru treh enako starih senzorjev bo potapljač dobil še dosti več od nastavljene vrednosti 1.3bar ppO_2 . Rezultat nam je žal dobro znan: stotine potapljaških nesreč, pogosto z usodnim izidom, tudi v naši neposredni bližini, v hrvaškem kvarnerju. Potapljaška javnost je po krivem obdolžila elektroniko, ki ni prav

nič kriva za nepravilne postopke umerjanja senzorjev kisika niti upoštevanja njihovih načinov staranja. Krivi so površno razmišljanje načrtovalcev, pohlep trgovcev in uporaba nitrox-a preko vsake razumne meje!

Težave in staranje kisikovih senzorjev so dobro znani. Eno malo ameriško podjetje celo izdeluje miniaturno barokomoro, ki jo priključimo na jeklenko kisika in z njo na kopnem umerjamo senzorje kisika pri delnem tlaku 1.3bar ppO_2 in še dosti več. Prava rešitev je seveda povsem drugje, v drugačni zasnovi naprave ECCR. Ta mora biti v stanju sama preverjati učinkovitost senzorjev za kisik in jih umerjati med samim potopom, saj na senzorjih lahko kondenzira vlaga. ECCR mora biti opremljen s krmiljenim ventilom tudi za razredčilni plin, da elektronika lahko sploh znižuje previsok ppO_2 . Končno je še najbolj pomembno nastavljanje ppO_2 na bolj varno, dosti nižjo vrednost nekje med 0.5bar in 0.8bar. Dekompresijski postanki so pač malo daljši in nujno potrebni.

Udar CNS prinaša pri večini naprav z zaprtim krogom še dodatno nevarnost. Med krči in nezavestjo potapljaču ustnik izpade iz ust in dihalni krog naprave se poplavi. Voda tvori z dihalnim apnom nevarno lužino, ki lahko ožge usta potapljača. Po prenehanju nezavesti ponesrečenec ne more več uporabiti svoje dihalne naprave, z ožganimi usti bo težko dihal skozi katerikoli oktopus. Nekateri ECCR-ji poplavo dihalnega kroga rešujejo s hidrofobično membrano, ki preprečuje dostop vode do dihalnega apna. Žal ista membrana ovira tudi pretok plinov in povečuje napor pri dihanju. Novejši ECCR-ji namesto dihalnega apna v zrnati obliki uporabljajo vnaprej pripravljene vložke: svitke polietilenske pene, v katere je vgrajeno apno. V takšnih svitkih se apno počasneje raztaplja v vodi.

Ker je poplava dihalnega kroga zelo nevaren dogodek, zahtevajo vse naprave z zaprtim krogom dodatno šolanje potapljačev. Ustnik naprave z zaprtim krogom je običajno opremljen z ventilom DSV (Dive-Surface Valve), s katerim lahko potapljač zapre dihalni krog, da si pod vodo sname ustnik brez poplave dihalnega kroga. Hkrati ventil DSV omogoča, da potapljač na površini diha okoljski zrak z nameščenim ustnikom oziroma celoobrazno masko. Nekatero naprave imajo ustnik opremljen z elastičnim paščkom kot maska, ki naj bi preprečeval nenameren izpad ustnika pod vodo. Iz istega razloga imajo nekatere celoobrazne maske celo notranji ustnik, kar naj bi predstavljalo dvojno zaščito pred poplavo dihalnega kroga.

Žal ne gre pri potapljanju prav nič drugače kot v letalstvu, kjer so vsi pomembni dosežki zapisani s krvjo poskusnih pilotov, v nekaterih primerih tudi potnikov. ECCR je naprava, ki se danes šele razvija. Marsikateri ECCR ima oba dihalna mehova vgrajena v škatlo naprave na hrbtu, kar pomeni večjo tlačno razliko in večji napor pri dihanju podo vodo. Nekateri ECCR so imeli prav nerodne začetniške napake: ko je potapljač skočil v vodo, je baterijski vložek izskočil iz ležišča in elektronika je prenehala delovati...

Vsi bi želeli boljši kisikov senzor, ki se ne stara, ki ne potrebuje pogostega umerjanja in ki ni občutljiv na kondenzirano vlago v dihalnem krogu. Prav tako bi želeli zanesljiv senzor za ogljikov dioksid (CO_2) in merilnik izrabljenosti dihalnega apna.

Nekatera dihalna apna so opremljena s kemičnim indikatorjem pH vrednosti, ki spremeni barvo v izrabljenem apnu. Nekateri ECCR merijo temperaturo v različnih točkah posode z dihalnim apnom in preko te meritve sklepajo na preostalo učinkovitost apna.

Meritev $ppCO_2$ je še posebno pomembna, ker ogljikov dioksid (CO_2) ni samo močno narkotičen, pač pa tudi stimulira dotok kisika v tkiva in na ta način pospeši udar CNS celo pri nižjih delnih tlakih kisika ppO_2 . Zaenkrat izgleda najbolj obetaven način merjenja majhnih, a nevarnih vrednosti $ppCO_2$ preko absorpcije infrardeče svetlobe. Potrebujemo torej majhen, cenen in zanesljiv polprevodniški laser na primerni valovni dolžini. Količina ogljikovega dioksida (CO_2) se v pljučih potapljača povečuje zaradi mrtvih prostornin zaprtega kroga, izrabljenega dihalnega apna oziroma namernega zadrževanja diha. To zadnje potapljači z odprtim krogom in še posebno potapljači na dah običajno počnemo! Zaprti krog torej iz varnostnih razlogov zahteva drugačna pravila dihanja, saj tu poraba plinov ni odvisna od hitrosti dihanja.

Končno potrebuje tudi uporabnik ustrezno poznavanje delovanja naprave ECCR ter njenih omejitev. Z umerjanjem senzorjev za kisik bi se sicer morala ukvarjati elektronika, ampak uporabnik mora kljub temu razumeti omejitve uporabljene tehnike. Pred potopom je nujno opraviti preizkus tesnjenja naprave pri podtlaku in nadtlaku, saj vdor vode onemogoči dihalno apno in hkrati tvori nevarno lužino. Končno mora potapljač tik pred potopom na suhem dihati določeno število minut s pomočjo ECCR, da se dihalno vlakno navlaži ter ogreje na delovno temperaturo in šele tedaj lahko učinkovito odstranjuje ogljikov dioksid (CO_2) iz plinske mešanice.

ECCR je vsekakor prihodnost športnega potapljanja, saj omogoča številne prednosti pred odprtim krogom:

- (1) ECCR je vsaj pol manjši in lažji od jeklenke za odprti krog pri potopu v srednje globine (50m), v večjih globinah še dosti več,
- (2) ECCR omogoča varno potapljanje do 50m z zrakom, do 100m s trimix-om in v bližnji bodočnosti verjetno do 150m z uporabo dveh ali več različnih razredčilnih plinov,
- (3) ECCR omogoča naravno sproščeno dihanje, saj poraba plinov ni odvisna od hitrosti dihanja,
- (4) neobremenjeno dihanje z ECCR omogoča boljše izločanje CO_2 iz pljuč in s tem manjšo nevarnost zastrupitve s kisikom CNS oziroma manjšo nevarnost zastrupitve s CO_2 ,
- (5) z ECCR potapljač diha ves čas potopa topel in vlažen plin, torej ga ne bo zeblo niti se ne bo izsušil kot pri mrzlem in suhem zraku iz odprtega kroga,
- (6) ECCR skoraj ne proizvaja mehurčkov, torej ne plaši podvodnih živali niti ne moti podvodnih fotografov,
- (7) ECCR omogoča optimizirano a hkrati varno dekompresijsko mešanico za katerikoli potop, kar skrajšuje čas dekompresije na najmanjšo

varno vrednost,

(8) ECCR omogoča počasno in zvezno spreminjanje sestavin dihalne mešanice, kar preprečuje nevarni udar ICD pri menjavi plinskih mešanic.

Če na poti v tople južne kraje najprej zaupamo elektroniki ABS in EPS našega avta, da na poti do letališča ne zgrmimo s ceste, danes so itak vsa potniška letala fly-by-wire, če zaupamo elektroniki FADEC (Full Authority Digital Engine Control), ki upravlja s kotom lopatic in plinom turbinskega motorja, da kljub nemarnemu ravnanju pilota ne bo razneslo letalske turbine, potem lahko v toplém morju pod vodo zaupamo še elektroniki res dobrega ECCR, da bo tam skrbela za našo varnost in udobje.

8. zaključki

V zaključkih moram držati obljubo in svetovati, kako ravnati v tem svetu novotarij. Za novotarije ni nujno, da se tičejo nas samih. Kaj pa če si naš zvesti in priljubljeni sopotapljač omisli rebreather, se ne bomo več potapljali z njim? In kaj, če so si v klubu omislili mešalni ventil za nitrox in trimix? Poglejmo si tu na hitro novotarije v enem smiselnem vrstnem redu!

Nekoč so potapljaške šole učile, da v primeru sile odvržemo uteži. Proizvajalci pasov za uteži so takšne nauke poslušali in izdelali zaponke, ki se neverjetno hitro odpnejo z enim samim gibom in z eno samo roko, če ne že same od sebe kar tako... Izguba pasu z utežmi je do globine kakšnih 10m nedolžna stvar. Globlje od 15m ima izguba vseh uteži zagotovo usodne posledice!

Protiukrep je enostaven: uteži razdelimo v dve skupini, polovico jih damo v žepe kompenzatorja plovnosti in drugo polovico na pas za uteži. Če v globini izgubimo le polovico uteži, bomo povečano plovnost zagotovo uspeli premagati s plavutmi, mogoče celo poiskati izgubljene uteži, saj plovnost neoprenske obleke z globino upada.

Kompenzator plovnosti izgleda na prvi pogled nepomembna podrobnost, je pa v resnici zelo spremenil športno potapljanje. Kompenzator plovnosti nam omogoča, da med celotnim potopom ne tratimo naših dragocenih moči samo za statično vzdrževanje nevtralne plovnosti. Prihranek zraka v jeklenki, podaljšanje časa potopa in povečanje dosegljive globine so najbolj očitne posledice pravilne uporabe kompenzatorja plovnosti, niso pa najpomembnejše.

Zmanjšana obremenitev telesa pomeni manjši dotok vseh plinov v naše telo, torej tudi znatno manjše neželjene učinke dihanja teh plinov v globini v okolju s povečanim tlakom. Zmanjšani so narkotični učinki dušika in drugih razredčilnih plinov, zmanjšana je nevarnost zastrupitve CNS s kisikom, zmanjšana je verjetnost nastopa dekompresijske bolezni. Po drugi strani ima nepravilna uporaba kompenzatorja plovnosti oziroma neusposobljenost odpravljanja napak pod vodo za posledico usodno "izstrelitev" iz globine na površje, ki

je porumeneli vojaški priročnik ne pozna niti se je v nekaterih potapljaških šolah ne omenja dovolj.

V topli morski vodi se zagotovo vsakdo dobro počuti v preprosti mokri obleki. Tudi polsuha obleka ni kaj dosti drugačna, točneje bi ji rekli polmokra. Za potop v mrzlem jezeru je verjetno smiselna suha obleka. Kaj pa v prav tako mrzli a deroči reki? Tam je suha obleka neverjetno okorna, drža potapljača z glavo dol in nogami pod blagim kotom navzgor pa vse prej kot primerna za suho obleko.

Suha obleka deluje tudi kot pomožni kompenzator plovnosti, vendar je rokovanje z njo bolj nerodno in kaj hitro lahko povzroči usodno "izstrelitev" na površje. Če si je suho obleko omislil naš zvesti sopotapljač, moramo vse te omejitve upoštevati ter pravilno ukrepati v primeru njegovih težav od napihnjenih nog do neobvladljive "izstrelitve" na površje.

Poklicni in vojaški potapljači pogosto uporabljajo celoobrazno masko, med športnimi potapljači pa je skoraj neznana. Mogoče nezaupanje v celoobrazno masko izvira iz časov, ko se nezanesljivi avtomobilski ventil za metan ni dal priključiti nanjo? Ustnik je vsekakor varnejša rešitev v primeru odpovedi opreme, celoobrazna maska pa lahko pomeni preživetje v primeru narkotičnega udara oziroma udara CNS.

Celoobrazna maska je vsekakor udobnejša v hladni vodi, še posebno, če omogoča tudi bolj naravno dihanje skozi nos. Povrhu omogoča vgradnjo mikrofona podvodnega telefona. Celobrazna maska postane nujen pripomoček, če prevoz ponesrečenca v barokomoro ni možen in mu lahko pomagamo le s ponovnim potopom, po možnosti s čistim kisikom.

Žal proizvajalci opreme še vedno smatrajo celoobrazno masko za opremo poklicnih in vojaških potapljačev: resna maska in pripadajoče druge stopnje regulatorjev so temu primerno drage. Šole športnega potapljanja žal celoobrazne maske ne učijo. Jasno mora vsak uporabnik obvladati nameščanje celoobrazne maske pod vodo, varen prehod na oktopus z ustnikom oziroma nazaj na celoobrazno masko ter nudenje pomoči sopotapljaču, ki takšno opremo uporablja.

Potapljaški računalnik izloča človeške napake in razbremenjuje potapljača duhamornega računanja pod vodo. Pravih dekompresijskih nesreč zaradi napačnega izračuna zato skoraj ne poznamo več. Dekompresijska nesreča je lahko le še posledica drugačne podvodne nezgode: odpovedi opreme, napaka v rokovanju s kompenzatorjem plovnosti ali suho obleko, narkotični ali CNS udar.

Razvoj računalnikov gre vsekakor v pravo smer: nadzor porabe zraka in nadzor srčnega utripa napovedujeta težave potapljača, preden se te razvijejo v nesrečo. Pri potapljanju v paru je nujno poznati vsaj osnovne ukaze in način izpisa podatkov tudi na računalniku našega sopotapljača. Kaj storiti, ko sopotapljačev računalnik kaže zelo drugačne številke od našega? Kaj pa, če se enemu od računalnikov zmeša in nam ne zna več svetovati varnega dviga na površje?

Dekompresijski računi so nas nekaj naučili: vsak potop v trajanju več kot tri minute v globino več kot 6m zahteva določen čas za varen povratak na površje. Torej je skoraj vsak potop z dihalno napravo "dekompresijski" potop. "Nedekompresijski" potopi obstajajo samo v porumenelih vojaških tablicah, v resnici jih pa ni! Navidez nezahtevna iskalna akcija v plitvem jezeru, kamor se petkrat ali desetkrat zaporedoma potopimo na globino 6m, se tam zadržimo 5min in se hitro vrnemo na površje za orientacijo in stik z drugimi potapljači, zvečer zagotovo povzroči slabo počutje: z vsakim dvigom smo črpali nove in nove količine dušika v obstoječe mehurčke.

Nepremišljeno ravnanje z opremo oziroma okvare pasu z utežmi, kompenzatorja plovnosti in suhe obleke imajo lahko usodne posledice, trajno invalidnost ali smrt, pri potopih, ki so, kar se tiče trajanja in globine, v porumenelih potapljaških tablicah opisani kot popolnoma nenevarni! Žal "izstrelitve" iz "nenevarnih" potopov povzročajo vsako leto žrtve tudi med slovenskimi potapljači. Vsi potapljači bi se morali zavedati, da ima "izstrelitev" iz globine 25m popolnoma enak učinek kot utopitev na človeško telo: 10min po prekinitvi dostave kisika celice živčnega sistema odmrejo in poti nazaj ni več.

Kaj lahko storim ob moji "izstrelitvi", saj sem tudi sam neroda, ko tisti dan vstanem z levo nogo, naredim tri zapovrstne neumne napake in povrh odpove še kakšen kos moje opreme? Na pomoč mojega sopotapljača se lahko zanašam le v globini, če je razdalja do njega zadosti majhna. Nikakor ne morem od mojega sopotapljača pričakovati, da se bo takoj za mano "izstrelil" še on na površje in pri tem žrtvoval svoje zdravje, mogoče celo življenje zaradi mojih neumnosti.

Kakršnokoli odlašanje na površju je smrtonosno, vsaka minuta šteje! TAKOJ se moram ponovno potopiti vsaj v globino varnostnega postanka, po možnosti v spremstvu drugih potapljačev v bližini in s pomočjo njihove opreme, če gre za odpoved ali izgubo delov moje opreme. Obtežena varnostna jeklenka z regulatorjem, ki visi na šestih metrih vrvi s potapljaške barke, je tedaj neprecenljiva! Varnostna jeklenka naj po možnosti vsebuje čisti kisik ali vsaj EAN50, saj je nevarnost zastrupitve s kisikom tedaj drugotnega pomena v primerjavi s hudim dekompresijskim prekrškom.

Čedalje pogostejša uporaba plinskih mešanic nitrox in trimix pomeni, da manometer niti zdaleč ne zadošča več za ugotavljanje vsebine jeklenke. Analizator kisika bi danes moral znati umeriti in pravilno uporabljati prav vsak potapljač, tudi če se želi potapljati z navadnim zrakom. Niti analizator kisika ne ločuje med zrakom in trimix-om, ki bi imel enako vsebnost kisika, prisotnost helija pa zahteva daljše in globlje dekompresijske postanke od zraka! Če naš sopotapljač uporablja drugačno dihalno mešanico, se morava oba prilagoditi eden drugemu. EAN sicer zahteva krajše dekompresijske postanke, ampak tudi počasnejše premikanje in manjšo aktivnost v omejeni globini zaradi nevarnosti udara CNS.

Plinska vojna med najrazličnejšimi potapljaškimi šolami se je nekoliko poglobila, ko so številne žrtve potrdile neučinkovitost nitrox-a in nevarnost helija. Vrli mešalci plinov z druge strani

velike luže so prišli do pomembnega odkritja: sodobna potapljaška oprema, ki potapljača razbremeni fizičnih in umskih naporov, omogoča razmeroma varno potapljanje z zrakom do globine vsaj 60m! Številne potapljaške šole danes ponujajo tečaje z imeni "Extended-Range Diver" ali podobno za potapljanje z zrakom do 50m, 55m ali 60m. Kaj je točno snov takšnih tečajev, ni povsem jasno, saj moramo ista znanja obvladati tudi plitveje?! Meja med "nedeljskim" in "tehničnim" potapljačem je s tem popolnoma zabrisana.

Kaj pa če si je naš sopotapljač omislil ECCR oziroma nam vodja potapljanja kar določi v par neznanca s takšno napravo? Kaj nam sopotapljač z ECCR lahko nudi v primeru odpovedi naše opreme in kako lahko mi rešujemo njegove zaplete? V nobenem primeru ne smemo pograbitati njegovega ustnika z dvojno nizkotlačno cevjo, saj bi mu tako poplavalih dihalni krog. V globini ne smemo niti pomotoma zagrabitati njegovega oktopusa s čistim kisikom, saj bo po nas! Sopotapljač z ECCR bo pogosteje uporabljal kompenzator plovnosti, ker s pljuči tega ne more početi, saj se vsota prostornine pljuč in dihalnih mehov ECCR ne spreminja!

ECCR ni več tako redka naprava, začetniške načrtovalske napake so proizvajalci odpravili in uporabljajo se bolj varne nastavitve ppO_2 . Prednosti ECCR so zelo zanimive tudi za potapljače, ki jih velike globine ne zanimajo, pač pa uživajo s toplim in vlažnim zrakom iz ECCR ter sovražijo mehurčke, ki odganjajo podvodne živali in jezijo fotografe. ECCR bo zagotovo našel svoje mesto v športnem potapljanju. Vse potapljaške šole bi morale učiti vsaj osnove potapljanja z zaprtim krogom, sicer smo uporabniki takšnih naprav prepuščeni na milost in nemilost proizvajalcev in njihovih trgovcev, ki marsikdaj zamolčijo pomembne pomanjkljivosti svojih izdelkov.

Po vsem povedanem si tukaj drznem napovedati naslednji veliki korak v športnem potapljanju: samodejno reševanje ponesrečenega potapljača! Če povežemo naloge celoobrazne maske, ki preprečuje utopitev nezavestnega potapljača, potapljaškega računalnika, ki je opremljen s sondami za srčni utrip ter hitrost dihanja in ECCR, ki je na ukaz sposoben proizvesti različne plinske mešanice, dobimo potapljaško opremo z neverjetnimi zmogljivostmi. Sondi za srčni utrip in hitrost dihanja lahko napovesta skorajšnji narkotični udar oziroma udar CNS, ampak takojšnje ukrepanje s prilagajanjem plinske mešanice ECCR takšen dogodek prepreči.

Če do narkotičnega udara ali udara CNS vendarle pride, se računalnik ne vda! Računalnik tedaj previdno napihne dihalna mehova ECCR, ju uporabi kot kompenzator plovnosti in nezavestnega potapljača počasi in varno pripelje na površje, brez barotraume in z vsemi obveznimi dekompresijskimi postanki. Povsem jasno mora naprava dopuščati možnost, da lahko priseben potapljač takoj prekine avtomatiko, enako kot lahko pilot letala v trenutku odklopi avtopilota. Obratno ukrepa sopotapljač reševalec, ki avtomatiko vključi, da sam ne tvega nevarnega dviga v modro.

Članek o potapljaških novotarijah sem začel s primerjavo z letalstvom, kar se vleče kot rdeča nit skozi cel članek. Za zaključek mi je ostala še najpomembnejša primerjava: preverjanje in

obnavljanje našega znanja. v letalstvu je obnavljanje znanja nekaj vsakdanjega: vsak pravi letalec se veseli prav vsakega dodatnega šolskega kroga in vsakega pristanka, ne glede na leta izkušenj in tisoče ur v zraku. Po daljši prekinitvi letenja: tri mesece za malo športno letalo, se zahtevajo vsaj trije pristanki z učiteljem na krovu za preverjanje znanja.

Kaj pa mi potapljači? Kolikokrat preizkusimo naš oktopus pod vodo? Kaj pa snemanje in nameščanje opreme pod vodo vključno z utežmi? Kaj pa oprema našega sopotapljača, smo poskusili kdaj potop z njegovim regulatorjem, masko, plavutmi, kompenzatorjem plovnosti ali drugim delom opreme, kar nam v primeru odpovedi naše opreme lahko reši življenje? Kolikokrat pomagamo učitelju pri delu z začetniki na tečaju? Kakšen zgled dajemo začetnikom po opravljenem tečaju?

Če naj bi ta moj članek dosegel svoj namen, potem bralca zagotovo zanima, kje bi lahko izvedel več o katerikoli obravnavani temi. Če smo pred desetletjem na spletu dobili le reklame, dobimo danes prav vse, od več kot sto let starih poskaniranih strokovnih člankov in patentnih prijav do zelo dobro organizirane wikipedije in drugih spletnih enciklopedij. Številne spletne strani se ukvarjajo s tehničnim potapljanjem, dihalnimi napravami na zaprti krog in nenazadnje z muzejsko potapljaško tehniko. Končno se marsikaj naučimo tudi iz reklam proizvajalcev opreme, ki jih moramo seveda jemati s primerno mero previdnosti.

O plinih in dekompresiji najde wikipedia pod gesli "oxygen toxicity" in "decompression sickness" s številnimi zunanji linki. Povsem jasno sama wikipedia ne more biti 100% zanesljiva. Ponekod naletimo na povsem pristranske članke, a resnici na ljubo je wikipedia še najboljša, kar se tega tiče. Za zaprti krog, polzaprti krog in vse v zvezi s takšnim potapljanjem priporočan spletni strani: <http://www.therebreathersite.nl/> in <http://www.bishopmuseum.org/research/treks/palautz97/index.html>

S preverjanjem informacij sem se namučil tudi pri pisanju tega članka, saj sem pogosto naletel na dva ali tri vire, od katerih vsak razlaga isti pojav na povsem drugačen način. Komu potem zaupati? Sam sem skušal sestaviti skupaj različne vire v logično celoto, ampak ne morem jamčiti ničesar. Prijatelji Kostja Makarovič, Branko Belingar in Marko Hlebec so mojo pisarijo večkrat pazljivo prečitali že med njenim nastajanjem in me opozorili na številne napake in nejasnosti, kar sem skušal v končnem besedilu odpraviti. Kostja me je opozoril na odlično slovensko knjigo z naslovom: Fiziološke in fizikalne osnove potapljanja, Slavko Potočnik, Ljubljana, 2000.

Vsak naj torej razume ta članek in ravna po lastni presoji!

Večina nepotapljačev smatra, da je potapljanje adrenalinski šport. Isti ljudje enačijo pustolovščino z adrenalinom. Jaz bi rekel ravno obratno: pustolovščina in adrenalin sta dva točno nasprotna pojma, ki eden drugega izključujeta. Adrenalin pomeni nič vložka in veliko tveganja za ničvreden rezultat. Pustolovščina pomeni veliko dela in priprav zato, da tveganje zmanjšamo na najmanjšo možno mero

in hkrati dosežemo vreden cilj. Sam se imam za pustolovca...



slika 12 - Krn in veliko krnsko jezero.
