

Könnyűbúvár alapismeretek – fizikusoknak

A búvárpalackban (sok filmben hallható szöveg ellenére) nem oxigén, hanem sűrített levegő van. Az oxigén ugyanis robbanásveszélyes és egy bizonyos nyomás felett/bizonyos időn túl mérgező (roncsolja a szervezetet). Oxigénpalackkal csak profi búvárok merülnek, és legfeljebb 10 m mélyre. Munkavégzéshez használják, mert a kilélegzett levegő nem megy vissza a vízbe, hanem egy speciális szűrővel kiszűrik belőle a széndioxid nagy részét, tehát ismét felhasználható lesz. Ezért hosszabb ideig tudnak lenni maradni a víz alatt (tovább kitart a palackban lévő oxigén). A sűrített levegő ráadásul olcsóbb (☺), és sokkal könnyebb előállítani.

Érdekességként megjegyzem, hogy az amerikai űrhajósok az űrruhában szintén tiszta oxigént lélegeznek be, az orosz űrhajósok palackjában viszont sűrített levegő van.



Oxigén használata esetén a kilélegzett levegő visszamegy egy szűrőbe, majd újra felhasználásra kerül.

A víz nyomása lefelé (minden folyadékhoz hasonlóan) nő. Közelítőleg éppen 10 m magas vízoszlop nyomása egyenlő a légköri nyomással, azaz 10^5 Pa. Ez könnyen kiszámítható a folyadékok nyomását megadó képletből ($\rho \cdot h \cdot 10$ N/kg). A továbbiakban ezt az értéket nevezzük el 1 bar-nak. A víz alatt tehát 10 m mélyen 2 bar, 20 m mélyen 3 bar stb. a nyomás.

A búvárpalackot általában 200 bar nyomásra töltik fel. Ez nagyon nagy érték! Vigyázni kell, hogy meg ne sérüljön a palack (például a tetején lévő csapnál), mert akkor robbanásszerűen távozik belőle a nagy nyomású levegő, és a palack egy rakétához hasonlóan megindul. Még egy közfalat is kidönthet. A búvárpalackokat 5 évenként nyomáspróbának vetik alá. Csak hibátlan palackkal szabad merülni (fel sem töltik, ha nincs meg a nyomáspróba igazolása.)

Az emberi szervezet legnagyobb része víz, így nem nyomható össze. Ezért a búvár – lefelé merülve – nem érzékeli a víz nyomását. Ez alól a szabály alól a testüregek jelentenek kivételt, főleg a tüdő (lásd később), az arcüregek és a dobhártya mögötti, úgynevezett külső fül. Merülés közben gondoskodni kell arról, hogy ide megfelelő nyomású levegőt pumpáljunk. Enélkül az arcüregekben elviselhetetlen, szúró fájdalom jelentkezik, a búvár nem tudja folytatni a merülést. A dobhártya pedig már 8-10 méter mélyen beszakadhat (mivel kívül nagyobb a nyomás, mint belül). Szerencsére az orrüregből nyílások vezetnek az említett üregekbe. Ha befogjuk az orrunkat (és becsukjuk a szánkát), majd megpróbálunk fújni egyet, akkor levegőt pumpálunk ezekbe az üregekbe, így kiegyenlítjük a kinti és a belső nyomás közti különbséget. A búvár merülés közben 2-3 méterenként elvégzi ezt a kiegyenlítést, kis gyakorlattal szinte már automatikusan. Egyébként éppen azért van a búvármaszkon (nem búvárszemüvegen!!!) külön orr-rész, hogy a búvár meg tudja fogni az orrát, amikor kiegyenlít.

A nyomáskülönbség érzékelhető akkor is, ha kerékpárral vagy autóval lefelé megyünk egy nagyobb lejtőn. Tompa nyomást érzünk a fülünkben, amit a laikusok ásításszerű lélegzetvétellel vagy nyeléssel egyenlítenek ki (ekkor is megnyílnak a belső csatornák).

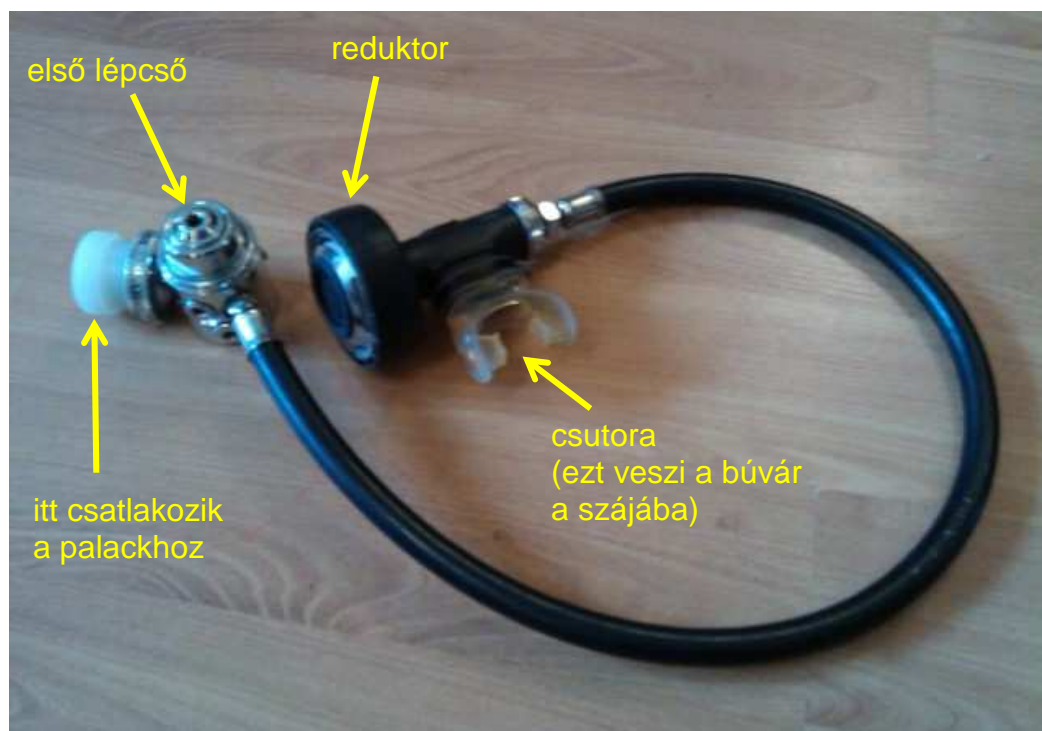
Emelkedés közben viszont a belső üregekben lévő levegő a nagyobb nyomása miatt magától visszaáramlik az orrba, onnan pedig a külvilágba. Az összekötő csatornák olyanok, hogy befelé nem tud magától menni a levegő, de kifelé igen.

A test többi részén azonban semmiképpen nem érzékeli a bűvár a víz alatt megnövekedett nyomást.

A tüdővel kissé bonyolultabb a helyzet. Lélegzetvételnél nem „beszívjuk” a levegőt, szívni ugyanis nem lehet! Hanem a mellizmok segítségével kitágítjuk a tüdönket (a férfiaknál a rekeszizom is közreműködik, de ezt hagyjuk ☺). Ezáltal belül kisebb lesz a nyomás (megnő a térfogat), ezért a szájon vagy orron át a nagyobb nyomású külső levegő beáramlik a tüdőbe. A mellizmok tágítását természetesen akadályozza a nagyobb külső nyomás. A mellizmok már 1-2 m mély vízben sem tudnák a tüdőt kitágítani a víz nyomásával szemben. Ezért a bűvárpalackból a bűvár egy speciális szerkezeten keresztül szívja a levegőt. Ezt a szerkezetet reduktornak nevezik, mivel redukálja (csökkenti) a palackban lévő nyomást. Egy rugalmas lemez (membrán) segítségével éppen akkora nyomáson adagolja a levegőt a bűvár szájába, mint amekkora körülötte van (10 m mélyen tehát 2 bar nyomáson, mert 1 bar a víz nyomása, 1 bar pedig a vízre nehezedő külső légnyomás). Ezért az izmok ki tudják tágítani a tüdőt, és a bűvár tud lélegezni. De ezt a megnövekedett légnyomást nem érzékeli a bűvár, úgy lélegzik, mint fent, a felszínen (lásd a végén a megjegyzéseket).

A bűvárfelszereléssel merülő bűvár tehát könnyen tud levegőt venni, akármilyen mélyre merül (lásd a végén a megjegyzéseket).

A pontosság kedvéért megjegyzem, hogy a nyomáscsökkentés két lépésben történik. Egy szerkezet a palack tetején a 200 bar-ról körülbelül 20 bar-ra csökkenti a nyomást (első lépés), tehát a bűvár szájához vezető gumicsőben már nem 200 bar a nyomás ☺. A bűvár szájánál lévő reduktor csökkenti tovább a nyomást a bűvár körül lévő víz nyomására.



A palacktól a bűvár szájához vezető levegőcső és tartozékai



*Könnyűbúvár a szájában lévő csatorával és a hozzá kapcsolódó reduktorról
A kilélegzett levegő a vízbe távozik.
Megfigyelhetjük a maszkon lévő, különálló orr részt is.*

További megjegyzés: mivel a sűrített levegővel merülő, úgynevezett könnyűbúvár a vízbe fújja ki az elhasznált levegőt, eléggé pocskolja a palackban lévő levegőt. Az elhasznált levegő ugyanis még elég sok (kb. 17%) oxigént tartalmaz (a levegőben 21% oxigén található, tehát 4%-ot fogyasztunk el belőle). Egy átlagos, 15 literes palackban lévő levegő 10 m mélyen kb. 1 óráig elegendő (tapasztalt, lassan, megfontoltan lélegző búvár esetén). A mélység növekedésével azonban gyorsan csökken az időtartam. Nem csak a nagyobb nyomás és a kötelező tartalékképzés miatt, hanem a feljövételhez szükséges idő miatt is (lásd a végén a megjegyzéseket). 40 m mélyen már 10-15 percnél tovább nem lehet tartózkodni.

Miért nem merülnek a búvárok úgy, hogy egy hosszú csövön keresztül, a felszínről szívják a levegőt? Részben a fent említett okokból, az izmok nem tudnák kitágítani a tüdőt, ha a belélegzett levegő nyomása kisebb lenne, mint a körülöttük lévő víz nyomása. De egy hosszabb cső esetén egyszerűen a kilélegzett levegőt szívják ismét be, mert ez maradna benne a csőben a friss levegő helyett.

Megjegyzések

Mint említettem, a kötelező kiegyenlítésen túl a bűvár nem érzékeli sem a víz, sem a belélegzett levegő megnövekedett nyomását. A szervezete azonban a következőképpen reagál rá.

- A nagyobb légnyomás miatt a vér az oxigén mellett nitrogént is felvesz a belélegzett levegőből. Ez oldódik a vérben. A nitrogén semleges gáz, tehát önmagában nincs semmilyen következménye. Amikor azonban a bűvár jön felfelé, időt kell adni a nitrogénnek, hogy kiürüljön a szervezetből. Ha túl gyorsan jön fel, akkor a nitrogén buborékokat képez a vérben, ami elzárhatja a vér útját. Ez nagyon súlyos, akár halálos következménnyel járhat (embólia). Ezért csak lassan szabad feljönni (10 m/perc sebességgel), és emelkedéskor meghatározott mélységekben, meghatározott ideig várakoznia kell a bűvárnak.
- Emelkedéskor a várakozás mélysége és ideje függ a merülés legnagyobb mélységétől és időtartamától. Ha például egyből lemennénk 40 m mélyre, akkor mindössze 5 percig lehetnénk lent úgy, hogy felfelé ne kelljen megállni (persze ekkor is 4 perc alatt lenne szabad feljönni). Ha 40 m mélyen 25 percet tartózkodnánk, akkor fölfelé 12 m mélyen 6 percig, 6 m mélyen 10 percig, és 3 m mélyen 14 percig kellene várakozni. Ez az emelkedéshez szükséges 4 perccel együtt összesen 34 percet jelent (tehát ennyi ideig tart a feljövétel, plusz még a lemerülés ideje és a lent töltött idő). A palackban nincs annyi levegő, ami ezt lehetővé tenné. Régebben vízhatlan táblázatokat vittek magukkal a bűvárok. Manapság már egy karórához hasonló bűvárkomputer jelzi az emelkedés módját.



Bűvárkomputer

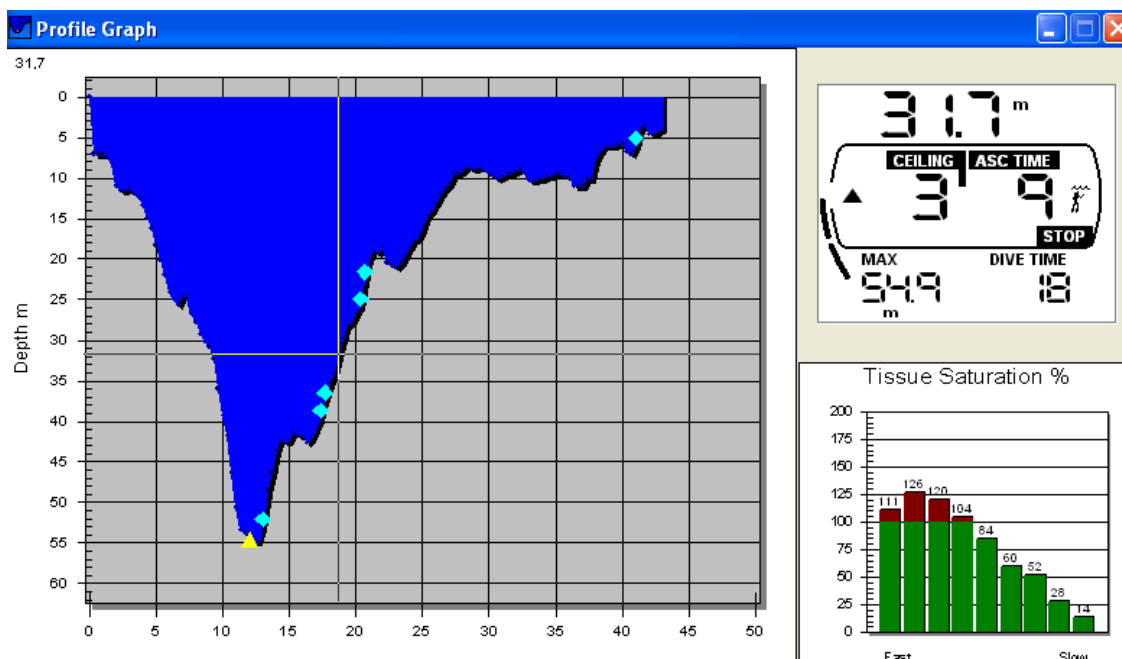
A kijelzőn látható értékek:

A bűvár 14,6 m mélyen van. Még 34 percig tartózkodhat ebben a mélységben úgy, hogy fölfelé ne kelljen megállnia. A víz hőmérséklete 24 °C, és 12 perce tart a merülés.

- A szervezet elvileg nem reagál a vérben oldott nitrogénre, de a tapasztalatok szerint 40 méternél nagyobb mélységben részegséghez hasonló tünetekhez vezethet (mélységi mámor). A bűvár elveszti önkontrollját, eldobálja a felszerelését stb. Ezért a merülés megengedett legnagyobb mélysége 40 m (az újabb szabályok szerint 30 m). A mélységi mámor jelentkezése nem szabályszerű, és függ a bűvár szervezetétől, gyakorlottságától (ahogy a szeszital fogyasztásra sem egyformán reagálnak az emberek ☺). Én 54 m mélyen voltam a legmélyebben, de soha semmi nyomát nem éreztem a mélységi mámoroknak.
- A nagyobb nyomású levegőnek természetesen nagyobb a sűrűsége, ezért 50-60 mélyen már a levegővétel is fárasztóbbá válik. 70-80 m mélyen pedig a bűvár már nagyon gyorsan elfáradna a levegővételtől. Mélyebbre olyan gázkeveréssel merülnek,

amelyben a nagy molekulatömegű nitrogént kis molekulatömegű héliummal helyettesítik (ezzel a mélységi mámort is kiküszöbölik).

- Az oxigén már halálosan mérgező a szervezetre, ha a saját nyomása eléri az 1,4 bar-t. Mivel a normál levegőben kb. 20% oxigén van (saját nyomása tehát 0,2 bar), 7 bar nyomáson éri el az oxigén résznyomása az 1,4 bar-t, ami 60 m mélyen jön létre. Ezért sűrített levegős palackkal szigorúan tilos 60 m-nél mélyebbre merülni. (Egy gázkeverékben egy összetevő saját nyomását a fizikában parciális (részleges) nyomásnak nevezik.)
- Végezetül: többek között a fenti okok, és egyéb biztonsági tényezők miatt szigorúan tilos egyedül merülni. A palackban pedig tartalékban meg kell hagyni a levegő 20%-át. Ezt csak vész helyzetben szabad felhasználni.



Saját búvárkomputeremet számítógéphez lehet csatlakoztatni, ahová át lehet másolni a merülések adatait. A fenti ábrán az 54 m-es merülés grafikonja látható. A vízszintes tengely az időt mutatja percben, a függőleges tengely pedig a mélységet méterben. A sárga háromszög a legnagyobb mélységnél helyezkedik el. A kék rombuszok azokat az időpontokat jelölik, amikor túl gyorsan emelkedtem. Ilyenkor a komputer hangjelzéssel figyelmeztetett, hogy lassabban emelkedjek.

A jobb oldali ábrán a grafikon szálkeresztje által jelzett pozíció adatai láthatók. Felül a búvárkomputer kijelzőjének egyszerűsített ábrája. 31,7 m mélyen voltam, 18 perce merültem, maximális mélységem 54,9 m volt (ez valójában a búvárkomputer helyzete a karomon ☺). Középen mutatja, hogy a felszínre emelkedés előtt 3 m mélyen 9 percig kell várakoznom. A bal szélén lévő, a maximális mélység kijelzésétől induló két ferde vonal az emelkedés sebességét jelzi. Ha megjelenik egy harmadik vonal is, akkor túl gyorsan emelkedem (ilyenkor hangjelzést ad a komputer).

A jobb alsó sarokban lévő diagram 9 különböző testszövet nitrogénnel való telítettségét ábrázolja az adott időpontban. Ezek alapján számolja ki a komputer az emelkedés módját. Amíg bármelyik testszövet telítettsége nagyobb, mint 100%, addig nem szabad feljönni a felszínre.

A víz alatt természetesen ez nem ilyen bonyolult, csak a jobb felső sarokban lévő kijelzőt látom. ☺

Összeállította: Juhász Tibor