Fyzika pro potápěče

Jednotky měření dle mezinárodního systému SI – odvozené

1. Délka – metr (m)

(v USA palec inch 2,54 cm stopa feet 30,5cm)

Hmotnost - kilogram (kg) libra 0,453 kg

2. Síla F Newton (N) $F = m \times a$ (kg. m /s ^{2})

Tíhová síla- tíha $G = m \times g$ g= tíhové zrychlení 9,8 m/s^2

3. Hustota $\rho = \frac{m}{V}$ [kg /m^3 , g/cm^3]

Sladká voda 1000 Slaná voda 1030 Vzduch 1,25

4. Tlak p Pascal (Pa) $p = \frac{F}{s}$ (N/ m^2)

atmosférický tlak je 100 kPa = 0,1 MPa =1 atm = 1 bar = 1 kp/cm^2
při hladině moře
(v USA často používaná jednotka PSI 1lb/inch^2 = 7kPa)

a/ **hydrostatický tlak** $p = h \times \rho \times g$ / h – hloubka v metrech , ρ hustota
g-tíhové zrychlení

Tlak způsobený vlastní tíhou tekutiny,nezávisí na množství kapaliny ani na tvaru nádoby- Hydrostatické paradoxon

Přírustek hydrostatického tlaku na 10 m = 1 atm

Hloubkoměry jsou cejchovány většinou na moře, ve sladké vodě ukazuje hloubkoměr **menší** hloubku, než je ve skutečnosti (Hustota sladké vody je menší, tudíž k dosažení stejného hydrostatického tlaku je zapotřebí větší hloubky

b/ **vnější tlak**

tlak vyvolaný účinkem okolních těles na volný povrch tekutiny
V případě zeměkoule je vnějším tlakem tlak atmosferický

Pascalův zákon: Vnější tlak je v celém prostoru tekutiny stejný

c/ **Celkový-statický tlak** = hydrostatický tlak + vnější-atmosferický tlak

Tzn. např v 10m hloubky= 1atm + 1 atm = 2 atm = 0,2 MPa

Při zanoření potápěče pod vodu dochází ke zvýšení tlaku v tělních tekutinách na hodnotu statického tlaku zvýšenou samozřejmě o hodnotu krevního tlaku- toto je v praxi zanedbatelné

ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KAPALIN

Tekutost- mění tvar , ale nemění objem
Tvar je daný tvarem nádoby a na volném povrchu tvoří hladinu

Nestlačitelnost (minimální stlačitelnost) na rozdíl od plynů
(na 1 km vodního sloupce cca 2m- tj 0,2% na 10km vodního sloupce cca 200m-tj.2%)
[lidské tělo je složeno z 65% z vody- tj.je nestlači
telné, vyjma dutin naplněných plynem]

Viskozita- vazkost, Tvorba kapek

Plavání těles

Na tělesa ponořená do kapaliny působí síla směřující vzhůru a nadlehčující těleso-

Vztlaková síla $F_{VZ} = V \times \rho \times g$

Naopak působí síla směřující dolů - tíha tělesa

Tíha $G = m \times g$

Archimédův zákon: Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou rovnající se tíze kapaliny tělesem vytlačené

Výsledná síla VZTLAK = F vz – G

A/ Vztlaková síla je větší než tíha F vz > G
Těleso stoupá , VZTLAK je pozitivní

B/ Vztlaková síla se rovná tíze F vz = G
Těleso se vznáší, síly jsou v rovnováze

C/ Vztlaková síla je menší než tíha F vz < G
Těleso klesá , VZTLAK je negativní

Možnost řešení porovnáním hustot ρ
A/ Hustota kapaliny je větší než hustota tělesa
B/ Hustota kapaliny je stejná jako hustota tělesa
C/ Hustota kapaliny je menší než hustota tělesa

U plovoucích těles se vztlaková síla počítá pouze z objemu ponořené části, kdežto tíha z hmotnosti celého tělesa.
Topící se neplavec křičí- změnšuje si objem těla, zvyšuje si hustotu a snižuje vztlakovou sílu.
Dále zvedáním paží nad hladinu se zmenšuje jeho objem, zase tedy i vztlaková síla a je tlačen pod vodu tíhou horních končetin

Tělesem ponořeným do kapaliny může být i jiná kapalina

A/ mořská slaná voda ve sladké vodě :

Slaná je hustší, drží se při dně a může být i teplejší (po bouři a dešti či vývěru sladké vody je na hladině vrstva vody sladké a chladné.
Přechod slané a sladké vody je HALOKLINA voda se nazývá BRAKICKÁ – prostředí opticky nebezpečné, potápěč vidí silně rozmazaně.

B/ voda s rozdílnou teplotou

Největší hustotu má voda 4st Celsia. Voda chladnější i teplejší má menší hustotu. ANOMÁLIE VODY
V důsl.tohoto vodní plochy nezamrzají až na dno. Na dně našich vod je celoročně min.teplota 4 st Celsia. Při potápění pod ledem – led 0 a postupně se voda ohřívá až na 4 st . Dekomprese pod ledem je prováděna vždy v nejchladnější vodě.
Mořská voda díky rozpuštěným solím může dosahovat až záporných hodnot -2st Celsia (Titanic)
Ostré teplotní rozhraní různě teplých vrstev vody TERMOKLINÁLA

OSMOZA

Jev daný podílem rozpuštěných látek ve vodě. Čím je větší podíl solí např. v mořské vodě, tím je větší osmotický tlak a naopak.
Destilovaná voda: Osmotický tlak 0 MPa
Krev, tělní tekutiny: 0,6 MPa
Mořská voda: 2 – 3 MPa
Přes polopropustnou membránu (plicní sklípek) je průnik vody z roztoku o nižším osmotickém tlaku do prostředí s vyšším osmotickým tlakem. ŘIDŠÍ kapalina ředí HUSTŠÍ kapalinu
Tonutí ve sladké vodě: Voda se z plic vstřebává do krve a způsobí hemolýzu krvinek
Tonutí ve slané vodě: Voda v plicích nasává krev z cév a způsobí otok plic

MECHANIKA PLYNU

Plyn, která nás nejvíce zajímá je VZDUCH. Vzdušný obal okolo země ATMOSFÉRA
Následkem vlastní tíhy vzduchu vzniká ATMOSFÉRICKÝ TLAK

U hladiny moře 1 atm = 100 kPa
1000m n m = 88 kPa
3000m n m = 69 kPa

Složení atmosférického vzduchu: 78% N2 Dusík
21% O2 Kyslík
1% (0,03 CO_2, 0,95 He a jiné vzácné plyny, vodní pára)

Hustota plynů – závisí na teplotě a tlaku Normální hustota při t 0st Celsia a tlaku 100kPa
Je u vzduchu 1,25 kg/m^3

Plyny jsou na rozdíl od kapalin STLAČITELNÉ.
Stav plynu je určen STAVOVÝMI VELIČINAMI
Stavové veličiny p tlak (Pascal) T teplota absolutní (Kelvin)
V objem (m^3)

Při konstantní teplotě hovoříme o ISOTERMICKÉM DĚJI T= konst.

Boyle –Mariotteův zákon: p × V = konst. $p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 = \text{konst.}$
Součin tlaku a objemu je konstantní

Všechny děje ,při kterých dochází při změně tlaku ke změně objemu a naopak- změna objemu plic či žaketu při výstupu, výpočet mezní hloubky při potápění na nádech…

Přepouštění láhev 1. : Objem V1, tlak p1
Láhev 2. : Objem V2, tlak p2

Výsledný tlak po přepuštění: $p = \frac{p1 \times V1 + p2 \times V2}{V1 + V2}$

Při konstantním tlaku hovoříme o ISOBARICKÉM DĚJI p = konst.

Gay – Lusacův zákon: $\frac{V}{T}$ **= konst.**

Při konstantním objemu hovoříme o ISOCHORICKÉM DĚJI V = konst.

Charlesův zákon : $\frac{p}{T}$ **= konst.** T – absolutní teplota v Kelvinech (st Celsia + 273)

Změna tlaku v láhvi při změně teploty – při plnění lahví kompresorem dojde k zahřátí, po poklesu teploty po plnění dojde taktéž k poklesu tlaku

Vztah všech tří veličin vyjadřuje **Stavová rovnice plynu** $\frac{p \times V}{T}$ **= konst.**

Pro ideální plyn p× V = n× R× T
(n- látkové množství , R – molová plynová konstanta)

Výpočet spotřeby vzduchu

Objemový průtok- objem vzduchu, který projde plícemi za jednotku času. Udává se v litrech/ minutu

Q (ventilace lt/min) = V (objem vzduchu) : t (čas)
Také počet dech za minutu (16) násobíme průměrným objemem jednoho dechu (0,5lt)
Q = 16 x 0,5 = 8 lt / minutu spotřeba na vzduchu- ve vodě jen u špičkových plavců

Rekreační potápění, plavání na hladině = Středně těžká práce **30 lt (20 lt) / minutu**
Dekomprese 17 lt / min

K výpočtu spotřeby v hloubce slouží veličina **redukovaná ventilace Q red.**

$$\mathbf{Q_{red}} = \frac{Q \times p(vhloubce)}{p(nahladině)}$$

Vyjadřuje objem vzduchu vydýchaného v hloubce převedeného na atmosferický tlak
Např. ve 20 m je tlak 3 atm, Q = 30 lt/min
Q red.= 30 x 3 : 1(atmosferický tlak) = 90 lt/min

Plánování doby ponoru

1. Celková zásoba vzduchu - objem vzduchu za atmosferického tlaku
Použitelná zásoba – (celková zásoba – reserva 20-50 bar)

Např. l0 lt láhev 200 bar Celk. zásoba= 200 x 10 = 2000 lt
Použitelná zásoba 200 bar – 20 bar reserva = 180 bar x 10 lt = 1800 lt

2. Redukovaná ventilace Q red. = Q (30 lt/min) x p : p atm
Např: v 10 m je p = 2 bar Q red. = 30 lt x 2 : 1 = 60 lt /min

3. Doba ponoru = Použitelná zásoba : Redukovaná ventilace
Doba = Použ.zás. 1800 lt : Q red. 60 lt/min = 30 minut

Obecně platí- čím je ponor náročnější, tím jsou pravidla plánování ponoru složitější
Pro jednoduché ponory - Pravidlo **POLOVINA + 15 bar –** pro bezdekompresní ponory

Výstup zahajujeme při tlaku v lahvích :(např. při zahájení sestupu máme 200 bar, výstup zahajujeme při tlaku polovina- tj. 100 bar + 15- reserva = tzn .při tlaku **115bar)**

Pro složitější ponory- do uzavřených prostor, dekompresní ponory platí např.pravidlo **TŘETINOVÉ**

1/3 zásoby pro SESTUP 1/3 zásoby pro VÝSTUP 1/3 RESERVA

Dílčí tlaky plynů

Vzduch- směs plynů (dusík,kyslík, vzácné plyny, CO_2..)
Pro směs plynů platí **DALTONŮV ZÁKON**

Každá složka ve směsi má takový tlak, jaký by měla ,kdyby zaujímala při stejné teplotě celý objem sama

Tomuto tlaku říkáme **dílčí tlak – parciální p_d**

$$p_d = \frac{\% \times p}{100}$$

% - objemové procento plynu p – celkový tlak plynu

např. dílčí tlak kyslíku při atmosferickém tlaku vzduchu
kyslík – 21% ve směsi pd = 21 x 100 kPa : 100 = 21 kPa

Rozpouštění plynu v kapalinách

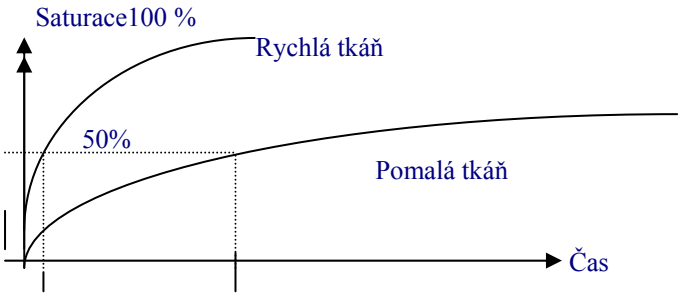
Je-li nad kapalinou plyn o určitém dílčím tlaku, bude se tento plyn v kapalině rozpouštět.Toto sycení probíhá nejdříve rychle, pak se zpomaluje až se zastaví. Je dosaženo stavu **úplného nasycení – saturace**

Saturace je rovnovážný stav, při kterém se dílčí tlak plynu rozpuštěného v kapalině rovná dílčímu tlaku téhož plynu nad kapalinou.

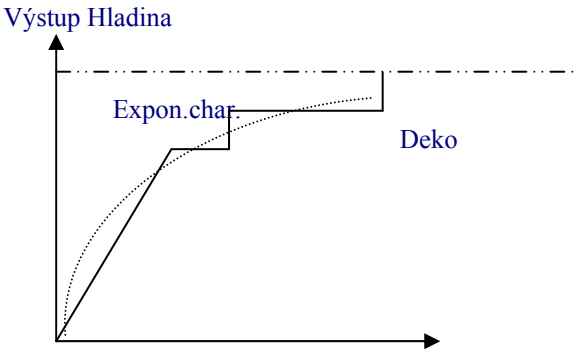
Sestup:
Zvýšíme-li tlak plynu nad kapalinou, dojde opět k sycení až na 100% nasycení odpovídající zvýšenému parciálnímu tlaku.
Rozdílná rozpustnost je daná jednak růzností plynů ,tak i kapalin. Např. v oleji se rozpouští asi 5 x více dusíku než v krvi za stejných podmínek.

Za zvýšeného tlaku dojde k rozpouštění inertního plynu ze vzduchu (dusík) ve tkáních. Tkáně se sytí až na stav 100% nasycení- saturace.
Doba za kterou se tkáň nasytí na 50% - **Poločas sycení**

Podle rychlosti sycení a vylučování tkáně dělíme na :
Rychlé (krev, dobře prokrvené orgány- srdce, játra, plíce..)
Střední (kůže)
Pomalé (tuky- mozek, vazy, šlachy, kosti,chrupavky)



Poločas sycení T_R T_P



Čas výstupu

Výstup:
opačný pochod- vylučování plynu ze tkáně do krve. Převáží-li dílčí tlak plynu rozpuštěného v kapalině dílčí tlak téhož plynu nad kapalinou- kapalina se stává přesycenou plynem.
Při dodržení rychlosti výstupu bude rozdíl mezi dílčími tlaky malý a molekuly plynu se vylučují zpětnou difusí.
Při rychlém výstupu se molekuly plynu mohou vyloučit i ve formě bublinek-

Vznikne **DEKOMPRESNÍ CHOROBA**

K dodržení správného vylučování inertního plynu z kapaliny musí potápěč vystupovat předepsanou výstupovou rychlostí (dříve 20 m/min, nyní cca 10 m/min) a měl by kopírovat exponenciální charakter desaturace-odsycování. V praxi tzn.-
provádění stupňovité dekomprese

Stupeň nasycení organismu inertním plynem závisí na okolním tlaku- hloubce a času .
Tyto dva faktory musíme zohlednit při výpočtu dekomprese dle dekompresních tabulek, či je zaznamenává potápěčský počítač , který dekompresi stanoví sám.

Šíření tepla

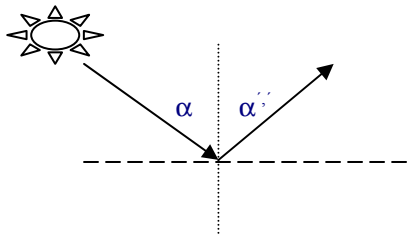
Teplo se šíří vedením prouděním zářením
V praxi jsou nejvíce rozšířeny obleky s pasivní ochranou- zpomaluje únik tepla
Ztráta tepla je tím menší, čím je menší tepelná vodivost materiálu. Nejlepší vodiče tepla- kovy
Nejlepší isolanty- plyny (vzduch, CO_2, argon) Ty jsou obsaženy v poresních isolačních materiálech- NEOPREN
Člověk potřebuje tepelnou isolaci při teplotě okolní vody pod 34 st Celsia.
Mokrý oblek:
Minimální tloušťka neoprénového obleku je 3mm, optimum 5-7mm. Isolaci tvoří oblek- průchodu tepla je kladen odpor přestupem tepla z tuhé látky do plynových bublinek a naopak, špatnou tepelnou vodivostí plynu v komůrkách.
Zhoršení isolačních schopností- voda, která pronikla pod oblek , stlačení vzrůstající hloubkou

Suchý oblek:
Neoprenový oblek- nevýhodou je snížení isolačních vlastností a vztlaku se vzrůstající hloubkou.

Membránový – isolační vlastnosti obleku se nemění.
Isolace je podmíněna isolačními vlastnostmi podobleku a vlastností napouštěného plynu. Zlepšení oproti vzduchu – Argon, CO_2 cca o 30%.

Optika

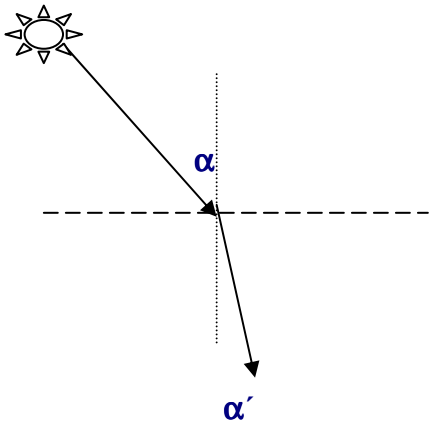
Světlo při průchodu z jednoho prostředí do druhého se A/ pohltí
B/ odrazí
C/ láme



B/ odrazí – úhel dopadu se rovná úhlu odrazu

$\alpha = \alpha'$

C/ láme – při průchodu z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího se paprsek láme KE KOLMICI
Úhel lomu je menší než úhel dopadu

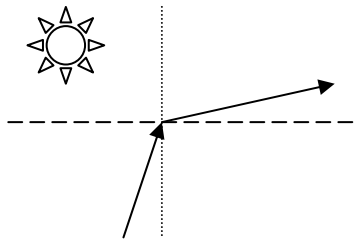


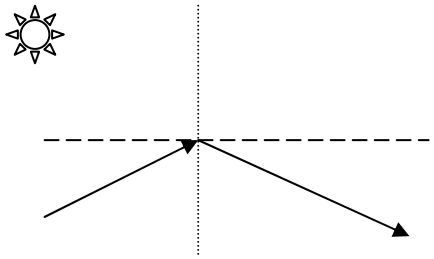
Zákon lomu: $n = \dfrac{\sin us\alpha}{\sin us\alpha'}$

n - Index lomu vody = 1,33

Naopak při průchodu paprsku z vody na vzduch- lom od kolmice. Při zvětšování úhlu dopadu až na 49 st- MEZNÍ ÚHEL paprsek se láme na hladinu, při překročení tohoto úhlu dojde k ÚPLNÉMU ODRAZU.

- vše se odrazí od hladiny zpět do vody.





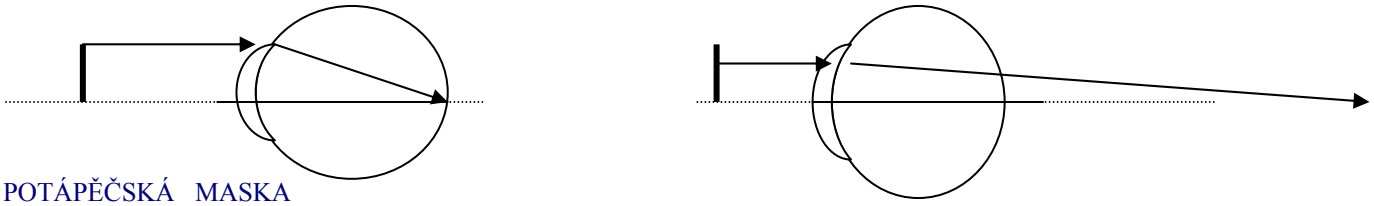
Oko na suchu- největší lom na rozhraní vzduch- rohovka, která má optickou mohutnost okolo 60D.

Pod vodou k tomuto lomu nedojde a **oko je silně dalekozraké až + 50D**

V potápěčské masce dojde k lomu- voda / vzduch a vzduch / oko . Předměty vidíme relativně větší- ze zákona lomu lze vypočítat, že zvětšení se rovná indexu lomu tj. 4/3 – tj **o třetinu větší**

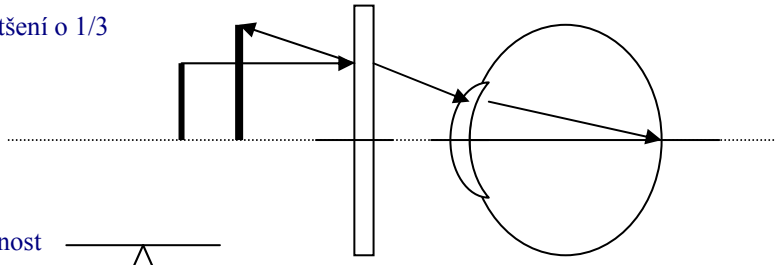
Přiblížení blízkých předmětů – činí 1/n = 3/4 tzn. že předměty vidíme **o čtvrtinu blíže**

VZDUCH VODA



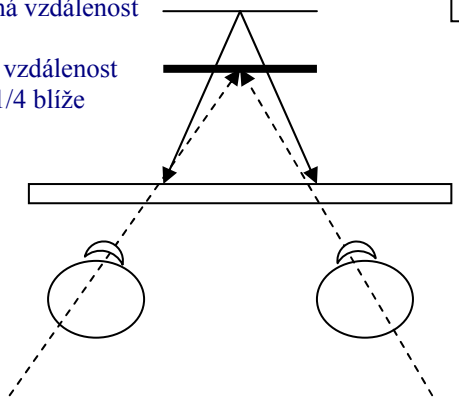
POTÁPĚČSKÁ MASKA

Zvětšení o 1/3



Skutečná vzdálenost

Viděná vzdálenost
O 1/4 blíže



Akustika

Nauka o zvuku. Slyšitelný zvuk v rozmezí 16 Hz- 20 kHz . Pod tuto hranici- Infrazvuk, nad Ultrazvuk
Rychlost šíření zvuku při 20 st Celsia ve vzduchu 344 m/s ve vodě 1484 m/s
Při dopadu zvuk.vlny na rozhraní dvou prostředí - vzduch / voda - většina se odrazí
Poměr akustických impedancí je 1: 4000 – tudíž nelze pod vodou mluvit.
Slyšení na vzduchu: bubínkové
kostní
Slyšení pod vodou : pouze kostní
Pod vodou: Nejsme schopni rozpoznat směr , odkud zvuk přichází
Nejsme schopni ani orientačně odhadnout vzdálenost od zdroje zvuku