

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

Zemědělská fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Milan Staněk

2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA v ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Příprava výukových materiálů pro předmět
agrofyzika: vlastnosti vody

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Petr Bartoš Ph.D.

Autor bakalářské práce: Milan Staněk

České Budějovice, 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 15. 8. 2015

.....
Milan Staněk

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu doc. RNDr. Petru Bartošovi, Ph.D. za podněty k vypracování této bakalářské práce, za jeho vstřícnost a nasazení.

Abstrakt

Bakalářská práce obsahuje souhrn vlastností vody na planetě Zemi. Základní přehled o chemických a fyzikálních vlastnostech vody bude sloužit jako podklad pro tvorbu výukových materiálů pro předmět agrofyzika. Rešeršní metoda uvádí základní přehled o vodních skupenstvích a řadě fyzikálních zákonů. V textu je uváděna i řada příkladů, jak sledované vlastnosti ovlivňují životy lidí i zvířat na Zemi.

Klíčová slova

Vlastnosti vody, agrofyzika.

Abstract

This bachelor thesis contains a summary of the properties of water on the Earth. Furthermore the chemical and physical properties of water are supposed to be used as teaching material for the agrophysics course. The search method provides a basic overview of the water phases and several physical laws. The text describes a couple of examples of how mentioned properties affect the lives of people and animals on the earth.

Key Words

Properties of water, agrophysics

Obsah

1	Úvod a cíl práce.....	9
2	Voda	10
2.1	Chemické vlastnosti vody.....	10
2.2	Skupenství vody a skupenské přeměny	12
2.2.1	Fázový diagram	17
2.2.2	Fázový diagram vody	18
2.2.3	Tání.....	19
2.2.4	Tuhnutí	22
2.2.5	Sublimace a desublimace	23
2.2.6	Var a kondenzace	24
3	Vlastnosti vody a jejich využití	27
3.1	Hustota vody	29
3.2	Vztlaková síla	32
3.3	Archimédův zákon.....	33
3.4	Měrná tepelná kapacita	35
3.5	Vlhkost vzduchu	37
3.6	Hydrostatický tlak.....	38
3.7	Pascalův zákon.....	39
3.8	Stlačitelnost.....	41
3.9	Adheze a koheze	41
3.10	Povrchové napětí.....	43
4	Závěr	50
5	Seznam použité literatury	51

6 Internetové zdroje.....53

1 Úvod a cíl práce

Život na planetě Zemi vznikl reakcí vodních skupenství a látek v nich obsažených. Voda dnes pokrývá tři čtvrtiny povrchu Země, patří mezi základní esence života. Přibližně 60% váhy lidského těla tvoří tato životadárná tekutina.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na vlastnosti vody na naší planetě. Cílem bakalářské práce je vypracování literární rešerše, která by mohla sloužit k výukovým materiálům pro předmět agrofyzika (<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Agrofyzika>) „cit. k. 1.4.2015“. Tato vědní disciplína pojí dvě témata – fyziku a agronomii, kde sleduje zejména vliv člověka na kulturní ekosystémy (<https://en.wikipedia.org/wiki/Agronomy>) „cit. k 1.4.2014“.

Čtenář předkládaného textu by měl být obeznámen o vlastnostech vody pohledem fyzikálních a chemických vědních disciplín. Studie se zaměří na chemický rozbor vody, bude sledována skupenská přeměna, několik fyzikálních zákonů i základní fyzikální veličiny, jako jsou tlak, hustota či měrná tepelná kapacita.

Voda se na Zemi nenachází jen v různých skupenstvích, ale liší se i např. voda slaná od sladké. Jaký vliv na celkový ekosystém může mít tání ledovců, změna teplot během ročních období či výstavba např. vodních přehrad? Pokaždé dochází k určité fyzikální přeměně vody, kde se míchá voda sladká se slanou vodou, kdy dochází k tání, zamrznání i vypařování. Jednotlivé vazby mezi těmito přeměnami budou vyjadřovány fyzikálními vzorci, vztahy mezi fyzikálními veličinami.

Rešeršní metoda povede k ucelenému souhrnu učiva, které bude předkládáno na základě studia české vysokoškolské literatury (skripta, učebnice), vydaných i nevydaných vědeckých pojednání a příruček volně dostupných na internetu.

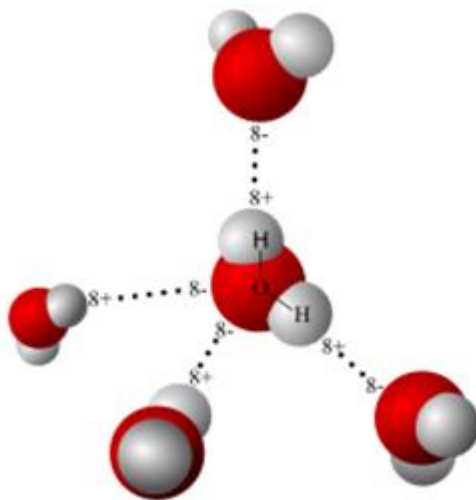
Agrofyzika má svůj původ ve Spojených státech amerických, v průběhu 20. století se ale rozvíjela i v sovětském Rusku, ve východní Evropě. V Polsku, Československu a v Maďarsku se konaly první agrofyzikální konference, na kterých se z československé strany podíleli R. Řezníček, J. Blahovec, J. Pecen či P. Hnilica, již od sedmdesátých let 20. století (DOBRZAŃSKI, GRUNDAS, STĘPNIEWSKI, 2013; GLIŃSKI et al., 2011).

2 Voda

Voda se na Zemi nachází především v kapalném skupenství. Tekutiny se přizpůsobují tvaru nádob, neboť jejich základní vlastností se schopnost téci. Voda stejně jako ostatní tekutiny není schopná dlouhodobě udržet síly rovnoběžné se svým povrchem, protože není schopná přenášet smyková napětí (HALLIDAY et al., 2007).

2.1 Chemické vlastnosti vody

Molekulu vody tvoří dva atomy vodíku, které jsou vzájemně provázané s jedním atomem kyslíku. S prvními vědeckými zjištěními o chemickém původu vody přišli Henry Cavendish a Antoine Lavoisier. Ztímco Brit Cavendish identifikoval vodík, druhý jmenovaný vědec našel původ vodíku ve vodě. Výsledky jejich výzkumu dokončili Gay-Lussac s Alexandrem von Humboldtem, kteří v roce 1804 prokázali, že voda je tvořena jedním atomem kyslíku a dvěma atomy vodíku (BOSE, 2007).



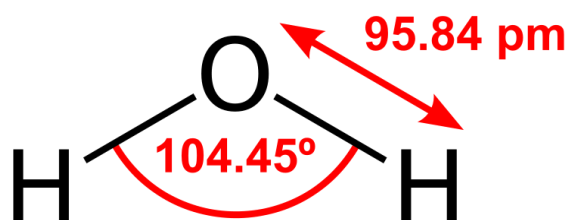
Obrázek 1: Vodíková vazba ve vodě.
(<http://cs.wikipedia.org/wiki/Voda>)

Důležitou vlastností vody je polární charakter jejich molekul. Molekulu vody tvoří dva atomy vodíku a jeden atom kyslíku (LAMPERT, 1997). Atomy jsou vzájemně umístěné pod rovnoměrným úhlem, který má velikost $104,5^\circ$. Ačkoliv pravidelný čtyřstěn tvoří úhel $109,5^\circ$, v molekule vody se volné elektronové páry vzájemně odpuzují, což vede k tlačení vodíkových atomů více k sobě (CHAPLIN, 2009).

Jelikož atom vodíku má jen jeden elektron, dojde při vytváření vazby ke značnému odhalení atomového jádra. Vzniklý parciální kladný náboj může poutat nevazebné elektronové páry okolních molekul. Tato vazba má větší sílu než většina mezimolekulárních sil, ale je asi 10x slabší než vazba iontová. Vznik vodíkové vazby je možný jen u velmi elektronegativních prvků, kterými jsou např. F, N, O (BOJKOVSKÝ, 2009).

Molekulu vody tvoří polární molekula s pozitivním a negativním pólem. Objekt s takovým nábojovým rozdílem se nazývá dipól (má dva póly). Rozdíly elektrického náboje způsobí, že molekuly vody jsou přitahovány (relativně pozitivní oblasti jsou přitahovány k relativně negativním oblastem) k jiným polárním molekulám (více ŠVEHLÁKOVÁ et al., 2006a).

Molekula vody tvoří maximálně čtyři vodíkové vazby. Oproti tomu jiné molekuly, jako jsou fluorovodík, amoniak a methanol, které také tvoří vodíkové vazby, nemají takové termodynamické, kinetické nebo strukturální vlastnosti, které jsou pozorovány právě u vody. Na rozdíl od vody žádná jiná z vodíkově propojených molekul nemůže tvořit čtyři vodíkové vazby, a to z důvodu neschopnosti darovat / přijmout vodík, nebo v důsledku sterických účinků objemných zbytků (BOJKOVSKÝ, 2009).



Obrázek 2: Geometrie molekuly vody – atomy mezi sebou svírají úhel 104,45°. (http://en.wikipedia.org/wiki/Water_model)

Vodíková vazba je relativně slabá v porovnání například s kovalentní vazbou, což ovlivňuje řadu fyzikálních vlastností vody. Patří mezi ně i její relativně vysoký bod tání a bod varu (BOJKOVSKÝ, 2009). K narušení vazby v jednom skupenství je potřeba dodat více energie potřebné, tzv. disociační energie. Zvláštní propojení mezi molekulami vody také dává této kapalině velkou specifickou tepelnou kapacitu. Tato vysoká tepelná kapacita má vliv na dobré tepelné akumulaci vlastnosti.

2.2 Skupenství vody a skupenské přeměny

Voda existuje ve třech skupenstvích: v kapalném jako voda, v pevném skupenství zvaném led a plynném známém jako vodní pára. Její významné vlastnosti tvoří spolu s kyslíkem podmínky pro veškerý život na Zemi (CHMELOVÁ et al., 2013).

Jednotlivá skupenství vody se od sebe liší uspořádáním molekul. Pevné látky mají silnější vazební síly, molekuly jsou umístěny blízko sebe. Oproti tomu u plynů jsou tyto vzdálenosti mezi molekulami větší.

V přírodě je možné sledovat i přechody mezi vodními skupenstvími. Vždy zde záleží na příjmu, nebo výdaji energie ve formě tepla. Mezi změny skupenství patří tání (změna z pevného skupenství do kapalného), tuhnutí (jev opačný tání, tedy změna kapalného fáze na pevnou), vypařování (změna kapalného skupenství na plynné), konden-



Obrázek 3: Znázornění tří skupenství vody – moře, ledovec a mraky.
(http://en.wikibooks.org/wiki/High_School_Earth_Science/Problems_with_Water_Distribution)

zace (skupenská přeměna plynné látky na kapalinu), sublimace (přeměna pevné látky na plyn, aniž by došlo k jejímu tání) a desublimace (přeměna opačná sublimaci) (<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Sublimace>) „cit. k 1.4.2015“.

Během sublimace se pevná látka přeměňuje přímo na plyn, což platí např. o látkách, jako jsou jod, naftalen či led. Naopak při desublimaci probíhá přeměna z plynné látky na pevnou, např. během vzniku jinovatky. Více fázových změn probíhá během přeměny z pevné látky na kapalinu a poté na plyn, mezi kterými dochází nejprve k tání a

poté k vypařování. Naopak plyn se nejprve kondenzuje v kapalinu, ta poté tuhne v pevnou látku (<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Sublimace>) „cit. k 1.4.2015“.

Teplo potřebné k přechodu mezi skupenstvím se nazývá skupenské teplo tání. Mezi skupenské změny patří tuhnutí, vypařování, kondenzace, desublimace nebo sublimace. Jedná se o energii ve formě tepla, kterou musí látka přijmout, nebo odevzdat, aby mohlo dojít ke skupenské přeměně. Při přechodu z kapalného do pevného skupenství voda odevzdá energii do okolí. Naopak opačně během proměny z pevného do kapalného skupenství voda tepelnou energii z okolí přijme. Přechod z jednoho skupenství do druhého je vždy energeticky stejně náročný. Ovšem měrná tepelná kapacita kapalně vodní mlhy je přibližně dvojnásobná oproti měrné tepelné kapacitě kapalně ledové mlhy ($4,187 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ vs. $2,09 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) (RYŠÁNKOVÁ, 2011; <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/teorie/T07-01.htm>, „cit. k 1.4.2015“).

Voda pokrývá okolo 71% zemského povrchu a je podstatnou složkou života na této planetě. Oceány obsahují 97,25 % vody. O zbylé procentuální zastoupení se dělí voda v podzemních vodách, voda v ledovcích na Antarktidě a v Grónsku (konkrétněji níže v tabulce č. 1). Pouze 0,001% vody je obsaženo ve vzduchu.

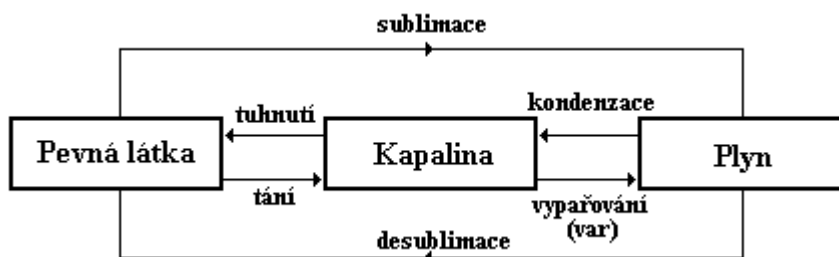
Pouze 2,5% vody na planetě pochází ze „sladké“ vody, kterou z 98,8% tvoří led. Méně než 0,3% všech „sladkých“ vod se nachází v říčních tocích, jezerech a atmosféře, zbytek je v podzemních vodách. Pod 0,003% vody se nachází v tělech živočichů a průmyslových produktech (<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydrosof%C3%A9ra> „cit. k 1.4.2015“; více GLIŃSKI et al., 2011; CHMELOVÁ et al., 2013).

Tabulka 1: Rozložení vody na Zemi.

Forma	Množství (mil. km ³)	Procento z celku
Moře a oceány	1 370	97,25 %
Ledovce	29	2,05 %
Spodní voda	0,5	0,68 %
Jezera	0,125	0,01 %

Půdní vlhkost	0,065	0,005%
V atmosféře	0,018	0,001%
Řeky	0,0017	0,0001 %
Biosféra	0,0006	0,000004 %

U téže látky je stejné skupenské teplo tání, jako skupenské teplo tuhnutí, rozdíl je pouze v tom, jestli látka tepelnou energii okolí odevzdá, nebo ji naopak přijme. Stejně tak jsou u jedné látky stejná skupenská tepla vypařování a kondenzace, desublimace a sublimace.



Obrázek 4: Vzájemné vztahy mezi přeměnou pevných látek, kapalin a plynů. (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/647-zmeny-skupenstvi-latek>)

Jak již bylo psáno výše, nejvíce se voda na Zemi nachází v kapalném skupenství. Během tuhnutí se molekuly vody řadí do mřížky, ve které je každý atom kyslíku obklopen čtyřmi atomy vodíku v podobě čtyřstěnu. Tato krystalická mřížka má široké rozestupy, proto má led menší hustotu než voda při 1°C. Rozdíl v hustotě je asi o 8,5 %, což umožňuje ledu schopnost na vodě plavat (<http://rum.prf.jcu.cz/public/brandl/hydrobiologie/a-Hydrobiologie-tema-1-az-23/Hyd-4-7-Fig0302.pdf>) „cit. k 1.4.2015“.

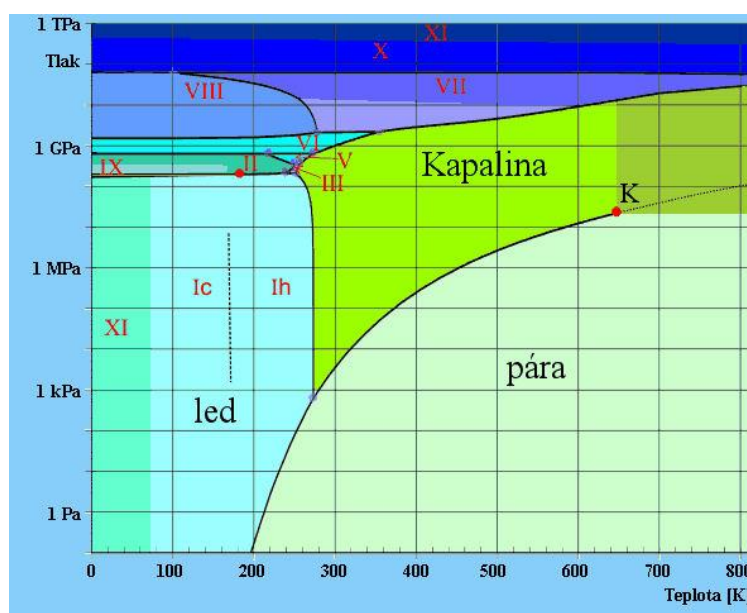
V trojném bodě vody (0,01 °C při tlaku 0,61 kPa) mohou existovat v rovnováze všechna tři skupenství. Pod bodem tání se voda vyskytuje v pevné fázi, nebo jako podchlazená voda. Podchlazená voda se snadno rychle krystalizuje (<http://radek.jan-dora.web.cz/f09.htm>) „cit. k 1.4.2015“.

Vypařování vody probíhá neustále za všech podmínek. Přejít kapalnou fázi na páru nastává v celém jejím objemu až při varu vody. Var při běžném atmosférickém

tlaku ($p = 101\,325\text{ Pa}$) nastává při 100 °C (CIBULKA, HNĚDKOVSKÝ, HYNEK, 2006). Je-li tlak nižší, voda vře při menší teplotě a naopak. Papinův hrnec využívá této vlastnosti, neboť může udržet vyšší než běžný atmosférický tlak, a tak v něm lze vodu vařit i při více než 100 °C .

Horolezci naopak mohou uvařit vodu při nižších teplotách, neboť se nachází v oblasti nižšího atmosférického tlaku. Ve výšce 19 tisíc km nad mořem by voda (krev) kvůli velice nízkému tlaku vřela již při 37 °C . Z toho důvodu se lidé (kosmonauti, parašutisté v extrémních výškách) musí chránit skafandry, aby nedocházelo k ebullismu – varu krve (www.armadninoviny.cz/smrtici-vyska-aneb-kdyz-se-zacne-varit-krev.html) „cit. k 1.4.2015“.

Kondenzace vodních par je patrná na mnoha místech na Zemi. Vodní pára se ochlazením mění na kapičky vody. Tento efekt je nejvíce patrný při dešti. Další přírodním důkazem je, když se vodní páry obsažené ve vzduchu v noci za chladnějších teplot (než které jsou přes den) kondenzují na zemském povrchu. Místa, která během noci vyzařují nejvíce tepla do atmosféry, jsou chladnější, proto na nich za bezvětří vzniká rosa. Je-li jasno, je větší rozdíl mezi denními a nočními teplotami. Za větrného počasí by nedocházelo k nasycení vzduchu vodními parami, ty by se nepřeměnily na kapky vody. Běžně takto vzniká ranní rosa (POKORNÝ, 2014).



Obrázek 5: Fázový diagram vody. Na vodorovné ose je vynesena teplota v kelvinech od 0 po 800. Na svislé ose je pak tlak v Pascalech. (<http://www.stranypotapecske.cz/teorie/voda.asp?str=200904132117210>)

Díky koloběhu vody známému také pod názvem hydrobiologický cyklus je voda v neustálém pohybu. Voda se pohybuje například z řek do moří, z moří do atmosféry fyzikálními procesy, kterými jsou například vypařování a srážky.

Oběh vody způsobuje sluneční energie, zemská gravitace, rotace Země, gravitační síla měsíce, mořské proudy i tání ledovců. Voda se vypařuje z oceánů, řek a jezer, dále i ze zemského povrchu a z rostlin. Vodní páry a kapičky vody obsažené v mracích se pohybem vzduchu způsobeného jeho nerovnoměrným zahříváním nad pevninou a nad oceány i vlivem zemské rotace nepřetržitě přemisťují. Kondenzací vodní páry dopadá takto přeměněná voda na zemský povrch formou dešťových nebo sněhových srážek. Na povrchu se část vody hromadí a odtéká, nebo se vypařuje zpět do ovzduší. Značná část vody se vsakuje do povrchu Země, čímž tak doplňuje zásoby podzemních vod (CHMELOVÁ et al., 2013). Podzemní voda ve formě vodních pramenů znovu vstupuje na povrch (více ŠVEHLÁKOVÁ et al., 2006b).

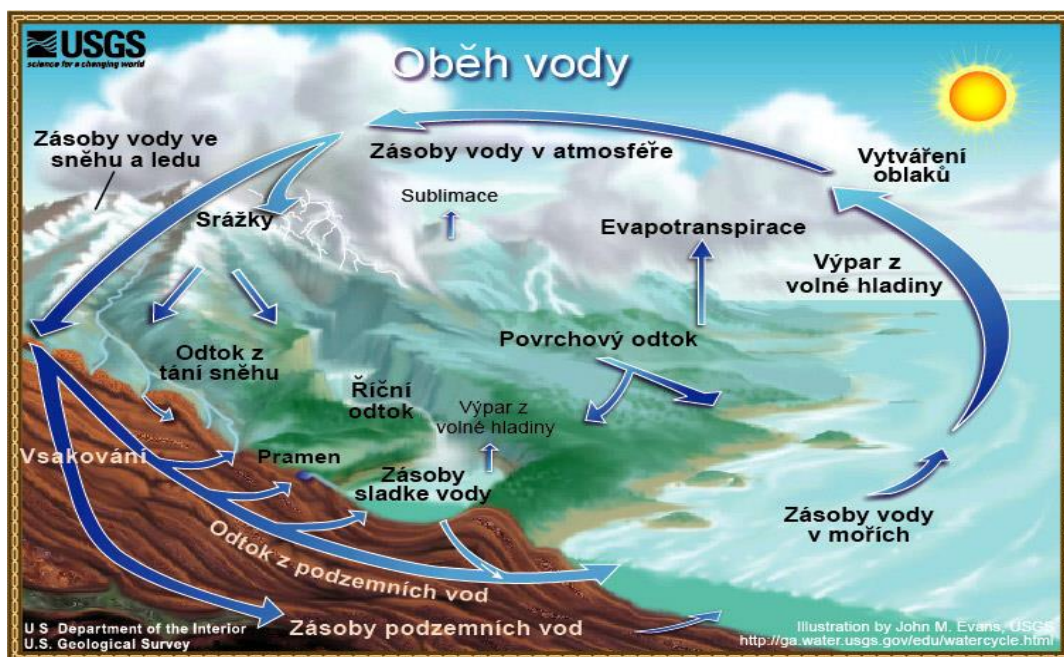
Hydrobiologický cyklus zahrnuje výměnu energie vedoucí k teplotním změnám. Když se voda odpaří, přebírá energii z okolí a tím se prostředí ochlazuje. Naopak, když kondenzuje, tak uvolňuje energii, což vede k ohřívání prostředí. Tyto tepelné výměny ovlivňují klima nejvíce v oblastech s vysokými vodními srážkami (tropy, subtropy).

Během tohoto koloběhu dochází i k přirozenému čištění vody. Zejména během vypařování se do vzduchu dostává voda bez nečistot, která posléze opět dopadá na zemský povrch. Odtoky z tání sněhu a říční odtoky obsahují mnohem čistší vodu než delty řek, které procházely industriálním či městským prostředím.

Průtok kapalné vody a ledu pomáhá mj. i přepravě minerálních látek po celém světě. Dále se podílí na přetváření geologických vlastností Země, prostřednictvím procesů jako je eroze a sedimentace. Koloběh vody je rovněž důležitou součástí rostlinných a živočišných ekosystémů. Lidé si již od starověku začali budovat svá města u řek, neboť řeky byly jak zdrojem potravy, tak možností snadné dopravy (k tomu BOEKER-GRONDELLE, 1996).

Led tvořící se na tekoucí vodě má tendenci být méně jednotný a méně stabilní než led tvořící se na klidné stojaté vodě. Ledové kry na tocích putují po proudu, dokud

neroztají, nebo se nesrazí s jinými krami. Pokud ledové kry na řekách ucoupou koryta řek, mohou mít zásluhu na vzniku záplav.



Obrázek 6: Oběh vody.
http://cs.wikipedia.org/wiki/Koloběh_vody

Stejně jako u ostatních dešťových srážek je krupobití přírodním jevem. Nastává tehdy, když kapky vody zmrznou při kontaktu s kondenzačním jádrem, kterým je například prach, nebo jiné nečistoty. Bouře tyto nečistoty vynese výše, tam okolo nich z kondenzovaná voda zmrzne a padá takto dolů na zem (WHITE, 2009).

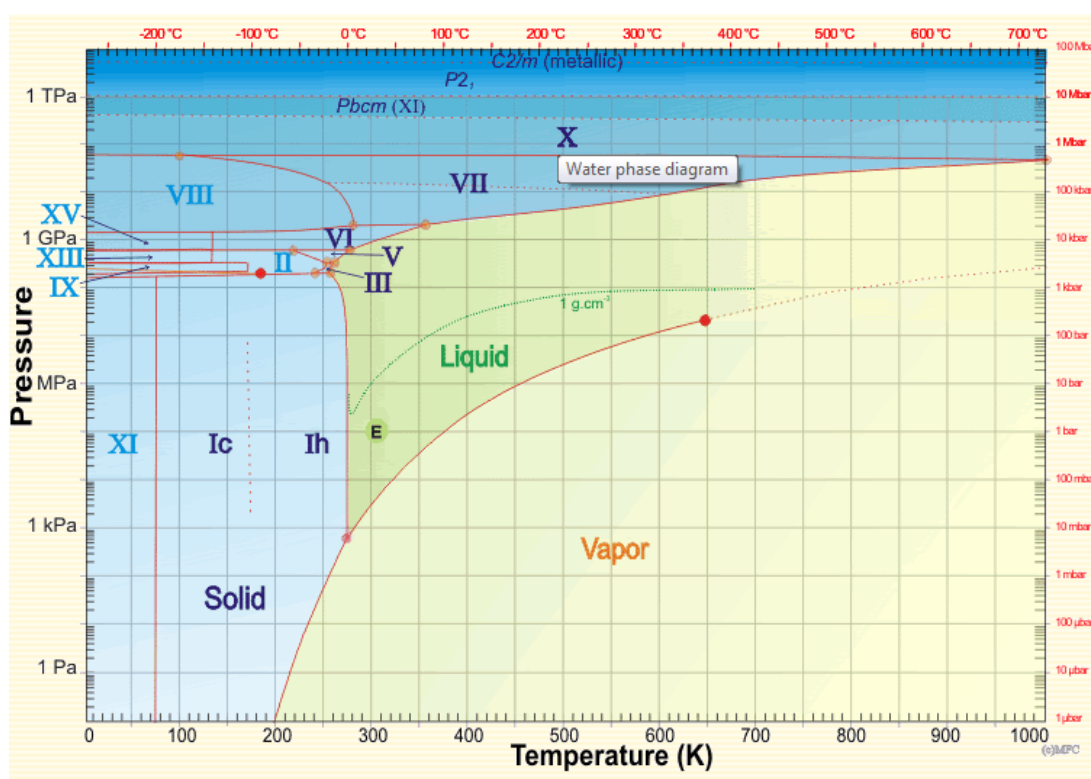
2.2.1 Fázový diagram

Fázové diagramy ukazují prioritní fyzikální stavy hmoty při rozdílných teplotách a tlacích. V průběhu každé fáze jsou látky zformovány ve složení odpovídajícímu fyzikálnímu stavu, ve kterém se látky nacházejí. Při tlacích a teplotách běžných na naší planetě je voda tekutá a začne se přeměňovat na vodu při teplotách $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nižších, v páru se přemění, vzrostou-li teploty na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a výš. Každá křivka ve fázovém diagramu reprezentuje hraniční meze skupenství, jimž odpovídá, udává podmínky, při kterých mohou dvě látky koexistovat. Bod, ve kterém se tři křivky potkají, se nazývá trojný bod. Zde mohou existovat všechny tři fáze vedle sebe. Např. u teploty $T_A=273,16\text{ K}$ a tlaku $p_A=0,61\text{ kPa}$ by v rovnovážném stavu existoval současně led, voda i sytá vodní pára. (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/655-fazovy-dia-gram>) „cit. k 1.4.2015“.

Kritický bod se nachází při vysokých teplotách a tlacích, kde začínají být nerozeznatelné vlastnosti jednotlivých fází.

2.2.2 Fázový diagram vody

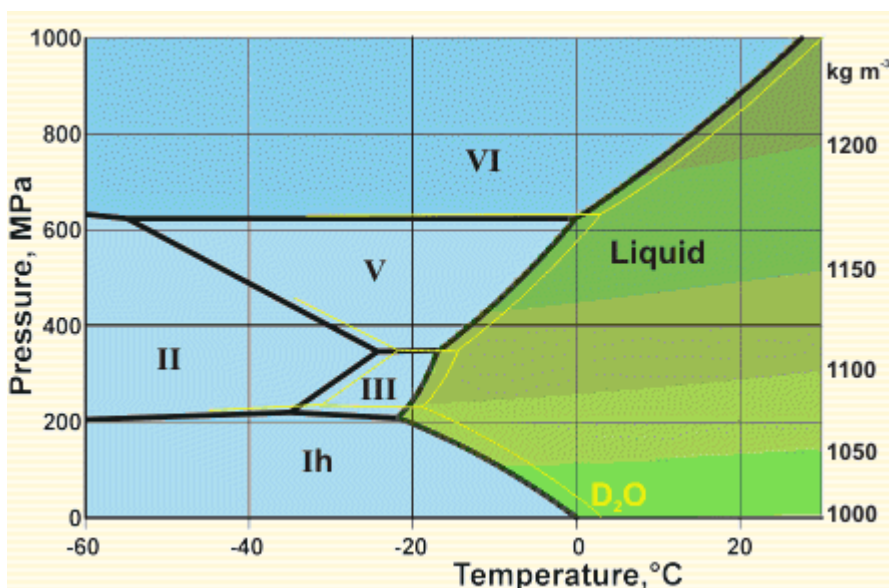
Fázový diagram, ve kterém je znázorněno několik trojných bodů a jeden, maximálně dva kritické body (více YOUNG, FREEDMAN, FORD, 2011). Mnoho krystalických forem může zůstat metastabilní ve velké části diagramu, v oblasti nízkých tlaků. Led může být rozdělen analýzou jejich struktury do nízkotlakých ledů (hexagonální led, kubický led, led XI), vysokotlakých ledů (led VII, led VIII, led X) a dalších, nalézajících se v omezeném okruhu mírného tlaku okolo 200 – 2 000 Mpa). Všechny fáze, které sdílejí hranice s kapalnou vodou, mají neuspořádané vodíkové vazby. Fáze s uspořádanou vodíkovou vazbou se nacházejí v oblasti nízkých teplot a jsou označeny pod světle modrou barvou (WHITE, 2009).



Obrázek 7: Fázový diagram vody. Svislá osa označuje tlak v pascalech, vodorovná osa označuje teplotu v kelvinech.

(<http://www.phy.duke.edu/~hsg/363/table-images/water-phase-diagram.html>)

Prostřední část obrázku č. 7 je přiblížena na obrázku č. 8, kde je žlutou linií znázorněn posun grafu těžké vody:



Obrázek 8: Zvýraznění posunu fázového diagramu těžké vody. (http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_phase_diagram.html)

Mnoho vlastností tekuté vody se mění nad tlakem 200 MPa (např. viskozita a stlačitelnost), což může být vysvětleno přítomností kapalně fáze s vysokou hustotou obsahující pevné vodíkové vazby (MECHLOVÁ-KOŠTÁL, 2001, více ŠVEHLÁKOVÁ et al., 2006c). Chemické vlastnosti vody se také výrazně mění se změnami teploty a tlaku (HALLIDAY et al., 2007).

2.2.3 Tání

Tání je fyzikální proces, jehož výsledkem je přeměna skupenství pevného na skupenství kapalně. Zahřívá-li se těleso, vnitřní energie zvyšována působením zvyšující se okolní teploty, nebo tlaku. Vnitřní energie se zvyšuje, až do bodu tání, na kterém se pevně uspořádání molekul v krystalové mřížce ledu začne přeměňovat na uspořádání molekul kapalně formy. Po dosažení bodu tání se pevná látka mění na kapalnou těžce teploty (WHITE, 2009).

Teplo, které přijme pevně těleso již zahřáté na teplotu tání, aby se změnilo na kapalinu těžce teploty, se nazývá skupenské teplo tání L_t . Přitom nenastávají jiné přeměny energie a vnější tlak nad tající látkou je stálý.

Za běžného tlaku se ani zcela čistou vodu ve větším množství nepodaří podchladiť pod $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$. V tomto bodě vzniká buď krystalický led s šesterečnou krystalickou mřížkou (Ih), nebo nekystalická amorfňí voda. Jestliže se voda umístí do nanopórů, dá se zjistit, že dalším ochlazováním hustota vody klesá až do $-63\text{ }^{\circ}\text{C}$, zde se křivka otočí a hustota vzroste. I v těchto miniaturních podmínkách vydrží voda kapalná jen do $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, poté krystalizuje do kubické mřížky (Ic). Kromě těchto základních struktur vody existují další, které jsou v grafu označeny římskými číslicemi II až XI, lišící se pouze tvarem krystalu v nich vytvořeného (<http://www.stranypotapecske.cz/teorie/voda.asp?str=200904132117210>) „cit. k 1.4.2015“.

Skupenské teplo tání závisí nejen na látce, ale také na jejím množství. Proto se zavádí měrné skupenské teplo tání

$$l_t = \frac{L_t}{m} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}], \quad (1)$$

Zde m je hmotnost tělesa z dané látky. Led má relativně velkou hodnotu měrného skupenského tepla tání, což má pozitivní důsledek v praxi: na jaře taje sníh pomalu, vzniklá voda se stihne vsakovat či vypařovat a minimalizuje se tak vznik záplav (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/648-tani>) „cit. k 1.4.2015“.

Přijímá-li krystalická látka teplo, vzrůstá střední kinetická energie kmitavého pohybu částic. Rozkmity se postupně zvětšují, čímž se zvyšuje i střední vzdálenost mezi nimi. Tím vzrůstá i střední potenciální energie částic. Při dosažení teploty tání nabývají kmity částic takových hodnot, že se poruší vazba mezi částicemi mřížky - ta se rozpadá a látka tak taje. Vazebné síly mezi částicemi se pro různé látky liší, proto každá látka taje jen za určité teploty a za určitého tlaku. Během tání krystalická látka sice přijímá teplo, ale nemění se střední kinetická energie částic (a tím se tedy nemění ani teplota). Zvětšuje se však střední potenciální energie částic, což znamená, že při teplotě tání je vnitřní energie roztaveného tělesa větší než vnitřní energie téhož tělesa v krystalickém stavu při téže teplotě. Roztaje-li všechna látka a přijímá-li další teplo, dochází opět k růstu střední kinetické energie částic a tím se tedy zvětšuje teplota vzniklé kapaliny.

Chemicky čistá krystalická látka taje za konstantní teploty. Má-li např. roztát kostka ledu, která má počáteční teplotu nižší jak teplotu tání (za daného tlaku), je třeba led nejdříve ohřát na teplotu tání. Dodat teplo

$$Q_{\text{ledu}} = m_{\text{ledu}} \cdot c_{\text{ledu}} \cdot (t_2 - t_{\text{ledu}}) [\text{J}], \quad (2)$$

Zde m je hmotnost ledu, c je měrná tepelná kapacita. Poté jej roztát, dodat teplo

$$L_{\text{tání}} = m_{\text{ledu}} \cdot J_{\text{ledu}} [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3)$$

- během tání se ale nemění teplota ledu; teplo $L_{\text{tání}}$ se přemění na energii nutnou k porušení pevných vazeb v ledu, pak případně vzniklou vodu z ledu ohřát, tzn. dodat další teplo (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/648-tani>) „cit. k 1.4.2015“.

Tabulka 2: Měrné skupenské teplo tání jednotlivých látek.

Látka	Měrné skupenské teplo tání [kJ/kg]
led	334
železo	289
hliník	399
zlato	64
rtuť	11
etanol	108

2.2.4 Tuhnutí

Ochlazuje-li se kapalina vzniklá táním krystalické látky, mění se při teplotě tuhnutí v pevné těleso téže teploty. Tento jev se nazývá tuhnutí látky. Pro chemicky čisté látky je teplota tuhnutí látky rovna teplotě tání za téhož vnějšího tlaku (www1.lf1.cuni.cz/~aproc/prezentace/A/Fyzika_6.ppt) „cit. k 1.4.2015“.

Při tuhnutí nevzniká pevné skupenství okamžitě. Dosáhne-li kapalina teploty tuhnutí, začnou se v kapalině vytvářet vlivem vazebných sil kondenzační jádra (zárodky). K nim se postupně připojují a pravidelně uspořádávají další částice látky. V tavenině tak vzniká při krystalizaci soustava volně se pohybujících krystalků nepravidelného tvaru. v okamžiku, kdy všechna látka ztuhne, se krystalky vzájemně dotýkají a vytvářejí zrna. Tímto způsobem vzniká krystalizací polykrystalická látka, jejíž vlastnosti jsou ovlivněny velikostí zrn (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/649-tuhnuti>) „cit. k 1.4.2015“.

Pokud se v tavenině vytvoří pouze jeden zárodek, k němuž se postupně připojují další částice látky, vzniká monokrystal. V technické přípravě monokrystalů se jako zárodek používá malý monokrystal téže látky, který se vnoří do taveniny. Táhne-li se pak zárodečný krystal pomalu z taveniny a zajistí-li se dostatečný odvod energie na rozhraní pevného a kapalného skupenství, vyroste z taveniny monokrystal větších rozměrů (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/649-tuhnuti>) „cit. k 1.4.2015“.

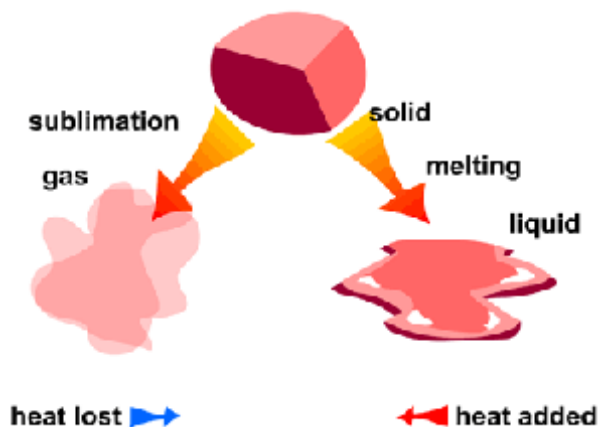
Během tuhnutí čisté látky se stává, že zárodky pevného skupenství se vytvoří až za teploty menší, než je teplota tuhnutí dané látky. Kapalinu, která má nižší teplotu, než je teplota tuhnutí dané látky, se nazývá podchlazená kapalina, resp. přechlazená kapalina. Přechlazenou kapalinu lze převést do pevného skupenství vhozením několika krystalků dané pevné látky, čímž přejde v pevnou látku a teplota vzroste na teplotu tuhnutí (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/649-tuhnuti>) „cit. k 1.4.2015“.

2.2.5 Sublimace a desublimace

Přeměna látky z pevného skupenství plynného skupenství se nazývá sublimace. Za běžného atmosférického tlaku sublimuje led i sníh. Měrné skupenské teplo sublimace je definováno jako: $l_s = L_s/m$, kde L_s je skupenské teplo sublimace přijaté látkou o hmotnosti m při její sublimaci za dané teploty. Měrné skupenské teplo sublimace závisí na teplotě, během které látka sublimuje (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/651-sublimace-a-desublimace>) „cit. k 1.4.2015“.

Je-li sublimující látka dostatečné hmotnosti v uzavřené nádobě, sublimuje tak dlouho, až se vytvoří rovnovážný stav mezi pevným skupenstvím a vzniklou párou. Objemy pevné látky a páry se dále již nemění, konstantní zůstává tlak páry a teplota soustavy.

Přeměna látky ze skupenství plynného přímo ve skupenství pevné se nazývá desublimace (např. vytváření jinovatky z vodní páry za teploty menší než je bod tání).



Obrázek 9: Sublimace a desublimace. Obrázek znázorňuje přechody mezi skupenstvími se souvisejícími tepelnými změnami. (<http://www.atpcolor.it/Ink.html>)

2.2.6 Var a kondenzace

Objem kapaliny v otevřené nádobě se s časem zmenšuje, neboť část kapaliny se mění v páru. Tento děj se nazývá vypařování. Na rozdíl od tání probíhá vypařování z volného povrchu kapaliny za každé teploty, při níž kapalné skupenství existuje. Jednotlivé kapaliny se vypařují různě rychle (nejrychleji např. éter, pak líh, voda, rtuť, ...). Rychlost vypařování se zvýší, pokud se zvýší teplota kapaliny. (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/652-vyparovani-a-kapalneni>) „cit. k 1.4.2015“.

Během požívání teplé polévky je zvykem do ní „foukat“. Tím se odstraňuje pára z prostoru nad volným povrchem polévky. Další vypařování (a tedy i chladnutí polévky) může probíhat rychleji.

Je-li potřeba kapalinu o hmotnosti m přeměnit v páru téže teploty, musí kapalina přijmout skupenské teplo vypařování L_v . Měrné skupenské teplo vypařování se definuje vztahem

$$l_v = \frac{L_v}{m} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]. \quad (4)$$

S rostoucí teplotou kapaliny klesá měrné skupenské teplo vypařování.

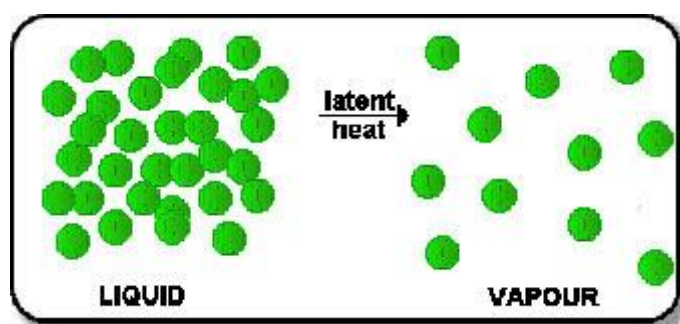
Zahřívá-li se kapalina, při dosažení určité teploty za daného tlaku se uvnitř kapaliny vytvářejí bubliny páry. Bubliny postupně zvětšují svůj objem a vystupují k volnému

povrchu kapaliny. Tento případ vypařování se nazývá var. Při varu se kapalina nevypařuje jen na povrchu, ale také uvnitř. Teplota, při níž za daného (resp. normálního) tlaku nastává var kapaliny, se nazývá (normální) teplota varu t_v . Teplota varu je závislá na vnějším tlaku - s rostoucím tlakem se zvětšuje. Tohoto jevu se využívá v praxi: varu za zvýšeného tlaku se používá při sterilizaci chirurgických nástrojů, výrobě papíru, vaření v tlakovém hrnci. Var za sníženého tlaku se využívá při výrobě sirupů, práškového mléka.

Měrné skupenské teplo varu se rovná měrnému skupenskému teplu vypařování při teplotě varu kapaliny.

Molekuly kapaliny konají tepelný pohyb. Mají-li některé molekuly na volném povrchu kapaliny takovou energii, že jsou schopny překonat síly poutající je k ostatním molekulám, pak mohou uniknout do prostoru nad kapalinou a vytvoří páru. Je-li volný povrch kapaliny ve styku se vzduchem, difunduje vzniklá pára do okolí. Některé molekuly páry se v důsledku tepelného pohybu vracejí zpět do kapaliny. Počet těchto vracejících se molekul je při vypařování kapaliny v otevřené nádobě vždy menší než počet molekul, které v čase unikají z kapaliny. Tím tedy ubývá kapaliny a zvětšuje se hmotnost páry.

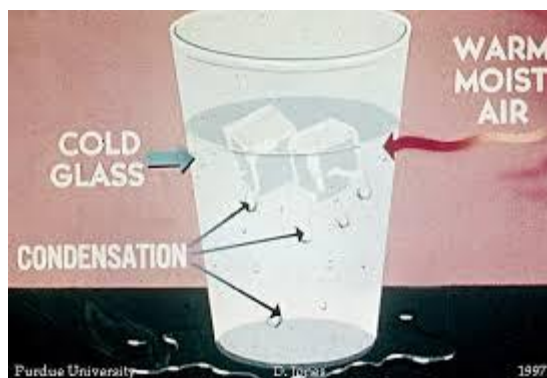
Vzhledem k tomu, že kapalinu při vypařování opouštějí ty nejrychlejší molekuly, snižuje se střední kinetická energie molekul kapaliny a tím i teplota. Teplota vzniklé páry je však rovna teplotě kapaliny, protože molekuly při opuštění kapaliny ztrácejí část své kinetické energie na úkor překonání přitažlivých sil. Mají ale větší potenciální energii. Z toho důvodu je vnitřní energie páry dané hmotnosti větší než vnitřní energie kapaliny téže hmotnosti a teploty.



Obrázek 10: Rozmístění molekul v tekuté a plynné fázi.
(https://www.ucar.edu/learn/1_1_2_4t.htm)

Děj opačný k vypařování, se nazývá kapalnění (kondenzace), při němž pára v důsledku zmenšování svého objemu nebo snížením teploty kapalní. Při tomto ději se uvolňuje skupenské teplo kondenzační. Měrné skupenské teplo kondenzační je rovno měrnému skupenskému teplu vypařování téže látky při stejné teplotě.

Kapalnění může nastat na povrchu kapaliny, na povrchu pevné látky (např. poklička na hrnci), nebo ve volném prostoru (např. oblaka). Vytváření kapek, které postupně rostou, usnadňují drobná zrnka prachu nebo elektricky nabitě částice (tzv. kondenzační jádra) (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/652-vyparovani-a-kapalneni>) „cit. k 1.4.2015“.



Obrázek 11: Názorná ukázka kondenzace na sklenici vody.
(<https://www.studyblue.com/notes/note/n/ch4-solids-liquids-and-gases/deck/33472>)

3 Vlastnosti vody a jejich využití

Tabulka 4: Přehledová tabulka vybraných fyzikálních vlastností vody a jejich závislost na vodě

Vlastnosti	0°C	20°C	40°C	80°C	100°C	Jednotky
Hustota	999,84	998,21	992,22	971,82	958,4	kg.m ⁻³
Tepelná roztažnost	-0,07	0,207	0,385	0,643	0,752	x10 ⁻³ K ⁻¹
Izometrická komprese	5,0879	4,5895	4,4241	4,4618	4,9015	x10 ⁻¹⁰ Pa ⁻¹
Tepelná vodivost	561	598,4	630,5	670	679,1	x10 ⁻³ W.m ⁻¹ K ⁻¹
Měrné teplo při konstantním tlaku	4,2176	4,1818	4,1785	4,1963	4,2159	x10 ³ J.kg ⁻¹ K ⁻¹
Entropie	0	0,296	0,581	1,076	1,307	x10 ³ J.kg ⁻¹ K ⁻¹
Entalpie	0	83,8	167,6	335,3	419,1	x10 ³ J.kg ⁻¹
Povrchové napětí	75,64	72,75	69,6	62,47	58,91	x10 ⁻³ N.m ⁻¹
Rychlost zvuku	1403	1481	1526	1555	1543	m.s ⁻¹
Modul pružnosti	1,98	2,17	2,28	2,2	2,07	x 10 ⁹ N/m ²

Tabulka 5: Tabulka vlastností vody.

Vlastnost	Poznámky	Význam pro život
Skupenství	Látka vyskytující se přirozeně ve všech třech fázích, pevném, kapalném a plynném	Přenos tepla mezi oceánem a atmosférou vlivem změny fáze
Rozpouštěcí schopnost	Rozpouští další látky ve větším množství, než jakékoliv jiné běžné kapaliny.	Důležité v chemických, fyzikálních a biologických procesech.
Hustota	Hustota je dána teplotou, slaností a tlakem, v tomto pořadí důležitosti. Teplota při maximální hustotě pro čistou vodu je 4 ° C. pro mořskou vodu, bod tuhnutí klesá se zvyšující se slaností.	Řídí oceánské vertikální cirkulace, pomáhá při distribuci tepla a umožňuje sezónní stratifikace.
Povrchové napětí	Nejvyšší ze všech běžných kapalin	Udržuje formu během deště - kapky. Je důležité v buněčné fyziologii.
Vedení tepla	Nejvyšší ze všech běžných kapalin	Důležité zejména na buněčné úrovni a v ústředním topení
Tepelná kapacita	Nejvyšší ze všech běžných pevných látek a kapalin	Zabraňuje extrémnímu nárůstu zemské teploty
Latentní teplo	Nejvyšší ze všech běžných kapalin a pevných látek	Regulační efekt v důsledku uvolnění tepla u zmrazení a absorpci při tavení
Výparné teplo	Nejvyšší ze všech běžných látek	Obrovský význam: významný faktor v přenosu tepla mezi oceánem a atmosférou, řízení počasí a klimatu
Index lomu	Zvyšuje se zvyšující se slaností a klesá s rostoucí teplotou	Objekty se zdály být blíže, než ve vzduchu
Průhlednost	Poměrně velká pro viditelné světlo, vysoká absorpce infračerveného a ultrafialového světla	Důležité pro fotosyntézu
Přenos zvuku	Dobrá ve srovnání s jinými tekutinami	Umožňuje sonarům rychle určit hloubku, zvuky lze slyšet velké vzdálenosti pod vodou
Stlačitelnost	Téměř žádná	Hustota se mění jen mírně s tlakem, nebo hloubkou
Var a body tání	Neobvykle vysoká	Umožňuje vodě existovat jako kapalina na většině Zeměkoule

3.1 *Hustota vody*

Hustota vody je rovna jednomu gramu na centimetr krychlový. Hustota vody se může lišit dle teploty. Když se voda ochladí vlivem okolí, zhoustne podobně jako jiné látky. Při teplotě 3,94 °C dosáhne čistá voda maximální hustoty 999,9720 kg.m⁻³ (a nejmenšího objemu). Zahříváním se voda rozpíná. Během ochlazování dochází taktéž k rozpínání, neboť se přitom zmenšuje hustota vody. Tento jev se nazývá hustotní anomálie vody (dále ŠVEHLÁKOVÁ et al., 2006d).

Tyto vlastnosti vody mají značný význam v zemském ekosystému. Voda o teplotě 4 °C se bez ohledu na teplotu okolní atmosféry hromadí níž, než chladnější voda. Díky k tomu, že led i voda patří mezi špatné vodiče tepla, je málo pravděpodobné, že by jezera úplně zamrzala. Tato vlastnost je nejdůležitější pro zachování života ve vodních tocích – jezerech a rybnících - přes chladné roční období.

Led má v šestihranné krystalové mřížce menší hustotu než kapalina. S rostoucím tlakem led podstoupí řadu změn v jeho krystalové mřížce, a tím se zvýší jeho hustota. Voda také zvětšuje vzdálenosti mezi jejími molekulami v závislosti na zvyšující se teplotě.

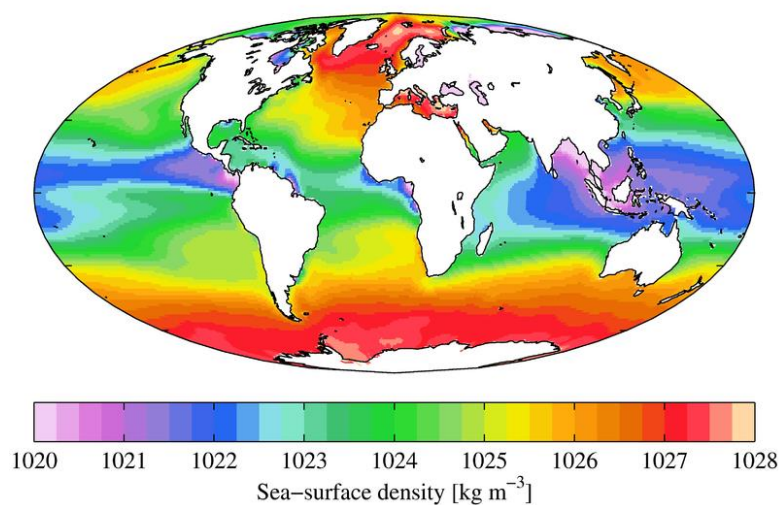
Teplota tuhnutí vody je 0 °C při běžném tlaku. Vodu lze přesto podchladit až skoro k hodnotě -42 °C. Jestliže je ochlazována rychlostí přibližně 106 K.s⁻¹, k nukleaci nedojde a voda získá strukturu skla. Teplota skelného přechodu je mnohem nižší, nachází se okolo -108 °C. Krystalický led lze sledovat teprve až při teplotách od -123 °C do -42 °C ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Podchlazen%C3%AD_\(termodynamika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Podchlazen%C3%AD_(termodynamika))) „cit. k 1.4.2015“.

Tabulka 6: Tabulka hustoty vody při různé teplotě.

Teplota [°C]	Hustota [kg.m ⁻³]
100	958,4
80	971,8
60	983,2
40	992,2
30	997,65
25	997,05
22	997,77
20	998,21
15	999,1
10	999,7
4	999,97
0	999,84
-10	998,117
-20	997,547
-30	983,854

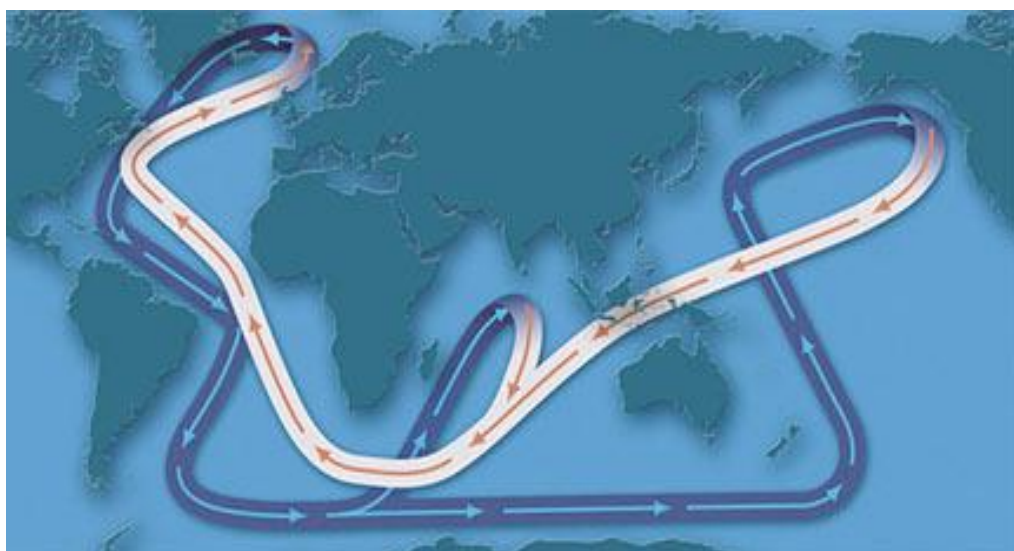
Hustota slané vody

Hustota mořské vody je závislá na teplotě vody i na množství soli v ní obsažené. Obsah soli v oceánech snižuje bod tuhnutí asi o 2 °C. Sůl taktéž snižuje teplotu maximální hustoty vody. Z toho důvodu chladnější proudy v oceánech klesají.



Obrázek 12: Hustota slané vody v oceánech. Hustota je zde vyjádřena v kg.m⁻³. Nejmenší hustotu mají fialová a modrá pole na území rovníku, největší hustota znázorněná červeně obklopuje Antarktidu a Grónsko (http://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_water)

Když povrch slané vody začne mrznout, má mořský led přibližně stejnou hustotu jako sladkovodní led. Tento led plave na hladině a sůl, která „vymrzla“, zvyšuje slanosť vody pod ním. Tato slanější voda klesá a je odváděna prouděním. Tento led je v podstatě totožný se sladkovodním ledem. Voda s větší hustotou pod ledovci rychle klesá. Ve větším měřítku tento proces způsobuje proudění vody od pólů, což vede



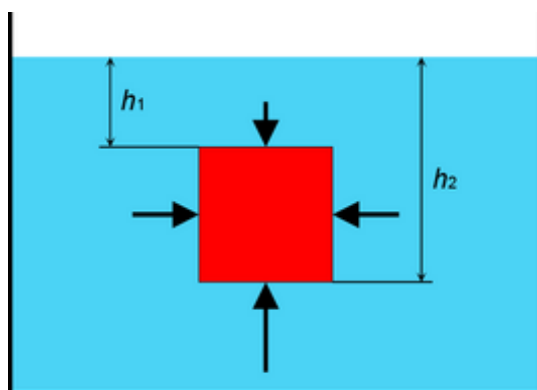
Obrázek 13: Mořské proudění. Šipky znázorňují směr proudění vody v oceánech. Červené šipky označují proudění o vyšší teplotě, než proudění označené modře.

(<http://www.novinky.cz/veda-skoly/233259-golfsky-proud-ma-pomocnika.html>)

ke globálnímu proudění. Jedním z možných důsledků globálního oteplování je ztráta Arktických a Antarktických ledovců, což by mimo jiné mohlo vést k zastavení těchto proudů. Jejich ztráta by měla značný vliv na podnebí na Zemi. Např. za to, že v Čechách není taková zima, jako je v Kanadě, která leží na stejné rovnoběžce, můžou středoevropané děkovat právě Golskému proudu (https://is.muni.cz/do/rect/el/es-tud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/12-2-fyzikalni-vlastnosti.html) „cit. k 1.4.2015“.

3.2 Vztlaková síla

Voda nadnáší vše, co je do ní ponořené (do určité hustoty/hmotnosti). Co se ve vodě zdá být lehké, je po vynoření těžké. Gravitační síla působící na těleso je stále stejná, vzhledem k tomu, že se nachází v gravitačním poli Země. Síla působící proti gravitační síle, která umožňuje snazší manipulaci s těžšími předměty pod vodou, se nazývá vztlaková. Vztlaková síla je důsledkem toho, že tekutiny mají svou vlastní hmotnost. Zde tedy nejde principiálně o vlastnosti vody.



Obrázek 14: Demonstrace působení vztlakové síly na krychli ponořenou ve vodě. (http://www.zscholtice.cz/svs/lacko/fyzika_7roc/ucivo.html)

Výše již bylo uvedeno, že na tělesa ponořená do kapaliny působí tlaková síla stejně jako na dno a stěny nádoby, ve které se voda nachází. Je možné, aby výsledná síla těchto sil působících na těleso působila v opačném směru než síla gravitační? Tlaková síla působí v kapalině na těleso vždy ze všech stran.

Hydrostatický tlak způsobuje tíha kapaliny, tedy závisí na její hloubce. Těleso v kapalině ponořené má daný tvar, např. krychle rovnoběžně umístěnou s jejím dnem. Krychle má boční stěny, na které působí tlaková síla. Dolní a horní podstava krychle jsou každá v rozdílné hloubce, proto na ně působí jiná tlaková síla. Dolní podstava je

ve větší hloubce, tudíž na ni působí větší síla, než na horní podstavu. Tím je rychle vytlačována z kapaliny na hladinu (<http://zs-fyzika.webnode.cz/products/hydrostaticky-tlak/>) „cit. k 1.4.2015“.

3.3 Archimédův zákon

„Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost je rovna tíze kapaliny stejného objemu, jako je objem tělesa ponořeného.“

Archimédův zákon popisuje, proč tělesa mají schopnost plavat. Vztlak těles plavajících v kapalině vyrovnává tíhu tělesa, které bylo do kapaliny ponořeno. Archimédův zákon vysvětluje, proč se tělesa ponořená v kapalině chovají různě – vlivem rozdílné hustoty. Na každé takové těleso působí Země tíhovou silou (HALLIDAY et al., 2007).

$$F_G = \rho_t \cdot V \cdot g \text{ [N]}, \quad (6)$$

Zde ρ_t je průměrná hustota ponořeného tělesa. V značí objem ponořeného tělesa. Na tělesa ponořená do kapaliny působí směrem vzhůru vztlaková síla:

$$F_{vz} = \rho \cdot V \cdot g \text{ [N]}, \quad (7)$$

Zde ρ je hustota kapaliny. Vztlaková síla je důsledkem hydrostatického tlaku kapaliny.

Tělesa se vlivem Archimédova zákona mohou v kapalině chovat různě. Liší se přitom výsledná síla působící na těleso. Mohou nastat tyto případy:

$$1) \quad \rho_t > \rho \text{ a } F_G > F_{vz}. \quad (8)$$

Výslednice sil F směřuje dolů, neboli těleso klesne ke dnu.

$$2) \quad \rho_t = \rho \text{ a } F_G = F_{vz} . \quad (9)$$

Výslednice je nulová, a tak se těleso v kapalině vznáší.

$$3) \quad \rho_t < \rho \text{ a } F_G < F_{vz} . \quad (10)$$

Výslednice F směřuje nahoru, těleso stoupá směrem k hladině, ale jakmile hladiny dosáhne, částečně se vynoří. Ustálí se v takové poloze, aby tíhová síla F_G byla v rovnováze se vztlakovou silou.

Těleso se ponoří do kapaliny tím větší částí svého objemu, čím je jeho hustota větší, nebo čím je hustota kapaliny menší. Těto vlastnosti využívají hustoměry.

Využití Archimédova zákona v lodních zdvihadlech

Při používání lodního výtahu lze přesně odhadnout, jak by se měla vyvážit loď vplouvající do zvedacího mechanismu. Princip lodního zdvihadla (výtahu) spočívá v tom, že loď vplouvající do dopravního žlabu (lodního zdvihadla) naplněného vodou z něj vytlačí přesně tolik vody, kolik sama váží. Celková hmotnost mechanismu tedy zůstává stejná i poté, co do něj vpluje loď. To umožňuje velice přesně určit hmotnost protizávaží, které se používá ke zvednutí lodi.

V zásadě jde o velmi energeticky úsporné řešení, neboť k vyzvednutí dopravního žlabu s proplouvající lodí do horní polohy postačí pouze energie k překonání tření zvedacího mechanismu. Samotný dopravní žlab s lodí je vyzvednut jen tíhou protizávaží (<http://radek.jandora.sweb.cz/f05.htm>; https://cs.wikipedia.org/wiki/Lodn%C3%AD_v%C3%BDtah) „cit. k 1.4.2015“.

3.4 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita udává množství tepla, které je potřebné dodat 1 kg látky, aby zvýšila svoji teplotu o 1 °C (nebo o jeden kelvin). Měrná tepelná kapacita závisí na teplotě. Obvykle se udává při 20 °C (https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Brn%C3%A1_tepeln%C3%A1_kapacita) „cit. k. 1.4.2015“.

Mezi látky s největší měrnou tepelnou kapacitou patří voda. Její hodnotu $c = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ stanovil přesným pokusem James Prescott Joule.

Voda se díky své vysoké hodnotě měrné tepelné kapacity velmi pomalu zahřívá. Toho se využívá zejména u chlazení vodou. Účinně se tak chladí například motory automobilů. Do vody se přitom musí přidávat nemrznoucí složka, aby při nízkých teplotách voda nezmrzla a chladicí systém vlivem roztahování ledu neprasknul.

Pokud se voda ohřeje na vysokou teplotu, je schopná po dlouhou dobu uchovávat teplo. Z toho důvodu je voda nejpoužívanější kapalinou užívanou k přenosu tepla při vaření nebo k topení.

Voda je regulátorem teploty v krajině. Velké vodní plochy v sobě akumulují teplo, čímž mohou ovlivňovat mikroklima okolní krajiny, případně ovlivňovat klima celých přímořských oblastí.

Voda má nesrovnatelně větší měrnou tepelnou kapacitu než vzduch (4180 vs. 1003 $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Vzduchem naplněný balónek při zahřívání nad plamenem praskne, protože vzduch nestačí odebírat dodávané teplo. Teplota se přitom zvýší na zápalnou teplotu, u které se balónek propálí. Pokus by dopadl jinak, pokud by se balónek naplnil vodou. Voda v balónku by odebírala teplo, díky čemuž plastový balónek nepraskne ihned.

Vyšší měrnou tepelnou kapacitu než voda má plynný vodík (činí 14 300 $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Z prvků má nejmenší hodnotu měrné tepelné kapacity radioaktivní plyn radon: 94 $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (<http://fyzmatik.pise.cz/1415-maximalni-merna-tepelna-kapacita-latky.html>) „cit. k. 1.4.2015“.

Tabulka 7: Tabulka měrné tepelné kapacity.

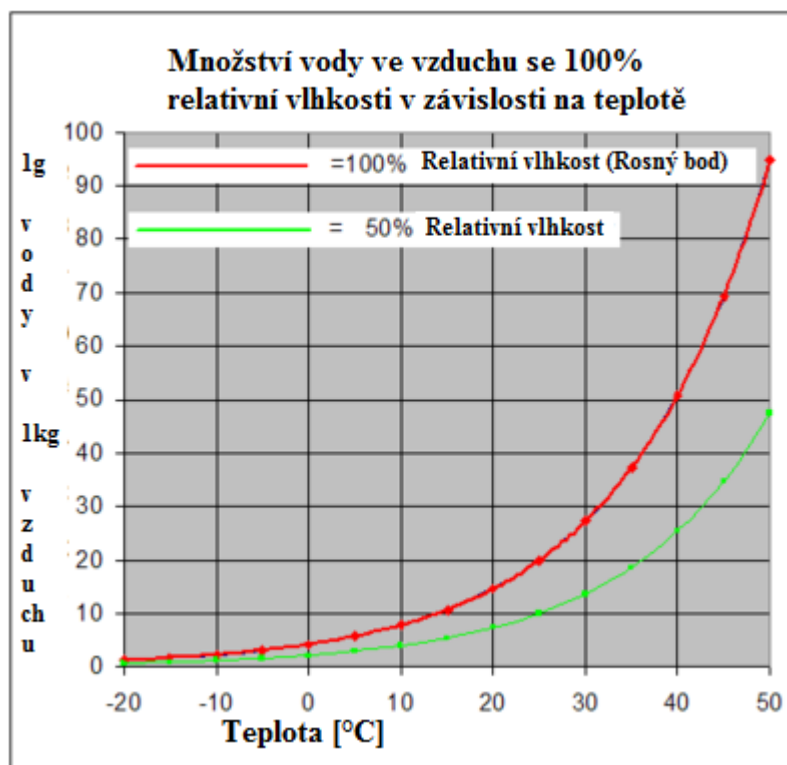
Látka	c [J . kg ⁻¹ .K ⁻¹]
voda	4 180
vzduch (0 °C)	1 003
ethanol	2 430
led	2 090
olej	2 000
absolutně suché dřevo (0 °C)	1 450
železo	450
měď	383
zinek	385
hliník	896
platina	133
olovo	129
kyslík	917

3.5 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu se v různé koncentraci vyskytuje všude na Zemi. Vodní pára není vidět ani cítit. Větší vlhkost (= dusno) může pojmout vzduch o teplejší teplotě, naopak při ochlazování již dochází ke skupenské přeměně – zkapalňování.

Vodní pára je zcela mísitelná se vzduchem, v konečném důsledku ale záleží spíše na koncentraci. Zvyšuje-li se vlhkost v místnosti, zatímco teplota pokoje zůstává stejná, pára vede ke změně skupenství - zkapalní. Vodní pára se postupně kondenzuje v kapičky vody.

Plyn se v této souvislosti nazývá nasyceným, protože byla dosažena 100% relativní vlhkost vzduchu. V přírodě takto běžně vzniká rosa během noci, tedy když se ochladí vzduch vlivem nepřítomnosti slunečních paprsků. Když je tlak vodní páry ve vzduchu vyrovnán s tlakem par kapalně vody, voda se neodpaří, je-li kolem ní plně nasycený vzduch (množství vodní páry ve vzduchu je omezené). Vodní pára ve více než 100%



Obrázek 15: Graf mísitelnosti vodní páry se vzduchem. Svislá osa označuje množství vody ve vzduchu a vodorovná osa označuje teplotu ve °C. (<https://goldsealnews.wordpress.com/2012/03/20/measuring-humidity-in-your-home/>)

vlhkosti vzduchu udělá vzduch super-nasyceným. K tomuto jevu může dojít, pokud se vzduch rychle ochladí, například chladičem.

3.6 Hydrostatický tlak

Působení tohoto tlaku lze sledovat při potápění se v „suchém obleku“. Jedná se o oblek, který se používá potápěči při zkoumání chladných vod v okolí pólů. Není tak přiléhavý jako neopren. Jakmile se potápěč ponoří pod hladinu, oblek se na něho přitiskne působením tlaku okolní vody (ŠVEHLÁKOVÁ et al., 2006e).

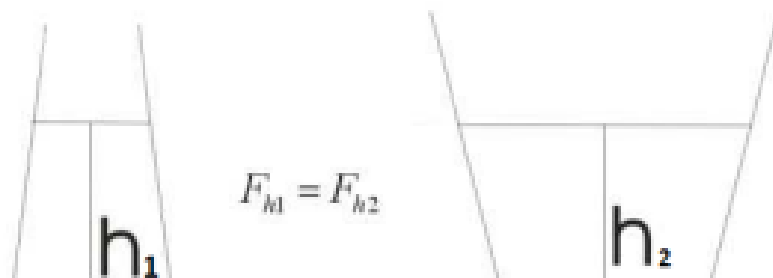
Hydrostatický tlak je přímo úměrně závislý na hloubce pod hladinou h a na hustotě kapaliny. Hydrostatický tlak se vypočítá podle vztahu:

$$p_h = \rho \cdot h \cdot g \text{ [Pa]}, \quad (5)$$

kde ρ je hustota vody [kg/m^3], h - hloubka [m], g – tíhové zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

Z pokusu při měření tlaku ve stejně vysokých nádobách o různých tvarech (obr. 16) je patrné, že hydrostatický tlak závisí pouze na hloubce vody. Tvar nádoby na něj nemá vliv. Tento jev se nazývá **hydrostatický paradox** (více MECHLOVÁ-KOŠTÁL, 2001). Kapalina působí na stejná dna nádob o různých tvarech stejným tlakem, pokud byla využita shodná výška h kapaliny v nádobách. Ze vztahu $F = \rho \cdot S \cdot h \cdot g$ je patrné, že zde nezáleží na tvaru nádob, který neovlivňuje výsledný tlak v kapalině.

Tlaková síla na dno nádoby není závislá na jejím tvaru, ale pouze na velikosti plochy jejího dna, výšce hladiny a hustotě kapaliny. To znamená, že tlaková síla, která působí na dno nádoby, není závislá na celkové hmotnosti kapaliny. Na tuto skutečnost přišel Blaise Pascal v 17. století.



Obrázek 16: Tlaková síla na dno nádoby s různým tvarem. S = plocha dna, $h_{1,2}$ = výška vodního sloupce.

(http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=270)

3.7 Pascalův zákon

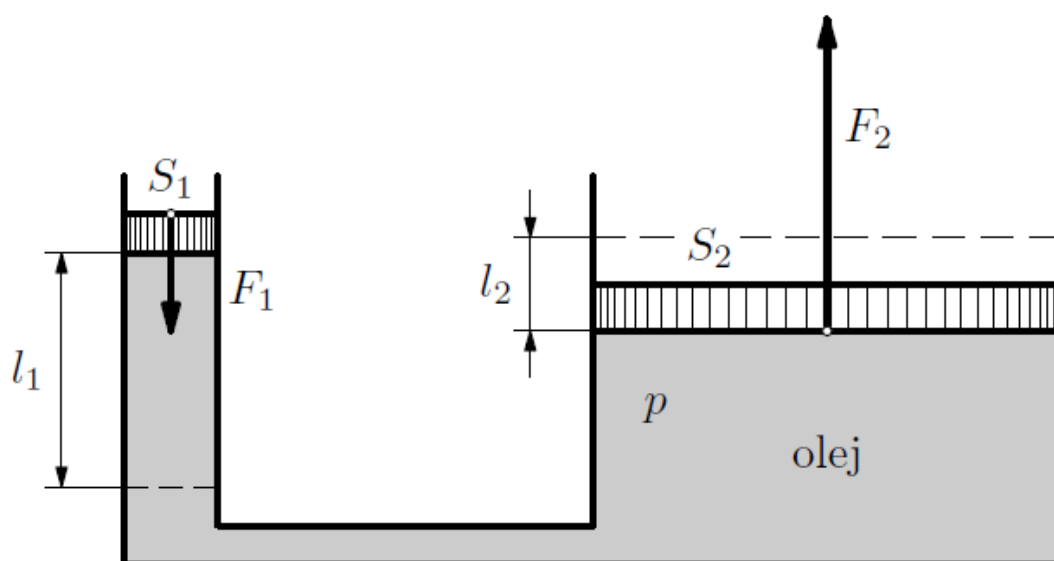
„Tlak působící na kapalinu vyvolaný vnější silou v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný.“



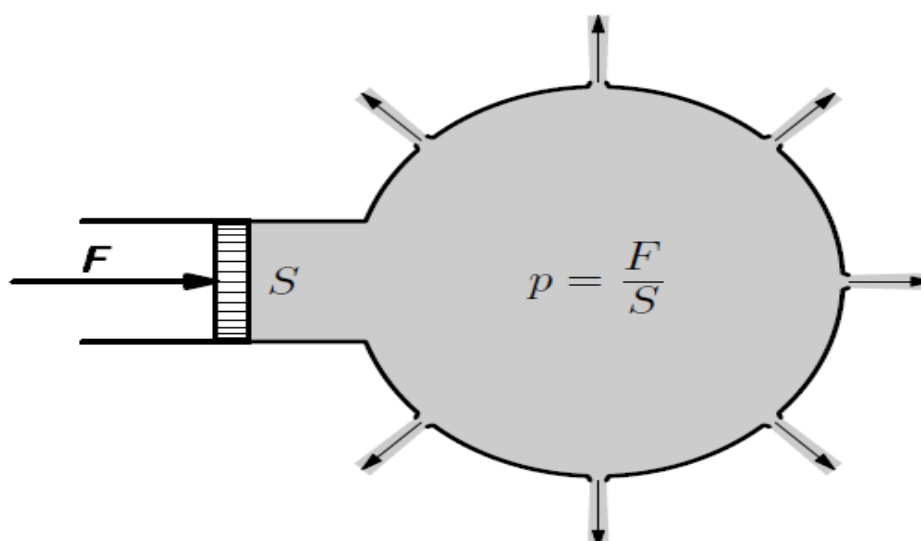
Obrázek 17: Blaise Pascal.
(<http://www.iep.utm.edu/pascal-b/>)

Zde jde o vnější sílu, která působí kolmo na povrch kapaliny. Změna rovnovážného tlaku v jednom bodě určitého objemu dané kapaliny vyvolá stejnou změnu rovnovážného tlaku ve všech ostatních bodech dané kapaliny (MECHLOVÁ-KOŠŤÁL, 2001).

Změní-li se tlak v jednom místě kapaliny, objeví se téměř okamžitě změna prakticky ihned v každém jiném místě kapaliny i na stěnách nádoby, v níž je kapalina uzavřena. Dle principu Pascalova zákona pracují hydraulická zařízení. Působí-li tlak kolmo na povrch kapaliny ve spojené nádobě, bude tlak v kapalině zvýšen všude stejně. Na hladině obou spojených nádob je píst, pomocí kterého se bude tlak v kapalině šířit. Tlak působící na jeden píst zvedne píst na druhé straně spojené nádoby (HALLIDAY et al., 2007).



Obrázek 18: Hydraulické zařízení. Znázornění využití spojených nádob.
<http://www.fyzika007.cz/mechanika/pascaluav-zakon>



Obrázek 19: Demonstrace Pascalova zákona. Tlak se v kapalině šíří všemi směry stejně.
<http://www.sszdra-karvina.cz/bunka/fy/01tlak/tlvs.htm>

3.8 *Stlačitelnost*

Voda je za normálních podmínek nestlačitelná. Avšak za extrémních podmínek lze ke stlačitelnosti vody dojít. K jejímu stlačení je potřeba značného tlaku.

Voda za svou velmi nízkou stlačitelnost a vysokou hustotu vděčí vodíkovým vazbám. Při teplotě 0 °C a na hranici nulového tlaku je stlačitelnost $5,1 \cdot 10^{-10}$ [Pa]. Jak se zvyšuje tlak, stlačitelnost se snižuje, například při 100 MPa a 0 °C je stlačitelnost $3,9 \cdot 10^{-10}$ [Pa].

Objemový modul pružnosti vody je 2,2 GPa. K její malé stlačitelnosti vede velmi nízká koncentrace plynů v ní obsažených. I ve velkých hloubkách oceánů, kde na vodu u dna tlačí celý sloupec vody nad ní, kde tlak dosahuje 40 MPa, poklesne objem vody jen o 1,8% (<http://www.338.vsb.cz/PDF/vlastnosti%20tekutin.pdf>) „cit. k 1.4.2015“.

3.9 *Adheze a koheze*

Molekuly vody zůstávají blízko u sebe vlivem působení vodíkových vazeb mezi molekulami vody. Voda má vysoké adhezní vlastnosti díky polární povaze molekul. Na extrémně čistém a hladkém skle může voda tvořit tenkou vrstvu, protože molekulární síly mezi sklem a molekulami vody jsou silnější než soudržné síly. V biologických buňkách a organelách je voda v kontaktu s membránou a povrchem bílkovin, které jsou hydrofilní, to znamená, že mají silnou přitažlivost k vodě. Irving Langmuir objevil silnou odpudivou sílu mezi hydrofilními povrchy. Vysychání hydrofilního povrchu vede k odstranění pevné hydratační vrstvy vody a vyžaduje značnou reakci proti těmto silám tzv. hydratační síly.

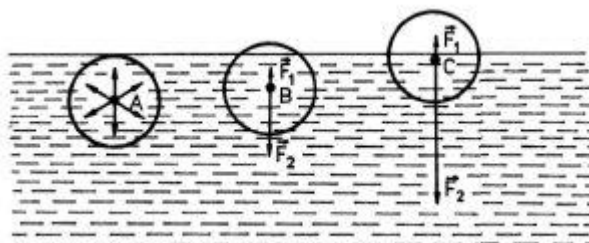
Poměr mezi soudržností molekul vody mezi sebou (kohezí) a jejich přilnavostí vůči pevným povrchům (adhezí) má pro vodní organismy řadu důležitých fyziologických a ekologických důsledků. Je-li soudržnost molekul vody (koheze) větší než přilnavost (adheze) k určitému povrchu, jedná se o povrch nesmáčivý - hydrofóbní. Hydrofobie povrchu těla je důležitá pro ty vodní živočichy, které dýchají atmosférický kyslík a alespoň občas na něm musí obnovovat rezervu vzduchu (např. vodouch stříbřitý, znako-plavka).

V opačném případě, kdy je adheze větší, než koheze je povrch smáčivý - hydrofilní. Druhou skupinu tvoří vodní živočichové, kteří čerpají kyslík přímo z vody (např. vodní korýši, vířníci, žahavci, larvy vodního hmyzu) (ŠVEHLÁKOVÁ et al., 2006f).

Na každou částici (molekulu) kapaliny působí sousední částice přitažlivými kohezními silami. Podstatu kohezních sil lze vysvětlit elektrostatickým přitahováním a odpuzováním molekul. Plný výklad podává až kvantová fyzika. Vzájemné působení je pouze krátkého dosahu a klesá mnohem rychleji než s druhou mocninou vzdálenosti. Přitažlivé působení každé částice je tak možné omezit na velmi malý kulový prostor, v jehož středu se nachází uvažovaná částice. Tento prostor se nazývá sféra molekulárního působení a jeho poloměr ρ se označuje jako poloměr molekulárního působení.

Rozloží-li se síla, která působí na vybranou molekulu na složku rovnoběžnou s povrchem kapaliny (horizontální) a složku, která je k povrchu kapaliny kolmá (vertikální).

Horizontální složky se při rovnoměrném rozložení molekul v kapalině vzájemně vyruší, neboť v obou polovinách sféry (pravé i levé) lze předpokládat přibližně shodný počet molekul (Obrázek č. 20, A). Tyto vodorovné složky samozřejmě vytvářejí určité napětí, které má u molekul na povrchu kapaliny charakter povrchového napětí.



Obrázek 20: Složky rozložení molekul v kapalině

(<http://www.sszdra-karvina.cz/bunka/fy/01tlak/tlvs.htm>)

Vertikální složky se vyruší jen, pokud se sféra molekulárního působení nachází celá uvnitř kapaliny (Obrázek č. 20, B). Pokud je však vzdálenost od povrchu menší, je ve vertikálním směru rozložení částic kapaliny nesymetrické, což má za následek, že síly nebudou vyrovnány a výsledná síla bude nenulová a orientovaná do kapaliny (Obrázek č. 20, C). Se zmenšující se vzdáleností od povrchu tato síla roste a maximální hodnoty dosáhne pro molekuly, které se nachází právě na povrchu kapaliny.

V důsledku působení kohezních sil je tlak na povrchu menší než uvnitř kapaliny a jeho velikost roste se vzdáleností od povrchu kapaliny, přičemž maximální hodnoty dosahuje ve vzdálenosti ρ . Tento celkový vzrůst tlaku se nazývá kohezním tlakem. Kohezní tlak nelze přímo měřit, ale lze jej pouze odhadnout na základě teoretických podkladů. Značné hodnoty kohezního tlaku (až kolem 10⁹ Pa) souvisí s nízkou stlačitelností kapalin. Není-li povrch kapaliny vodorovný, vzniká v důsledku jeho zakřivení dodatečný tzv. kapilární tlak (<http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/v/v2.htm>) „cit. k 1.4.2015“.

Povrchové napětí a kapilární jevy (krajový úhel, kapilární elevace a deprese) lze považovat za důsledek kohezních sil.

3.10 ***Povrchové napětí***

Povrchové napětí je dáno důsledkem vzájemné interakce přitažlivých sil molekul nebo atomů, z nichž se skládá povrchová vrstva. Je definováno jako síla vztažená na jednotku délky myšleného řezu povrchem kapaliny

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta l} . \quad (11)$$



Obrázek 21: Kapky rosy, které přilnuly k pavučině.
(<https://cs.wikipedia.org/wiki/Adheze>)

Povrch kapaliny se chová tak, jako kdyby byl tvořen tenkou pružnou vrstvou, která při daném objemu kapaliny zaujímá co nejmenší plochu. Pokud by na kapalinu nepů-

sobily vnější síly, měla by kulový tvar, protože koule má ze všech těles stejného objemu nejmenší povrch. Povrchové napětí je definováno jako práce vnějších sil potřebná k zvětšení plochy vydělená hodnotou změny plochy. Je to hustota povrchové energie.

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S}. \quad (12)$$

Kapka kapaliny může na pevném povrchu dosáhnout různých tvarů. Tyto tvary ovlivňuje povrchové napětí kapaliny. Kohezivní tlak je uvnitř kapky silnější než materiál na jejím povrchu.

I kapalina v nádobě může zaujmout různý tvar. Pro síly povrchového napětí působící na styku kapaliny, pevné látky a vzduchu platí následující rovnováha:

$$\sigma_{kt} = \sigma_{tp} - \sigma_{kp} \cdot \cos\Theta. \quad (13)$$

(Popis viz níže)

Velikost povrchového napětí pro vodu ve styku se vzduchem σ_{kp} při 20°C je 73.10⁻³ N/m, pod dosazení:

$$\sigma_{kt} = \sigma_{tp} - 73 \cdot 10^{-3} \cos\Theta, \quad (14)$$

Zde Θ se nazývá stykový úhel a jeho kosinus nabývá hodnoty od 1 do -1. Velikost povrchového napětí (povrchovou energií) mezi kapalnou a pevnou látkou je dána adhezivními silami.

Stykový úhel Θ je úhel, který svírá okraj kapaliny s pevným povrchem. Velikost stykového úhlu je závislá na rozdílu povrchového napětí tuhého tělesa vzhledem k plynu a tuhého tělesa vzhledem ke kapalině.

Je-li stykový úhel Θ roven 0, kapalina dokonale smáčí stěnu. Je-li roven 180°, kapalina stěnu dokonale nesmáčí. Podobně se chovají některé organické látky, např. alkohol. Je-li úhel roven 90°, kapalina v kapalině vytváří přesně polokulovitou kapku, nebo v případě povrchu v trubici vytváří volný povrch. Pro vodu ve skleněné nádobě je stykový úhel Θ roven 8°. Pro rtuť ve skleněné nádobě je stykový úhel Θ roven 128°.

Povrchové napětí (povrchová energie) mezi kapalnou a pevnou látkou je dáno adhezivními silami. Adhezivní síly vyjadřují schopnost dvou (především rozdílných)

materiálů spolu přilnout. Jde o mezimolekulární přitažlivé chemické a fyzikální síly na styčných plochách v nerovnostech a pórech materiálů. Pět základními mechanizmy adheze jsou:

- mechanická adheze (např. suchý zip),
- chemická adheze (zprostředkována chemickou kovalentní vazbou),
- disperzní adheze (Van der Waalsovy síly nekovalentní přitažlivé síly, které působí mezi nepolárními molekulami a jsou důsledkem vzniku okamžitého elektrického dipólu)
- elektrostatická adheze
- difúzní adheze (polymery).

Pevné látky v blízkosti bodu tání mají o 10 až 20 % vyšší povrchovou energii než látky v kapalném stavu - přibližně v poměru sublimačního a výparného tepla. Hodnota povrchové energie odhadnutá při teplotě tání může být extrapolována na jinou teplotu (viz povrchové napětí kapalin).

Některým vodním živočichům umožňuje povrchové napětí bezpečný pohyb po hladině vody (např. vodoměrky).



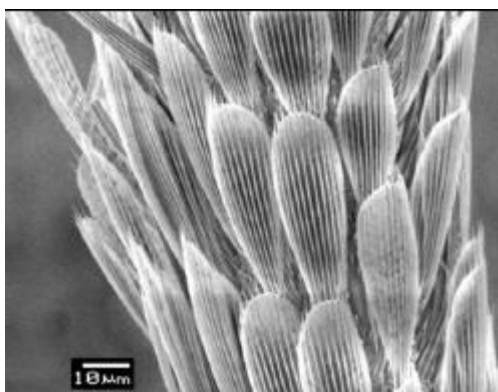
Obrázek 22: Vodoměrky na vodní hladině. Pro vodoměrky je vysoké povrchové napětí vody nezbytné k jejich životu.

(<http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/v/v2.htm>)

Komáři a moskyti využívají povrchové napětí vody oběma způsoby. Na vodní hladině unesou až patnáctinásobek své váhy a můžou po ní skákat, protože mají konce nožiček pokryty drobnými lamelovitými lištami, které odpuzují vodu (viz obr. 23).

Povrchově aktivní látky snižují hodnotu povrchového napětí, jejich efekt lze popsat laterálním tlakem π , který působí proti povrchovému napětí. Mezi povrchově aktivní látky patří saponáty obsažené v pracích a čisticích prostředcích.

Kontaminací přírodních vod tak může mimo jiné dojít k fatálnímu narušení životních podmínek hmyzu. Je-li hraničící vzduchová vrstva nasycena plyny kapalinou, pak může pronikání dalších par z vnějšku výrazně ovlivnit povrchové napětí. Povrchové napětí je silně závislé na teplotě a všeobecně platí, že klesá s rostoucí teplotou. Od kritického bodu je rovno nule.



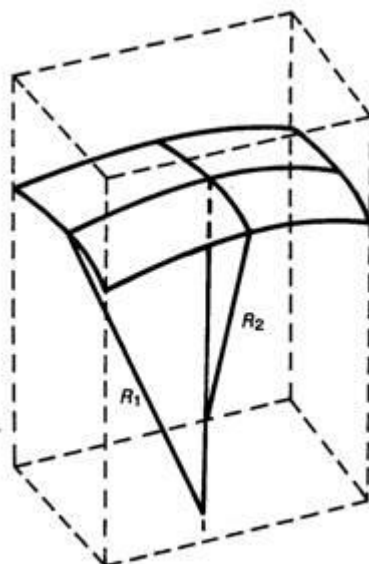
Obrázek 23: Nožička moskyta.

(<http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/v/v2.htm>)

V kapičce kapaliny, například v malé kapce vody nebo plynové bublině uvnitř kapaliny, působí kvůli povrchovému napětí na rozhraní kapalina/plyn zvýšený tlak, taktéž i ve vnitřku mýdlové bubliny. Zvýšení tlaku popisuje Young-Laplaceova rovnice:

$$p_{\alpha} - p_{\beta} = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (15)$$

Podmínka mechanické rovnováhy na zakřiveném fázovém rozhraní: rozdíl tlaků na konkávní (p_β) a konvexní (p_α) straně rozhraní (obr. 24) je funkcí zakřivení fázového rozhraní (R_1, R_2 jsou hlavní poloměry křivosti) a mezifázového napětí σ :



Obrázek 24: Znázornění poloměru zaoblení.
http://hgf10.vsb.cz/546/Flotace/text_2.htm

Pro kulovité rozhraní ($R_1 = R_2$) má Laplaceova-Youngova rovnice tvar:

$$p_\alpha - p_\beta = \frac{2\sigma}{r}. \quad (16)$$

Pro rozhraní ve tvaru válcové plochy ($R_1 = r, R_2 = \infty$) platí

$$p_\alpha - p_\beta = \frac{\sigma}{r}. \quad (17)$$

V důsledku zakřivení povrchu kapaliny v kapiláře (úzkou trubici o malém vnitřním poloměru r) vznikne výraznější rozdíl tlaků na konkávní a konvexní straně rozhraní. Při vypuklém (konvexním) tvaru (např. skleněná kapilára se rtutí) bude sloupec stlačován, při vydutém (konkávním) tvaru menisku (případ skleněné smáčivé kapiláry a vody) bude sloupec stoupat nad úroveň volné hladiny.

Tlak pod meniskem v kapiláře je tedy snížen o hodnotu $2\sigma/r$ proti tlaku, který působí na volnou hladinu vody. Voda proudí z místa vyššího tlaku (z volné hladiny) do místa nižšího tlaku (k menisku v kapiláře) tak dlouho, až hydrostatický tlak sloupce vody vyrovná kapilární tlak p . Rovnováha kapaliny v tíhovém poli proběhne tehdy,

bude-li mít kapalina v každé vodorovné rovině stejný tlak. Kapalina s konkávním meniskem tedy musí v kapiláře vystoupit výše vzhledem k okolnímu povrchu, jde o kapilární elevaci, a naopak kapalina s konvexním meniskem poklesne níže, tzv. kapilární deprese. Při rovnováze bude rozdíl tlaku z důvodu zakřivení rozhraní roven hydrostatickému tlaku odpovídajícímu výšce sloupce.

U celulózních stěn xylému je povrch stěn kapiláry smáčivý a poloměr křivosti menisku r se rovná poloměru kapiláry. Nesmáčivost pro vodu umožňují karboxylové skupiny celulózy buněčných stěn cév.

Cévy jsou zakončeny a obklopeny celulózními stěnami s interfibrilárními mikrokapilárami. Výpočet podle vzorce pro kapilární elevaci ukazuje, že menisky vody v kapilárách o takovém průměru mohou udržet i vodní sloupce podstatně vyšší, než jsou nejvyšší stromy (sloupce by mohly být až několik tisíc metrů vysoké). Je možné ukázat na modelu trubice o velkém průměru rozvětvené na konci do mikrokapilár, že je-li systém zcela "zavodněn", budou mikrokapiláry schopny udržet vodu proti zemské tíži i při silném výparu.

Voda nestoupá systémem prázdných xylémových cév do korun stromů, ale sloupce vody „rostou“ (prodlužují se) s tím, jak strom roste. Jakmile je kontinuum vody v cévě přerušeno, je postižená kapilára (céva) vyřazena. Voda vystoupí v kapiláře tak vysoko jen tehdy, pokud se sloupec vody v kapiláře nepřetrhne (<http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/v/v2.htm>) „cit. k 1.4.2015“.



Obrázek 25: Stromy využívají kapilárního jevu k zásobování se živinami.
(<http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/v/v2.htm>)

4 Závěr

V předkládané bakalářské práci byly rozebírány některé chemické a fyzikální vlastnosti vody. Voda obklopuje planetu Zemi miliardy let, čímž umožňuje vznik života a jeho udržení na Zemi. Lidská činnost má veliký vliv na hodnoty životního prostředí, které z velké části tvoří právě voda.

Ve své práci ukazuji klasické i netypické vlastnosti vody jakožto kapaliny, vodní páry a ledu. Zaměřil jsem se i na využití vody člověkem či faunou a flórou. V jednotlivých kapitolách byly rozebírány skupenské přeměny vody – tání, tuhnutí, sublimace a var, přičemž bylo na konkrétních příkladech uváděno, jaký vliv mají jednotlivé přeměny na životní prostředí – např. na faunu v zamrzlých jezerech nebo vliv ledovců na středoevropské prostředí.

Z fyzikálních vlastností vody byla sledována její hustota, přičemž nebyla opomenuta ani rozdílná hustota slané a sladké vody, dále měrná tepelná kapacita, mísitelnost, hydrostatický tlak, vztlaková síla (Archimédův a Pascalův zákon), stlačitelnost, adheze i povrchové napětí. Například posledně jmenovaná vlastnost umožňuje drobným organismům, jako jsou vodoměrky, se volně pohybovat po hladině, tedy možnost lovit či utíkat před nepřítelem. Jakékoliv narušení vodní hladiny – kontaminace cizorodou látkou – poté může zapříčinit úhyn tohoto hmyzu.

Ve vodní dopravě se v nemalé míře využívá Archimédova zákona, který kromě toho, že nadnáší veškeré (nepoškozené) lodě plující na vodách, tak se používá i např. pro energeticky úsporný mechanismus lodního zdvihadla.

Rešeršní metodou byly v klasifikační práci sledovány elementární fyzikální a chemické vlastnosti vody, které byly vysvětleny formou základní příručky. Případné další rozšiřování této práce by mělo vést k podrobnějšímu rozboru tematiky a zejména k sestavení vzorových příkladů k procvičování dané látky.

Předkládaná bakalářská práce by měla být jedním z podkladů pro navrhovaný předmět agrofyzika. Její součástí je i powerpointová prezentace, která je zaměřena na vodu a její méně obvyklé fyzikální vlastnosti.

5 Seznam použité literatury

- BOEKER E., GRONDELLE V. R.** (1996): Environmental physics, New York 1996, ISBN: 978-0-471-99780-1.
- BOJKOVSKÝ M.** (2009): Termodynamika: Vodíková vazba [online], 2009, cit. k 1.4.2015. Dostupné online [http://fikus.omska.cz/~bojkovsm/termodynamika/vodikova_vazba.html].
- BOSE T.** (2007): Hydrogen: facing the energy challenge of the 21st century (a unique book about hydrogen), Esther 2007, ISBN10: 274-200-6397, ISBN13: 978-274-200-6397.
- CIBULKA I., HNĚDKOVSKÝ L., HYNEK V.** (2006): Základní fyzikálně-chemické veličiny a jejich měření [online], Praha 2006, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <http://www.vscht.cz/fch/cz/pomucky/FCHV_all_7.pdf>.
- DOBZEAŃSKI B., GRUNDAS S., STĘPNIEWSKI A.** (2013): Introduction to Scientific Discipline Agrophysics — History and Research Objects, Advances in Agrophysical Research, Prof. Stanisław Grundas (Ed.), ISBN: 978-953-51-1184-9 [online], cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/45154.pdf>>.
- GLIŃSKI J. et al.** (2011): Encyclopedia of Agrophysics, 2011, ISBN 978-90-481-3585-1.
- HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J.** (2007): Fyzika, Brno-Praha 2007, ISBN: 8021418680.
- CHAPLIN M.** (2009): Water Molecule Structure [online], 2009, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_molecule.html>.
- CHMELOVÁ R. et al.** (2013): Základy fyzické geografie 1: Hydrologie, Olomouc 2013, ISBN: 978-80-244-3843-6.
- LAMPERT W., SOMMER U.** (1997): Limnoecology: the ecology of lakes and streams, New York 1997, ISBN-13: 9780199213931.
- MECHLOVÁ E., KOŠTÁL K.** (2001): Výkladový slovník fyziky pro základní vysoškolský kurz, Praha 2001, ISBN: 80-7196-151-5.

- POKORNÝ J.** (2014): Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů, Ústí nad Labem 2014.
- RYŠÁNKOVÁ L.** (2011): Voda, Brno 2011.
- ŠVEHLÁKOVÁ H. et al.** (2006a): Ekologické aspekty technické hydrobiologie: Vodíková vazba vody [online], 2006, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/fyzikalni/hydrog_vaz.htm>.
- ŠVEHLÁKOVÁ H. et al.** (2006b): Ekologické aspekty technické hydrobiologie: Oběh vody [online], 2006, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/fyzikalni/obeh_vody.htm>.
- ŠVEHLÁKOVÁ H. et al.** (2006c): Ekologické aspekty technické hydrobiologie: Viskozita [online], 2006, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <<http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/fyzikalni/viskozita.htm>>.
- ŠVEHLÁKOVÁ H. et al.** (2006d): Ekologické aspekty technické hydrobiologie: Hustota (denzita) [online], 2006, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <<http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/fyzikalni/hustota.htm>>.
- ŠVEHLÁKOVÁ H. et al.** (2006e): Ekologické aspekty technické hydrobiologie: Hydrostatický tlak [online], 2006, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/fyzikalni/hydro_tlak.htm>.
- ŠVEHLÁKOVÁ H. et al.** (2006f): Ekologické aspekty technické hydrobiologie: Význam adheze a koheze pro vodní organismy [online], 2006, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <<http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/voda/fyzikalni/adheze.htm>>.
- WHITE F. M.** (2009): Fluid Mechanics, New York 2009, ISBN: 978-0-07-352934-9.
- YOUNG H. D., FREEDMAN R. A., FORD A. L.** (2011): University Physics with Modern Physics (13th Edition), Boston 2011, ISBN-13: 978-0321696861.

6 Internetové zdroje

<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Agrofyzika> „cit. k 1.4.2015“

<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Agronomy> „cit. k 1.4.2015“

<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydrosf%C3%A9ra> „cit. k 1.4.2015“

<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Sublimace> „cit. k 1.4.2015“

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Podchlazen%C3%AD_\(termodynamika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Podchlazen%C3%AD_(termodynamika)) „cit. k 1.4.2015“

https://cs.wikipedia.org/wiki/Lodn%C3%AD_v%C3%BDtah „cit. k 1.4.2015“

Boháček P., Smrtící výška aneb Když se začne vařit krev [online], 2013, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <www.armadninoviny.cz/smrtici-vyska-aneb-kdyz-se-zacne-varit-krev.html>.

Brandl Z., Hydrobiologie [online], cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <<http://rum.prf.jcu.cz/public/brandl/hydrobiologie/a-Hydrobiologie-tema-1-az-23/Hyd-4-7-Fig0302.pdf>>.

Poláček M., Skupenské přeměny [online], cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <<http://radek.jandora.sweb.cz/f09.htm>>.

Reichl J., Encyklopedie fyziky: Fázový diagram [online], 2006-2015, cit. k. 1.4.2015. Dostupné online <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/655-fazovy-diagram>>.

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/648-tani> „cit. k 1.4.2015“

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/651-sublimace-a-desublimace> „cit. k 1.4.2015“

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/652-vyparovani-a-kapalneni> „cit. k 1.4.2015“

<http://www.stranypotapecke.cz/teorie/voda.asp?str=200904132117210> „cit. k 1.4.2015“

http://www1.lf1.cuni.cz/~aproc/prezentace/A/Fyzika_6.ppt „cit. k 1.4.2015“

https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/12-2-fyzikalni-vlastnosti.html „cit. k 1.4.2015“

<http://www.338.vsb.cz/PDF/vlastnosti%20tekutin.pdf> „cit. k 1.4.2015“

<http://zs-fyzika.webnode.cz/products/hydrostaticky-tlak/> „cit. k 1.4.2015“

<http://radek.jandora.sweb.cz/f05.htm> „cit. k 1.4.2015“

<http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/v/v2.htm> „cit. k 1.4.2015“