

3.

Hydrologie

3.1. Úvod do hydrologie

Vodou, jako předmětem poznání, se zabývá především hydrologie a hydraulika a do značné míry též biologie a chemie. Na rozdíl od hydrauliky, která se zabývá praktickým používáním zákonů o rovnováze a pohybu kapalin, **je hydrologie vědou o výskytu a oběhu vody v přírodě.**

Obor působnosti hydrologie je obsáhlý, proto hydrologii dělíme dle předmětu zájmu na:

- hydrologii pevniny (zabývá se povrchovou a podzemní vodou na pevnině),
- hydrologii moří,
- hydrometeorologii (jedná o vodě v ovzduší, především o srážkách)

Nás zajímá **hydrologie pevniny** a tu pak dělíme na:

- **potamologii, zabývající se řekami,**
- **limnologii, zabývající se jezery , umělými nádržemi a močály,**
- glaciologii, zabývající se pozemními ledovci,
- hydrogeologii, zabývající se podzemními vodami.

Hydrologii lze dělit i podle pracovního obsahu, kdy rozlišujeme:

- obecnou hydrologii, která vysvětluje příčiny hydrologických jevů a vyvozuje obecné hydrologické zákony,
- inženýrskou hydrologii, zabývající se výpočty za účelem využití vody a její energie a ochrany před vodou jako živlem,
- hydrografii, popisující stav a vývoj vodstva,
- hydrometrii, zabývající se měřením výskytu vody a zjišťováním režimu jejího oběhu,
- hydrologickou prognostiku, zabývající se předvídaním hydrologických jevů za účelem sestavování předpovědí např. vodních stavů na řekách.

3.2. Hydrologie na stojatých vodách

Právě na hydrologii stojatých vod si můžeme ukázat zvláštní vlastnosti vody. Jednou z nich je špatná tepelná vodivost a jejím následkem je vytvoření různě teplých vrstev v každé větší nádrži se stojatou vodou v letních nebo zimních měsících. Vzápětí ale toto rozvrstvení může být ovlivněno prouděním vody vyvolané větrem. To však u hlubokých nádrží nezasáhne nejspodnější vrstvu, jejíž teplota se pohybuje kolem 4° Celsia a ke dnu klesá, neboť má nejvyšší hustotu. Jedná o tzv. **tepelnou anomálii**. Spočívá ve skutečnosti, že voda má právě největší hustotu nikoliv při teplotě 0° C, ale při teplotě 3,96° C.

Poznámka autora:

- *Proto má voda, která vnikla do trhliny v betonové konstrukci, nebezpečný trhací účinek, jestliže v ní zmrzne.*

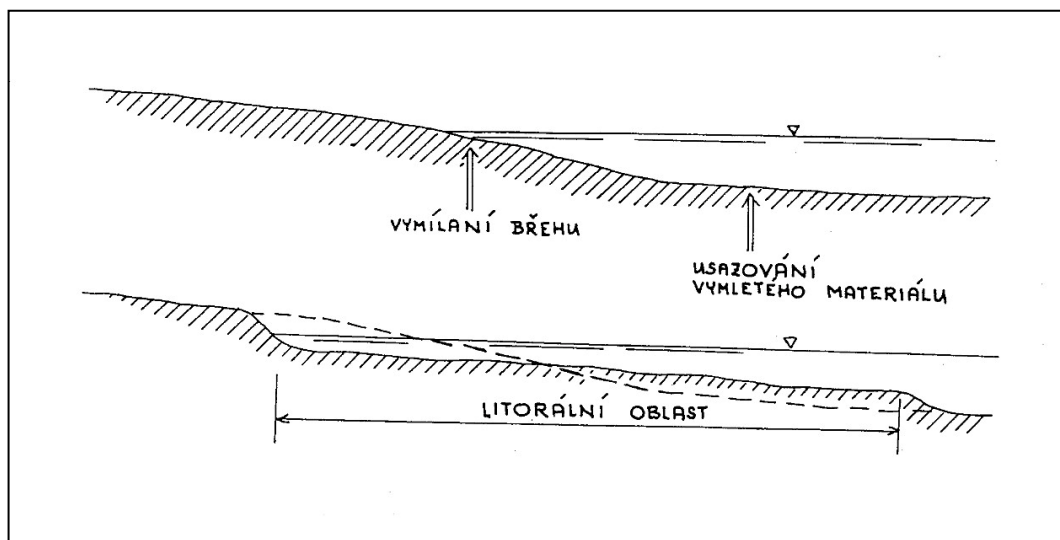
- *Přestože je zmíněna špatná vodivost vody, nesmíme podcenit podchlazení, ke kterému dojde při delším pobytu ve studené vodě. Voda odnímá tělu jeho teplo podstatně rychleji než suchý mrazivý vzduch.*

Nádrže se stojatou nebo jen nepatrně protékající vodou vznikají v přirozených kotlinách a umělých zemních prohlubních, do nichž přitéká více vody než z nich může uniknout, ať už odtokem, průsakem nebo výparem. **Charakteristickou vlastností vody v nádržích je mimo jiné její fyzikální a chemická odlišnost na různých místech a v různých hloubkách vlivem nepatrného míšení vodních mas.**

Dalším znakem stojatých vod je, že v nich neustále probíhá **usazování**. Podle stupně zanesení pevnými částicemi rozeznáme:

- nádrže mladé, jejichž dno je bez nánosů nebo jen s nepatrnými nánosy, které podstatně nezměnily původní tvar území. Sem zařadíme naše umělé údolní nádrže.
- nádrže dospělé, které mají již vyvinutou plochou tzv. **litorální oblast** (viz obr. 3.a) a při ústí vodoteče do nádrže se tvoří delta,
- nádrže staré, jejichž obsah je téměř zanesen, takže nádrž na celé své ploše je stejnoměrně mělká a při ústí vodoteče jsou rozsáhlé delty. Stárnutí nádrží je provázeno neustálým změlčováním, jež končí úplnou přeměnou na bažinu souvisle porostlou vodními a mokřadními rostlinami.

Poznámka autora: S takovými vodními plochami (starými přírodními nádržemi) v podobě zarůstajících jezer jsem se setkal na karelské řece Ileksa v roce 1998. Místní strážci Národního parku Vodlozerskij mi řekli, že do patnácti let např. jezero Tun nebude existovat, neboť se celé zanesou a zaroste sítinou. Jak asi toto místo vypadá dnes ?



obr. 3.a. Vznik litorální oblasti má na svědomí pohyb vody vyvolaný větrem nebo i lodní dopravou - nahoře. Vlny narážejí na břeh, svojí silou jej vymílají a získaný materiál je odvečen dále od břehu. Rozměr nádrže se tedy zvětšuje, hloubka se naopak snižuje - dole.

Vzhledem k přítoku a odtoku vody můžeme rozlišovat nádrže:

- bezodtokové, z nichž nevytéká žádný povrchový tok (např. jezera v pouštích),
- pramenné, do nichž sice nevchází žádný povrchový tok, ale vytéká z nich stálý nebo aspoň dočasný tok,
- průtočné (říční), jimiž protéká vodoteč.

3.2.1. Pohyb vody vyvolaný přítokem a odtokem

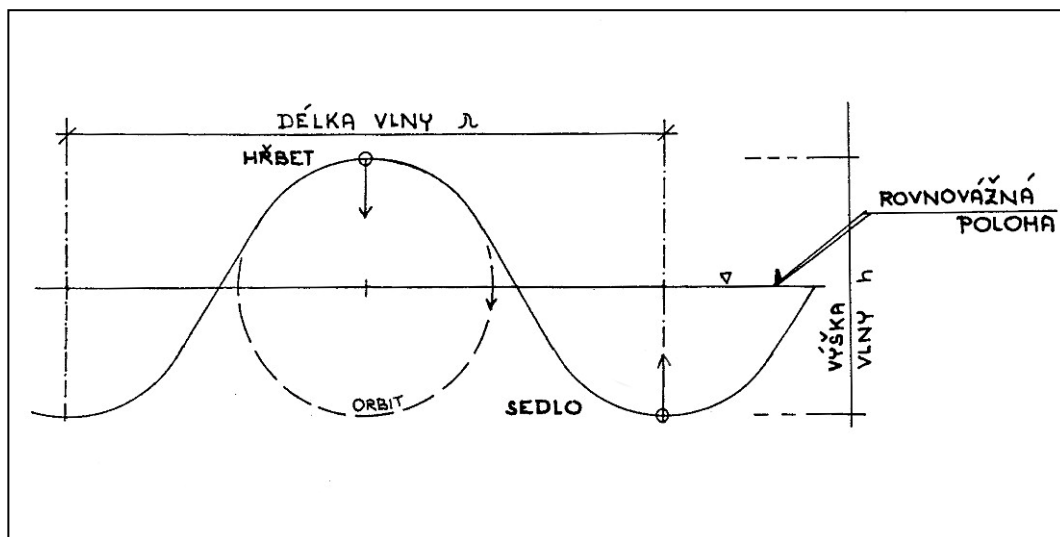
U velkých nádrží (ať přírodních nebo umělých) je pohyb vody vyvolaný přítokem zřetelný jen v ústí a pohyb vody vyvolaný odtokem před výtokem. Proto pokud hledáme pohyb vody vyvolaný přítokem a odtokem, který je patrný v celé velikosti nádrže, musíme hledat u malých nádrží. Tam, kde bylo původní koryto, které člověk přehradil hrází, uvidíte (při vypuštění vody z nádrže) stále tvar původního koryta. A v takových případech počítejme s prouděním vody při dně nádrže, kdy voda sleduje směr původního koryta.

Poznámka autora: V Plzni v údolí řeky Radbuzy pod Borskou věznicí se nachází Litická přehrada. Její délka je od hráze k silničnímu mostu v obci Litice je cca 3700 metrů. Každý podzim je

však nádrž vypuštěna a kolem pěti měsíců voda proudí zase jen původním řečištěm. Tímto způsobem se ale udržuje ono původní koryto a tak i zde bude nadále platit i při velké délce nádrže, že v původním korytě je pohyb vody.

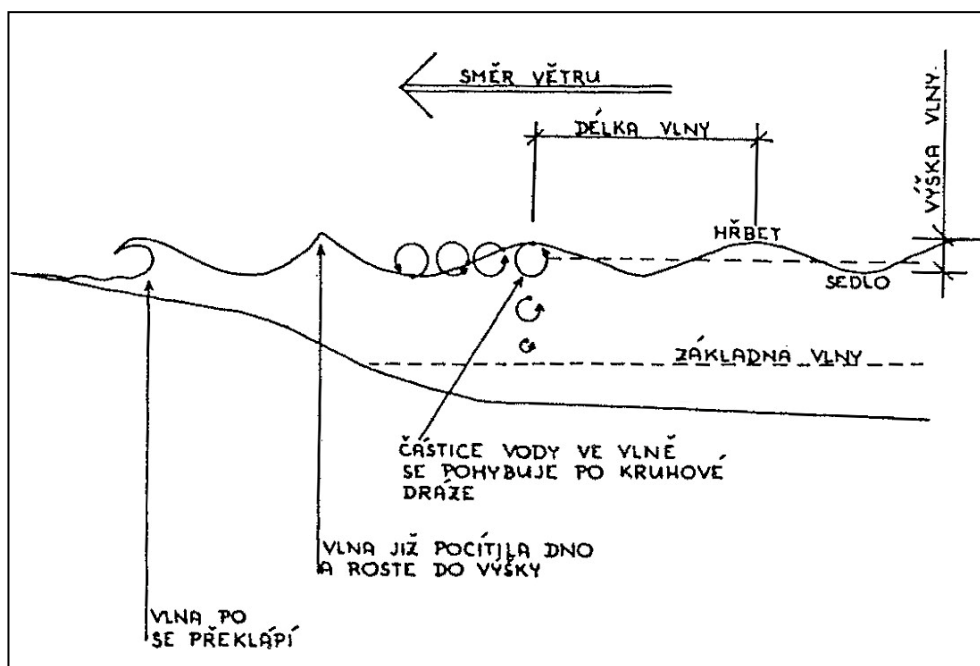
3.2.2. Povrchový pohyb vody vyvolaný větrem

Průvodním jevem větru je **vlnění**, kdy voda vlivem větru vykonává oscilační pohyby - dostává tvar vlny (viz obr. 3.b. + 3.c.). Ve vlně částice vody opisují kruhovou dráhu tzv. **orbitu**. Průměr orbity odpovídá výšce vlny. A výška vlny závisí na největší délce hladiny nádrže ve směru větru a na rychlosti větru.



obr. 3.b.

Vlna má dva základní rozměry. **Výškou vlny** rozumíme vertikální vzdálenost mezi sedlem a hřbetem. Vodorovná vzdálenost mezi dvěma hřbety (nebo také mezi dvěma sedly) je tzv. **délka vlny**



obr. 3.c.

Poznámka autora: V knize "Úvod do hydrologie" od Doc.ing.Dr. Jana Cablíka jsem našel vzorec pro výpočet výšky vlny (h):

$$h = 0,0208 \cdot v^5 \cdot D^3$$

nebo také lze vyjádřit jako:

$$h = 0,0208 \cdot v^{5/4} \cdot D^{1/3}$$

V uvedeném vzorci se považuje:

v = rychlost větru v metrech za sekundu,
 D = délka hladiny ve směru větru v kilometrech,
 h = výška vlny (což je vertikální vzdálenost vrcholu hřbetu vlny a nejnižší hladiny v sedle vlny - viz obr. 3.2.2.a) a vychází v metrech).

Dosadíme-li si do uvedeného vzorce např. délku nádrže ve směru větru $D = 1,5$ km a rychlost větru 10 m/s (36 km/hod.), pak

$$h = 0,0208 \times 10^{5/4} \times 1,5^{1/3} =$$

$$= 0,0208 \times 17,78 \times 1,14 = \mathbf{0,42\ m}$$

Tatáž publikace (učebnice) uvádí vzorec i pro výpočet délky vlny λ :

$$\lambda = 0,304 \cdot v \cdot \sqrt{D}$$

nebo také lze vyjádřit jako:

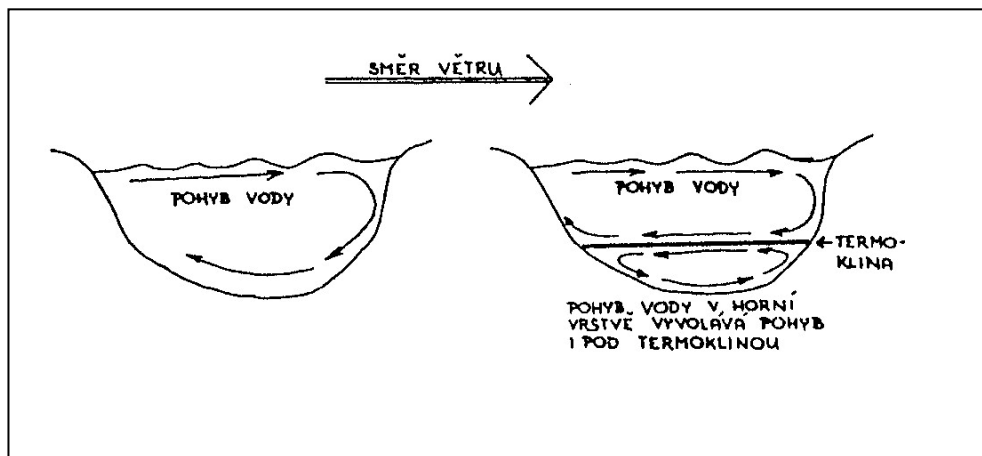
$$\lambda = 0,304 \cdot v \cdot D^{1/2}$$

Dosadíme-li si do uvedeného vzorce, pak

$$\lambda = 0,304 \cdot 10 \cdot 1,5^{1/2} = \mathbf{3,72\ m}$$

Vychází nám tedy výška vlny $0,42$ m a délka vlny $3,72$ m. Pro nás je to zajímavá informace v tom směru, když se budeme ptát, do jaké hloubky působí vliv větru. Však se k tomu ještě vrátíme.

Vítr svým třením o vodní hladinu na povrchu vyvolá vlny, které se pohybují ve směru větru. Tomu samozřejmě **odpovídá vodní proud u dna** (u mělkých nádrží) **nebo u tzv. skočné vrstvy** (u hlubokých nádrží, kde je hloubka větší než možná hloubka pohybu částic vyvolaných větrem na hladině), **který má však opačný směr než vítr – viz obr. 3.d.**

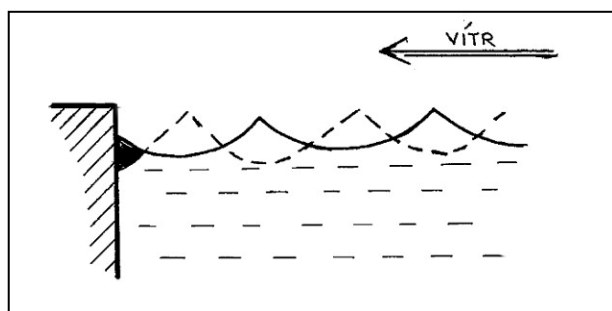


obr. 3.d. Zde vane vítr zleva doprava. Pokud by se voda někudy nevracela zpět, byla by nakonec pod vlivem větru všechna nahnuta na pravém břehu. To samozřejmě není u kapaliny možné. Do výchozího místa, odkud byla sebrána větrem, se tedy vrací při dně nádrže. Nebo také při spodní hranici vrstvy vody, když tuto hranici tvoří takzvaná termoklina. O pojmu termoklina se dočtete v dalším textu.

Pohyb částic ve vlně má vliv na své okolí. A tedy zasahuje ještě dále než je pouhá výška vlny. **Jde až do hloubky, která se rovná polovině délky vlny.** Tato úroveň se nazývá **základna vlny – viz obr. 3.c.**

Poznámka autora: Vezmeme-li si výpočet s výsledkem, kde výška vlny je 0,42 m a délka 3,72 m, pak pohyb částic vody zasahuje do hloubky rovné polovině délky vlny. V našem případě $1/2 = 1/2 \cdot 3,72 = 1,86$ m. Až do této hloubky se pohybují částice vody pod vlivem větru. Je např. u břehů vytloukáno dno a materiál je odnášen do hlubších míst. (Viz: vznik a vývoj litorální oblasti .)

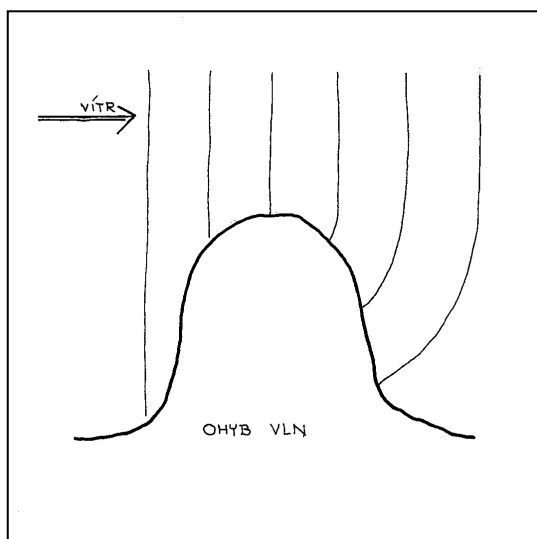
Sledujte **obrázek 3.c.** Jestliže vlna přichází ke břehu a polovina její délky svojí hodnotou dosahuje hloubky dna, v tomto okamžiku "vlna cítí dno". (Nebo také jinak řečeno: Základna vlny je na úrovni dna.) Následkem tření mezi dnem a pohybujícími se částicemi vody dochází k narůstání výšky vlny. S narůstající výškou se krátí délka vlny. Přední svah vlny se stává strmějším a když hloubka dosahuje pouhého cca 1,3-násobku výšky vlny, přesahuje strmost vlny úhel 60°. Vlna ztratí stabilitu, hřeben vlny přepadne do směru pohybu a rozbije se. Tam, kde dochází k rozbíjení vln je tzv. **příbojová zóna.**



obr. 3.e.

Narazí-li vlny do svislé překážky (např. stěny nábřeží nebo mola), jsou odraženy zpět. Vzniká krátké, vysoké a nepravidelné vlnění. Jestliže se střetne odražená vlna s přicházející vlnou, dojde také ke zvýšení přicházející vlny – viz obr. 3.e..

Poznámka autora: Nepříjemnou situaci vzniklou dle obr. 3.e. znají velice dobře seakajakáři z jízd po velkých otevřených vodních plochách (jezera, moře).

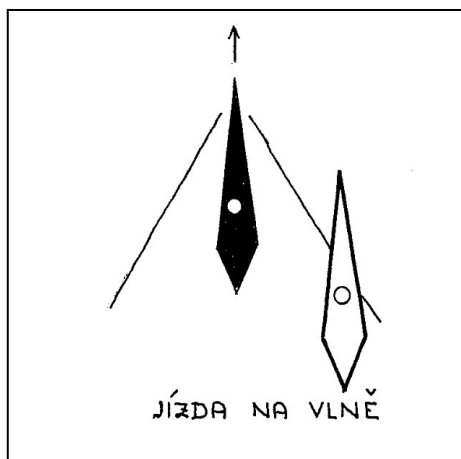


obr. 3.f.

Nyní se věnujme pohledu shora na vlnění. Vyskytne-li se v cestě šíření vln např. výběžek pevniny nebo molo apod., dojde na závětrné straně překážky k **ohybu** (změně směru) **vlnění** – viz obr. 3.f.

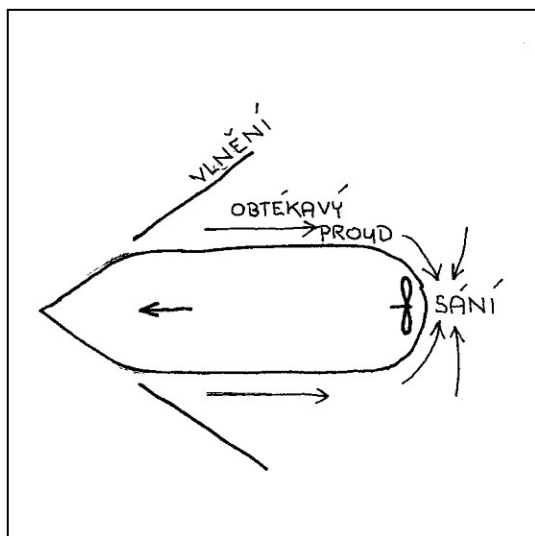
3.2.3. Pohyb vody vyvolaný lidskou činností

Plavidlo poháněné at' lidskou silou, větrem nebo motorem rozráží svojí přídílí vodu. Vlastně **vyvolává tlak**, jehož výsledkem jsou vlny šikmo do stran – viz obr. 3.g. I v těchto vlnách dochází k výše popsanému pohybu vodních částic. Ve vlně se pohybují částice po kruhové dráze a pohyb částic dosahuje do hloubky, která se rovná polovině délky vlny. Na bocích plavidla v pohybu voda obtéká plavidlo. Za jeho záďí je naopak "nižší tlak tekutiny" – viz obr. 3.h. Aby došlo k vyrovnání na původní hodnotu, je do tohoto místa **nasávána voda z okolí.**



obr. 3.g.

Vln šikmo do stran využívají např. vodáci na klidné vodě, kdy se tzv. "posadí na vlnu" a využívají jejího vzniku a pohybu částic v ní k ušetření sil. Samozřejmě současně pádlují, ale protože se vlna pohybuje vpřed a částice ve vlně rotují, je vykonávaná práce nižší intenzity než u samotného prvního plavidla (např. kajaku), které rozráží vodu jako první. Pozor, podmínkou je že těleso bude ponořené do vody !! Pokud budete sledovat lehoučký předmět na vodě plovoucí a do vody zasahující nepatně, pak předmět zůstává stát na místě a pohybuje se pouze nahoru a dolů podle pulzování vlny.



obr. 3.h.

Na bocích plavidla v pohybu voda obtéká plavidlo. Za jeho zádi je naopak "nižší tlak tekutiny" Aby došlo k vyrovnání na původní hodnotu, je do tohoto místa nasávána voda z okolí.

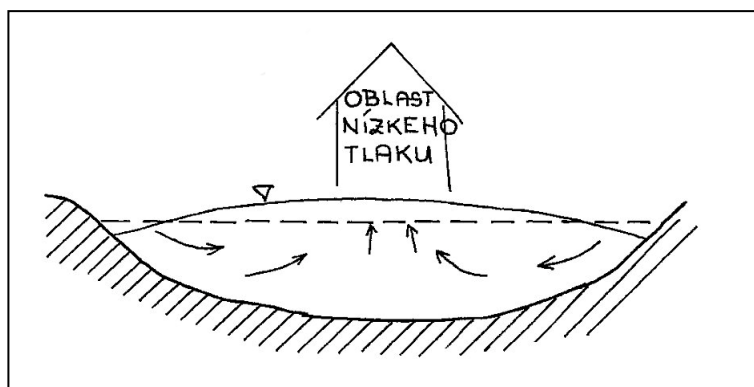
Poznámka autora: Zvlášť nebezpečné mohou být v tomto případě **motorové čluny a lodě**, neboť savý efekt strhne neopatrného plavce do těsné blízkosti lodního šroubu. Proto se při plavání v plavební dráze (u vodních toků a ploch s povolenou motorovou dopravou) bojte jako čert svíce vody motorových člunů. Nikdy se nesnažte z vody přiblížit k motorovému člunu, který má nastartovaný motor, natož plavat až k bokům velkých lodí za účelem pohoupat se na vlnách.

Poznámka autora: Opět lze savý efekt za zádi jedoucího plavidla poháněného lidskou silou nebo větrem využít pro tzv. "jízdu v srku", kdy před druhého plavidla je těsně za zádi prvního plavidla. Protože před druhého plavidla rozráží "zředěnou" vodu spotřebovává pro pohyb méně energie. Praktikovali jsme tento způsob jízdy na Berounce, abychom se po splutí Ejpovického potoka dostali k našemu vodáckému autobusu. A jediné cílové místo na Berounce přístupné autům a autobusům při splouvání onoho potoka leží tři kilometry pod ústím. Takže první úsilovně pádloval, druhý držel před svého kajaku těsně za zádi prvního. Třetí se posadil za druhého atd.

3.2.4. Pohyb hladiny vlivem nestejnomyerného barometrického tlaku

Tento pohyb může být patrný pouze na hodně velkých nádržích. Takovému pohybu, kdy voda ve středu vodní nádrže pod vlivem nižšího barometrického tlaku "vyboulí" se říká "sejší". Kromě rozdílu tlaků nad hladinou mohou být sejší vyvolány též silným větrem, kdy vítr fouká ze všech stran do středu. **Viz obr. 3.i.**

Poznámka autora: Z vyprávění leteckého záchranáře o nehodě na východoslovenské Šíravě. Uprostřed nádrže se nad vodou usadil mrak. Kdo se zabývá plachtěním a létáním, ví, že takový mrak je nebezpečný, ale i hledaný. Pod mrakem má vzduch vzestupnou tendenci proudění. Vzduchové částice stoupají do výše. Vzniká tak při hladině nižší tlak vzduchu než je v okolí. Protože snahou přírody je vyrovnávání rozdílů, přichází na místo původního vzduchu (v tomto případě při vodní hladině) vzduch z okolí. Proudění vzduchu (neboli vítr) vyvolává na vodní hladině již popsané vlnění. A protože vlny postupují ze všech stran do středu, uprostřed nádrže se srážejí a jejich výška roste. Veslice s posádkami se převrhly. Protože bylo ke břehu daleko a lidé neměli plovací vesty, někteří nepřežili.

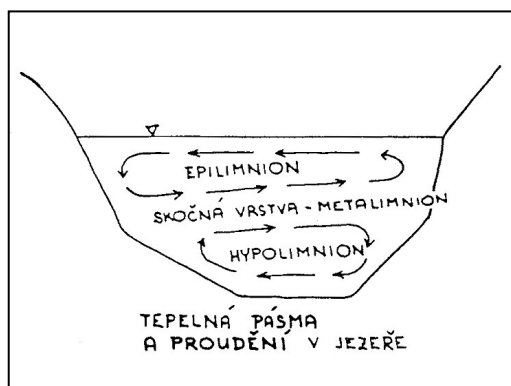


obr. 3.i. Deformace vyvolaná sejší

3.2.5. Proudění způsobené teplotou

Nyní se lze vrátit k počáteční informaci o vlastnosti vody, kterou je špatná tepelná vodivost. Ta má za následek v každé nádrži se stojatou vodou vytvoření různě teplých vrstev. A to v letním a zimním období. V menších (mělčích) nádržích je toto rozvrstvení krátkodobé, neboť při prvním větru je vyvoláno vlnění, jak již bylo popsáno, a dojde k promísení. Naopak hluboké nádrže s konstantním odtokem se vyznačují rozdělením teplot vody - tzv. **teplotní stratifikací**. Rozvrstvení má určité zákonitosti. U hladiny se v letním období vytvoří vrstva zvaná **epilimnion**. V ní se teplota s rostoucí hloubkou mění jen nepatrně, neboť vlny (vyvolané větrem nebo lidskou činností) ovlivňují vodní masu:

- jednak do hloubky, která se rovná polovině délky vlny,
- a u dolního hranice epilimnionu se naopak musí voda vracet proti směru proudění větru (proti směru vln na hladině).



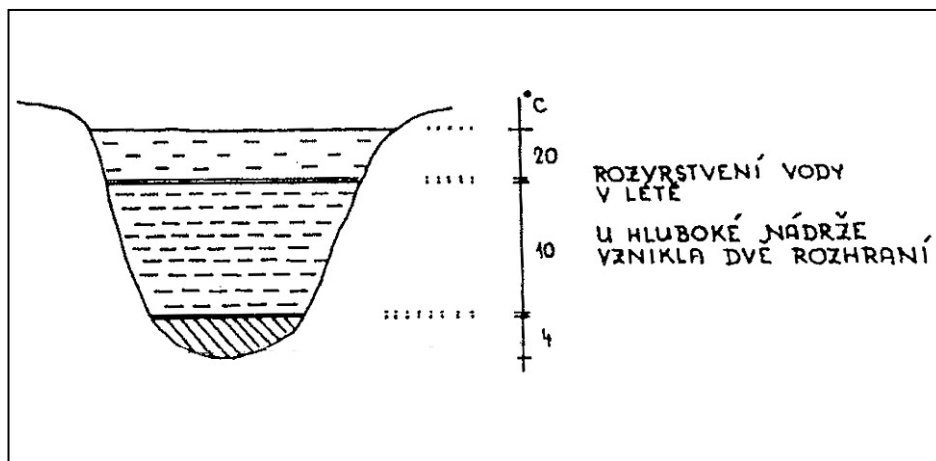
obr. 3.j.

Poté však teplota vody klesá. V našich podmínkách (naší zeměpisné šířce) se blíží u hlubokých vod teplotě kolem 4°C . Jak víme, má **voda při teplotě $3,96^{\circ}\text{C}$ nejvyšší hustotu**. Tomuto jevu se říká **tepelná anomálie vody**. Zóna příkrého teplotního rozdílu je tzv. **skočná vrstva neboli termoklina** (také **metalimnion**). Skočná vrstva odděluje epilimnion od vrstvy studené vody zvané **hypolimnion**.

Poznámka autora: Z pohledu ekologie má toto rozvrstvení vliv pro další dění. Dvě vrstvy vody jsou termoklinou rozděleny do dvou mas lišících se obsahem živin i zásobením kyslíkem. Horní vrstva je prohřátá a prozářená množstvím světla což vede k rozvoji fytoplanktonu (hlavně zelených řas). Fytoplankton si bere z vody živiny a uvolňuje fotosyntézou kyslík. Pokud se tyto drobné řasy nestanou součástí potravního řetězce vyšších organismů, klesají pomalu ke dnu. Jakmile „propadnou“ skočnou vrstvou do hypolimnionu, zpomalují se rozkladné procesy, neboť dole je nízká teplota vody. Nedochází (také pod nedostatkem světla) prostřednictvím fotosyntézy k uvolňování kyslíku.

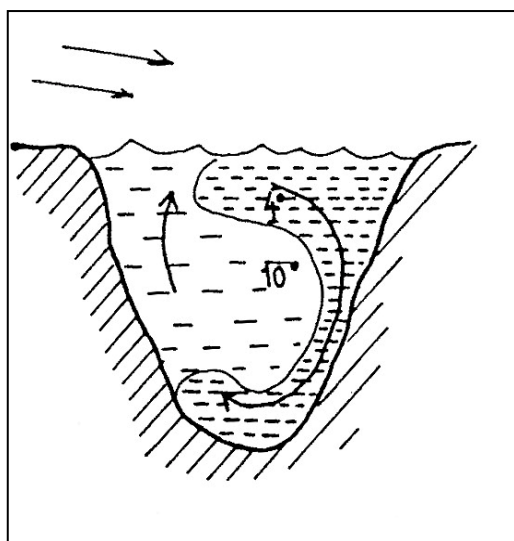
Čistá voda propouští více tepelných slunečních paprsků než voda zkalená nebo jinak znečištěná. Proto u dvou sousedících nádrží s rozdílnou čistotou vody bude i rozdílná hloubka vrchní prohřáté vrstvy.

Jen pro zajímavost: Teplotního rozhraní využívají i podmořská plavidla - ponorky, když chtějí před nepřítelem utajit svoji činnost. Zvuk ponorky se od teplotního rozhraní, které je nad ponorkou, odráží zpět a neproniká na povrch.



obr. 3.k. To jistě znáte z letního koupání. Když skočíte z hráze po hlavě do vody a směřujete skoro kolmo ke dnu, stává se, že projedete třeba dvoumetrovou vrstvou teplé vody a náhle se do vás zakousne voda mnohem studenější. Ale stále nejste u dna s tou nejstudenější vrstvou, která má také větší hustotu. Ano, i v tomto případě se jedná o stratifikaci neboli rozvrstvení vody podle teploty a to ve vrstvě zvané epilimnion.

Letní stratifikace (letní rozvrstvení) zůstává stabilní do doby, dokud je horní vrstva zřetelně teplejší než voda v hloubce. Na podzim je vystřídána **homotermií**, kdy dochází k vertikálnímu pohybu vodních mas.



obr. 3.l.

Když teplota vzduchu poklesne a průměrná teplota se přiblíží hodnotě 4° C, rozvrstvení zaniká, neboť se vody promísí. Na povrchu se voda ochlazuje a klesá ke dnu. Teplejší voda z nižších vrstev vystupuje ke hladině (aby ochlazená pak opět sestoupila). Rozdíl v hustotě mezi horní a dolní vrstvou se rychle ztrácí. Skočná vrstva zaniká.

Po podzimní homotermii (kdy dochází k vyrovnávání teploty v nádrži) nastupuje **zimní stratifikace**. Ovšem s tím rozdílem, že na povrchu je voda studenější a u dna opět vrstva o teplotě 4 stupně Celsia. (Voda o teplotě 4° C bude vždy nejnižší, neboť se jedná o již zmíněnou tepelnou anomálii vody.)

Použitá literatura:

- **Úvod do hydrologie** - doc.ing.Dr Jan Cablík,
- **Hydrologie** - akad. Oto Dub a doc.ing. Jaromír Němec CsC a kolektiv
- **Vodní záchranná činnost** - Tomáš Miler, Jan Bělohávek a kolektiv (vydala Univerzita Karlova ve Státním pedagogickém nakladatelství v Praze v roce 1989)
- **Anatomie země** - Mitchell Beazley (vydalo nakladatelství Albatros v Praze v roce 1981)
- **Žít a přežít v přírodě** – Josef Reichholf (vydalo nakladatelství Mosaik Verlag GmbH v Mnichově v roce 1988, Euromedia Group k.s. v roce 2002)

V příštím pokračování Hydrologie tekoucích vod.