



6 Mechanika tekutín

Ciele:

- Charakterizovať všeobecné vlastnosti tekutín.
- Formulovať základné princípy hydrostatiky – Pascalov a Archimedov zákon.
- Formulovať základné princípy hydrodynamiky – rovnicu kontinuity a Bernoulliho rovnicu a oboznámiť sa s jej praktickými aplikáciami.
- Charakterizovať prúdenie reálnej tekutiny a viskozitu.

6 Mechanika tekutín

Hydrostatika

- kvapaliny v pokoji
- **Aerostatika** skúma plyny v pokoji

Balíky sú pôsobením hydraulického lisu stláčané na minimálny objem.

- a) Čo sú tekutiny? Porovnajte vlastnosti kvapalín a plynov.
- b) Napíšte vzťah na výpočet tlaku pôsobiaceho na kvapalinu. Slovnou formulujte Pascalov zákon.
- c) Znázornite na obrázku hydraulické zariadenie. Vyznačte v ňom sily a plošné obsahy piestov. Uvážte, ktorá z daných síl je väčšia a tak ju aj znázornite.
- d) Napíšte na akom princípe funguje hydraulický lis. Opíšte jeho činnosť. Uvedte, aká vlastnosť kvapaliny sa využíva pri hydraulickom zariadení.
- e) Napíšte ďalšie možnosti využitia hydraulického zariadenia v praxi.
- f) Napíšte vzťah na výpočet hydrostatického tlaku. Uvedte, čím je tento tlak spôsobený. Napíšte vzťah na výpočet hydrostatickej tlakovej sily.

6 Mechanika tekutín

Pascalov zákon

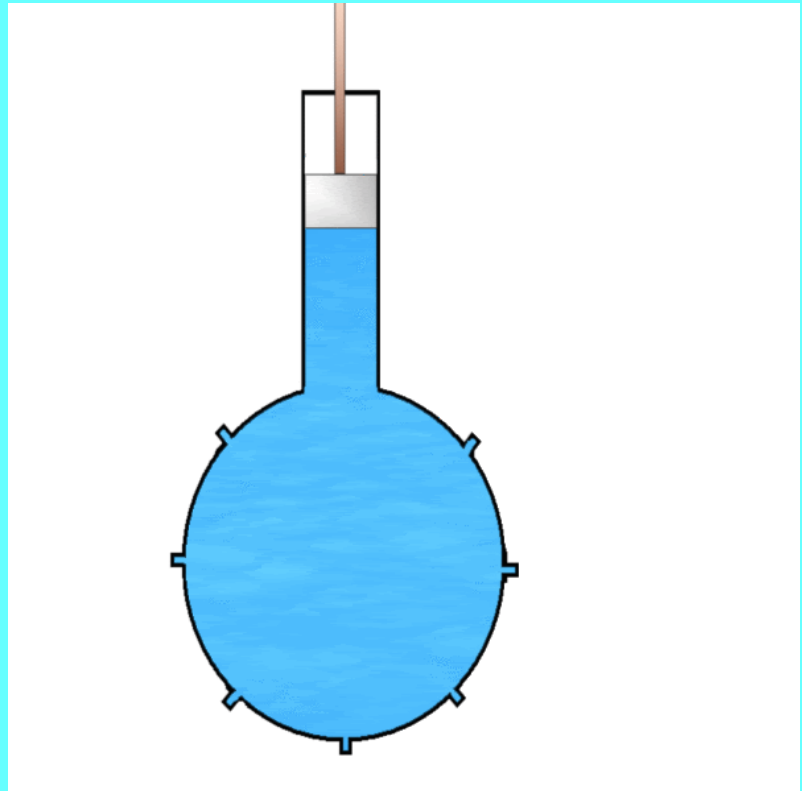
Tlak vyvolaný vonkajšou silou je v každom mieste kvapaliny rovnaký

$$p = \frac{F}{S}$$

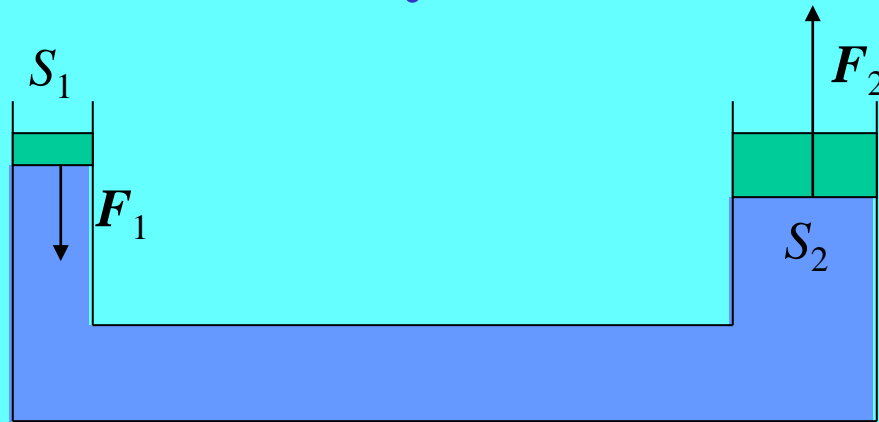
$$[p] = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = \text{Pa}$$

Pascal

*Obr. 6.1 Pascalov zákon
(encyklopediapoznania.sk, 2008).*



Hydraulické zariadenie



$$p_1 = p_2$$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

Obr. 6.2 Hydraulický lis.

Pracuje na princípe Pascalovho zákona

Hydraulické zariadenie umožňuje pomocou tlakovej sily F_1 pôsobiacej na piest s malým plošným obsahom vyvolať veľkú tlakovú silu F_2 pôsobiacu na piest s veľkým plošným obsahom.

- hydraulický lis, hydraulický zdvihák, hydraulické brzdy ap.

Hydraulické zariadenia



Obr. 6.3 Hydraulické zariadenia – sklápač a nakladač (Serway, 2006 a UPJS, 2009).

Základná rovnica hydrostatiky

$$p = h \cdot \rho \cdot g + p_0$$

p

- **Statický tlak**

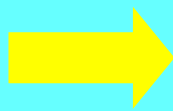
p_0

- Tlak vyvolaný vonkajšími tlakovými silami, ktorý je v každom mieste kvapaliny rovnaký
- Najčastejšie atmosférický tlak $p_a = 101\,325\text{ Pa}$

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g$$

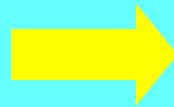
- Tlak spôsobený vlastnou tiažou – **hydrostatický tlak**
- h je **hlbka** kvapaliny pod voľnou hladinou
- ρ je hustota kvapaliny

Ak $p_0 = 0$



$$p_h = h \cdot \rho \cdot g$$

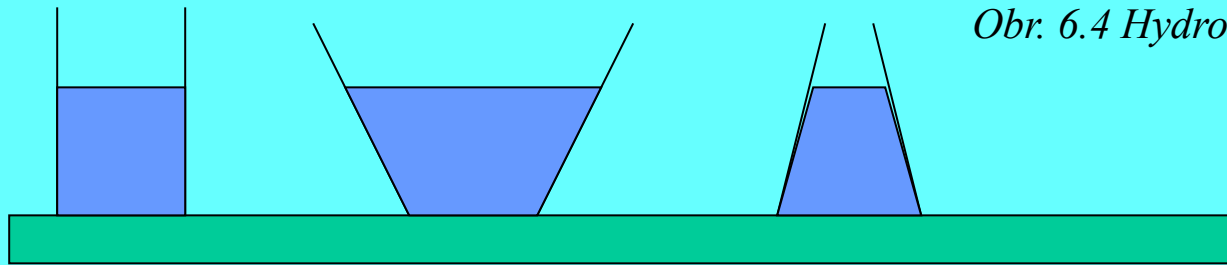
Keďže $F = p \cdot S$



$$F = S \cdot h \cdot \rho \cdot g$$

Tlaková sila

V ktorej nádobe pôsobí na dno najväčšia tlaková sila?



Obr. 6.4 Hydrostatický paradox.

tlakové sily na
bočné steny sa rušia.
 $G = F$.

výslednica
tlakových síl
na bočné steny
smeruje nahor
 $G > F$.

výslednica
tlakových síl
na bočné steny
smeruje nadol
 $G < F$.

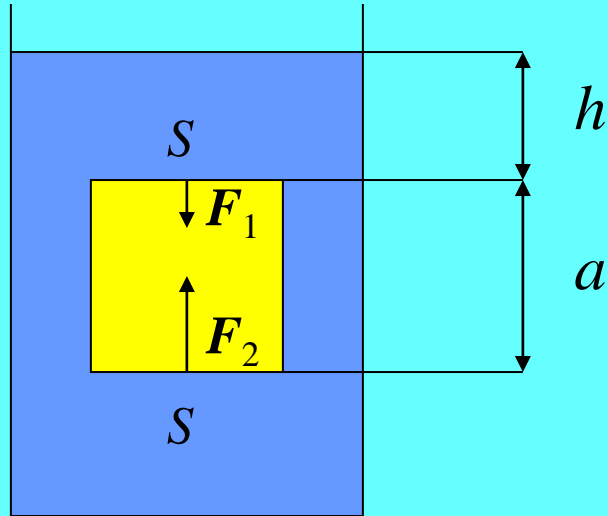
Vo všetkých troch nádobách je tlaková sila na dno rovnaká – hydrostatický paradox

Tlaková sila nezávisí na tvare nádoby ani na množstve kvapaliny.

Za určitých okolností môže byť tlaková sila na dno nádoby niekoľkonásobne väčšia ako tiaž kvapaliny.

Archimedov zákon

- Z každej strany pôsobia na teleso tlakové sily
- Tlakové sily pôsobiace na bočné strany sa vzhľadom k symetrii rušia



$$F_1 = S \cdot h \cdot \rho_k \cdot g$$

$$F_2 = S \cdot (h + a) \cdot \rho_k \cdot g$$

$$V = S \cdot a$$

Obr. 6.5 Archimedov zákon.

$$F_{vz} = F_2 - F_1$$

$$F_{vz} = S \cdot (h + a) \cdot \rho_k \cdot g - S \cdot h \cdot \rho_k \cdot g$$

$$F_{vz} = S \cdot h \cdot \rho_k \cdot g + S \cdot a \cdot \rho_k \cdot g - S \cdot h \cdot \rho_k \cdot g$$

$$F_{vz} = S \cdot a \cdot \rho_k \cdot g$$

$$F_{vz} = V \cdot \rho_k \cdot g$$

ρ_k je hustota kvapaliny

V je objem ponorenej časti telesa.

Na dne mora sa nachádzajú vraky rôznych lodí...

a) Slovné i vzťahom formulujte Archimedov zákon. Dôsledne vysvetlite význam jednotlivých veličín vo vzťahu pre vztlakovú silu.

b) Znázornite teleso úplne ponorené v kvapaline, ktoré sa nepohybuje. Vyznačte a pomenujte všetky sily pôsobiace na dané teleso.

c) Charakterizujte všetky 3 možnosti správania sa telesa úplne ponoreného v kvapaline (porovnanie síl a hustôt, určenie smeru výslednice).

d) Ako je možné, že loď sa nepotopí pod hladinu vody, hoci železo má vyššiu hustotu ako voda?

e) Medené ($\rho = 7\,800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a olovené ($\rho = 11\,300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) teleso s rovnakým objemom sú úplne ponorené do vody ($\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Porovnajte veľkosti vztlakových síl pôsobiacich na telesá. Ktoré teleso by napínalo lano väčšou silou, pri úplnom ponorení do vody? Obe odpovede zdôvodnite.

f) Aká je hustota kvapaliny, v ktorej je ponorená časť vraku lode s hmotnosťou 2 000 kg a hustotou $8\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ak je jeho zdanlivá tiaž v tejto kvapaline 17,5 kN

Ak nie je uvedené inak, hustota vody je vo všetkých úlohách $\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

- Dá sa dokázať, že výsledný vzťah platí pre teleso akéhokoľvek tvaru.
- Táto rovnica platí všeobecne a je matematickým vyjadrením **Archimedovho zákona**, ktorý znie:

Na teleso ponorené do kvapaliny (tekutiny) pôsobí hydrostatická vztlaková sila, ktorej veľkosť sa rovná tiaži kvapaliny s rovnakým objemom ako má ponorená časť telesa v kvapaline (tekutine).



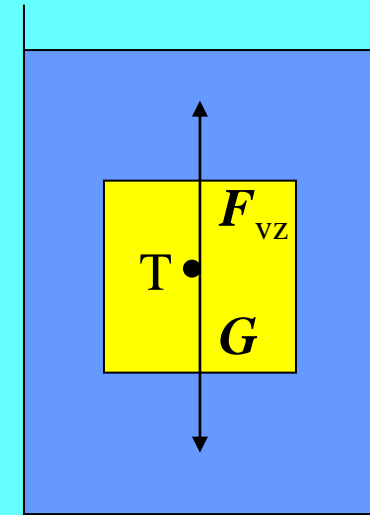
Obr. 6.6 V Mŕtvom mori môžete ležať na hladine bez potopenia (wikipedia, 2008).



Obr. 6.7 Využitie Archimedovho zákona pri lietaní v teplovzdušnom balóne (UPJS, 2009).

Spávanie sa telies v tekutine

- pri úplnom ponorení
- zhoduje sa objem telesa s objemom jeho ponorenej časti
- $F_{vz} = V \cdot \rho_k \cdot g$,
- $G = m \cdot g = V \cdot \rho_T \cdot g$,
- kde ρ_T je hustota telesa.



Obr. 6.8 Archimedov zákon – správanie telies v tekutine pri úplnom ponorení.

Tab. 6.1 Spávanie sa telies v kvapaline

sily	hustoty	smer výslednice	správanie
$G > F_{vz}$	$\rho_t > \rho_k$	nadol	klesanie
$G = F_{vz}$	$\rho_t = \rho_k$	0	vznášanie
$G < F_{vz}$	$\rho_t < \rho_k$	nahor	stúpanie

**Jediný rovnovážny stav
je vznášanie**

Na mori sa ropa prepravuje v tankeroch.

a) Znázornite nepohybujúci sa tanker (loď) v stojatej vode a vyznačte do obrázka sily, ktoré naň pôsobia. Pomenujte tieto sily a uveďte vzťahy na ich výpočet.

b) Slovnou formulujte Archimedov zákon. Aký má súvis s danou úlohou?

c) Porovnajte hustoty vody a tankera. Napíšte podmienku statickej rovnováhy tankera vo vode. Ako sa nazýva tento rovnovážny stav? Porovnajte hustoty vody a tankera. Vysvetlite prečo je napriek rôznym hustotám tento stav rovnovážny.

d) Ako je možné, že tanker sa nepotopí pod hladinu vody, hoci železo má vyššiu hustotu ako voda?

e) Ako sa zmení ponor lode, keď vypláva z rieky do mora? Prečo?

f) Kváder z bukového dreva ($\rho_t = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) s rozmermi (20 x 20 x 200) cm pláva na vode ($\rho_k = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Vypočítajte objem jeho ponorenej a neponorenej časti vo vode.

Plávanie

Rovnovážny stav:

- vznikne aj pri dopade telesa na dno.
- Pri stúpaní na povrch ($\rho_t < \rho_k$) je rovnovážny stav **plávanie**.

$$G = F_{vz}$$

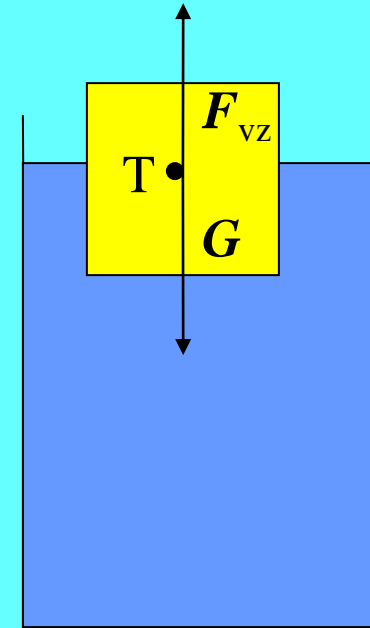
$$V_t \cdot \rho_t \cdot g = V_p \cdot \rho_k \cdot g$$

V_t je objem celého telesa

V_p je objem ponorenej časti telesa

ρ_t je hustota telesa

ρ_k je hustota kvapaliny



Obr. 6.10 Archimedov zákon – plávanie.



Obr. 6.11 Plávanie lode (UPJS, 2009).

Hydrodynamika

- **Hydrodynamika** skúma kvapaliny a telesá v nej, ktoré sú v pohybe
- **Aerodynamika** skúma plyny a telesá v nich, ktoré sú v pohybe
- Ak zanedbáme stlačiteľnosť a viskozitu hovoríme o zákonoch **prúdenia**
- V prípade viskózných kvapalín hovoríme o **toku** resp. **reológii**
- Prúdenie v danom mieste popisuje:
 - **rýchlosť a tlak** prúdiacej tekutiny
 - **Stacionárne (ustálené) prúdenie**
 - je prúdenie, ktorého rýchlosť a tlak závisia len na polohe a nie na čase
 - **Nestacionárne (neustálené) prúdenie**
 - je prúdenie, ktorého rýchlosť a tlak sú funkciou času

Pri plnení cisterny sa používa hadica s priemerom 20 cm, ktorou tečie voda rýchlosťou $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na konci je zúžená na priemer 10 cm.

- a) Nakreslite danú situáciu, vyznačte prierezy i vektory rýchlostí.
- b) Definujte slovne i vzťahom hmotnostný tok. Napíšte a pomenujte rovnicu, ktorá vyjadruje zákon zachovania hmotnosti pre prúdiacu kvapalinu.
- c) Napíšte a pomenujte rovnicu, ktorá vyjadruje zákon zachovania mechanickej energie pre prúdiacu kvapalinu.
- d) Ako sa zmení rýchlosť kvapaliny po jej prechode do hadice. Prečo? Prečo sa na konci hadíc určených na polievanie používajú trysky. V ktorom mieste prúdiacej kvapaliny (v hadici, alebo potrubí) je vyšší statický tlak? Zdôvodnite.
- e) Vysvetlite prečo keď prechádza cyklista popri kamióne, tak je ním priťahovaný. Prečo dvíha vietor lístie nad zem?

Rovnica kontinuity (spojitosti) ustáleného toku

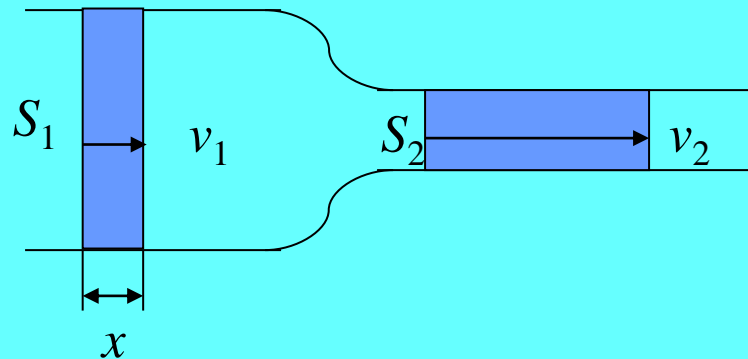
- v každom jej priereze pretečie za časovú jednotku rovnaké množstvo tekutiny (tým je vyjadrená podmienka kontinuity).

- **Objemový tok**

$$Q_V = \frac{dV}{dt} = \frac{V}{t} = \frac{S \cdot x}{t} = S \cdot v$$

- **Hmotnostný tok**

$$Q_m = \frac{dm}{dt} = \frac{m}{t} = \frac{V \cdot \rho}{t} = \frac{S \cdot x \cdot \rho}{t} = S \cdot v \cdot \rho$$



Obr. 6.13 Pohyb kvapaliny pri ustálenom toku vodorovnou rúrkou s premenlivým prierezom.

Rovnica kontinuity (spojitosti) ustáleného toku

$$S_1 \cdot v_1 \cdot \rho_1 = S_2 \cdot v_2 \cdot \rho_2$$

alebo

$$S \cdot v \cdot \rho = \text{konšt.}$$

Pre kvapalinu, resp. nestlačiteľnú tekutinu s konštantnou hustotou

$$S \cdot v = \text{konšt.}$$

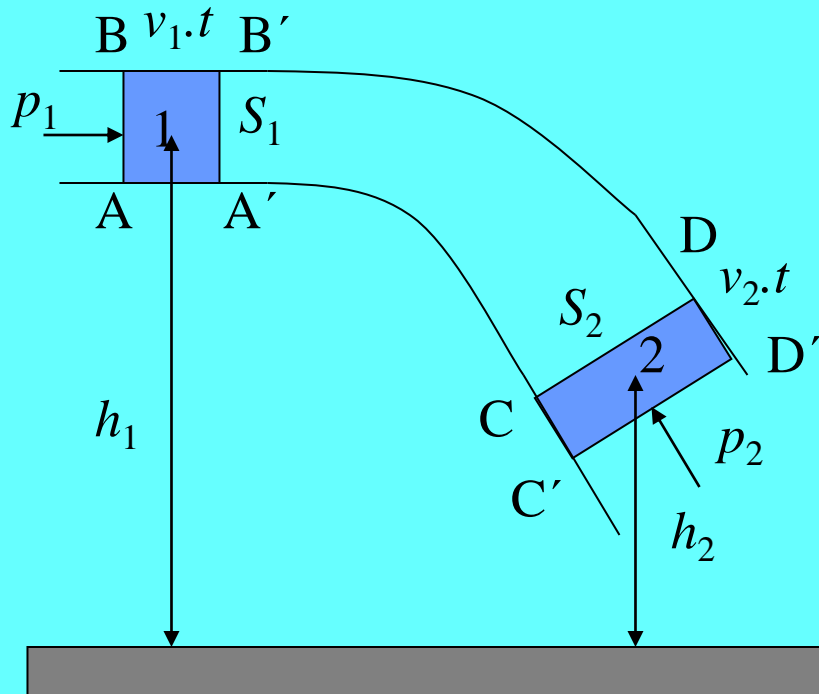
Zákona zachovania hmotnosti pre prúdiacu tekutinu



Obr. 6.14 Plynomer a vodomer (prietokomery) (pravda.sk, 2010).

Bernoulliho rovnica

- Práca tlakových síl:



$$W = F \cdot s$$

$$F = p \cdot S$$

$$W = p \cdot S \cdot \Delta s$$

$$W = p \cdot \Delta V$$

Obr. 6.15 Pohyb kvapaliny pri ustálenom toku rúrkou s premenlivým prierezom. Odvodenie Bernoulliho rovnice.

$$E_k + E_p + W = \text{konšt.}$$
$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh + p\Delta V = \text{konšt.} \quad m = \rho \cdot V$$

$$\frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + p + \rho \cdot g \cdot h = \text{konšt.}$$

$$\frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 + p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Zákon zachovania mechanickej energie pre prúdiacu kvapalinu

- Všetky členy majú v nej rozmer tlaku.
- Prvý člen je **hydrodynamický tlak** (alebo tlak vzdutia)
- Druhý (hydro–) **statický tlak**
- Tretí člen rovnice nemá osobitný názov

- Pre vodorovnú trubicu ($h_1 = h_2$) dostaneme Bernoulliho rovnicu v tvare

$$\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + p = \textit{konšt.}$$

Aerodynamický (hydrodynamický) paradox

Pri malých rozdieloch miestnej výšky:

$$\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + p = \text{konšt}$$

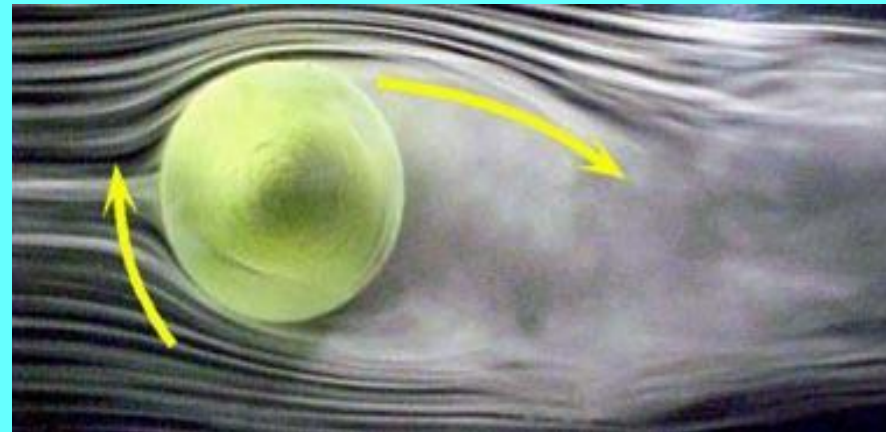
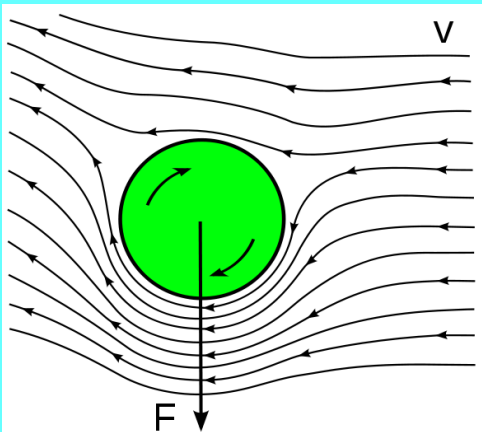
- Tlak v prúdiacej kvapaline je tým menší, čím vyššia je rýchlosť
- Pri dostatočnej rýchlosti prúdenia sa statický tlak stáva záporný, čo sa využíva napr. v rozprašovačoch, vývevách, atď.



Obr. 6.16 Bernoulliho rovnica sa uplatňuje pri predbiehaní cyklistov automobilmi (Bernard, 2008).

E) Magnusov efekt

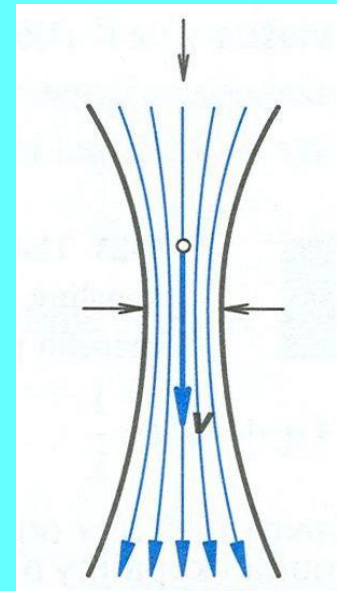
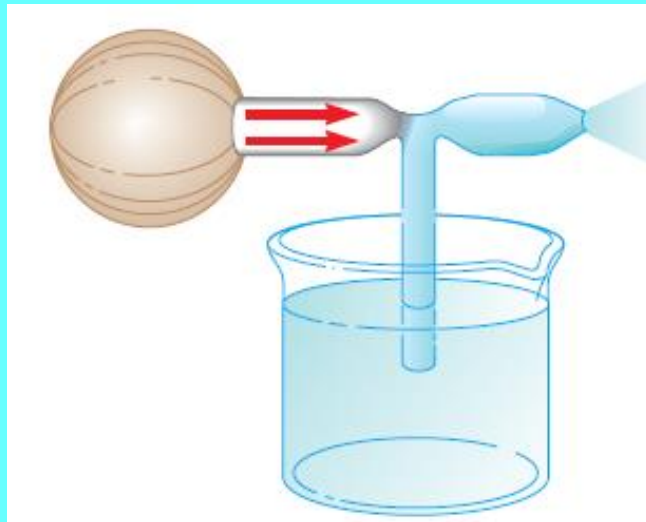
- Ak v prúdiacej tekutine rotuje teleso, ktorého os je kolmá na smer prúdu, je toto teleso tlačené na stranu, na ktorej je jeho pohyb súhlasne rovnobežný so smerom prúdu.
- Stolnotenisová loptička, tenisová loptička, futbalová lopta, balistika



Obr. 6.19 Magnusov efekt (schema-root.org, 2011).



Obr. 6.20 Aplikácie Magnusovho efektu pri športe (pingskills.com, 2010).



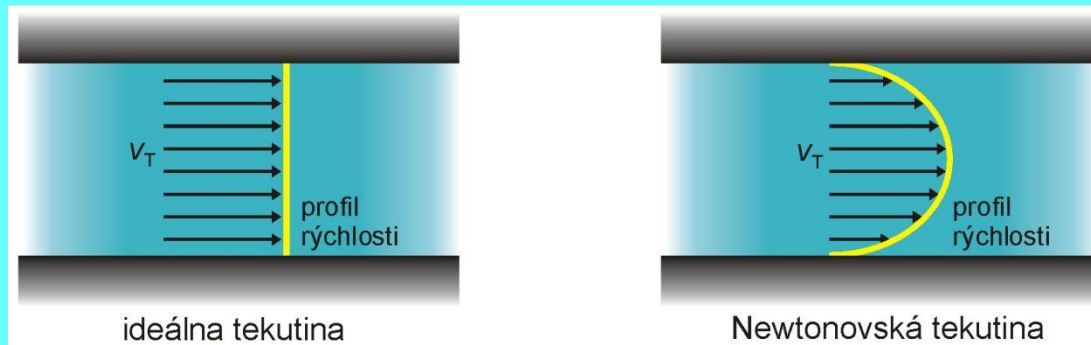
Obr. 6.21 Aplikácie Bernoulliho rovnice (Serway, 2006 a Hůlová, 2006).

Viskozita

1. Čo je viskozita?
2. Čo je medzná vrstva kvapaliny?
3. Porovnajete prúdenie reálnej a ideálnej kvapaliny.
4. Čo je rýchlostný gradient?
5. Porovnajete viskozitu a hustotu potravinárskeho oleja a vody.

Viskozita

Vnútorné trenie kvapalín



Obr. 6.22 Hodograpy ideálnej a Newtonovskej tekutiny.

- V tečúcej reálnej kvapaline ohraničenej stenami existuje vždy vnútorné trenie
- **Medzná vrstva kvapaliny**
- lipne na steny adhéziou a nepohybuje sa
- V osi je rýchlosť maximálna
- Sily vnútorného trenia (viskozita), ktoré vznikajú medzi susednými vrstvami tekutiny, majú smer dotýčnice k povrchu vrstvy a pôsobia tak, že spomaľujú pohyb rýchlejšej vrstvy a zrýchľujú pohyb pomalšej.
- Pôsobia tak, aby sa znížil rýchlostný spád.

Experimentálne bol zistený **Newtonov zákon trenia**:

$$F = \eta \cdot S \frac{v}{y} = \eta \cdot S \frac{dv}{dy}$$

Kinematická viskozita

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

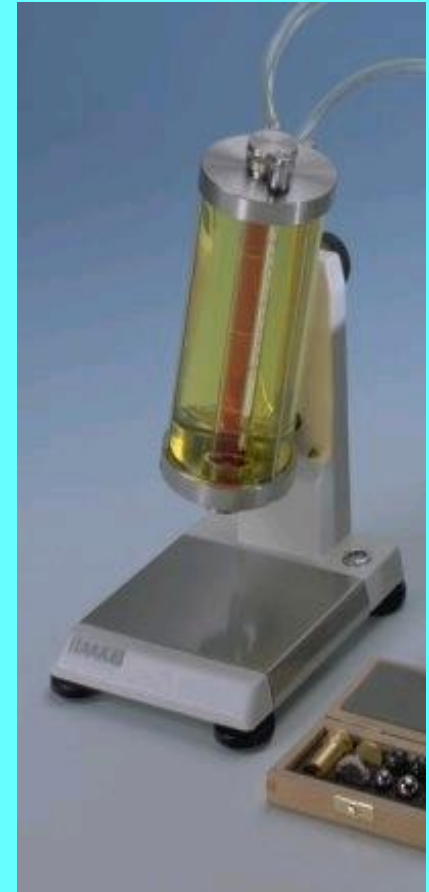
Stokesov zákon

$$F = 6\pi\eta r v$$

Teleso je v pokoji, pohyb kvapaliny

$$F = 8\pi\eta l v_{\text{str}}$$

Obr. 6.23 Hopplerov viskozimeter.



Konceptuálne úlohy – hydromechanika

1. V akváriu žije ryba. Ako sa zmení vztlaková sila, ktorá na ňu pôsobí, ak do akvária prilejeme vodu až po okraj a ryba ostane celá ponorená v rovnakej vzdialenosti od dna ako predtým.
2. V akváriu žije ryba. Ako sa zmení tlaková sila, ktorá na ňu pôsobí, ak do akvária prilejeme vodu až po okraj a ryba ostane celá ponorená v rovnakej vzdialenosti od dna ako predtým.
3. V akváriu žije ryba. Ako sa zmení tiažová sila, ktorá na ňu pôsobí, ak do akvária prilejeme vodu až po okraj a ryba ostane celá ponorená v rovnakej vzdialenosti od dna ako predtým.
4. Ako sa zmení hydrostatický tlak pri dne, ak do akvária prilejeme vodu až po okraj?
5. Dve závažia s rovnakým objemom a z rovnakého materiálu sú ponorené v rôznej hĺbke. Porovnajte veľkosť tlakovej sily kvapaliny, ktorá na závažia pôsobí?
6. Dve závažia s rovnakým objemom a z rovnakého materiálu sú ponorené v rôznej hĺbke. Porovnajte veľkosť hydrostatického tlaku v mieste ich dna?
7. Dve závažia s rovnakým objemom a z rovnakého materiálu sú ponorené v rôznej hĺbke. Porovnajte veľkosť vztlakovej sily kvapaliny, ktorá na závažia pôsobí?

8. Ako sa zmení ponor lode, keď vypláva z rieky do mora? Prečo?
9. Železný ($\rho = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$) a medený ($\rho = 8\,940 \text{ kg.m}^{-3}$) kváder s objemom 20 cm^3 sú celým objemom ponorené do vody ($\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$). Porovnajte vztlakovú silu vody pôsobiacu na obe telesá.
10. Železný ($\rho = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$) a medený ($\rho = 8\,940 \text{ kg.m}^{-3}$) kváder s objemom 20 cm^3 sú celým objemom ponorené do vody ($\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$). Porovnajte tiažové sily pôsobiace na obe telesá ponorené vo vode.
11. Hliníkové ($\rho = 2\,700 \text{ kg.m}^{-3}$) teleso s objemom 40 cm^3 je celým objemom ponorené do vody ($\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$). Vedľa neho je vo vode ponorené olovené ($\rho = 11\,300 \text{ kg.m}^{-3}$) teleso s objemom 80 cm^3 polovicou svojho objemu. Porovnajte vztlakovú silu vody pôsobiacu na hliníkové teleso so vztlakovou silu vody pôsobiacou na olovené teleso.
12. Hliníkové ($\rho = 2\,700 \text{ kg.m}^{-3}$) teleso s objemom 40 cm^3 je celým objemom ponorené do vody ($\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$). Vedľa neho je vo vode ponorené olovené ($\rho = 11\,300 \text{ kg.m}^{-3}$) teleso s objemom 80 cm^3 polovicou svojho objemu. Porovnajte tiažové sily pôsobiace na obe telesá ponorené vo vode.

13. Medené ($\rho = 8\,900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) teleso s objemom 40 cm^3 celým objemom ponoríme do vody ($\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a následne do etanolu ($\rho = 790 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), pričom sa nedotýka dna. Porovnajzte veľkosti vztlakových síl pôsobiacich na teleso vo vode a etanole.
14. Medené ($\rho = 8\,900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) teleso s objemom 40 cm^3 celým objemom ponoríme do vody ($\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a následne do etanolu ($\rho = 790 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), pričom sa nedotýka dna. Porovnajzte veľkosti síl, ktoré napínajú lanko s telesom vo vode a v etanole.
15. Hliníková guľôčka ($\rho = 2\,700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) s objemom 50 cm^3 je zavesená na lanku a ponorená do nádoby s vodou ($\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) Ako sa zmení vztlaková sila, ak ju ponoríme o 15 cm nižšie (ťažové zrýchlenie považujeme za konštantné)?
17. Ktoré z nasledujúcich telies sa vznáša v benzíne ($\rho = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$): A) hliníková guľa ($\rho = 7\,800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), B) kocka z dubového dreva ($\rho = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), C) kocka zo smrekového dreva ($\rho = 400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), D) žiadna z možností.
18. Ktoré z nasledujúcich telies pláva v benzíne ($\rho = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$): A) hliníková guľa ($\rho = 7\,800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), B) kocka z dubového dreva ($\rho = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), C) kocka zo smrekového dreva ($\rho = 400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), D) žiadna z možností.

19. Prečo sú hadice (napr. hasičské) na konci zúžené? Aký je tlak v zúženom mieste?
20. Ktoré tvrdenie **neplatí**? Hadice bývajú na konci zúžené: A) aby voda ďalej dostrekla, B) aby v danom mieste bola väčšia rýchlosť, C) a v zúženom mieste vzniká pretlak, D) aby voda dostrekla vyššie.
21. V zúženom mieste potrubia je vzhľadom na širšiu časť: A) menší tlak a menšia rýchlosť, B) väčší tlak a menšia rýchlosť, C) menší tlak a väčšia rýchlosť, D) väčší tlak a väčšia rýchlosť. Zdôvodnite.
22. Prečo je pre cyklistu nebezpečné, keď okolo neho prechádza kamión?

Zdroje obrázkov

1. Bernard cykloklub Slovakia, 2008. [Online] 28. 3. 2008. [Dátum: 18. 11. 2011.]
http://www.bernardcykloklub.sk/index.php?www=gallery_preview.
2. Encyklopédia poznania: Pascalov zákon, hydraulický lis, silový prevod, 2018. [Online] 1. 4. 2018.
[Dátum: 1. 4. 2022.] <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/7521/pascalov-zakon>.
3. Hůlová, H., Lepík, L. 2006. Hydromechanika. [Online] 6. 6. 2006. [Dátum: 11. 11. 2018.]
<http://www.gsos.cz/index.php?clanek=./projektf.php>.
4. pingskills.com. 2010. [Online] 6. 7. 2010. [Dátum: 23. 9. 2012.] . <http://www.pingskills.com/table-tennis/forehand-topspin-off-backspin.php>.
5. pravda.sk., 2011. Odpočty plynu nebudú, špekulantov preveria. [Online] 8. 7. 2011. [Dátum: Cit. 25. 10 2014]. http://byvanie.pravda.sk/odpocety-plynu-nebudu-spekulantov-preveria-fkx-/sk-bpeniaze.asp?c=A110708_053354_sk-bpeniaze_p01.

Zdroje obrázkov

6. Serway, R. a kol. 2006. College Physics. s.l. : Brooks Cole;, 2006. s. 1056. ISBN-13: 978-0495113690.
7. schema-root.org. 2011. [Online] 13. 2. 2011. [Dátum: 25. 10 2011]. <http://schema-root.org/science/physics/effects/magnus/>.
8. UPJS, 2009. Pascalov zákon. [Online] 8. 4. 2009. [Dátum: Cit. 25. 11 2014]. <http://physedu.science.upjs.sk/kvapaliny/pascal.htm>.
9. Wikipedia, 2008. [Online] 3. 9. 2008. [Dátum: 25. 10 2010]. <http://sk.wikipedia.org/wiki/Tlak>.