

10 Tekočine in težnost

Tlak teže – Tlak v tekočini – Tekočinski barometer – Vodna črpalka – Hidravlika – Zračna črpalka – Aneroidni barometer – Vzgon in plavanje

10.1 Tlak teže

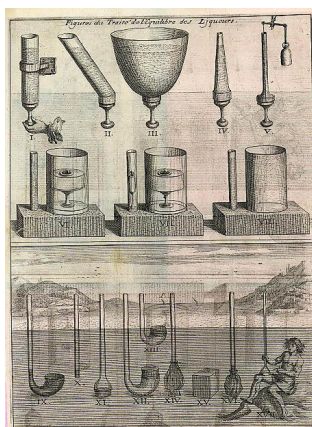
Sila in ploskev Ko hodimo po snegu, se vdiramo. Če pa pod noge pritrdimo smuči, je vdiranje dosti manjše. Obakrat pritiskamo na podlago z enako težo, vendar je ta vsakič porazdeljena na drugačno površino. To velja tudi za smuko po klancu, na katerega pritiskamo le s pravokotno komponento teže. Količnik med silo in ploskvijo, na katero ta sila deluje pravokotno, je očitno pomembna količina; rečemo ji *tlak*:

$$p = \frac{F_{\perp}}{S}. \quad (10.1)$$

Primerna enota za tlak je kp/cm^2 . Ne samo teža, ampak tudi druge sile, recimo pritiskanje dlani na steno, izvajajo tlak. Kadar je ploščina, na katero deluje sila, zelo majhna, postane tlak zelo velik. Tlak pod konico ali rezilom noža je tako ogromen, da zlahka prebadamo in režemo razne snovi.

10.2 Tlak v tekočini

Tekočinski ocean Ker živimo na dnu zračnega oceana, so tla pod tlakom zaradi njegove teže. Na morskem dnu se doda še tlak zaradi teže vode. Voda ali zrak v posodi pa ne pritiskata zgolj na dno, temveč tudi na stene, vanju potopljena telesa in sebe samo. Na poljubnem mestu v tekočini si zamislimo trikotno tekočinsko prizmo z vodoravno, navpično in poševno ploskvijo. Prizma miruje, zato morajo na njene ploskve delovati pravokotne sile, katerih vsota mora biti enaka nič. Iz tega sledi, da so tlaki na vsako ploskev enaki. To pomeni, da na vsakem mestu v tekočini deluje tlak v vse smeri enako, da je *izotropen* (PASCAL).



Slika 10.1 Tlak v tekočini. Prikazani so dejanski in zamišljeni poskusi: tlak pod stolpcem je neodvisen od oblike stolpca; v vezni posodi z debelim in tankim krakom sega voda do iste višine; na isti globini pod vodno gladino je tlak povsod enak in neodvisen od usmeritve ploskve. (Pascal, 1663)

Tlak in globina Vodni ali zračni stolpec s specifično težo σ , presekom S in višino h je težek $F_g = \sigma Sh$, zato povzroča pod seboj prirast tlaka F_g/S , torej

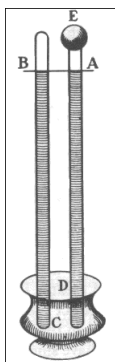
$$\Delta p = \sigma h. \quad (10.2)$$

To je *hidrostatična enačba* (STEVIN). Enačba pove, da v morju naraste tlak vsakih 10 metrov globine za 1 kp/cm^2 . V globini 5 km, kolikor so tipično globoki oceani, je tlak že strašen. Pravijo, da se kos lesa, z utežjo potopljen na dno in ponovno izvlečen, tako stisne, da v sodu vode potone kot opeka.

V ozračju, ki mu (zaenkrat) ne poznamo specifične teže, ne moremo reči, kako hitro pada tlak z višino. Ker je zrak, kot vemo, stisljiv, bi se morala njegova specifična teža z višino manjšati. Če bi zmogli izmeriti tlak zraka na različnih višinah, bi lahko specifično težo v vmesnem stolpcu izračunali.

10.3 Tekočinski barometer

Ravnovesje tlakov Kako bi izmerili zračni tlak? Tako, da ga uravnovesimo s stolpcem kakšne primerne tekočine. Zaradi velike specifične teže je najboljša živo srebro. V stekleno cev dolžine 1 m, na enem koncu zaprto, nalijemo živo srebro do vrha, ga zapremo s palcem, obrnemo in vtaknemo v posodo z živim srebrom. Stolpec živega srebra v cevi se zniža in nad njim nastane prazen prostor. Tlaka zračnega in živosrebrnega stolpca sta izenačena. V krajih na morski gladini je stolpec povprečno visok 760 mm (TORRICELLI). To pomeni – ob specifični teži živega srebra $13,5 \text{ kp/dm}^3$ – tlak $1,03 \text{ kp/cm}^2$. Ta tlak bomo na kratko poimenovali 1 *atmosfera* (atm). Pri natančnosti na nekaj odstotkov velja $1 \text{ atm} \approx 1 \text{ kp/cm}^2$ in obe enoti obravnavamo kot sinonima. Priročna in nazorna enota za zračni tlak je tudi $1 \text{ mm Hg} = 1/760 \text{ atm}$.



Slika 10.2 Merjenje zračnega tlaka. Težo zračnega stolpca nad gladino posode uravnoveša teža živosrebrnega stolpca v zaprtem kraku. Prikazana sta dva kraka različne oblike. V obeh sega živo srebro do iste višine. (Torricelli, 1644)

Višina ozračja Zračni tlak na morski gladini ni povsod in vedno enak, ampak niha do največ $\pm 5 \%$. Z višino pada. V prvih sto metrih pade živosrebrni stolpec za okrog 9 mm, potem pa čedalje manj. To torej pomeni, da znaša po hidrostatični enačbi (10.2) specifična teža zraka v prizemni plasti okrog $1,2 \text{ kp/m}^3$, tisočkrat manj od vode. Če se specifična teža zraka z višino ne bi spreminjala in bi bila enaka tisti na morski gladini, potem bi bilo ozračja konec pri

8 km. Dejansko pa na vrhovih najvišjih gora, na višini 8 km, izmerimo tlak okrog $1/3 \cdot \text{kp/cm}^2$.

Merjenje tlaka je bolj priročno, če posodo in cev združimo v enotno cev z obliko črke J, pri kateri je dolgi krak zaprt in kratki odprt. To je *barometer*.

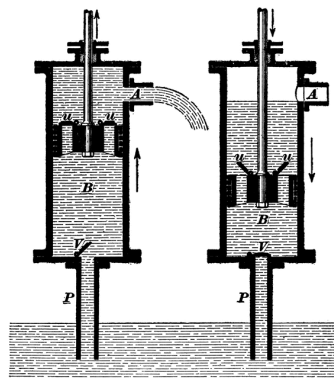


Slika 10.3 Stenski barometer – merilnik za zračni tlak. Težo zračnega stolpca nad odprtim kratkim krakom uravnoveša teža živosrebrnega stolpca v dolgem zaprtem kraku. (Anon)

10.4 Vodna črpalka

V cevi, navpično vtaknjeni v vodo, stoji gladina enako visoko kot zunaj. Če bi se pa iz kakršnegakoli razloga zmanjšal tlak zraka nad gladino v cevi, ne pa tudi zunaj, bi zunanji presežni tlak rinil vodo v cev tako visoko, dokler ga ne bi uravnovesil težni tlak dvigajočega se stolpca.

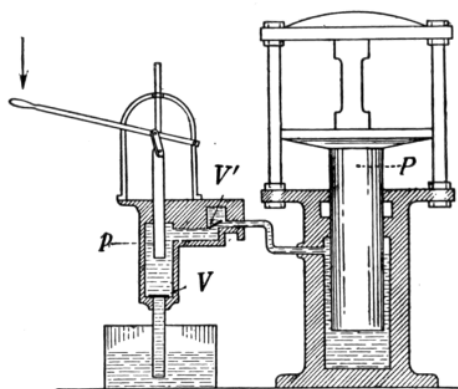
Sesalni bat Kako naj zmanjšamo tlak zraka v cevi? Tako, kot pijemo vodo po slamici: pokrijemo jo z jezikom in ga povlečemo nazaj; zrak iz slamice zavzame novo ustvarjeni prostor, se zredči, tlak se mu zmanjša in voda v slamici se dvigne. Po tem zgledu zgradimo *batno črpalko*, v kateri igra vlogo ust in jezika cylinder s premičnim batom. Za to, da črpana voda in zrak ne odtekata nazaj, skrbita dve premični zaklopki. Takšna črpalka lahko sesa vodo največ iz globine 10 m in jo nadalje, po potrebi, še potiska do poljubne višine.



Slika 10.4 Sesalno-dvižna črpalka. Ko se bat dviga, sesa vodo po cevi P (pravzaprav to vodo potiska zunanji zračni tlak) in hkrati dviguje vodo do cevi A. Ko se spušča, pa si na rame naloži novo vodno breme iz B. Če uporabimo bat brez zaklopke in premestimo izhodno cev podoj ter jo opremimo z zaklopko, dobimo sesalno-potisno črpalko. (Hallock, 1905)

10.5 Hidravlika

- Tekočinski vzvod** V vezni posodi z ozkim in širokim krakom stoji voda v obeh enako visoko. Če v vsak krak nalijemo dodatno, enako debelo plast vode (obarvajmo jo rdeče), bo ta spet stala povsod enako visoko. Prostornina dolite vode in s tem njena teža je v širokem kraku večja kot v ozkem. Namesto dolivanja vode lahko vsak krak zapremo z batom in nanj položimo ustrezno utež. Manjša utež v ožjem kraku drži ravnovesje veliki uteži v širokem kraku. Očitno velja $F_1/S_1 = F_2/S_2$. Nobene omejitve ni glede velikosti obeh tež, le njuno razmerje mora biti ustrezno. To je "tekočinski vzvod".
- Ogromne sile** Če v uravnovešenem tekočinskem vzvodu obremenimo ozki bat s silo F_1 , bo široki bat potisnil navzgor z veliko silo $F_2 = F_1(S_2/S_1)$. To silo lahko izkoristimo za več namenov – dvignemo breme, zvijamo in luknjamo železno pločevino in podobno. Sile, ki jih tako ustvarimo, so lahko ogromne. Seveda pa so njihovi premiki ustrezno krajši, saj izhodno delo ne more biti večje od vhodnega. V takšnih *hidravlikah* uporabljamo olje namesto vode, da se izognemo rjavenju.

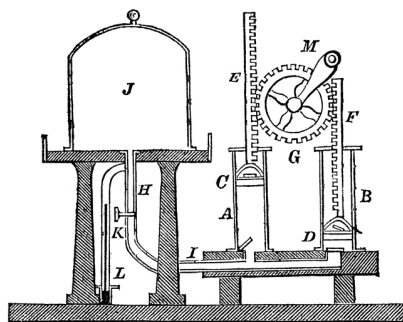


Slika 10.5 Hidravlično dvigalo oziroma stiskalnica. Iz ozkega cilindra potiskamo olje v široki cilinder s sesalno-potisno črpalko. Vmesna zaklopka preprečuje njegovo vračanje. Potrebno olje se sproti črpa iz rezervoarja. (Tower, 1920)

Če široki bat blokiramo, da se ne more premikati, ustvarimo v tekočini pod njim velik tlak. Seveda morajo biti stene dovolj močne, da zdržijo.

10.6 Zračna črpalka

- Redčenje zraka** Batna črpalka "sesa" vodo, ki jo vanjo potiska zunanji zračni tlak. Če črpalko priključimo preko dobrega ventila na zaprto, togo posodo z zrakom, pa "sesa" zrak, ki ga vanjo potiska kar tlak v posodi. Čim manj zraka ostane v posodi, tem manjši tlak pokaže priključeni barometer. Dobre batne črpalke znižajo tlak do $1/10^3 \cdot \text{kp/cm}^2$. Ako posoda ni zares trdna, jo – ko je dovolj izčrpana – zunanji zračni tlak stisne v kepo. Sile, ki delujejo na prazno posodo, so presenetljivo velike: na pokrov kozarca za marmelado, ki ima presek 1 dm^2 , pritiska zunanji zrak s silo 100 kp!



Slika 10.6 Zračna črpalka. Zobato kolo izmenično premika dva bata. Levi bat, ki se dviguje, sesa zrak iz posode J. Desni, ki se spušča, pa posešani zrak odstranjuje. (Quackenbos, 1859)

- Zgoščanje zraka** Črpalka z obrnjenimi ventili postane tlačilka: v posodo lahko tlačimo zrak. Pri tem se posoda in tlačilka močno segrevata. Očitno se zrak pri stiskanju segreva in od njega se segreva tudi okolica.
- Tehtanje zraka** Tlačenje zraka v posodo nam da zamisel, kako izmeriti njegovo specifično težo na preprost način. Stehtamo odprto stekleno bučo, opremljeno s pipico. Vanjo s tlačilko natlačimo dodaten zrak, pipico zapremo in bučo spet stehtamo. Nato po stekleni cevki počasi spustimo ujeti zrak v obrnjen cilindru, napolnjen z vodo in potopljen v posodo z vodo; to je plinska kad. Na cilindru označimo prostornino doteklega zraka, tipično kakšen liter. Z razliko obeh tež in s prostornino je specifična teža zraka enolično določena: 1 liter tehta 1,2 ponda, kakor že vemo [10.3]. Namesto da tlačimo zrak v posodo, ga lahko iz nje izčrpamo. Če stehtamo polno in prazno posodo, spet dobimo težo zraka. Paziti moramo le na to, da izčrpamo čim več zraka.

10.7 Aneroidni barometer

- Elastični meh** Živosrebrni barometer je neroden za prenašanje in uporabo. Kakšen bi bil boljši merilnik? Namesto s težo tekočinskega stolpca lahko tlak uravnovesimo z elastičnim mehom v obliki harmonike. Pločevinast meh, iz katerega izčrpamo del zraka in ga nato neprodušno zapremo, se stiska pod večjim zunanjim tlakom in se razteza pod manjšim tlakom. Kazalec, pritrjen na steno meha, vse to pokaže. Napravo umerimo z živosrebrnim barometrom ali z batnim cilindrom pod utežmi in dobimo vzmetni barometer ali *aneroid*.



Slika 10.7 Aneroidni barograf. Izsesani kovinski meh se širi in krči pod vplivom zunanjega zračnega tlaka. Te spremembe se prenašajo na vzvod, ki piše po vrtečem se valju. (Anon)

- Višinomer in globinomer** Z aneroidom udobno merimo zračni tlak po Zemlji. Če predhodno izmerimo odvisnost zračnega tlaka od višine, pa je uporaben celo kot merilec nadmorske višine. V predelani obliki je primeren tudi

za merjenje tlaka – in s tem globine – pod morjem. Razne oblike aneroidnih tlakomerov (manometrov) pokrivajo merilno območje med $1/10^3$ in 10^3 kp/cm².

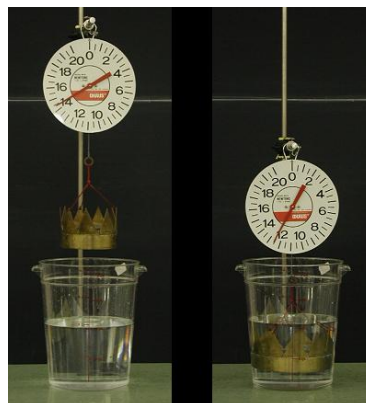
10.8 Vzgon in plavanje

Telo v tekočini

Ker tlak v morju narašča z globino, čuti potopljeno telo *vzgon*, ki nasprotuje njegovi teži. Tlak navzgor na spodnjo ploskev telesa je namreč večji kot tlak navzdol na zgornjo ploskev. Zamislimo si poljubno oblikovano telo, sestavljeno kar iz vode same, recimo navpični cilinder. To vodno telo miruje, zato je očitno vzgon enak njegovi teži. Če nadomestimo vodno telo s "pravi" telesom, ostane vzgon okolišnje vode nanj prav tak, kot prej. Vzgon na potopljeno telo kakršnekoli oblike je torej enak teži izpodrinjene tekočine:

$$F = \sigma V. \quad (10.3)$$

To je *vzgonski zakon* (ARHIMED). Če je vzgon manjši od teže telesa, to potone, sicer se pa dvigne na površje in plava. Pod gladino ga ostane toliko, da je teža izpodrinjene vode enaka njegovi teži. Od vode gostejši kosi snovi torej potonejo, redkejši plavajo. Led plava, torej je redkejši od vode. Ledene gore skrivajo 9/10 svoje prostornine pod gladino. Kakor kaže, je voda tudi edina snov, ki se ji pri zmrzovanju poveča prostornina. Zaradi vzgona se nam zdijo kamni v vodi lažji kot na kopnem. Isto velja za telesa v zraku: pri natančnem tehtanju je treba upoštevati tudi vzgon merjenca in uteži.



Slika 10.8 Vzgon telesa (v obliki krone) v tekočini. Na potopljeno telo deluje navpično navzgor sila, ki je enaka teži izpodrinjene tekočine. (University of Colorado)

Plavanje ladij

Čolni in ladje plavajo, tudi če so narejeni iz železa. Oblikovani so pač tako, da teža izpodrinjene vode postane enaka teži ladje že pri plitvem ugrezu. Plavanje traja, dokler v ladjo ne vdere voda, s čimer se ji teža toliko poveča (mislimo si, da smo jo namesto z vodo obremenili s kamenjem), da premaga vzgon.

Kot vsako telo ima tudi ladja svoje težišče. Prav tako ima svoje težišče izpodrinjena voda (predstavljati si jo moramo v luknji, ki jo ladja dela pod gladino); temu težišču rečemo *metacenter*. Teža ladje prijemlje v težišču in vzgon v metacentru. Da bo ladja

stabilna, mora biti njeno težišče pod metacentrom, in to pri pokončni legi ladje ter še pri čim večjem nagibu. Le v tem primeru se nagnjena ladja sama vzravna. Zato imajo ladje, zlasti visoke jadrnice, močno obtežene kobilice.

Plavač Vzgon istega telesa v sladki in slani vodi je različen, kar lepo vidimo, ko plavamo. Slana voda ima namreč večjo specifično težo in v njej se manj potopimo. Če stehtamo kovinsko kroglico najprej na zraku in nato – obešeno na tanki nitki – še potopljeno v eno in drugo tekočino, je razmerje obeh težnih sprememb enako razmerju specifičnih tež obeh tekočin. Tako merimo relativne specifične teže tekočin. Zaradi udobnosti izdelamo še plavač – zaprto stekleno cevko, ki je spodaj obtežena, da plava pokonci. V redkejših tekočinah se potopi bolj in v gostejših manj. Plavač umerimo v različnih tekočinah in nanj narišemo skalo. Z njim merimo, recimo, delež raztopljene soli v vodi ali delež alkohola v žganju. □