

2 Površinska napetost

Pri tej vaji se bomo seznanili s površinsko napetostjo kapljev in ter z njo povezanim kapilarnim dvigom.

Površinska napetost je pojav, ki je značilen za kapljevine. V nasprotju s plini so med molekulami kapljev in privlačne sile dovolj močne, da se kapljevine ne razširijo po vsem prostoru, ki jim je na voljo, ampak se držijo skupaj in imajo gladino ter delajo kapljice. Tako je za molekule kapljevine tudi energijsko bolj ugodno, da so v kapljevini in ne na njeni površini. Pri povečanju površine kapljevine je potrebno spraviti na površino nove molekule in za to opraviti delo. To delo je sorazmerno številu molekul, ki smo jih dodatno spravili na površino, in je zato sorazmerno povečanju površine. Sorazmernostni koeficient med delom (A) in povečanjem površine (ΔS) imenujemo površinska napetost (σ),

$$A = \sigma \Delta S . \quad (2.1)$$

Enota za površinsko napetost je J/m^2 oziroma N/m . Površinska napetost je lastnost stika med dvema snovema in je odvisna od obeh snovi v stiku.

Za povečanje površine je potrebno kapljevini delo dovesti, če pa se površina manjša, kapljevina delo oddaja nazaj. Zato lahko vpeljemo površinsko energijo kapljevine (W_s), katere sprememba je enaka prejetemu delu, $\Delta W_s = A$. Površinsko energijo lahko tako zapišemo kot

$$W_s = \sigma S . \quad (2.2)$$

Površinska napetost torej podaja površinsko energijo na enoto površine.

Zaradi površinske napetosti deluje na rob površine kapljevine sila. Predstavljamo si pravokotno površino (slika 2.1). Za povečanje te površine v eni smeri je potrebno delovati z zunanjo silo, ki premaguje silo zaradi površinske napetosti. Ko se površina poveča za $dS = l dx$, opravi sila F delo Fdx , ki je enako spremembi površinske energije dW_s

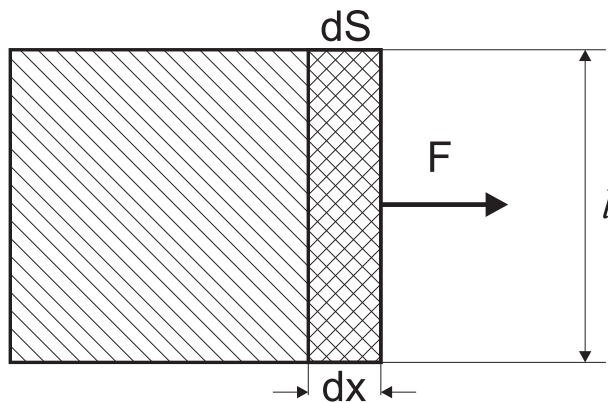
$$Fdx = dW_s = \sigma dS = \sigma l dx . \quad (2.3)$$

Sila zaradi površinske napetosti je torej enaka produktu površinske napetosti in dolžine roba, na katerem deluje

$$F = \sigma l . \quad (2.4)$$

Površinska napetost tako podaja silo zaradi površinske napetosti na enoto dolžine roba kapljevine ($\sigma = F/l$). Sila zaradi površinske napetosti hoče površino zmanjšati. Kaže v smeri tangente na površino in je pravokotna na rob l .

Površinska napetost med plinom in kapljevino je vedno pozitivna, zato bo površinska energija kapljevine v plinu tem manjša, čim manjša bo njena površina. Če ni zunanjih sil, ima kapljica v plinu zato obliko krogle, saj ima krogla med vsemi telesi pri danem volumnu najmanjšo površino.



Slika 2.1: Sila F je nasprotno enaka sili zaradi površinske napetosti. Sila površinske napetosti hoče površino zmanjšati.

2.1 Močenje

Če na gladki površini trdne snovi leži kapljica kapljevine, imamo tri različne mejne površine (slika 2.2). Ko kapljica miruje, oklepa tangenta na gladino kapljice ob stiku s trdno snovjo kot močenja (θ). Ta kot je odvisen od površinskih napetosti med plinom in kapljevino (σ_{pk}), med kapljevino in trdno snovjo (σ_{kt}) ter med trdno snovjo in plinom (σ_{tp})*. Na mejni črti prijemajo tri sile, katerih vsaka ima smer tangente na ustrezno površino. Mejna črta miruje, zato mora biti vsota vseh sil enaka nič. To zahtevo zapišemo za vodoravno smer, ki je vzporedna površini trdne snovi:

$$-\sigma_{tp} + \sigma_{kt} + \sigma_{pk} \cos \theta = 0 . \quad (2.5)$$

Pri tem smo iz enačbe že pokrajšali dolžino roba stikov snovi l , saj je le-ta pri vseh treh stikih ista. Iz zgornje enačbe sledi

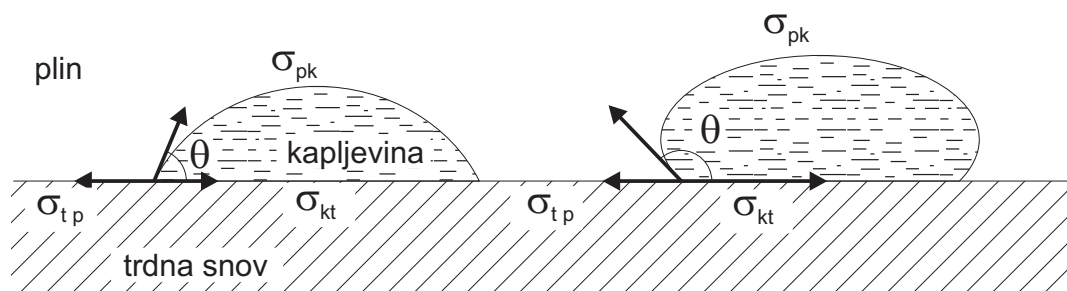
$$\cos \theta = \frac{\sigma_{tp} - \sigma_{kt}}{\sigma_{pk}} . \quad (2.6)$$

Kadar je trdna snov raje v stiku s kapljevino kot s plinom, je $\sigma_{tp} > \sigma_{kt}$ (čim raje sta dve snovi skupaj, tem manjša je njuna površinska energija oziroma površinska napetost!). Ker je σ_{pk} vedno pozitivna, je v tem primeru $\cos \theta > 0$, oziroma $\theta < 90^\circ$. Pravimo, da kapljevina *moči* površino trdne snovi. V nasprotnem primeru, kadar je trdna snov raje v stiku s plinom kot s kapljevino, oziroma $\theta > 90^\circ$, pa kapljevina trdne snovi *ne moči*.

2.2 Kapilarni dvig

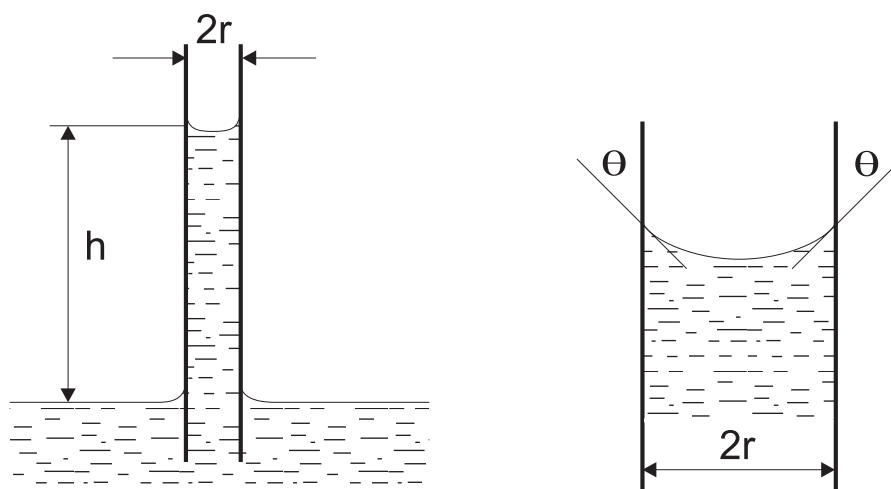
Če v posodo s kapljevino potopimo kapilaro, se bo v primeru, da kapljevina moči steklo ($\theta < 90^\circ$), gladina kapljevine v kapilari dvignila nad gladino v posodi (slika 2.3). Do dviga

*Površinska napetost med trdno snovjo in plinom je manj intuitivna in manj opazna, saj so notranje sile v trdni snovi mnogo večje od sile površinske napetosti. Kljub temu pa velja, da ima mejna površina med trdno snovjo in plinom svojo površinsko energijo in torej po enačbi (2.2) tudi površinsko napetost.



Slika 2.2: *Kapljevina na levi podlago moči, kapljevina na desni pa podlage ne moči.*

pride, ker je steklo raje v stiku s kapljevino kot z zrakom in jo potegne navzgor. Ta pojav imenujemo *kapilarni dvig*. V nasprotnem primeru, če kapljevina stekla ne moči, se bo gladina v kapilari spustila pod nivo gladine v posodi.



Slika 2.3: *Kapilarni dvig.*

Višine kapilarnega dviga ni težko izračunati. V ravnovesju bo vsota površinske energije (W_s) in težnostne energije kapljevine v kapilari (W_T) minimalna ($W_s + W_T = \min$). Obe energiji sta odvisni od višine stolpca v kapilari (h), zato lahko ravnovesno višino stolpca kapljevine v kapilari poiščemo tako, da pogledamo, kje je odvod celotne energije po višini stolpca enak nič.

$$\frac{d(W_s + W_T)}{dh} = 0 \quad (2.7)$$

Če ima kapilara radij r , se ob dvigu stolpca stična površina med kapljevino in steklom kapilare poveča za $2\pi r h$. Ravno za toliko je zmanjšana skupna stična površina med zrakom in steklom kapilare. Površinsko energijo stolpca kapljevine v kapilari lahko tako zapišemo

kot

$$W_s = \sigma_{kt}2\pi r h - \sigma_{tp}2\pi r h = (\sigma_{kt} - \sigma_{tp})2\pi r h . \quad (2.8)$$

Ob upoštevanju enačbe (2.6) dobimo

$$W_s = -\cos\theta \sigma_{pk} 2\pi r h , \quad (2.9)$$

pri čemer je σ_{pk} površinska napetost med kapljevino in zrakom, ki jo običajno označimo kar s σ in imenujemo *površinska napetost kapljevine*.

Težnostno energijo stolpca v kapilari dobimo, ko upoštevamo, da je masa kapljevine v kapilari $\rho\pi r^2 h$ in da je težišče kapljevine v kapilari na polovični višini stolpca (težnostna energija nekega telesa je odvisna od višine njegovega težišča!). Pri tem je ρ gostota kapljevine. Težnostna energija kapljevine v kapilari je tako

$$W_T = \rho\pi r^2 h g \frac{1}{2}h = \frac{1}{2}\rho g\pi r^2 h^2 . \quad (2.10)$$

Ko izraza za površinsko in težnostno energijo seštejemo, odvajamo po h in vstavimo v enačbo (2.7), dobimo zvezo med površinsko napetostjo, radijem kapilare in višino kapilarnega dviga v ravnovesju:

$$-2\pi r \sigma \cos\theta + \rho g h \pi r^2 = 0 . \quad (2.11)$$

Iz te enačbe izrazimo površinsko napetost:

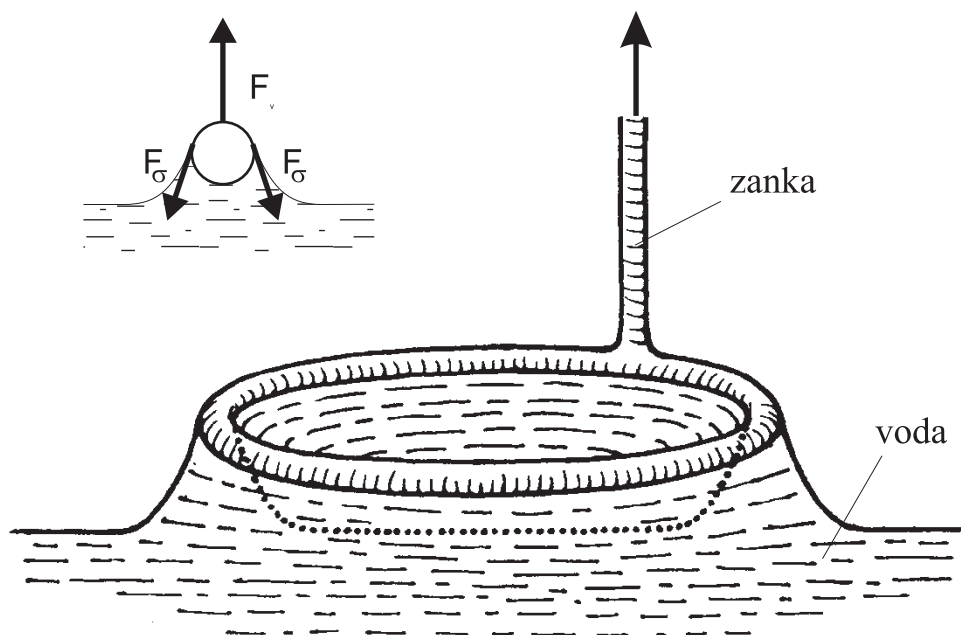
$$\sigma = \frac{\rho g h r}{2 \cos\theta} . \quad (2.12)$$

Če kapilaro pomočimo v kapljevino, ki ima $\theta > 90^\circ$, in ki torej stene ne moči, lahko iz zgornje enačbe ugotovimo, da se kapljevina v kapilari spusti pod gladino kapljevine v posodi ($h < 0$).

- Naloga:**
1. S torzijsko tehtnico izmerite površinsko napetost vode.
 2. Površinsko napetost vode izmerite še s pomočjo kapilarnega dviga.

Potrebščine:

- torzijska tehtnica
- steklena kapilara
- destilirana voda
- ravnilo



Slika 2.4: Shematski prikaz vlečenja zanke iz vode. Zaradi površinske napetosti se voda dviguje skupaj z zanko in ima njena gladina ob zanki obliko kraterja. Levo zgoraj: povečan prerez zanke z označenimi silami, ki delujejo nanjo. Sila F_v , s katero vlečemo zanko, je navpična. Sila zaradi površinske napetosti F_σ je vzporedna tangenti na površino vode v točki, kjer se voda in zanka dotikata.

Izvedba

- 1) Na sprednji strani torzijske tehtnice je okrogel gumb za uravnavanje sile, s katero tehtnica deluje na zanko. Na začetku silo nastavite na nič. Z vodo napolnjeno posodo dvigujte, dokler se zanka ne dotakne vodne gladine. Nato z vrtenjem okroglega gumba povečujte silo, s katero vlečete zanko iz vode. Opazujte, kaj se dogaja z vodo ob zanki (slika 2.4). Zanko vlečemo **zelo** počasi, zato v vsakem trenutku velja, da je rezultanta sil površinske napetosti nasprotno enaka sili vlečenja zanke. Z dvigovanjem zanke postaja smer sile površinske napetosti vedno bolj navpična (spomnimo se, da je smer sile površinske napetosti vzporedna tangenti na površino in pravokotna na stični rob). Ko postane sila površinske napetosti navpična in silo vlečenja še malo povečamo, porušimo ravnovesje sil in zanka se odtrga od gladine. V tistem trenutku velja enačba

$$\sigma = \frac{F}{2l}, \quad (2.13)$$

kjer je l obseg zanke. Dvojni obseg zanke smo vzeli, ker imamo v našem primeru dve stični površini med zanko in vodo – eno na notranji in drugo na zunanji strani zanke.

- S torzijsko tehtnico določite silo (F), pri kateri se zanka odtrga od gladine. Meritev ponovite petkrat in izračunajte povprečno vrednost sile. Površinsko napetost izračunajte po enačbi (2.13). Ocenite natančnost meritve.
- 2) Stekleno kapilaro najprej napolnite z vodo ter jo nato spet izpraznite (iz kapilare lahko vodo popivnate s papirjem). Izpraznjeno kapilaro pomočite navpično v vodo in z ravnilom izmerite višino kapilarnega dviga. Pri meritvi upoštevajte dno meniskusa. Po meritvi kapilaro izpraznite in meritev ponovite. Naredite vsaj tri meritve. Določite srednjo vrednost višine kapilarnega dviga in iz enačbe (2.12) izračunajte površinsko napetost. Polmer kapilare je naveden pri vaji. Mejni kot med vodo in steklom je zanemarljivo majhen ($\theta \approx 0$). Ocenite natančnost meritve.
 - 3) Primerjajte dobljeni vrednosti površinske napetosti vode.