

## 2. FIZIKALNE OSNOVE

## 2.1 Osnovne dimenzije i jedinice u mehanici fluida

Veličina	Oznaka dimenzije	Jedinica u SI sustavu	
masa	M	kg	} Skup osnovnih veličina
duljina	L	m	
vrijeme	T	s	
temperatura	$\Theta$	K	

Dimenzije svih ostalih veličina mogu se prikazati produktom potencija osnovnih veličina. npr.

brzina	$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$	$[\vec{v}] = \frac{L}{T} = LT^{-1}$	$[\vec{v}]_{SI} = \frac{m}{s}$
ubrzanje	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	$[\vec{a}] = LT^{-2}$	$[\vec{a}]_{SI} = \frac{m}{s^2}$
sila	$\vec{F} = \vec{a} \cdot m$	$[\vec{F}] = MLT^{-2}$	$[\vec{F}]_{SI} = \frac{kgm}{s^2} = N$
rad	$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s}$	$[W] = ML^2T^{-2}$	$[W]_{SI} = \frac{kgm^2}{s^2} = Nm = J$
snaga	$P = \frac{dW}{dt}$	$[P] = ML^2T^{-3}$	$[P]_{SI} = \frac{kgm^2}{s^3} = \frac{Nm}{s} = \frac{J}{s} = W$
tlak	$p = \frac{F}{A}$	$[p] = ML^{-1}T^{-2}$	$[p]_{SI} = \frac{kg}{ms^2} = \frac{N}{m^2} = Pa$

Sve teorijski izvedene fizikalne jednačbe moraju biti dimenzijski homogene, što znači da svaki aditivni član u jednačbi mora imati istu dimenziju.

## 2.2 Hipoteza kontinuuma

Svaka se materija sastoji od atoma i molekula, a ovi su sastavljeni od još sitnijih čestica. S obzirom da vrlo mali volumen fluida (npr.  $10^{-3} \text{ mm}^3$ ) sadrži još uvijek veliki broj molekula (za plinove oko  $10^{15}$ , a za kapljevinau  $10^{18}$ ), opravdano je uvesti hipotezu kontinuuma. Kontinuum je matematički model materije prema kojem je ona neprekidno raspoređena po prostoru i u potpunosti ispunjava volumen kojeg zauzima. Čestica kontinuuma zauzima infinitezimalni volumen  $dV$  i ima infinitezimalnu masu  $dm$ , tako da je gustoća definirana kao

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}; \quad [\rho] = ML^{-3}; \quad [\rho]_{SI} = \frac{kg}{m^3}$$

Kod realnih fluida bi granični prijelaz morao biti  $\Delta V \rightarrow \Delta V^*$ , gdje je  $\Delta V^*$  volumen koji još uvijek sadržava dovoljan broj molekula tako da su fizikalna svojstva dobro definirana. Uvođenjem hipoteze kontinuuma dozvoljen je granični prijelaz  $\Delta V \rightarrow 0$ , što omogućuje primjenu diferencijalnog i integralnog računa u opisu strujanja. Prema hipotezi kontinuuma čestica fluida (materijalna točka) zauzima infinitezimalni volumen  $dV$  i ima infinitezimalnu masu  $dm = \rho dV$ . Jedna čestica fluida zauzima samo jednu točku prostora i u jednoj točki prostora se može nalaziti samo jedna čestica fluida.

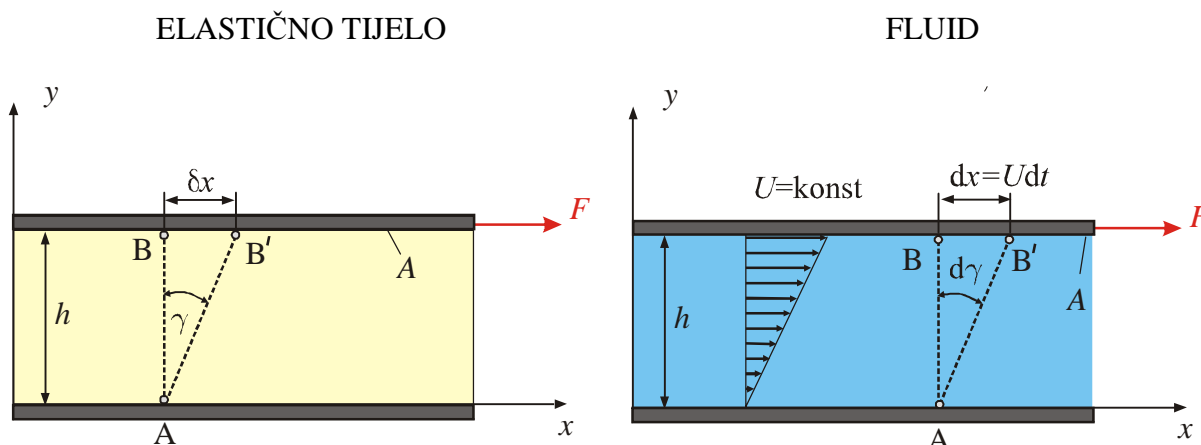
## 2.3 Fluid ili tekućina

Fluid ili tekućina je tvar koja se pod djelovanjem ma kako malog tangencijalnog (smičnog) naprezanja neprekidno deformira, što nazivamo strujanjem ili tečenjem.

Zaključak: U mirujućem fluidu nema tangencijalnih naprezanja.

Fluidi se dijele na:

- 1) kapljevine (teže se stlačuju, čine razdjelnu površinu, poprimaju oblik posude)
- 2) plinove (lako mijenjaju volumen, šire se po čitavom prostoru)



Ako gornju ploču povučemo silom  $F$  u elastičnom tijelu se pojavljuje deformacija, i posljedično unutarnje naprezanje  $\tau = \frac{F}{A}$

koje uravnotežuje vanjsku silu  $F$ .

Svakoj veličini sile  $F$  odgovara neka vrijednost kutne deformacije  $\gamma$ , pa kažemo da je naprezanje razmjerno deformaciji

$$\tau = \frac{F}{A} \sim \gamma$$

- Čestice fluida se lijepe za stijenke  
- Djelovanjem sile  $F$  na gornju ploču izaziva se tangencijalno naprezanje  $\tau$  u fluidu uslijed kojeg se fluid neprekidno deformira, odnosno teče.

- Fluid se opire vanjskom opterećenju brzinom

kutne deformacije  $\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}$

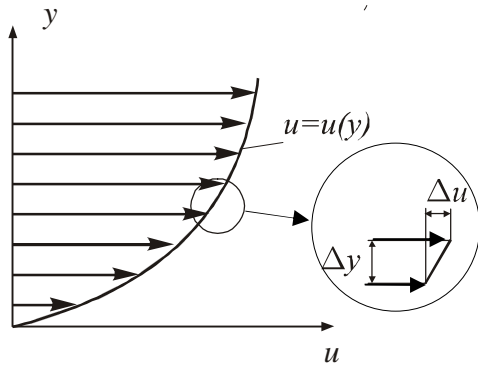
$$\tau = \frac{F}{A} \sim \dot{\gamma}$$

- Brzina kutne deformacije

$$\text{tg}(d\gamma) \approx d\gamma = \frac{dx}{h} = \frac{U dt}{h}$$

$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{U}{h}$  ... za slučaj linearnog profila brzine

- Za opći slučaj strujanja profila u razvijenom pravocrtnom strujanju



$$\dot{\gamma} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{du}{dy}$$

$$[\dot{\gamma}] = \text{T}^{-1}; \quad [\dot{\gamma}]_{\text{SI}} = \frac{1}{\text{s}}$$

- Newtonov zakon viskoznosti uspostavlja linearnu vezu između napreznja i brzine deformacije, a koeficijent razmjernosti se naziva viskoznost fluida

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} = \mu \cdot \frac{du}{dy}$$

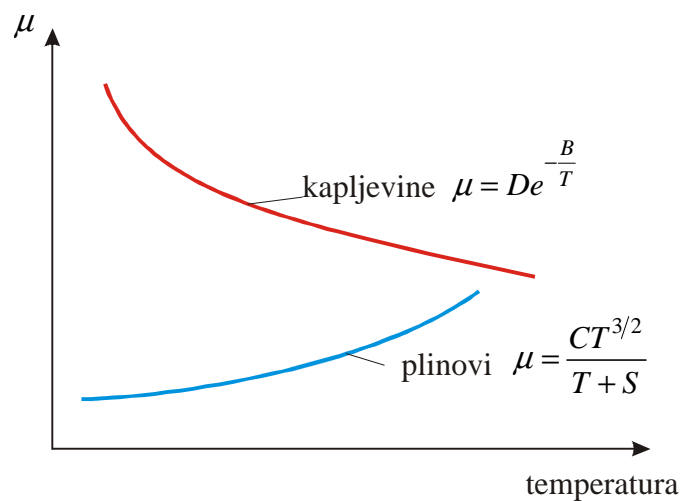
$$[\tau] = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-2} \quad [\tau]_{\text{SI}} = \text{Pa}$$

$$[\mu] = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-1} \quad [\mu]_{\text{SI}} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

Za promatrani slučaj  $\tau = \frac{F}{A}$  i  $\frac{du}{dy} = \frac{U}{h}$

$$F = \mu \cdot \frac{U}{h} \cdot A$$

Viskoznost fluida je njegovo fizikalno svojstvo, a zavisi od tlaka i temperature, s tim da je utjecaj temperature veći.

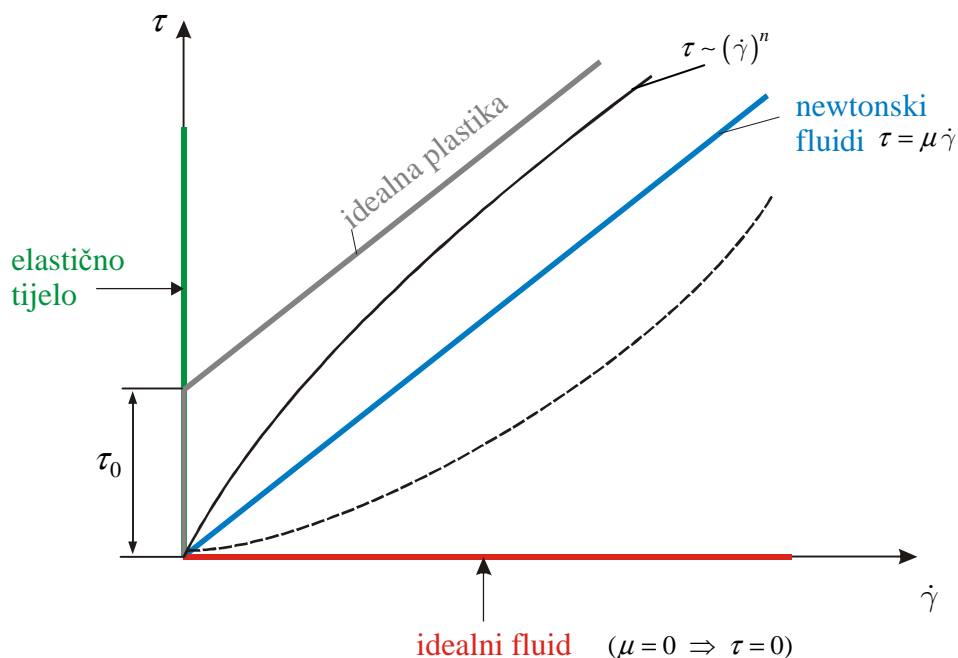


- U kapljevina su za viskoznost odgovorne međumolekularne sile, koje su u kapljevina jake. S obzirom da s porastom temperature te sile slabe, viskoznost kapljevine će s porastom temperature opadati.
- U plinovima su međumolekularne sile slabe, a viskoznost je posljedica sudara molekula u kaotičnom gibanju. Budući da porastom temperature brzina gibanja molekula raste, povećava se broj sudara, pa raste i viskoznost.

U slučaju kapljevine koje imaju konstantnu gustoću  $\rho$ , često se koristi i kinematička viskoznost

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad [\nu] = L^2 T^{-1}, \quad [\nu] = \frac{m^2}{s}$$

Recipročna vrijednost viskoznosti se naziva fluidnost. Fluidnost pokazuje sklonost fluida ka tečenju. Dio fizike koji se bavi različitim modelima tvari po odnosu naprežanja i deformacije, odnosno brzine deformacije se naziva REOLOGIJA.



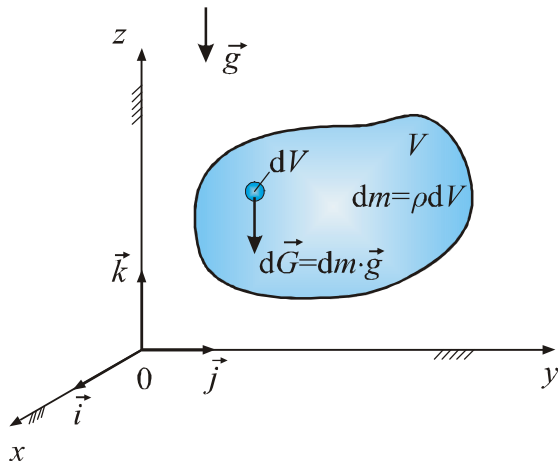
Idealni fluid se definira kao fluid u kojem nema tangencijalnih naprežanja (neviskozni fluid). Mehanika fluida je dio fizike (teorijsko eksperimentalna znanost koja se bavi proučavanjem mehaničkog ponašanja newtonskih fluida). Dijeli se na statiku, kinematiku i dinamiku.

## 2.4 Sile u fluidu

### 2.4.1 Masene sile

Masene sile su posljedica položaja mase u polju masene sile. Raspodijeljene su po prostoru i djeluju na svaki element mase fluida.

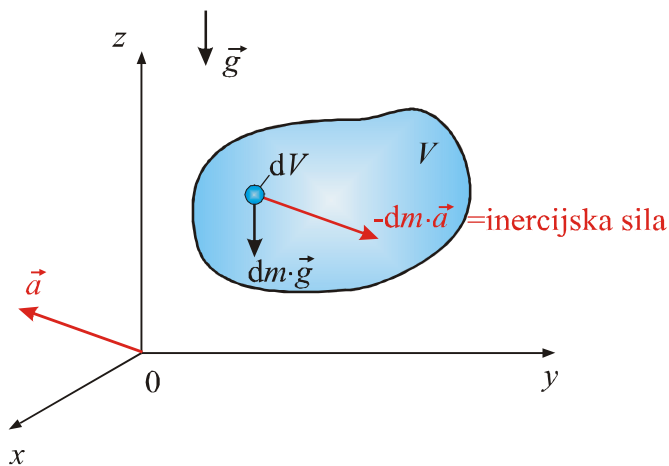
Primjeri: sila gravitacije, inercijska sila



- Koordinatni sustav vezan za Zemlju-nepomični inercijski koordinatni sustav (K.S.)

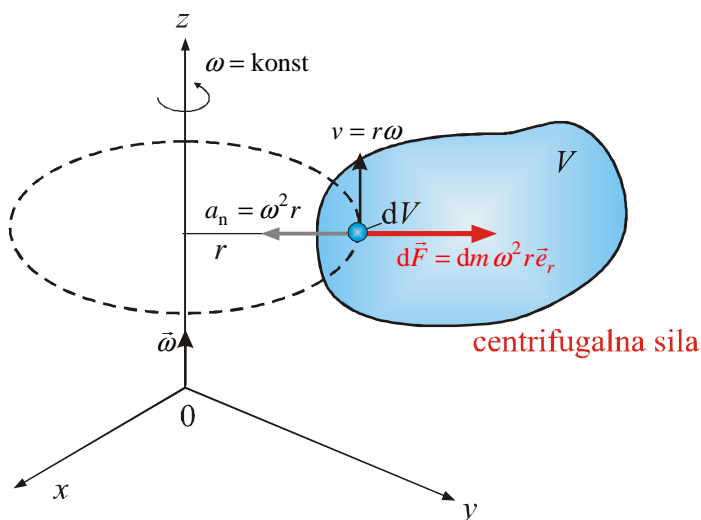
- Koordinatni sustav koji se giba pravocrtno konstantnom brzinom je također inercijski K.S.

- Pomični koordinatni sustav koji se giba translatorno ubrzanjem  $\vec{a}$  je neinercijski koordinatni sustav.



- Ako se gibanje promatra iz neinercijskog koordinatnog sustava potrebno je uzeti u obzir inercijsku silu.

- Koordinatni sustav koji rotira konstantnom kutnom brzinom je također neinercijski K.S.



Volumen miruje u odnosu na rotirajući K.S.

- Specifična masena sila (sila po jediničnoj masi)

$$\vec{f} = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta m} = \frac{d\vec{F}}{dm}$$

$$d\vec{F} = \rho \vec{f} dV \quad \Bigg/ \int_V$$

$$\vec{F} = \int_V \rho \vec{f} dV$$

$$[\vec{f}] = \text{LT}^{-2} \quad [\vec{f}]_{\text{SI}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

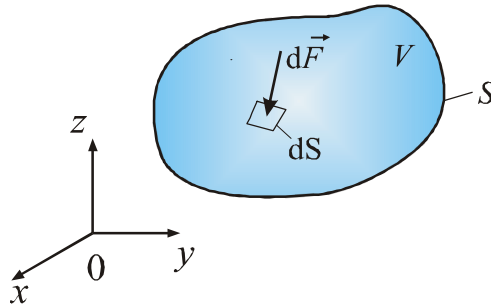
Sila gravitacije:  $\vec{f} = \vec{g} = -g\vec{k}$        $g = 9,80665 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Inercijska sila:  $\vec{f} = -\vec{a}$

Centrifugalna sila:  $\vec{f} = \omega^2 r \vec{e}_r$

#### 2.4.2 Površinske sile

Površinske sile su sile dodira između čestica fluida ili između čestica fluida i stijenke.



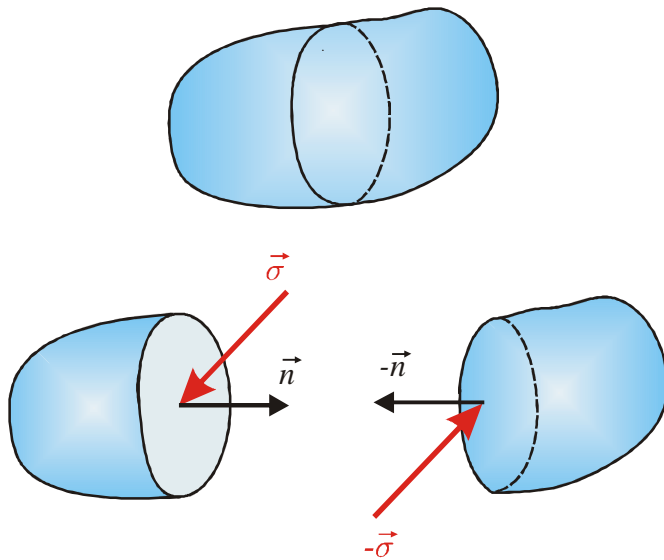
- Specifična površinska sila ili vektor naprezanja

$$\vec{\sigma} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta S} = \frac{d\vec{F}}{dS}$$

$$d\vec{F} = \vec{\sigma} dS \quad \Bigg/ \int_S$$

$$\vec{F} = \int_S \vec{\sigma} dS$$

$$[\vec{\sigma}]_{\text{SI}} = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-2} \quad [\vec{\sigma}]_{\text{SI}} = \text{Pa}$$

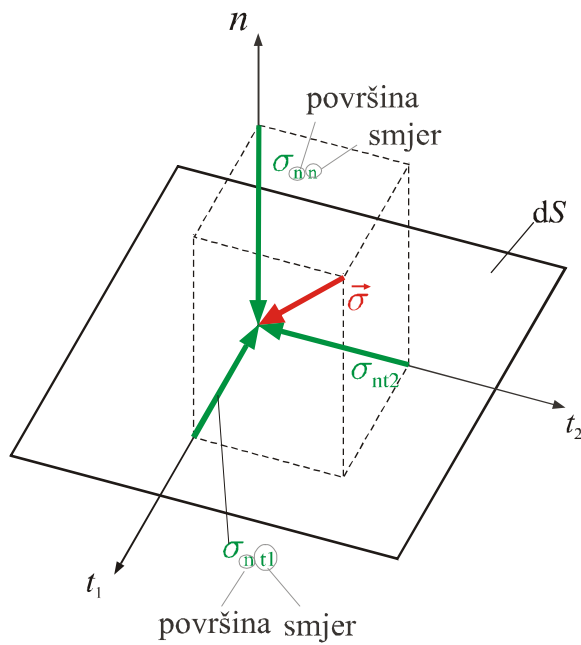


- Za površinske sile vrijedi III. Newtonov zakon (princip akcije i reakcije)

$\vec{n}$  je jedinični vektor vanjske normale

$$\vec{\sigma}(\vec{n}) = -\vec{\sigma}(-\vec{n})$$

$\vec{\sigma}$  = neparna funkcija normale



Vektor naprezanja se uvijek može prikazati normalnom i dvije tangencijalne komponente:

- normalna komponenta  $\sigma_{nn}$
- tangencijalne komponente  $\sigma_{nt1}$  i  $\sigma_{nt2}$ .