

Fizička svojstva fluida i definicije



- Pod *fluidima* se podrazumevaju materijali (substance) koji pod dejstvom tangencijalnih sila ili napona "*struje*" ili "*teku*".
- Fluidi (tečnosti i gasovi) se mogu definisati i kao materijali koji zauzimaju oblik suda u kome se nalaze, sa horizontalnom površinom i koji trpe velike promene oblika ili struje kada su izloženi dejstvu sila.



U Mehanici fluida se polazi od pretpostavke da fluidi predstavljaju

- *neprekidnu,*
- *homogenu i*
- *izotropnu* sredinu.

Neprekidnost fluidne sredine označava svojstvo fluida da u potpunosti ispunjava prostor u kome se nalazi.

Homogenost fluida znači da fluid u svim tačkama prostora ima iste osobine, dok

Izotropnost fluida označava svojstvo fluida da se njegove osobine podjednako ispoljavaju u svim pravcima

Gustina, specifična težina, viskoznost,
napon pare tečnosti, pritisak,
stišljivost, kapilarnost



Gustina

Gustina fluida u tački predstavlja graničnu vrednost odnosa mase fluida Δm i pripadajuće zapremine ΔV oko tačke, kada ΔV teži nekoj beskonačno maloj zapremini ΔV

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Gustina fluida, ρ , ima dimenziju $M \cdot L^{-3}$

Prosečna gustina nekog fluida može se definisati kao odnos mase fluida m i zapremine V koju ta masa zauzima:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

fluid	ρ [kg/m ³]	fluid	ρ [kg/m ³]
živa 0°C	13595	benzol	875
glicerin	1260	špiritus	830
naftalin	1145	kerozin	800
mleko	1030	alkohol 15° C	790
more	1020-1030	azot 0°C 1 bar	1,251
nafta	700-1040	CO ₂	1,977
mast	910-960	vazduh	1,292
laneno ulje	940	kiseonik	1,429
ulje za cilindre	930	vodonik	0,090

Gustina suvog vazduha temperature 20°C i pri pritisku 1013mBar-a je $\rho=1,2\text{kg/m}^3$, što je 833 puta manje od gustine vode. U zadacima gustina vazduha će se zanemarivati ($\rho=0$), jer se radi sa malim visinskim razlikama.

Zapreminska (specifična) težina

Zapreminska težina fluida, γ , predstavlja odnos težine fluida i jedinice zapremine fluida.

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

Težina fluida predstavlja silu prouzrokovanu dejstvom ubrzanja zemljine teže g , na masu m , u jediničnoj zapremini, V .

$$G = m \cdot g$$

Težina fluida, ili bilo kog materijalnog tela je posledica gravitacionog ubrzanja.

U svemirskom brodu koji se nalazi van domašaja zemljine teže ($g=0$) težina nekog materijalnog tela je $=0$, ali njegova masa m kao pokazatelj inercije tela pri promeni u njegovom kretanju ostaje ista kao i na površini Zemlje.

Specifična težina tela γ ima dimenzije $F \cdot L^{-3}$, odnosno $M \cdot L^{-2} \cdot T^{-2}$

Veza između gustine fluida ρ , specifične težine γ i ubrzanja zemljine teže g sledi iz odnosa

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$G = m \cdot g$$

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

$$\rho = \frac{G}{g \cdot V} = \frac{\gamma \cdot V}{g \cdot V} = \frac{\gamma}{g}$$

odnosno

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Viskoznost

- Viskoznost ili unutrašnje trenje tečnosti je osobina tečnosti koja se može opisati kao otpor koji fluid pruža prema tečenju.
- To je svojstvo tečnosti da pokazuje otpor klizanju jednog njegovog sloja u odnosu na drugi i koje uslovljava nastanak tangencijalnih napona pri njenom kretanju.

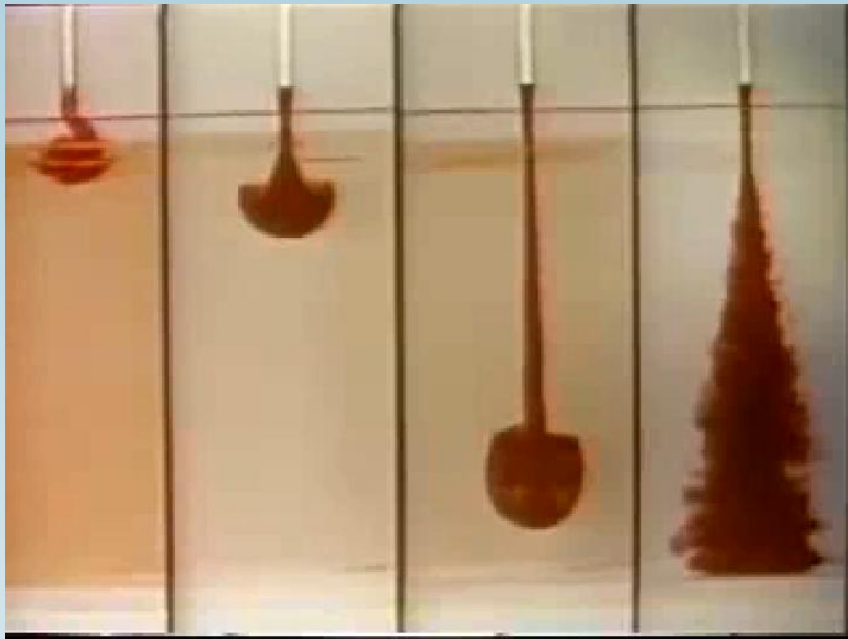
Razlike u viskoznosti različitih supstanci

supstanca	viskoznost ($10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)
voda	1.00
dietil alkohol	0.23
živa	1.5
motorno ulje	200
med	≈ 10000
melasa	≈ 5000
sirup	≈ 3000

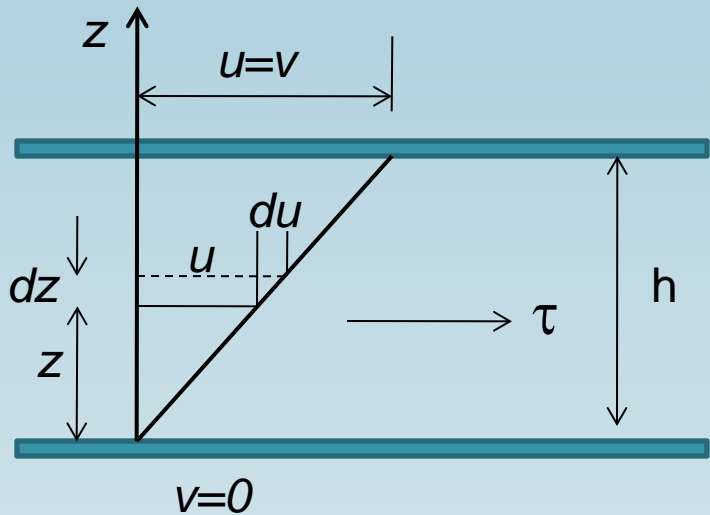


Razlike u viskoznosti različitih supstanci

Med ulje voda alkohol



Posmatrajmo proizvoljan delić fluida na nekom udaljenju z od referentne donje ploče, tangencijalni napon τ na vrhu delića (koji je numerički jednak naponu na dnu delića, ali deluje u suprotnom smeru) se može izraziti kao



$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dz}$$

gde je μ konstanta proporcionalnosti između tangencijalnog napona τ i gradijenta brzine du/dz .

Ovakva linearna veza važi u laminarnom toku, tj. kada su brzine deformacija $\rho \cdot u \cdot h / \mu < 1500$

μ označava *dinamički koeficijent viskoznosti*, koji je konstantan za dati fluid i datu temperaturu.

Prethodni i izraz kojim se definiše veza između tangencijalnog napona i gradijenta brzine naziva se *Njutnov zakon viskoznosti*, a svi fluidi koji se ponašaju u skladu sa tim zakonom se nazivaju *njutnovski fluidi*.

Gradijent brzine du/dz se može definisati i kao brzina ugaone deformacije fluida, ili kao mera relativnog kretanja fluida, ili kao mera relativnog kretanja dva susedna sloja fluida.

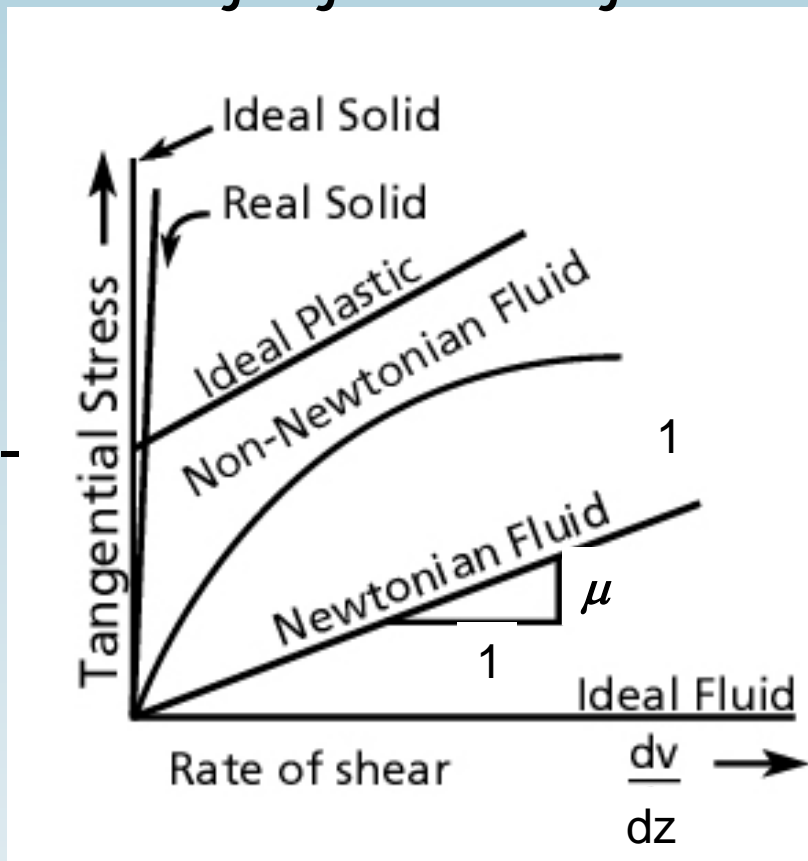
Voda, koja će skoro isključivo biti predmet razmatranja, predstavlja tipičan *njutnovski fluid*.

Mada je linearan Njutnov zakon viskoznosti samo aproksimacija, pokazalo se da je ona iznenađujuće dobra za veliki broj fluida (voda, alkohol, ulje, itd.)

Postoje fluidi kod kojih veza između τ i du/dz nije linearna, gde du/dz zavisi i od same veličine τ . Oni su "ne Njutnovski fluidi" (teška viskozna ulja, bujični tokovi, gusta smeša vode i pepela-Binghamov fluid)

Nagib linije 1 zavisi od μ i opada sa smanjenjem uticaja viskoznosti.

Ako je fluid neviskoznan, $\mu=0$ i predpostavi se da je i nestišljiv, onda se takav fluid naziva "idealna" fluid a njegove karakteristike odgovaraju apscisi na slici. Pri tečenju idealnih fluida su $\tau=0$ zbog toga što je i $\mu=0$. Nema unutrašnjeg trenja.



Dimenzija *dinamičkog koeficijenta viskoznosti* proizilazi iz Njutnovog zakona viskoznosti kada se u izraz unesu dimenzije

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dz}}$$

za napon ($\tau = F \cdot T^{-1}$), brzinu ($u = L \cdot T^{-1}$) i dužinu ($z = L$):

$$\mu = F \cdot L^{-2} \cdot T$$

Ako se dimenzija za silu izrazi preko drugog Njutnovog zakona kretanja u obliku $F = M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}$ $kg/(m \cdot s)$

Deljenjem dinamičkog koeficijenta viskoznosti μ sa gustinom fluida ρ dobija se

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

kinematski koeficijent viskoznosti ν

Ima dimenziju $L^2 \cdot T^{-1}$, a njegova jedinica mere se naziva *stoks* ($1 \text{ stoks} = 1 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

Viskoznost fluida je praktično nezavisna od pritiska i zavisi isključivo od temperature fluida.

Promena kinematskog koeficijenta viskoznosti vode u zavisnosti od temperature

T °C	0	5	10	20	50	100
ν (m ² /s)	$1,78 \cdot 10^{-6}$	$1,52 \cdot 10^{-6}$	$1,31 \cdot 10^{-6}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$0,55 \cdot 10^{-6}$	$0,28 \cdot 10^{-6}$

Napon pare tečnosti

-pritisak pare iznad tečnosti.

Isparavanje tečnosti nastaje kao posledica aktivnosti molekula tečnosti na površini tečnosti, odnosno njihovog prelaska iz tečnog u gasovito stanje.

Molekuli pare prouzrokuju parcijalni pritisak u prostoru koji se naziva " *napon pare*".

Ako je prostor iznad tečnosti zatvoren posle dovoljno dugog vremena uspostavlja se ravnoteža između broja molekula pare tečnosti koji napuštaju tečnost i broja molekula pare koji se vraćaju na površinu tečnosti i tu se kondenzuju.

Pošto ovaj fenomen zavisi od molekularne aktivnosti tečnosti koja je funkcija temperature, pritisak pare zavisi od temperature tečnosti i povećava se njenim povećanjem.

Kada je pritisak iznad površine date tečnosti jednak naponu pare te tečnosti nastaje *ključanje* tečnosti (isparavanje u celoj zapremini ne samo na površini).

Pri dejstvu atmosferskog pritiska od 101,33 kPa *ključanje vode* nastaje pri temperaturi vode od 100°C.

Može nastati i pri znatno nižim temperaturama vode ukoliko je ambijentni pritisak jednak naponu vodene pare.

Pri temperaturi od 20°C nastaje ako ambijentni pritisak iznosi 2,23kPa.

Pojava ključanja vode pri sobnim temperaturama često se javlja pri strujanju vode u sistemima pod pritiskom kada se lokalni pritisak (npr. na ulazu u pumpu ili kod naglog suženja cevovoda) izjednači sa pritiskom vodene pare za datu temperaturu vode.

Pritisak

Pritisak u tački predstavlja graničnu vrednost odnosa normalne sile na površinu kada površina teži nekoj beskonačno maloj vrednosti dA .

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

Označava se sa p

Intenzitet pritiska, ili jednostavno pritisak, predstavlja silu koja deluje po jedinici realne ili imaginarne površine unutar tečnosti.

Njegova dimenzija je $F \cdot L^{-2}$, odnosno $M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$.

Jedinica mere za *pritisak* je Paskal (Pa) i izražava dejstvo sile od $1N$ na površinu od $1m^2$.

$$1 Pa = 1 N \cdot m^{-2}$$

U upotrebi je još:

$$1 Bar = 10^5 Pa = 100 kPa = 1,103 Atm \approx 1 Atm$$

Stišljivost

Definisanjem pritiska omogućava se razmatranje pojma *stišljivosti fluida*, odnosno vojstva fluida da menja gustinu pod dejstvom promene pritiska.

Gasovi predstavljaju lako *stišljive* fluide kod kojih idealne male promene pritiska prouzrokuju promenu gustine fluida.

Tečnosti trpe beznačajno male promene gustine pod dejstvom promene pritiska, pa se u većini problema koje tretira Hidraulika, tečnosti smatraju *nestišljivim* fluidima.

Pod *nestišljivim fluidima* se podrazumevaju fluidi čija masa u bilo kojoj tački prostora uvek zauzima istu zapreminu, koja se ne menja bez obzira na vladajući pritisak.

S obzirom da će se u okviru navedenih razmatranja analizirati problemi vezani za tečnosti (najčešće za vodu), podrazumevaće se da se radi o nestišljivim fluidima, odnosno da važi hipoteza o nepromenljivosti gustine: $\rho = \text{const}$.

Ova hipoteza ima ogroman značaj pri rešavanju praktičnih problema u Hidraulici s obzirom da se do konačnog rešenja problema dolazi znatno lakše i jednostavnije jer nije neophodno da se uspostavi veza između pritiska i gustine.

Pri tom se naravno podrazumeva da se usvajanjem ove hipoteze ne utiče bitno na tačnost rešenja problema.

Postoje i neki specifični problemi u okviru Hidraulike gde hipoteza o nepromenljivosti gustine fluida ne važi (pojava vodnog udara pri tečenju u cevovodima pod pritiskom).

U takvim slučajevima nagle i velike promene pritiska dovede de promene gustine tečnosti, pa je neophodno definisati vezu između pritiska i gustine, odnosno definisati pojam stišljivosti fluida.

Stišljivost fluida se može definisati kao svojstvo fluida da menja svoju zapreminu srazmerno promeni pritiska.

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{1}{E} \cdot \Delta p$$

gde je ΔV promena početne zapremine V izazvana promenom pritiska Δp , dok E predstavlja modul stišljivosti fluida.

Iz prethodnog izraza se modul stišljivosti fluida može definisati kao odnos promene intenziteta pritiska i odgovarajuće promene zapremine po jedinici zapremine:

$$E = \frac{-\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}}$$

Stišljivost tečnosti izražava se preko modula stišljivosti E .

Ako se pritisak na jediničnu zapreminu V poveća za Δp on prouzrokuje smanjenje zapremine za ΔV .

S obzirom da je član $\Delta V/V$ bezdimenzionalan, modul stišljivosti E ima dimenziju pritiska a njegova jedinica mere je Pa ili N/m^2 .

Modul stišljivosti vode na $t = 20\text{ }^\circ C$ iznosi $E = 2,1 \cdot 10^9 Pa$, što ukazuje da su potrebne enormne promene pritiska da bi se izazvale male promene zapremine.

Veza između pritiska i gustine fluida proizilazi iz postulata o nepromenljivosti mase fluida:

$$m = \rho \cdot V = \text{const.}$$

Diferenciranjem izraza za masu fluida dobija se

$$d\rho \cdot V + dV \cdot \rho = 0$$

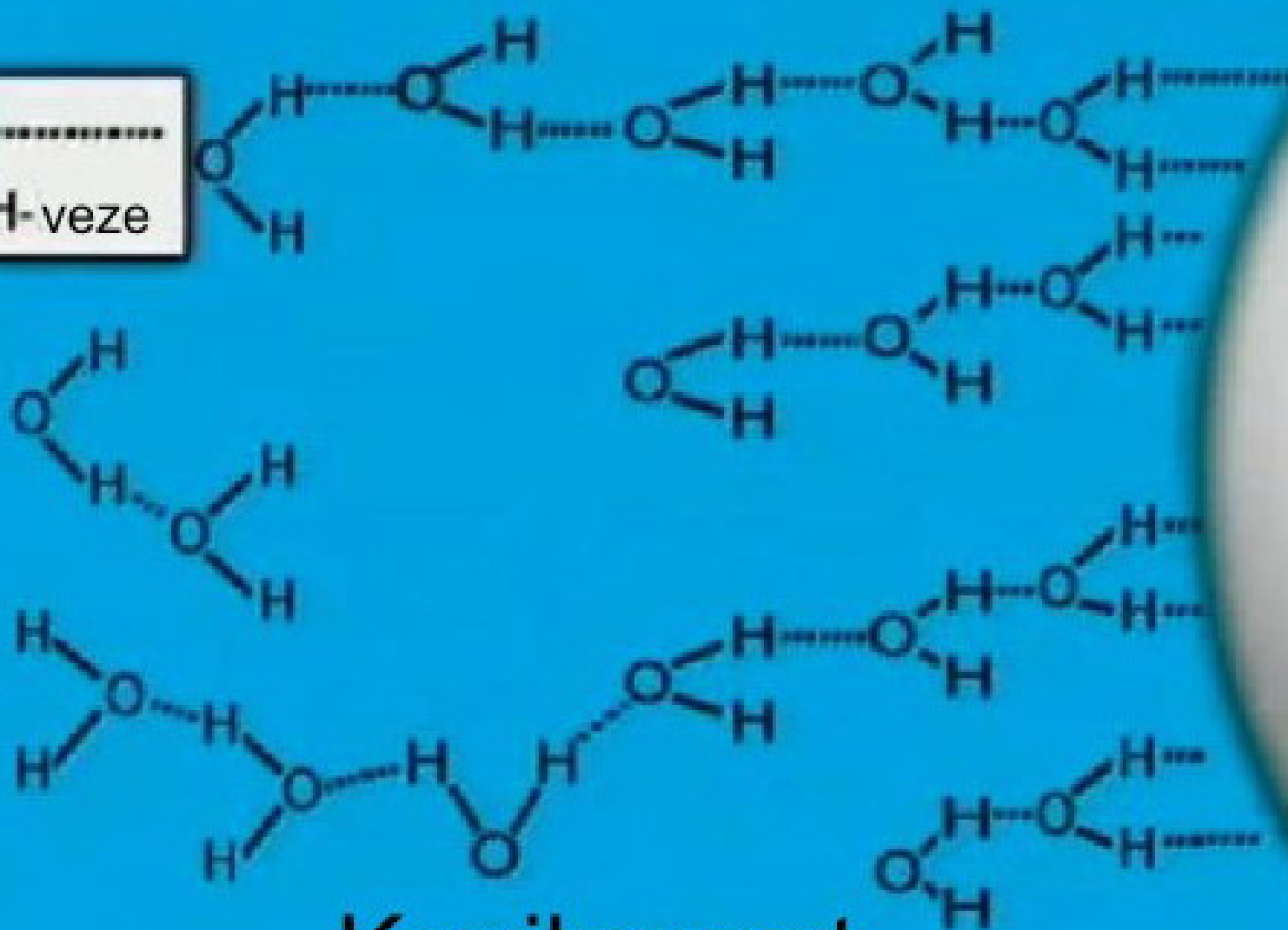
odnosno
$$\frac{dV}{V} = -\frac{d\rho}{\rho}$$

s obzirom da stišljivost
$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{1}{E} \cdot \Delta p$$

prelazi u oblik
$$\frac{dV}{V} = -\frac{1}{E} \cdot dp$$

konačan oblik veze između pritiska i gustine tečnosti ima oblik
$$dp = E \cdot \frac{d\rho}{\rho}$$

.....
H-veze



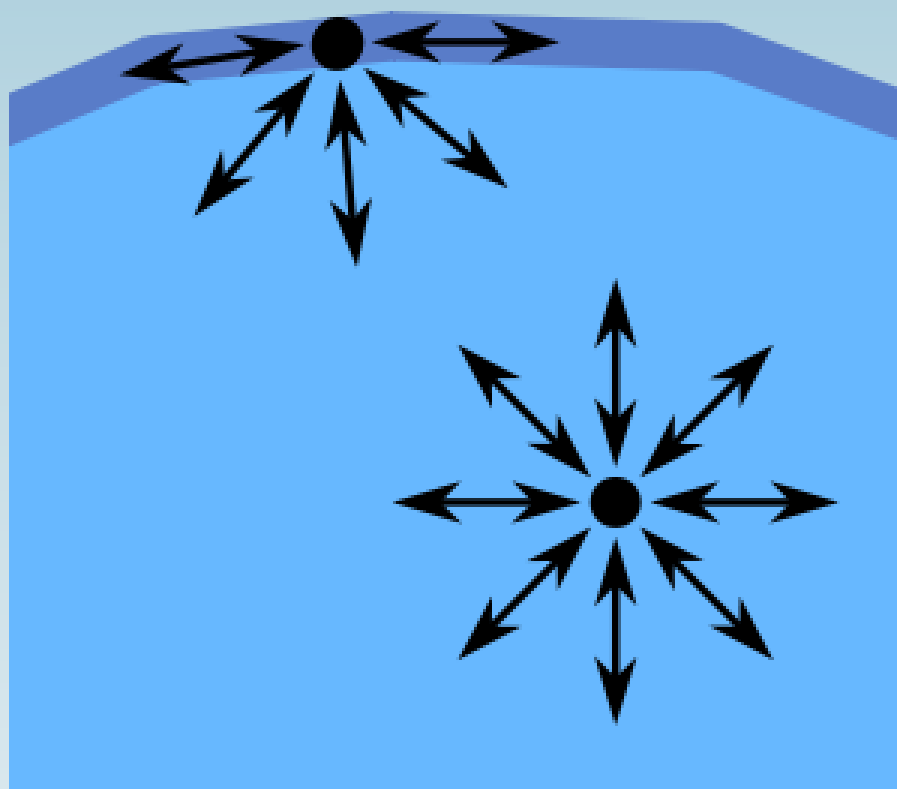
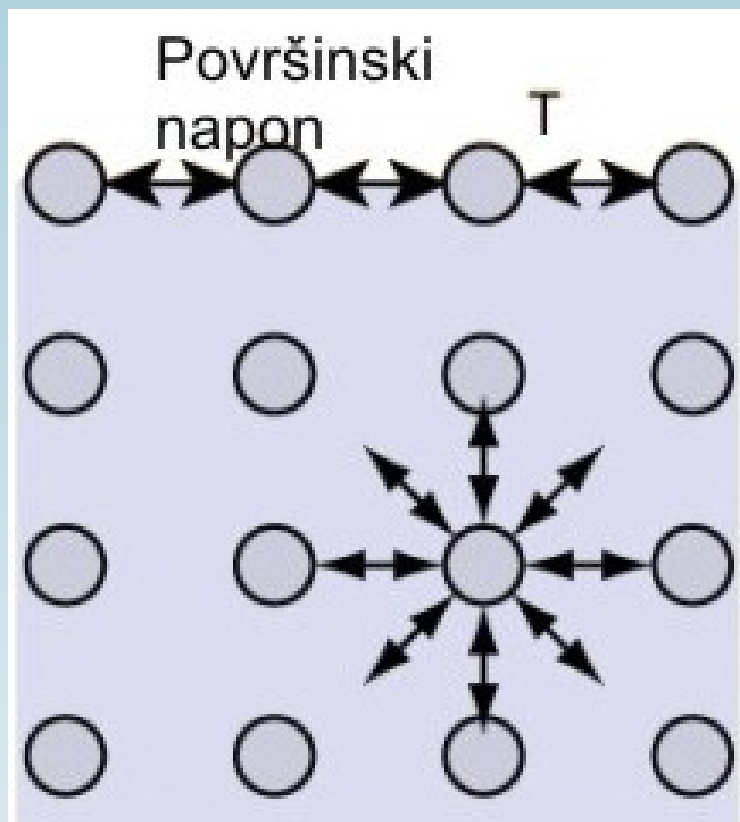
Kapilarnost
Površinski napon

Površinski napon

- Površinski napon je osobina površine tečnosti da se suprotstavi delovanju spoljašnjih sila. Povećanje međumolekularnih sila na površini tečnosti predstavlja površinski napon.
- Neki objekti mogu da plutaju na površini vode, čak iako imaju veću gustinu od vode. Neki insekti, na primer, mogu da trče po površini vode.



Uzrok ove pojave je **kohezija** između sličnih molekula, odnosno molekula vode



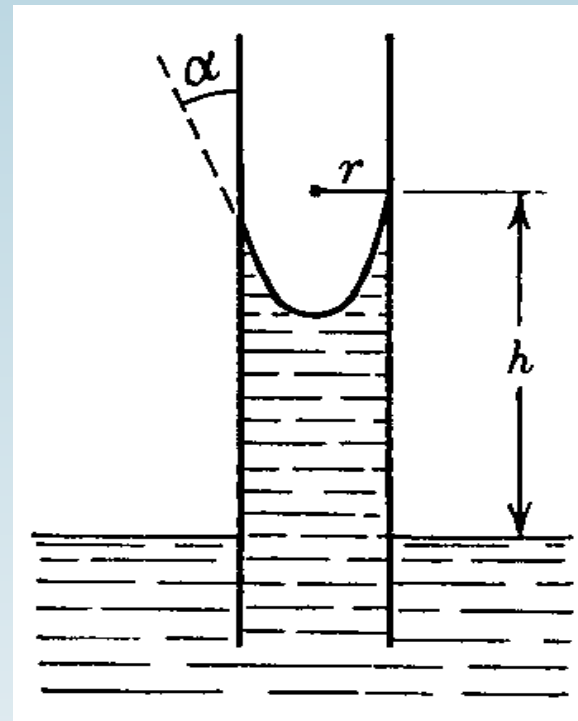
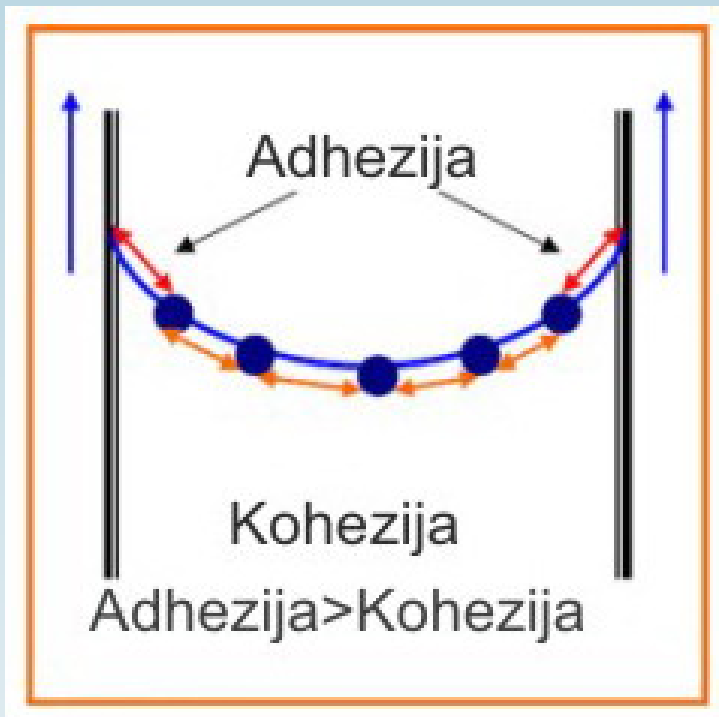
Kapi tečnosti su sfernog oblika zahvaljujući pojavi površinskog napona



Kapilarno izdizanje tečnosti

- Do kapilarnog izdizanja tečnosti dolazi usled uspostavljanja sila privlačenja između molekula vode i čestica zemljišta.
- Uzrok kapilarnog izdizanja tečnosti su sile **adhezije**.
- Do kapilarnog izdizanja tečnosti dolazi kada su sile adhezije između zidova kapilarnih cevčica i tečnosti veće od sila kohezije između susednih molekula.
- Biljke u zemljištu koriste prednosti kapilarnog podizanja kako bi mogle da koriste vodu iz zemljišta.

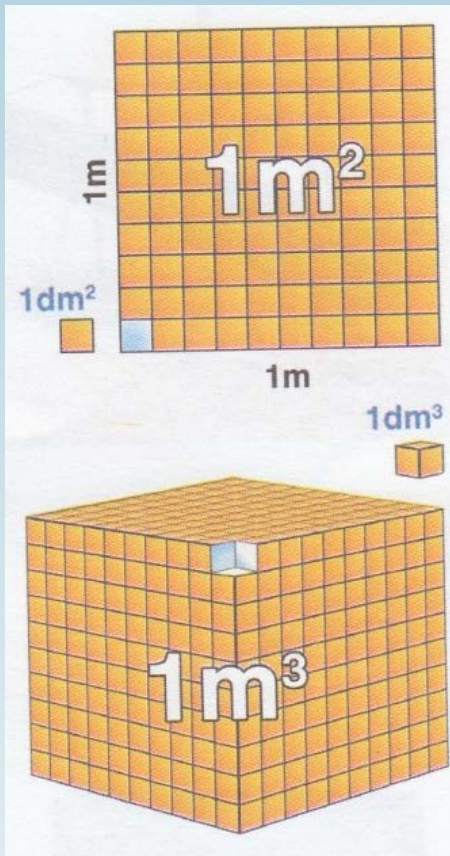
- U kapilarnim porama i šuplinama zadržava se voda i penje pod dejstvom adhezione sile. U isto vreme koheziona sila između molekula vode pomaže izdizanje jednog dela vode koji se nalazi dalje od zidova pora i čestica, dokle ne dopire dejstvo adhezione sile. Kapilarne vode postoje u nadizdanskoj zoni, gde se obrazuje kapilarni pojas.




- Kapilarne sile su najveće u najsitnijim kapilarima. Oni se najpre pune vodom, a najteže se prazne. Posle se pune vodom širi kapilari.
- Različite vrste zemljišta, različitog teksturnog sastava, razlikuju se u pogledu mogućnosti zadržavanja vode.

Veličine i dimenzionalni sistem.

Jedinice mere



- 
- Fizičke veličine koje se pojavljuju u Mehanici, Mehanici fluida i Hidraulici mogu se podeliti na

osnovne i

izvedene veličine.

- U mehanici se izučavaju zakonitosti kretanja **materijalnih tela kroz prostor i vreme**, zbog čega za osnovne veličine u mehanici su usvojene *dužina, vreme i masa*.

- Dimenzionalne oznake za osnovne veličine su:

dužina: $[L]$

vreme: $[T]$

masa: $[M]$



- *Masa* [\mathcal{M}] predstavlja fizičku veličinu koja izražava protivljenje promeni pri kretanju nekog materijalnog tela.
- Da bi se opisalo kretanje materijalnog tela kroz prostor potrebno je poznavati geometrijske karakteristike prostornih elemenata (dužine, površine, zapremine, uglovi, itd.) Ako se kao osnovna veličina usvoji *dužina* (L) onda sve ostale geometrijske veličine predstavljaju izvedene veličine od dužine (L), pa površina ima dimenziju L^2 , zapremina L^3 a ugao L^0 .
- Kako se pri kretanju materijalnog tela kroz prostor mora utvrditi i vreme za koje nastala promena pri kretanju tela, za treću osnovnu veličinu u Mehanici usvojeno je *vreme* (\mathcal{T}).

- Sve ostale veličine u Mehanici predstavljaju izvedene veličine i mogu se izraziti preko osnovnih veličina. Tako se npr. *brzina* u dimenzionalnom obliku izražava kao odnos dimenzija dužine i vremena

$$v = L \cdot T^{-1}$$

- dimenzionalni oblik *ubrzanja* predstavlja odnos dimenzija brzine i vremena

$$a = L \cdot T^{-2}$$

- Dimenzija *sile* proizilazi iz drugog Njutnovog zakona kretanja koji u dimenzionalnom obliku glasi

$$F = M \cdot L \cdot T^{-2}$$



- Kako se u Fizici, pod pojmom *veličina* podrazumeva ono što se *može meriti*, neophodno je definisati i merne jedinice za sve fizičke veličine.
- Međunarodni sistem jedinica (Système International d'Unités), poznat kao SI sistem, definiše *jedinice mere* za sve veličine koje se koriste u Fizici.
- U SI sistemu *jedinica mere* za masu je kilogram (kg), za dužinu metar (m) a za vreme sekunda (s).
- *Jedinica za silu* ima *oznaku* njutn (N) i predstavlja silu koja ubrzava masu od $1kg$ ubrzanjem od $1m/s^2$.

Osnovne veličine:

veličina	oznaka	dimenzija	jedinica	oznaka jedinice
dužina	l	L	metar	m
vreme	t	T	sekunda	s
masa	m	M	kilogram	kg

Neke izvedene veličine koje se najčešće koriste u Hidraulici

površina		A	L^2	m^2
zapremina		V	L^3	m^3
brzina		v	$L \cdot T^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$
ubrzanje		a, g	$L \cdot T^{-2}$	$m \cdot s^{-2}$
sila	$F = m \cdot a$	F	$M \cdot L \cdot T^{-2}$	N ($kg \cdot m \cdot s^{-2}$)
gustina	$\rho = \frac{m}{V}$	ρ	$M \cdot L^{-3}$	$kg \cdot m^{-3}$
specifična težina	$\gamma = \frac{G}{V}$ $p = \frac{F}{A}$ $Q = V/t$	γ	$M \cdot L^{-2} \cdot T^{-2}$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-2}$ ($N \cdot m^{-3}$)
napon, pritisak		σ, p	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$	Pa ($N \cdot m^{-2}$)
proticaj		Q	$L^3 \cdot T^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$

Veličine mogu biti *skalarne, vektorske ili tenzorske*.

Skalar je veličina nultog reda, određen sa $3^0=1$ podatkom i piše se obično oznakom bez indeksa.

Npr: gustina tečnosti, ρ , pritisak, p , nekog delića tečnosti.

Skalarna veličina se može menjati po prostoru od tačke do tačke, ali je u svakoj tački određena samo jednim podatkom.

Promena skalarne veličine po prostoru definiše se gradijentom skalara f_i koji predstavlja vektorsku veličinu i ima tri komponente:

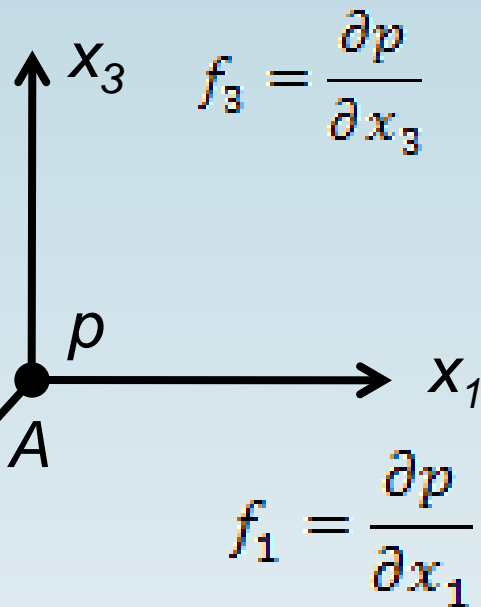
$$f_i = \frac{\partial p}{\partial x_i}$$

gde je $i=1,2$ ili 3 , tj. pravac i je bilo koji od tri koordinatna pravca.

Pritisak u tački A , p , ima gradijente

$$f_2 = \frac{\partial p}{\partial x_2}$$

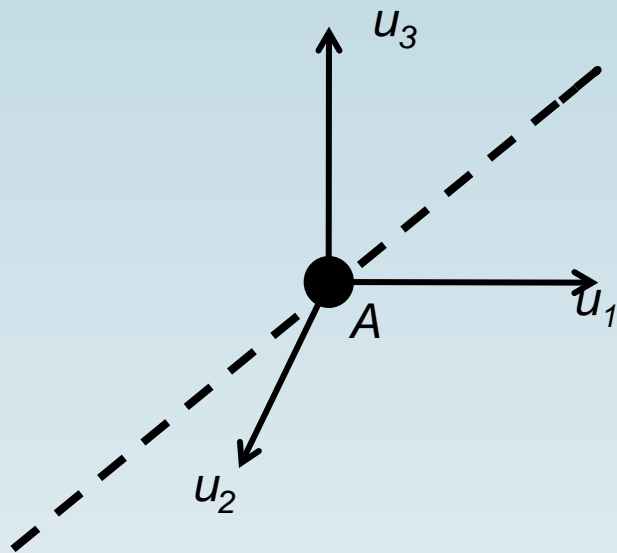
$$f_1 = \frac{\partial p}{\partial x_1}$$



Vektor je veličina "prvog reda", određen sa $3^1=3$ podatka i uz oznaku ima jedan indeks.

Npr. brzina nekog delića vode određena je sa tri podatka: u_1, u_2, u_3 (to su komponente brzine u pravcima x_1, x_2, x_3).

Takođe i sila na neku masu mora da se odredi sa tri komponente F_1, F_2, F_3 .



Brzina u tački A određuje se sa tri komponente jer je brzina vektorska veličina.

Ima veličina za koje nisu dovoljna ni tri podatka. Takav je npr. *napon*, odnosno *sila po jedinici površine*, i on predstavlja tenzorsku veličinu.

Tenzor je veličina drugog reda i određen je sa $3^2=9$ podatka i uz oznaku ima dva indeksa.

Npr. napon se uopšteno može napisati kao

σ_{ij} = napon za ravan normalnu na pravac „ *i* “ a deluje u pravcu „ *j* “.

Kod napona svaki indeks može da ima vrednost 1, 2, 3 pa izraz σ_{ij} predstavlja zajednički izraz za 9 podataka.

$$\text{tenzor napona} = \begin{matrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{matrix}$$

FIZIČKA VELIČINA

npr: (sila)

ima svoju oznaku
(F)

ima svoju merljivu
vrednost

izražavanje rezultata merenja zahteva ustanovljenje **1. dimenzionalnog sistema** i
2. jedinica mere

1 izabran je SI
(međunarodni
sistem jedinica)

OSNOVNE VELIČINE

masa
dužina
vreme

njihove dimenzionalne oznake su

M
L
T

SVE OSTALE VELIČINE SU
IZVEDENE IZ OSNOVNIH

(sila)

MLT^{-2}

2 ZA masu
dužinu
vreme

USVOJENE
JEDINICE
MERE SU

kilogram
metar
sekunda

NJIHOVE
OZNAKE
JEDINICE
MERE SU

kg
m
s

MERNI
BROJ
JE

npr
1
1
1

silu

Njutn
(Newton)

$N=kg \cdot m/s^2$