

# OSNOVI HIDROTEHNIKE

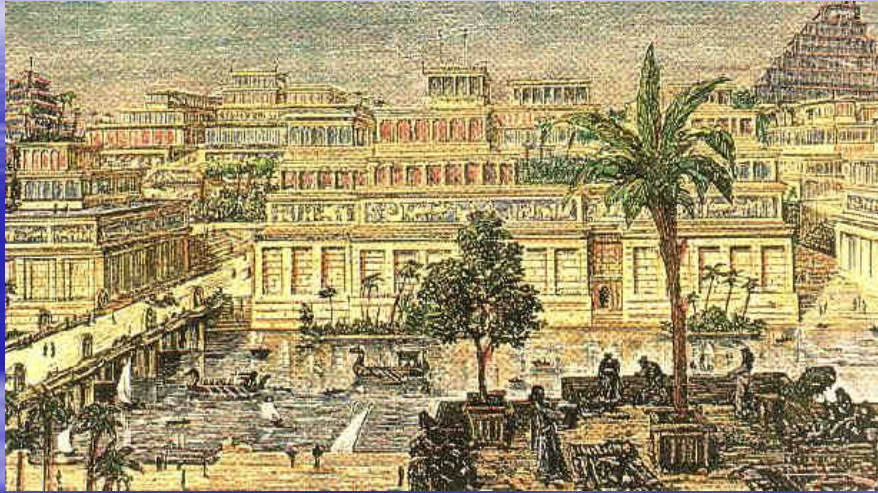
- Godina studija:  
Druga, IV semestar
- Fond časova:  
3 čas predavanja, 2 čas vježbi
- Predava :  
dr Goran Sekuli
- asistent: Ivana Šiprani , dipl.ing.građ.

## Hidrotehnika

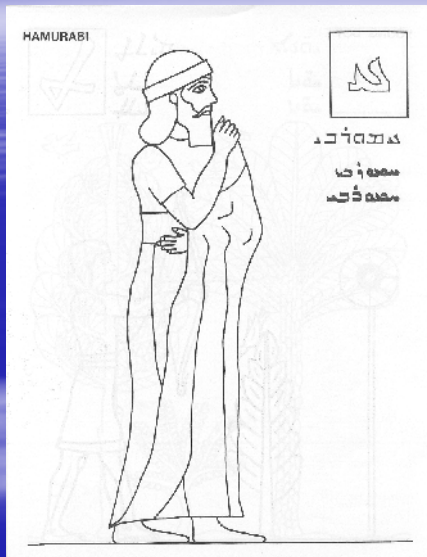


- Voda je osnov svakog života i stoga predstavlja veoma važan resurs
- Inženjeri za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo bave se problemima vezanim za kvalitet i kvantitet voda, tj.
  - vodosnadbavanjem naselja,
  - zaštitom od poplava,
  - navodnjavanjem,
  - odvođenjem otpadnih voda,
  - regulacijom reka,
  - projektovanjem brana, kanala, cevovoda, crpnih postrojenja i sl.

## Kratka istorija

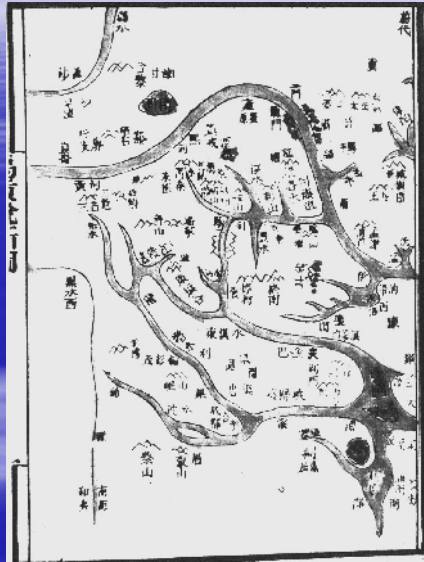


Vavilon: sistem za navodnjavanje, "zakon o vodama!"

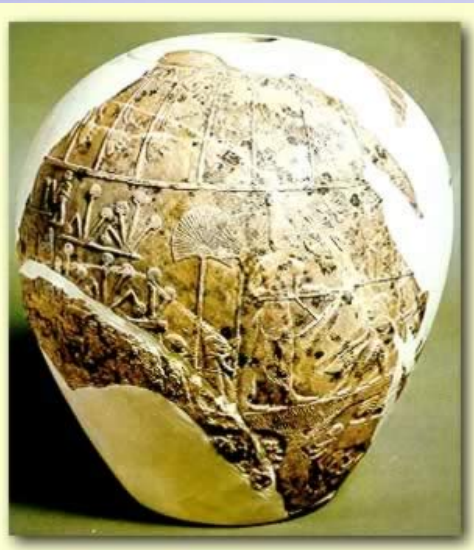


Hamurabi-jev zakonik 18 vijek  
pr.n.e:

dio 55: Ako neko otvori svoje  
ustave da navodni svoje useve,  
ali je nepažljiv i voda poplavi  
polje njegovog suseda, mora  
susedu nadoknaditi gubitak  
svojim žitom.



navodnjavanje, gradnja brana i ostale tehnike navodnjavanja bile su poznate i u staroj Kini.



rani Egipat, 3000 g.pr.n.e:  
žezlo kralja Škorpion-a:

kralj ritualno otvara sistem za navodnjavanje!



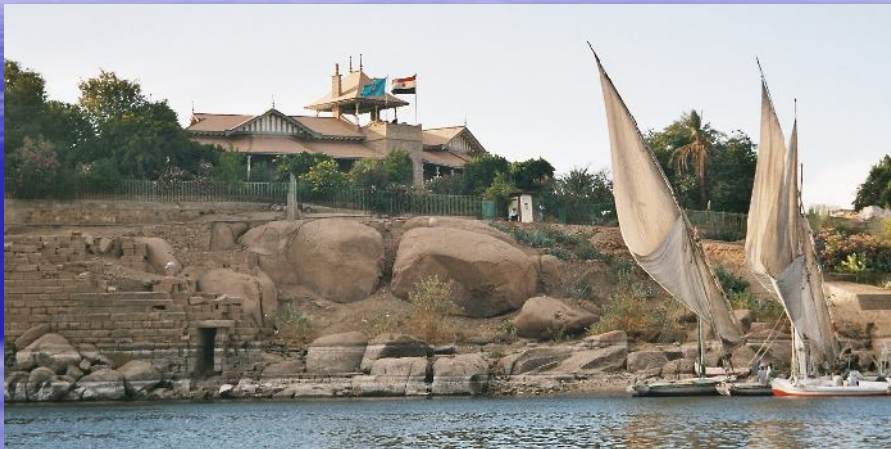


rani Egipat, doba faraona:

navodnjavanje = preživljavanje!

**Nilometar kod Elefantin-a**

i danas se može rekonstruirati  
vodostaj Nila kroz Egipatsku  
istoriju!

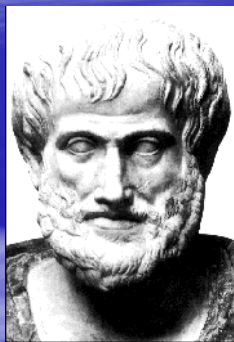


**Nilometar kod Elefantin-a (pogled sa Nila)**



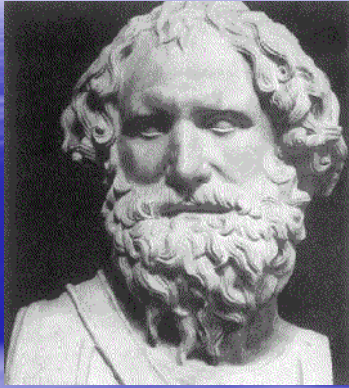
Inke: Machu-pichu je izdržao 4 vijeka bez održavanja drenaža  
(2000 mm godišnjih padavina!)

Početak Hidraulike kao nauke veže se za staru Grčku:



Aristotel (384-322 pr.n.e.):

4 elementa + "strah" prirode od praznine  
preko crkve njegovo učenje zadržalo se u  
Evropi do renesanse!



Arhimed (286-212 pr.n.e.):  
prvi pravi hidrauli ar!

Arhimedov zakon (uzgon), specifi na  
težina i dr.



Arapi su sistematski  
prevodili gr ka djela,  
a evropljani su u  
starom vijeku  
prevodili sa  
arapskog...

do renesanse je  
crkvena dogma  
spre avala napredak

Euklid i Herman Dalmatin (ca 1110-1160) -prevodilac sa arapskog!

## Leonardo da Vinci (Italija 1452-1519)



direktno proučavanje prirode - mlazovi, talasi, vrtlozi, let ptica...  
princip kontinuiteta

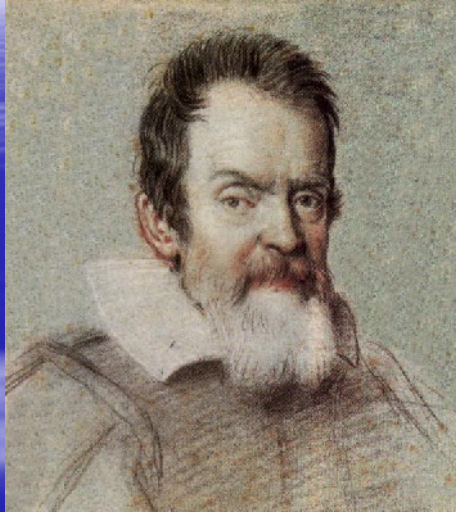
## Simon Stevin (HOLANDIJA 1548-1620)



pritisak = težina stupca iznad

hidrostatički paradoks

Galileo Galilei (Italija 1564-1620)



eksperiment = osnova nauke

studenti:

Abbe Benedetto Castelli  
(princip kontinuiteta ponovno)

Evangelista Torricelli  
(geometrija mlazova,  
barometar)

Edme Mariotte (Francuska 1620-1684) i

Robert Boyle (Engleska 1627-1691)

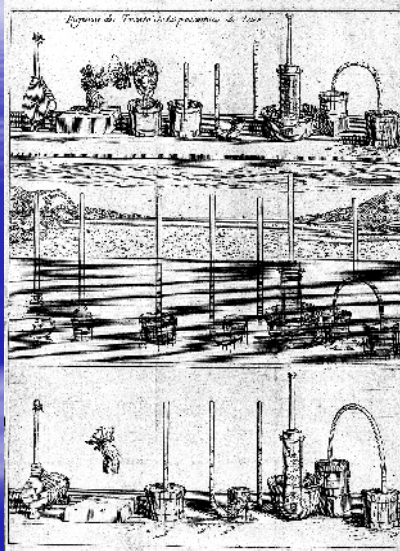


Boyle-Mariott-ov zakon:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (T = \text{konst.})$$



## Blaise Pascal (Francuska 1623-1662)



Pascal-ov zakon

kompletirao osnovne principe  
hidraulike

## Gottfried W. Leibnitz (Njemačka 1646-1716) i

## Isaac Newton (Engleska 1642-1727)



diferencijalni račun

+

Newton-ovi aksiomi

=

alat potreban za teretsku  
mehaniku fluida!



Johan Bernoulli (Švicarska 1667-1748)



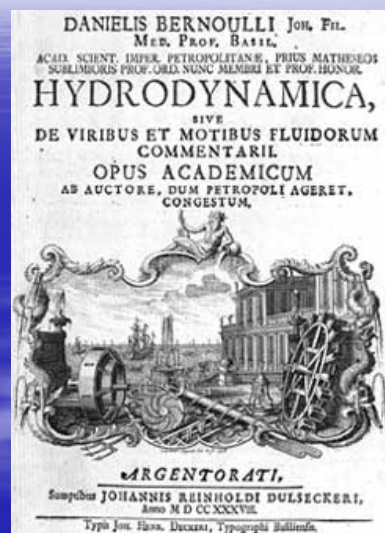
osnove matemati ke teorije hidraulike

Daniel Bernoulli (Švicarska 1700-1782) i

Leonhard Euler (1707-1783)



daljnji razvoj matemati ke teorije...



nakon toga po inje nagli razvoj mehanike fluida...



## FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

▀ **GUSTINA:** masa materije sadržana u jedinici zapremine.

✦ Srednja gustina:

$$\rho_{sr} = \frac{m}{V}$$

✦ Gustina fluida u ta ki:

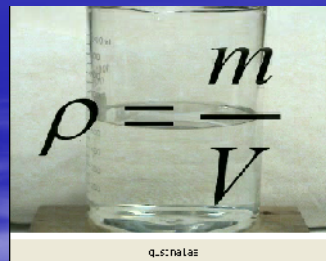
$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}$$

✦ Dimenzija:

$$[\rho] = ML^{-3}$$

✦ Jedinica:

$$\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$



# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

✚ SPECIFI NA TEŽINA: težina u jedinici zapremine.

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

✚ Veza između gustoće i specifične težine:

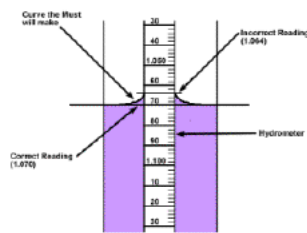
$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

✘ Dimenzija:

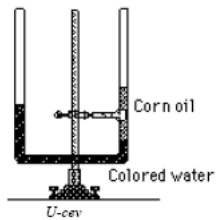
$$[\gamma] = ML^{-2}T^{-2}$$

✘ Jedinica:

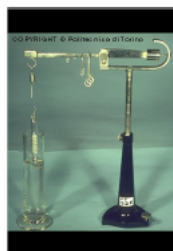
$$\left[ \frac{N}{m^3} \right]$$



Hidrometar



U-cev




Vestfalova (Westphal) vaga

Merenje gustoće fluida može se obaviti na različite načine:

- merenjem mase poznate zapremine (piknometri)
- hidrostatičkim merenjima (Vestfalova vaga i sl)
- pomoću U-cevi,
- hidrometrom i dr.

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

FLUID	$\gamma$ [Nm <sup>3</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
 VODA	9796.84	999
 ŽIVA	133321.4	13595
 VAZDUH	12.07	1.225

*Vrednosti gustina i specifi nih težina nekih fluida na temperaturi 15°C*

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

ZAPREMSKE SILE

**SILE KOJE  
DELUJU NA  
FLUID**

POVRŠINSKE SILE

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

## ZAPREMINSKE SILE

Sile koje nastaju kao posledica promene brzine fluida, odnosno ubrzanja fluida, inercijalne sile, težina. To su sile koje deluju na svaki deli fluida u datoj zapremini.

- ♦ Zapreminska sila po jedinici mase:

$$\bar{F} = \frac{dF}{dm} = \frac{dF}{\rho dV} \Rightarrow dF = \bar{F} dm = \bar{F} \rho dV$$

× Dimenzija:

$$[\bar{F}] = LT^{-2}$$

× Jedinica:

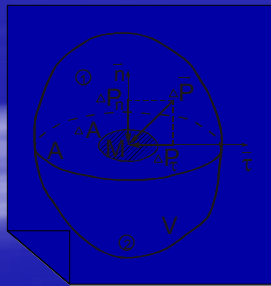
$$\left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

## MEHANIKA FLUIDA

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

## POVRŠINSKE SILE

Sile koje deluju po površini fluida, a koje nastaju kao rezultat međusobnog delovanja fluidnih deli. One se javljaju na površini koja razdvaja masu fluida od neke druge materije – realne površine, ali i na zamišljenoj površini u okviru mase fluida.



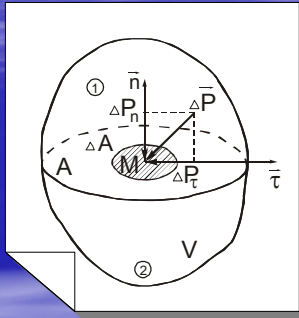
$\Delta P_n$  - Elementarna sila pritiska

$\Delta P_\tau$  - Elementarna sila smicanja

dr Gordana Kastratovi

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

## POVRŠINSKE SILE



• Pritisak:

$$\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P_n}{\Delta A} = p$$

• Smi u i napon:

$$\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P_\tau}{\Delta A} = \tau$$

× Dimenzija:

$$[p] = ML^{-1}T^{-2}$$

× Jedinica:

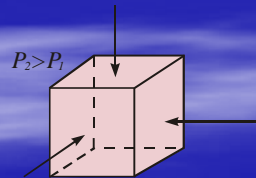
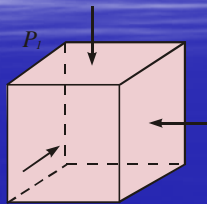
$$\left[ \frac{N}{m^2} \right] = [Pa]$$

Elementarna sila pritiska u vektorskom obliku:

$$d\vec{P} = -pd\vec{A}$$

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

▮ **STIŠLJIVOST:** osobina materije da menja svoju zapreminu pod dejstvom normalnih površinskih sila.



• Koeffcijent zapreminske stišljivosti - relativna promena zapremine fluida nastala pod dejstvom jedini ne promene pritiska:

$$s = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp}$$

× Dimenzija:

$$[s] = M^{-1}LT^2$$

× Jedinica:

$$\left[ \frac{m^2}{N} \right]$$

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

- Modul stišljivosti – recipro na vrednost koeficijenta zapremine stišljivosti:

$$\varepsilon = \frac{1}{s}$$

Te nost teško menja zapreminu pod dejtvom površinskih sila – nestišljiv fluid.

Gas veoma lako menja svoju zapreminu pod dejtvom površinskih sila – stišljiv fluid.

Me utim, postoje pojave kada se te nosti ne mogu smatrati nestišljivim.

Isto tako u nekim slu ajevima se gasovi mogu smatrati nestišljivim.

Kada se fluid može smatrati stišljivim?

Kada je koeficijent stišljivosti 0 (promena zapremine je 0), a modul stišljivosti beskona an.

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

Brzina zvuka se može upotrebiti za konkretnije definisanje stišljivosti materije. Kvadrat brzine zvuka je:

$$c^2 = \frac{dp}{d\rho}$$

Modul stišljivosti se može napisati i kao:

$$\varepsilon = \rho \frac{dp}{d\rho}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \rho \cdot c^2$$

**SVE MATERIJE SU STIŠLJIVE!**

Bez obzira koliko bila velika brzina zvuka kroz neku materiju (za elik je brzina zvuka 5050m/s), ona ipak nije beskona no velika.



# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

Mahov broj-odnos brzine kojom se fluid kreće i brzine zvuka kroz fluid:

$$M = \frac{v}{c}$$

Jedan od kriterijuma - Prag stišljivosti:

$$M < 0.3 \quad \text{NESTIŠLJIV FLUID (tekućina i gas)}$$

Kretanje stišljivog i nestišljivog fluida se opisuju različitim jednačinama.

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

✚ TEMPERATURNNO ŠIRENJE: promena zapremine usled promene temperature.

✚ Koficijent temperaturnog širenja - relativna promena zapremine fluida nastala usled porasta temperature za 1°C:

$$\beta_t = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

✘ Jedinica:

$$\left[ \frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$

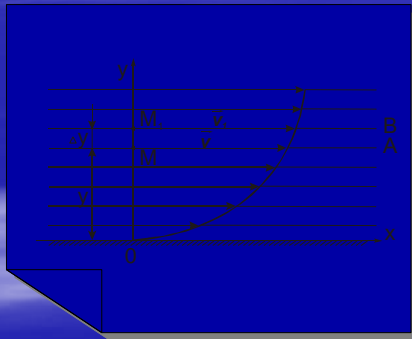
✚ U slučaju nestišljivih fluida ovaj koficijent ima je jako mali (za vodu na normalnoj temperaturi i pritisku iznosi 0.00015):

✚ U slučaju stišljivih fluida koristi se opšta jednačina stanja za idealni gas:

$$p = \rho RT$$

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

- **VISKOZNOST:** osobina fluida da poseduje unutrašnje trenje, kao posledica otpora tangencijalnim silama smicanja koje se javljaju pri kretanju fluida.



Veza između smičnog napona i deformacije:

$$\tau = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

U slučaju beskonačno bliskih slojeva:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dy}$$

Koeficijent dinamičke viskoznosti

dr Gordana Kastratović

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

- **Koeficijent dinamičke viskoznosti:**

× Dimenzija:

$$[\eta] = ML^{-1}T^{-1}$$

× Jedinica:

$$\left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$$

- **Koeficijent kinematske viskoznosti:**

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

× Dimenzija:

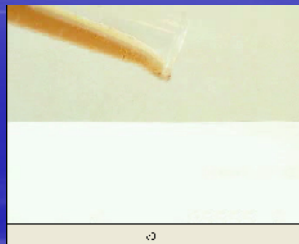
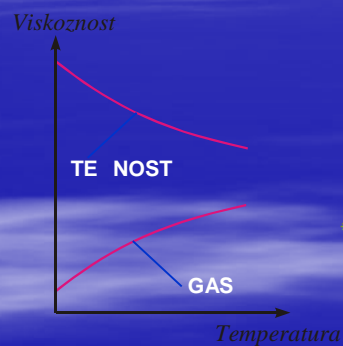
$$[\nu] = L^2T^{-1}$$

× Jedinica:

$$\left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

- Uticaj temperature na viskoznost:



- Pritisak uti e na koeficijent kinematske viskoznosti.

Sa pove anjem pritiska viskoznost vode se smanjuje, a kod ostalih te nosti sa pove anjem pritiska viskoznost se pove ava.



Razni tipovi viskozimetara (a – Englerov viskometar, b – kapilarni viskometri, c- maseni viskometar, d - torzioni viskometar(princip i foto), e – reometar)

# FIZIČKA SVOJSTVA FLUIDA

- **NEPREKIDNOST:** fluid potpuno ispunjen materijom. Ova idealizacija omogućava da se svojstva fluida posmatraju kao neprekidne promenljive veličine. Ova idealizacija važi sve dok je veličina sistema koji se analizira znatno veća od rastojenja između delova sistema.
- **IDEALAN FLUID:** apsolutna pokretljivost oslobođena viskoznosti.
- **REALAN FLUID:** glavna osobina trenje između delova, odnosno viskoznost.

## OSTALA SVOJSTVA FLUIDA

**POVRŠINSKI NAPON** nastaje usled neravnomernih sila privlačenja između molekula na granici površini fluida. Ako se posmatra prvi sloj molekula tečnosti u slobodnoj površini, analizom privlačnih sila dolazi se do zaključka da njihova rezultanta deluje naniže. Ova pojava prouzrokuje veoma visoki lokalni napon, koji se naziva površinski napon.

**KAPILARNOST** je direktna posledica površinskog napona. U zavisnosti od vrste površine tečnost može da se "izdiže" ili "spušta" ako se nalazi uz neku vrstu vertikalnu površinu. Koji od ova dva slučaja se desiti zavisi od osobine fluida i osobina vrste površine. Ova pojava mora biti uzeta u obzir u slučajevima zaronjenih cevi malog prečnika, jer ono što se vidi kao pojava u tim slučajevima ne odgovara zakonima statike fluida, koja ovu pojavu zanemaruje.

**KAVITACIJA** je posledica dostizanja ravnotežnih pritisaka ili temperatura promene faze. Ova pojava je posledica termodinamičkih svojstava tečnosti. Ako se pritisak u struji tečnosti snizi do ravnotežnog nastaju mehuri zbog isparavanja tečnosti. Nepoznavanje ove pojave može dovesti do ozbiljnih erozija i havarija hidrauličnih mašina, jer sa kolapsiranjem mehurova (kondenzacijom pare u mehuru) sitne kapljice velikom brzinom udaraju u vrste površine mašine i oštećuju ih. S druge strane, pojava mehurova može izazvati prekid strujanja tečnosti kroz mašinu.