

# KURS ZA ENERGETSKI AUDIT 1.1

## TEORIJSKE OSNOVE

Pripremio: Dr Nenad Kažić

# Osnovni pojmovi

- Sistemi mjera i jedinice

***ISM*** - INTERNACIONALNI SISTEM MJERA

***ASM*** - ANGLOSAKSONSKI SISTEM MJERA

# ISM

# ASM



**DUŽINA**

Metar - m

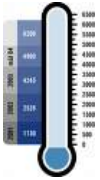
fit – ft = 0.304 m



**MASA**

Kilogram - kg

Libra mase – lb = 0.454 kg



**TEMPERATURA**

Celzijus - C  
Kelvin - K

Farenhajt – F = 5/9 C  
Rankin - R

$$t\ C = (t\ F - 32) \cdot 5/9$$



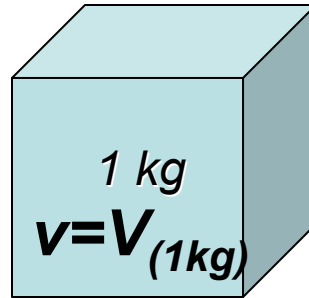
**VRIJEME**

Sekunda - s

Sekunda - s

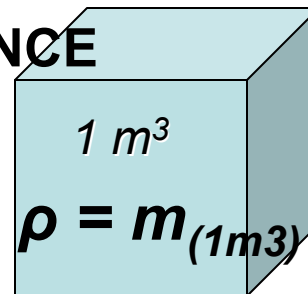
# ISM

**SPECIFIČNA ZAPREMINA  $v$  [ $m^3/kg$ ]**  
JE ZAPREMINA **1 kg** SUPSTANCE.

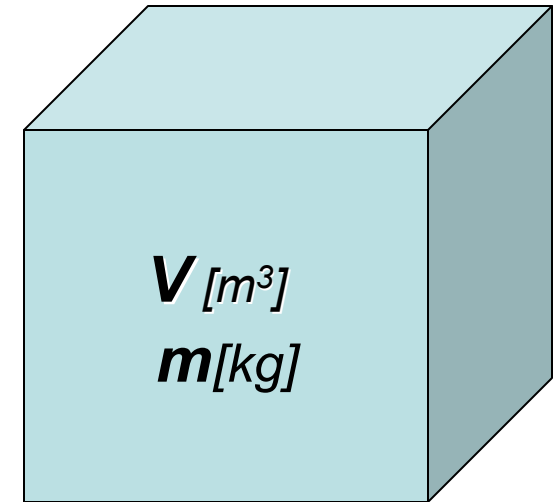


**GUSTINA  $\rho$  [ $kg/m^3$ ]**

JE MASA **1  $m^3$**  SUPSTANCE



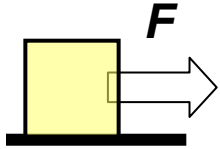
$$v = V/m \text{ [m}^3/\text{kg]}$$



$$\rho = m/V \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

# ISM

**SILA=MASA\*UBRZANJE**



$$F[N]=ma$$

$$N \text{ (Njutn)}=kg*m/s^2$$

$a [m/s^2]$  - ubrzanje

**PRITISAK=SILA/POVRŠINA**



$$p [Pa]=F/A$$

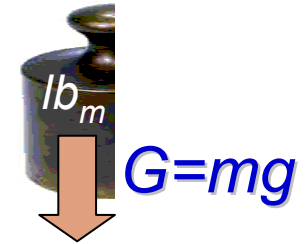
$$Pa \text{ (Paskal)}=1N / 1 m^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 Pa$$

# ASM

Libra Sile (Libre Force)

$$lb_F = mg = 0.454 * 9.81 = 4.45 N$$



PSI – Pound\_Square\_Inch=

$$= 1 lb_F / 1 sq in, sq in = in^2$$

$$= 4.45 / 0.0254^2 = 6897 Pa$$

$$\text{RAD [J]} = \text{SILA [N]} * \text{POMJERANJE [m]}$$

$$\text{RAD [J]} = \text{SNAGA [W]} * \text{VRIJEME [s]}$$

$$\text{TOPLOTA [J]} = \text{TOPLOTNI FLUKS [W]} * \text{VRIJEME [s]}$$

$$\text{SNAGA [W]} = \text{RAD [J]} / \text{VRIJEME [s]}$$

$$\text{TOPLOTNI FLUKS [W]} = \text{TOPLOTA [J]} / \text{VRIJEME [s]}$$

# ISM

Rad, Toplota [J, kJ, Wh, kWh]

Snaga  $P$  [W]=Rad/Vrijeme

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

Fluks  $\dot{Q}$  [W]=Toplota/Vrijeme

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

# ASM

Toplota:

**Britanska Toplotna jedinica [BTU]:**

**British Thermal Unit**

Toplota potrebna da se 1 lb<sub>m</sub> vode zagrije za 1 F.

$$1 \text{ BTU} \approx mc_w \Delta t \\ = 0.454 * 4180 * 5/9$$

$$1 \text{ BTU} \approx 1055 \text{ J}$$

Toplotni Fluks [BTU/h]

$$1 \text{ BTU/h} \approx 1055/3600 \text{ W} = 0.293 \text{ W}$$

Snaga [HP]

1 HP – Konjska snaga

$$1 \text{ HP} = 75 * 9.81 = 736 \text{ W}$$

	kcal	kJ	kWh
1 kcal =	1	4,1868	$1,163 \cdot 10^{-3}$
1 kJ =	0,2388	1	$2,7778 \cdot 10^{-4}$
1 kWh =	859,845	3 600	1

prefiks		
k	kilo	$10^3$
M	mega	$10^6$
G	giga	$10^9$
T	tera	$10^{12}$
P	peta	$10^{15}$
E	eksa	$10^{18}$



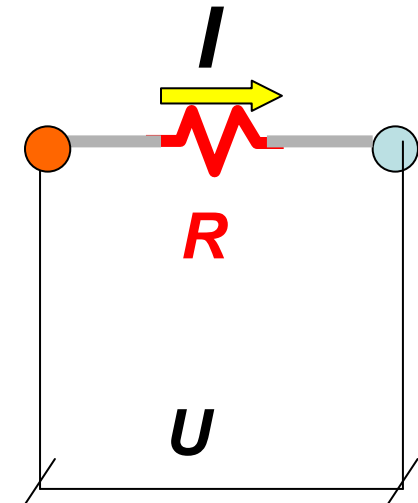
# ELEKTRIČNA STRUJA

***I***      **J A Č I N A S T R U J E**      ***A* (Amper)**

***U***      **N A P O N**      ***V* (Volt)**

***R***      **O T P O R**      ***Ω* (Om)**

***P***      **S N A G A =  $U I$**       ***W* (Wat)**



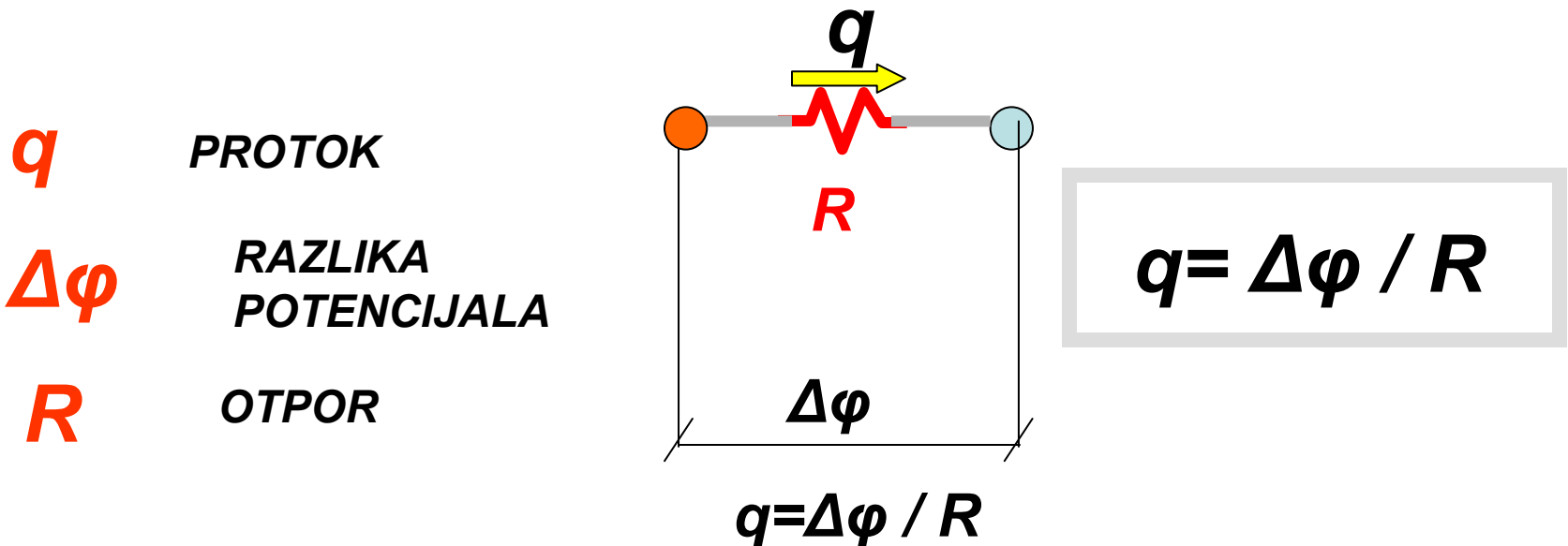
$$I = U / R$$

**OMOV ZAKON**

$$I = U / R$$

# ELEKTRIČNA ANALOGIJA

Mnogi fenomeni u prirodi se ponašaju analogno električnoj struji, odnosno mogu se okarakterisati “Generalizovanim Omovim Zakonom”.



## GENERALIZOVANI OMOV ZAKON

“PROTOK NEKE VELIČINE IZAZIVA RAZLIKA POTENCIJALA (POKRETAČKA SILA) A PROTIVI MU SE OTPOR”

# Primjer

Koliko energije ( $E_{el}$ ) sadrži napunjen olovni akumulator u automobilu kapaciteta  $50 Ah$  (napon  $12 V$ ,  $m = 20 kg$ )?



$$E_{el} = P[W] * T[h] = (U * I) * T = U * (I * T) = 12 * 50 = 600 Wh, (VAh)$$
$$e = 600 / 20 = 30 Wh/kg = 0.033 kWh/kg$$

(Litijum-jonske  $e = 120 Wh/kg$ , skuplje 10 puta)

Sa druge strane  $1 kg$  goriva sadrži oko  $40 MJ \approx 40 \cdot 10^6 / 3.6 \cdot 10^6 \approx 11 kWh$ .

Na točkove automobila (dizel), od toga dodje oko 30%, dakle oko  $3 kWh$ .

Dakle  $20 kg$  olovnog akumulatora sadrži  $0.66 kWh$  električne (mehaničke) energije, a  $1kg$  goriva  $3 kWh$ .

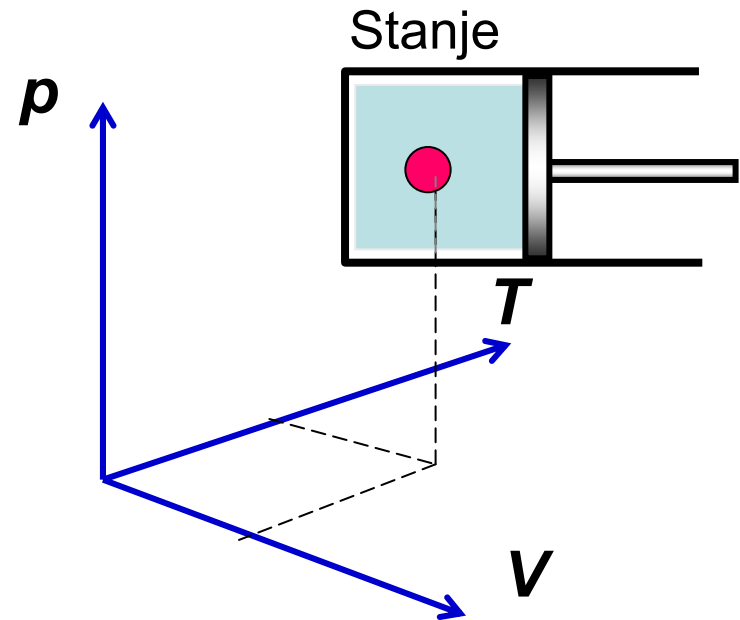
# VELIČINE STANJA

***TO SU FIZIKALNE VELIČINE KOJE DEFINIŠU STANJE  
(ZOVU SE I TERMODINAMIČKE KOORDINATE STANJA)***

***Zapremina  $V$  [ $m^3$ ]***

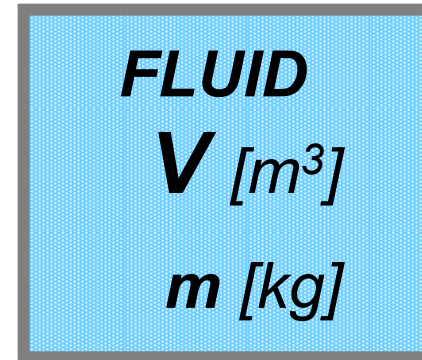
***Pritisak  $p$  [Pa]***

***Temperatura  $t$  [C],  $T$  [K]***



# VELIČINE STANJA

**Zapremina  $V$  [m<sup>3</sup>]**



**Specifična zapremina  $v$  [m<sup>3</sup>/ kg]**  
(zapremina 1 kg)

$$v \text{ [m}^3\text{/ kg]} = V/m$$

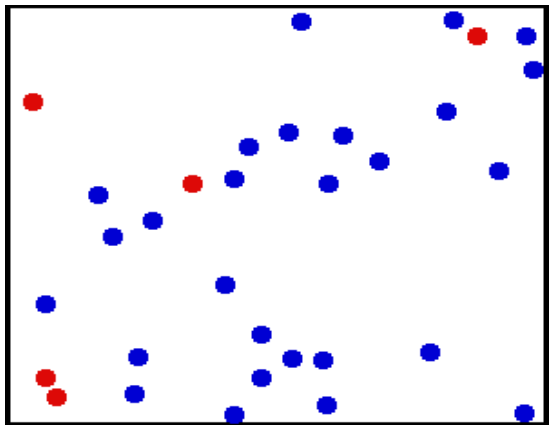
**Gustina  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]**  
(masa 1 m<sup>3</sup>)

$$\rho \text{ [kg/m}^3\text{]} = m/V = 1/v$$

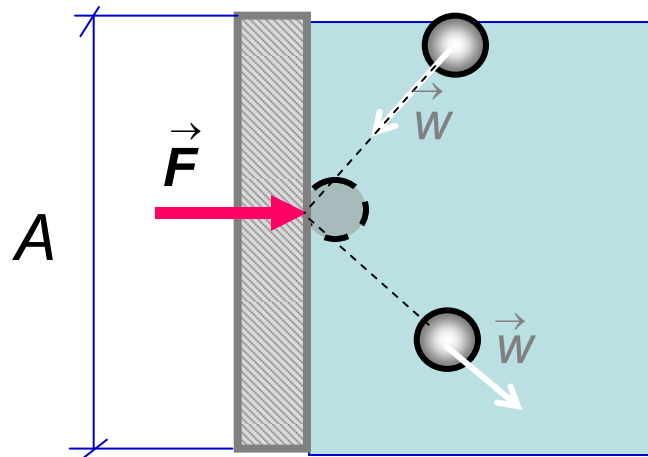
# VELIČINE STANJA

Pritisak se javlja kao posledica udara molekula u zidove suda (instrumenta). Pritisak je uvijek veći ili jednak nuli (vakuum). Pritisak ne može biti manji od nule.

**Pritisak  $p$  [Pa]**



$$p = F/A$$

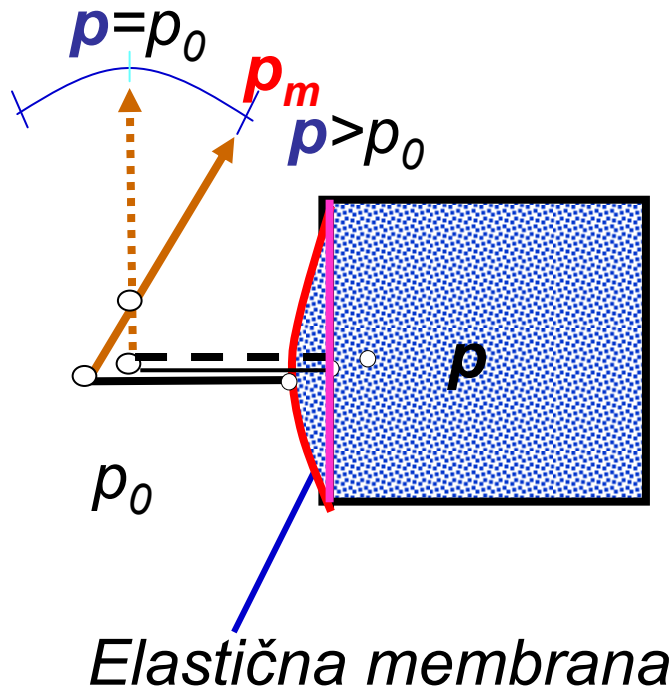


# VELIČINE STANJA

## Pritisak $p$ [Pa]

**Manometarski pritisak (nadpritisak)  $p_m$  [Pa]** pokazuje koliko je pritisak veći od atmosferskog (nadpritisak).

### Manometar



$$p_m = p - p_0$$

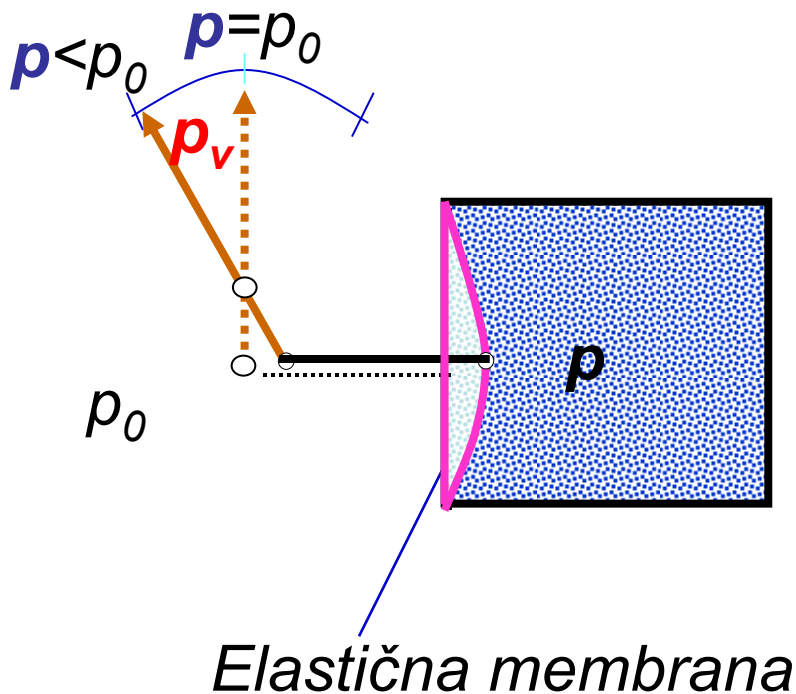
**Apsolutni pritisak  $p$  [Pa]**

$$p = p_0 + p_m$$

# VELIČINE STANJA

## Pritisak $p$ [Pa]

**Podpritisak** (“vakuum”)  $p_v$  [Pa] daje informaciju o tome koliko je pritisak manji od atmosferskog (podpritisak ili “vakuum”).



$$p_v = p_0 - p$$

**Apsolutni pritisak  $p$  [Pa]**

$$p = p_0 - p_v$$

$$p = p_0 - p_v$$



# VELIČINE STANJA

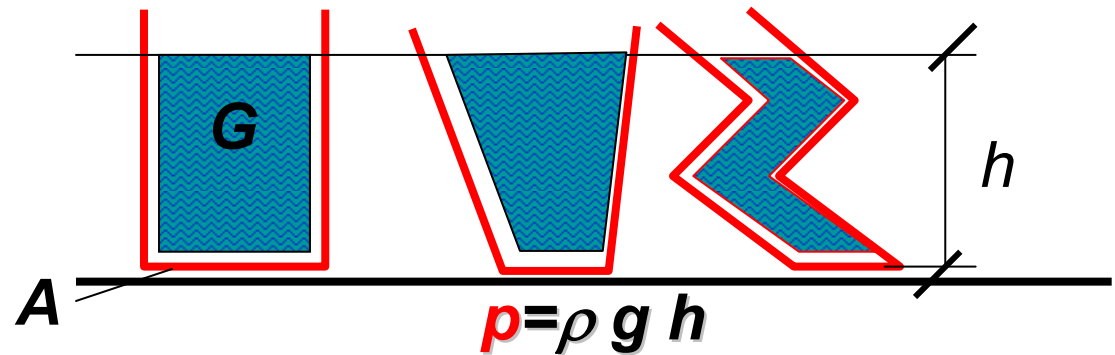
## Pritisak $p$ [Pa]

$$p = G/A = mg/A$$

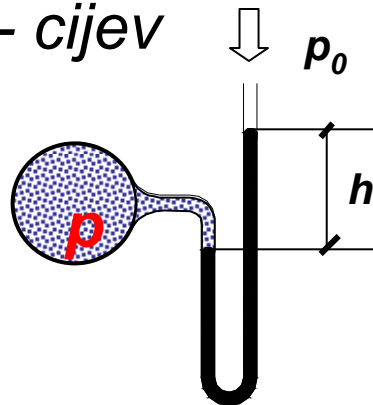
$$p = (\rho V)g/A = \rho(V/A)g$$

$$p = \rho g h$$

### Hidrostatički pritisak $p$ [Pa]



U- cijev



$$\Delta p = p - p_0 = \rho g h$$

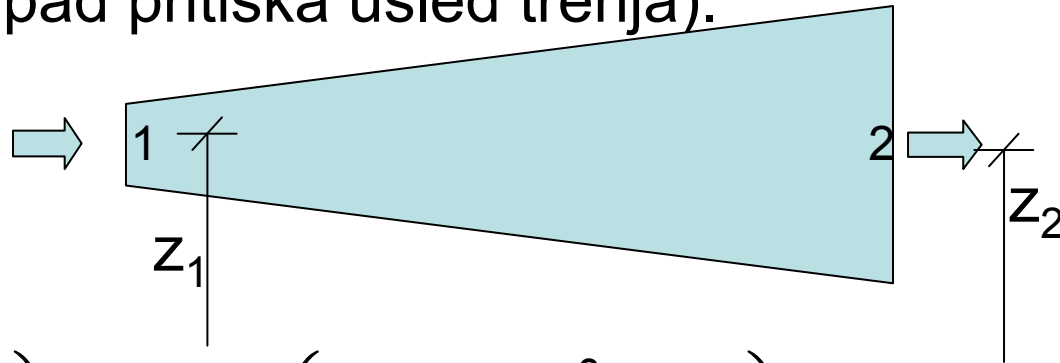
$$p = p_0 + \Delta p$$

$$\Delta p = p - p_0 = \rho g h$$

# VELIČINE STANJA

## *Bernulijeva jednačina*

predstavlja zakon o održanju mehaničke energije pri strujanju fluida (zanemaren pad pritiska usled trenja).



$$\left( p / \rho + \frac{w^2}{2} + gz \right)_{\text{presjek 1}} = \left( p / \rho + \frac{w^2}{2} + gz \right)_{\text{presjek 2}} = \text{const}$$

$p/\rho$

“Unutrašnji” mehanički potencijal (vidi definiciju ENTALPIJE)

$\frac{w^2}{2}$

Kinetička energija

$gz$

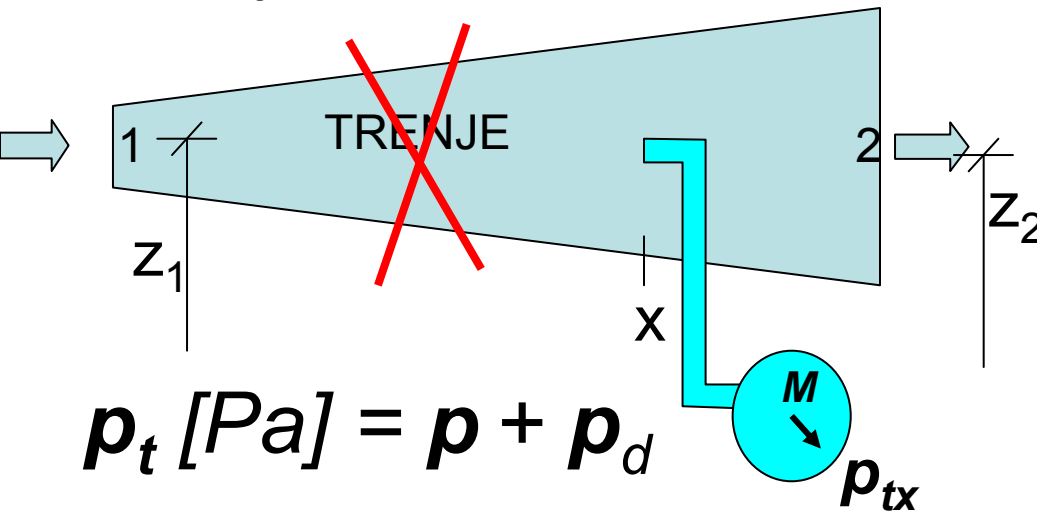
Potencijalna energija

( $\rho$  – gustina,  $w$  – brzina strujanja)

# VELIČINE STANJA

**Bernulijeva jednačina** (pomnožena prethodna sa gustinom,  $\rho$ )

$$\left( \underbrace{p + \rho \frac{w^2}{2}}_{p_{t1}} + \rho g z \right)_1 = \left( \underbrace{p + \rho \frac{w^2}{2}}_{p_{t2}} + \rho g z \right)_2 = \mathbf{const}$$



$p_t$  Totalni (zaustavni) pritisak

$p$  Statički pritisak

$p_d = \rho \frac{w^2}{2}$  Dinamički pritisak

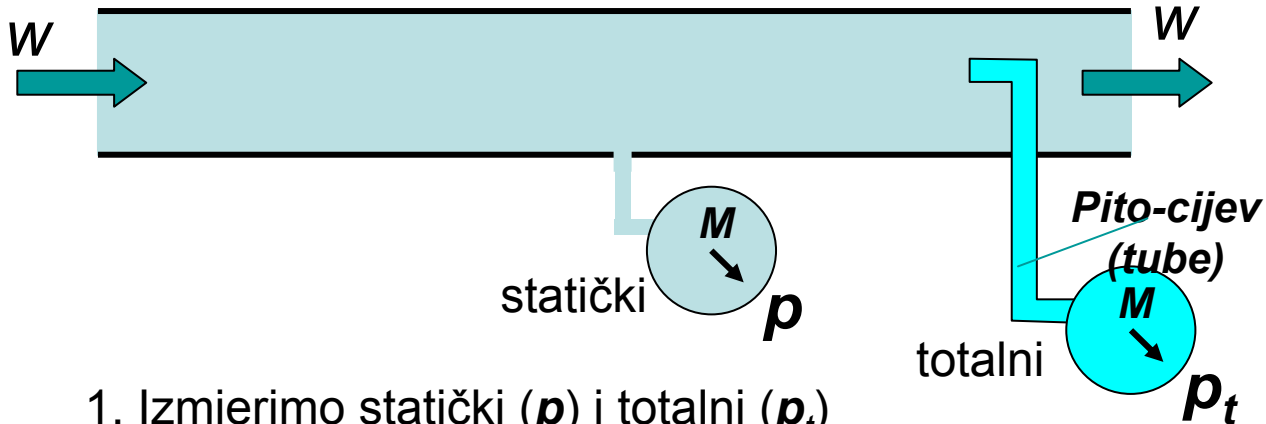
## TOTALNI (ZAUSTAVNI) PRITISAK $p_t$

je zbir statičkog i dinamičkog pritiska. Manometar na slici će pokazivati vrijednost totalnog pritiska jer je struja zaustavljena ( $w_x = 0$ ) na mjestu mjerenja (x), a iz Bern.

jed. slijedi da je  $(p + \rho w^2 / 2)_1 = (p + \rho w^2 / 2)_{x, w_x=0} = p_{tx}$ .

# VELIČINE STANJA

Kako izmjeriti brzinu strujanja fluida?



1. Izmjerimo statički ( $p$ ) i totalni ( $p_t$ ) pritisak (Sl. gore),

2. Odredimo dinamički pritisak ( $p_d$ ) kao razliku totalnog i statičkog,

$$p_d = p_t - p$$

3. Izračunamo brzinu iz dinamičkog pritiska

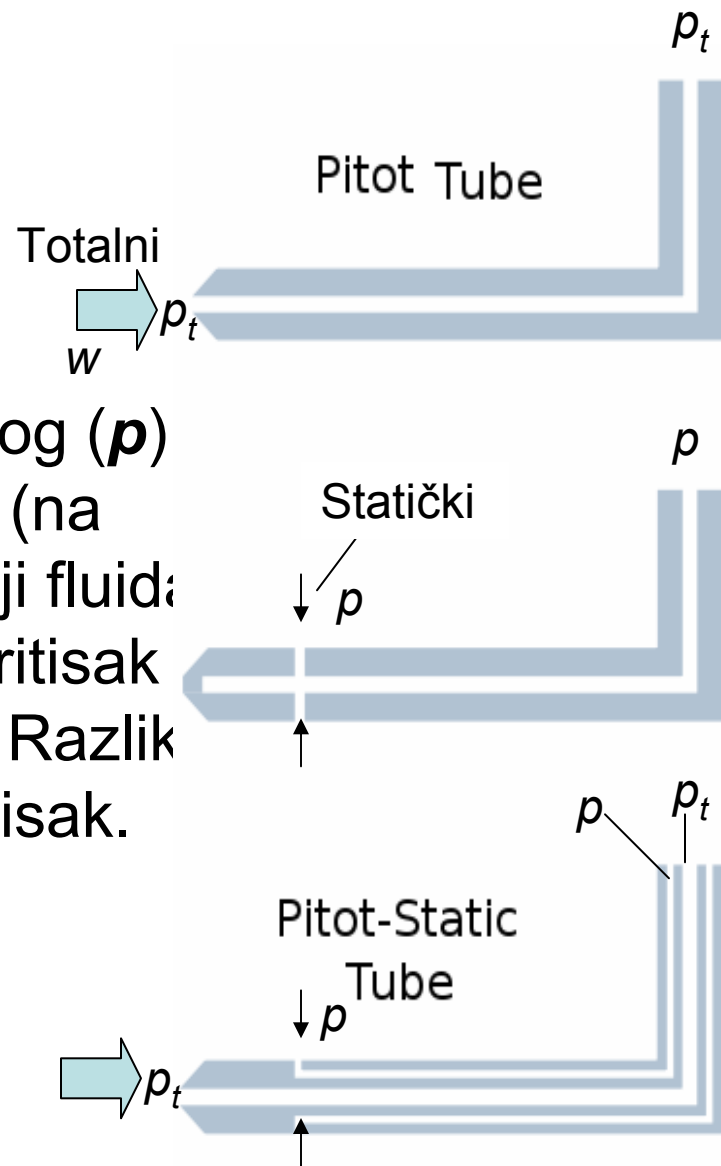
$$p_d = \rho \frac{w^2}{2} \quad \Rightarrow \quad w \left[ \frac{m}{s} \right] = \sqrt{\frac{2}{\rho} p_d [Pa]}$$

# VELIČINE STANJA

$$p_t [Pa] = p + p_d$$

Za mjerenje totalnog ( $p_t$ ) i statičkog ( $p$ ) pritiska koristi se Pito-cijev (tube) (na slici) koja se postavlja prema struji fluida. Centralni otvor detektuje totalni pritisak ( $p_t$ ) a otvor sa strane statički ( $p$ ). Razlik ova dva predstavlja dinamički pritisak.

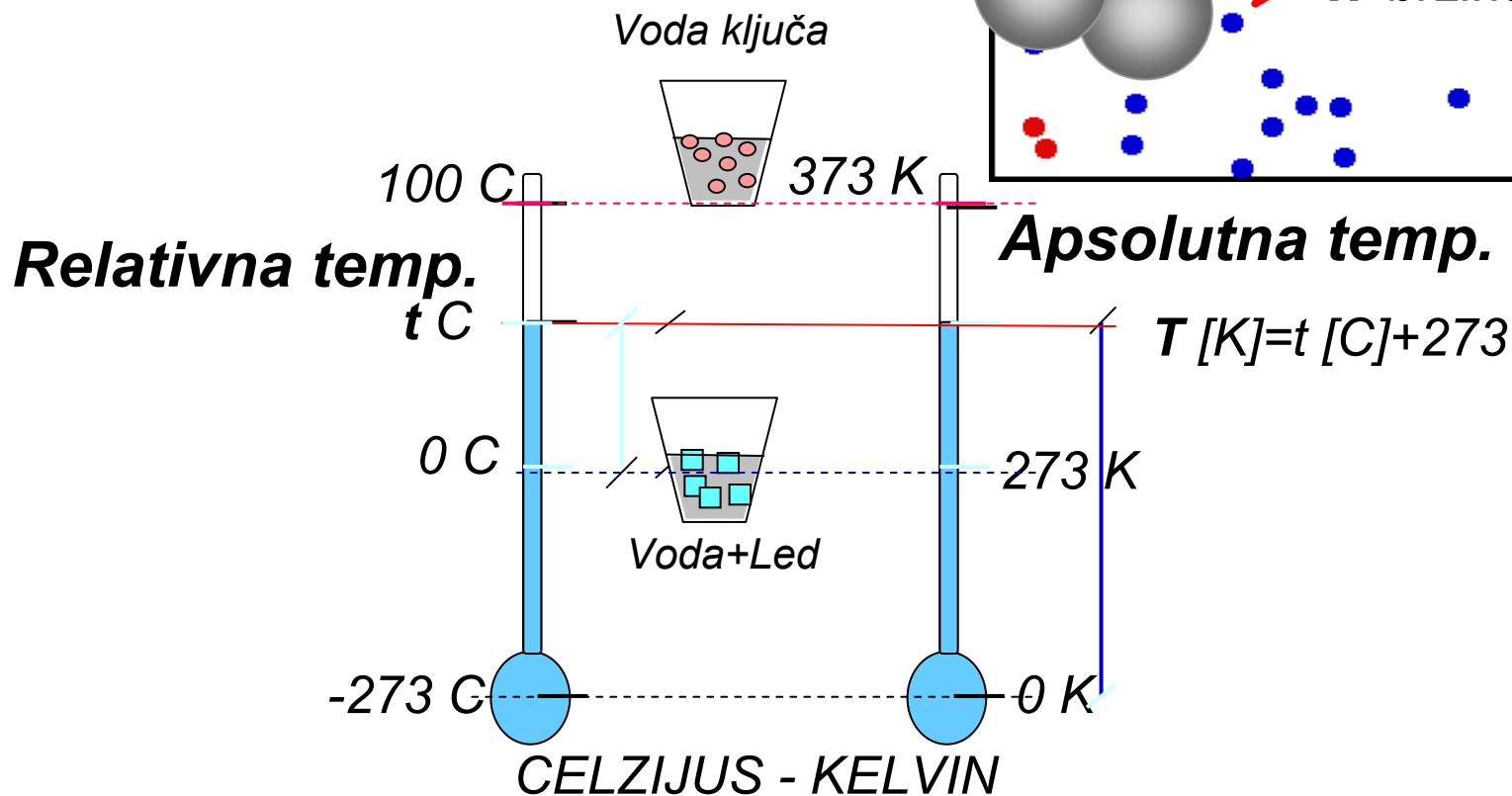
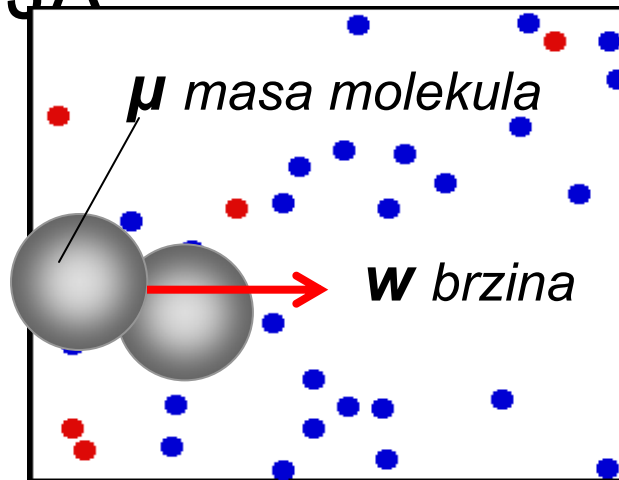
$$p_d = p_t - p$$



# VELIČINE STANJA

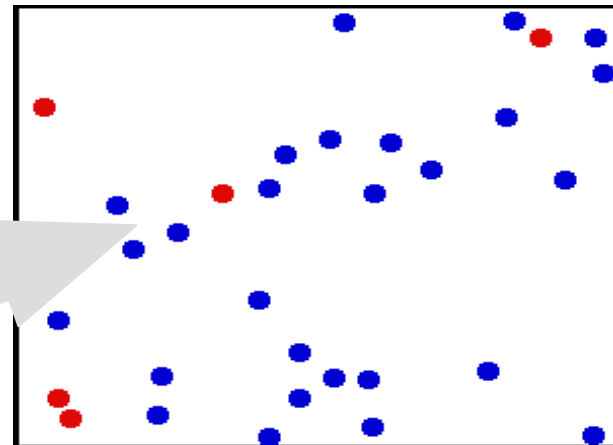
**Apsolutna Temperatura  $T$  [K]**

je proporcionalna kinetičkoj energiji molekula  $T \sim \mu w^2/2$ .



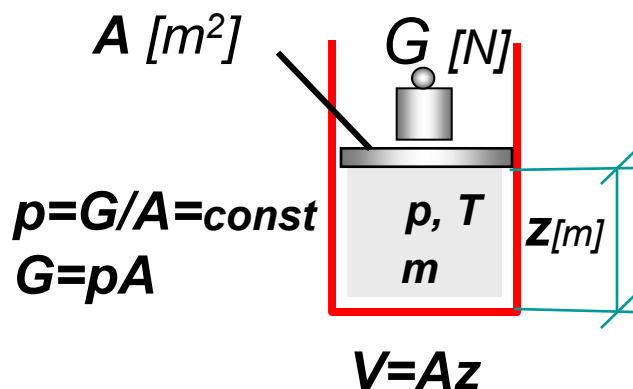
$p_0 = 1 \text{ bar}$

# VELIČINE STANJA



**Entalpija**  $I$  [J],  $i$  [J/kg]

**U**- “Unutrašnja” energija je energija molekula



$$I \text{ [J]} = U + pV \quad i \text{ [J/kg]} = u + pv$$

$$I \text{ [J]} = U + p A z = U + Gz$$

**TERMIČKI POTENCIJAL**

**MEHANIČKI POTENCIJAL**  
 (“UNUTRAŠNJI”)

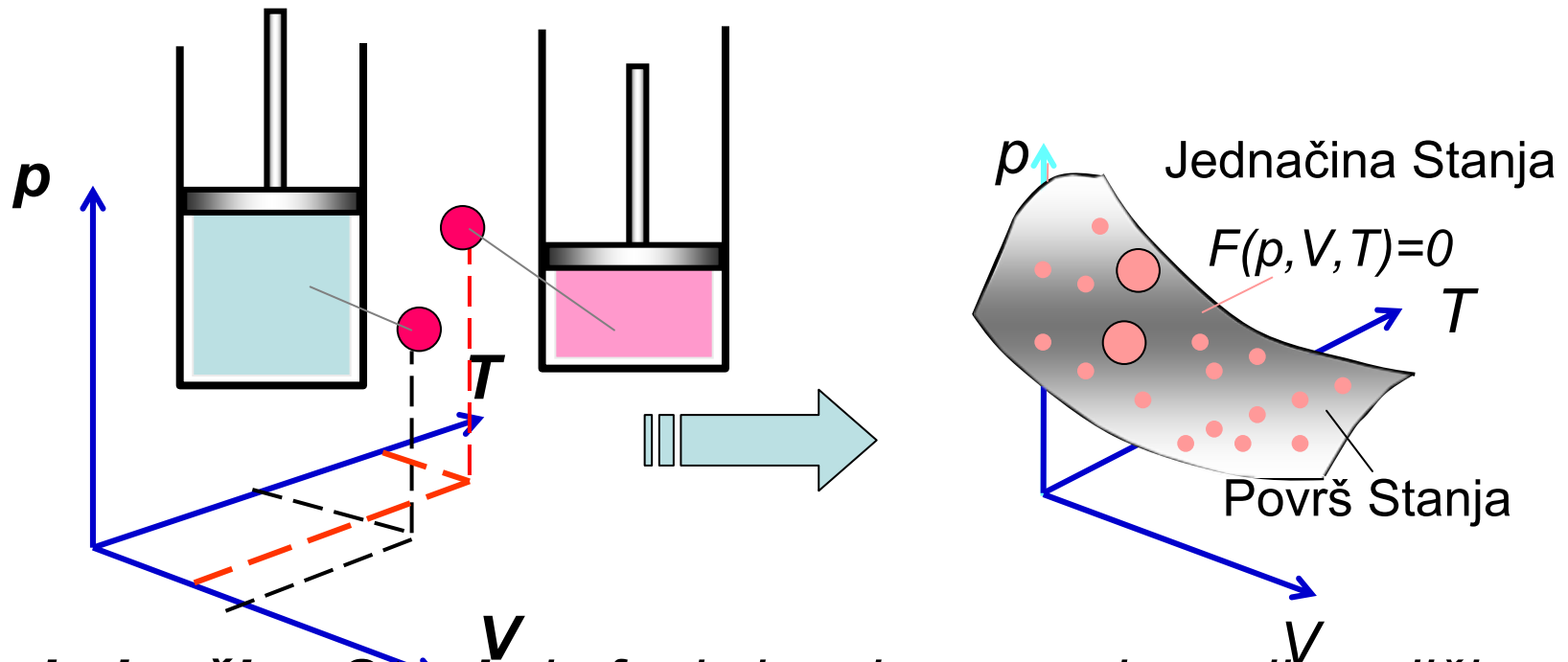
$$pV = Gz = mgZ$$

**I** – Entalpija je veličina stanja koja ima termički (**U**) i mehanički (**pV**) potencijal

(ovaj mehanički -“unutrašnji” potencijal se javlja u Bernulijevoj jednačini, stim što su članovi u njoj svedeni na jedinicu zapremine,  $V=1 \text{ m}^3$ ).

# Jednačina stanja

Šta je Jednačina Stanja (JS) materije?



Jednačina Stanja je funkcionalna veza između veličina stanja.

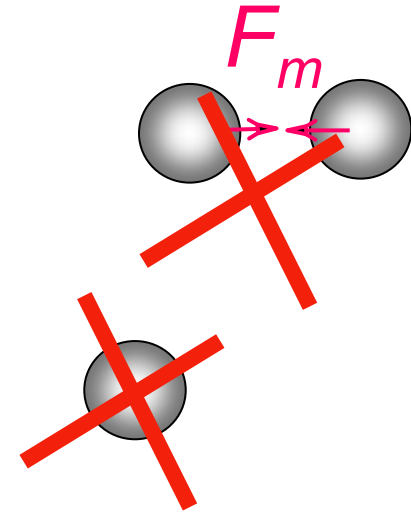
To je “formula” koja definiše “površ stanja” na slici.



# Idealni gasovi (IG)

## Osnovne karakteristike IG

- *Ne postoje medjumolekulske sile*
- *Zapremina molekula je zanemarljiva*



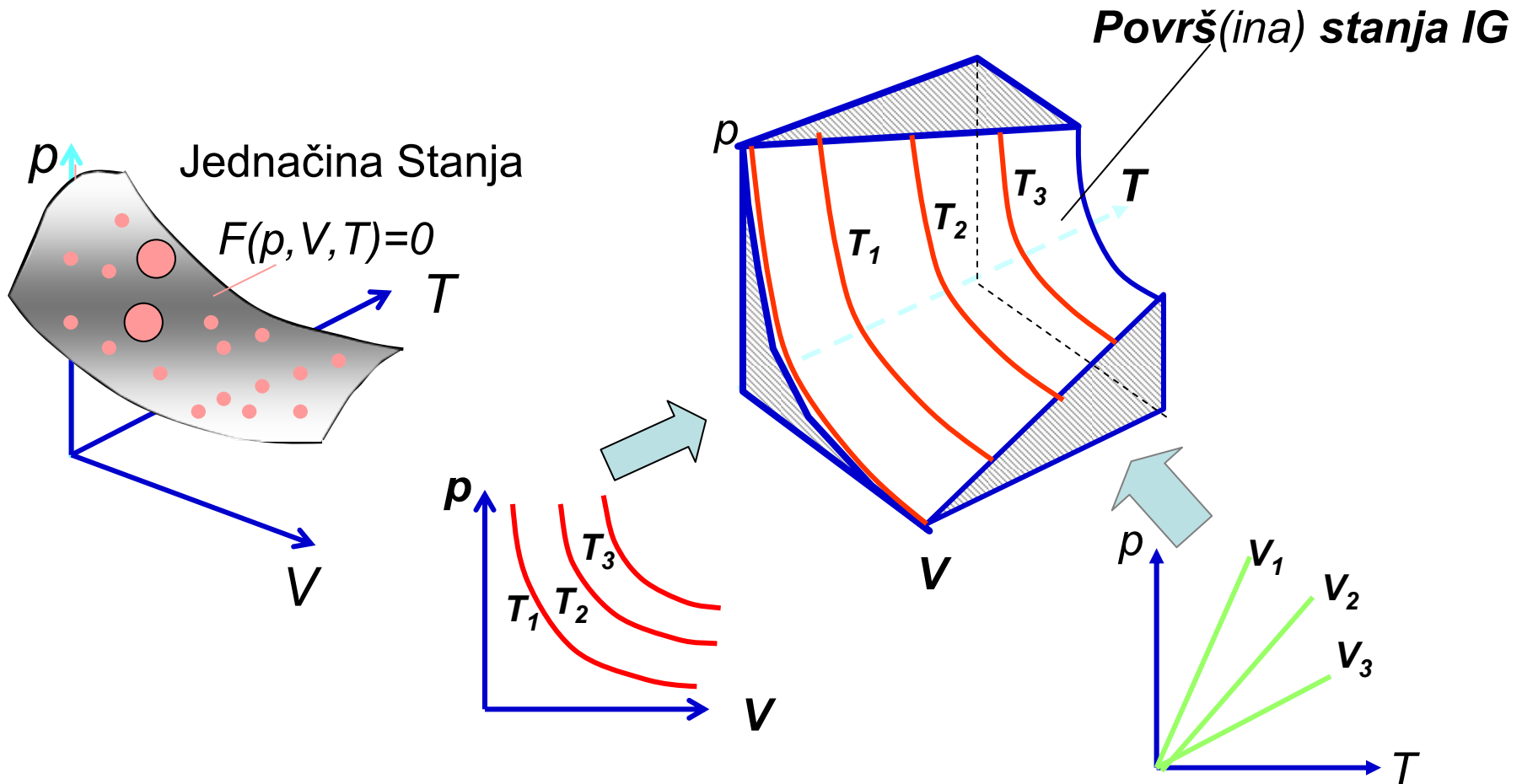
## *Posledica*

- *Nema AGREGATNIH stanja*

Realni gasovi “liče” na idealne kada su razrijedjeni

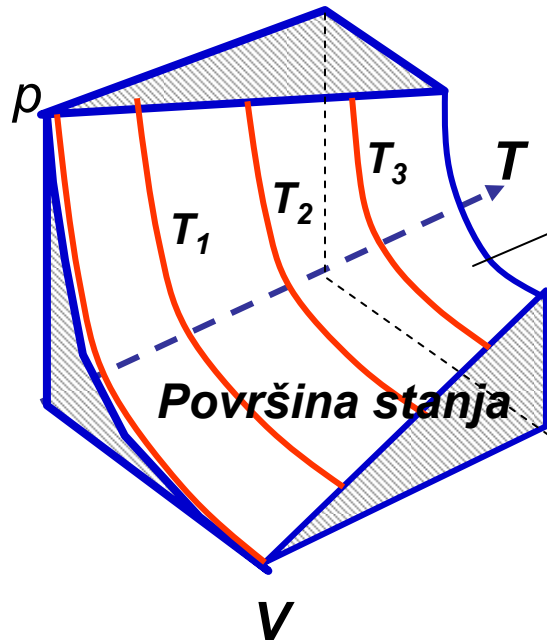
# Idealan gas (IG)

Jednačna stanja  $F(p, V, T)=0$



# Idealan gas (IG)

*Jednačna stanja  $F(p, V, T)=0$*

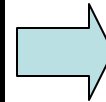


$$pV = m R T$$

$$pV/m = R T$$

$$pv = R T$$

$$R = (MR)/M$$



$$\rho = p/R T$$

$p$  [Pa],  $T$  [K],  $V$  [ $m^3$ ],  $v$  [ $m^3/kg$ ]

Univerzalna gasna konstanta

$(MR) = 8314$  [J/kmol K] –

$M$  [kg/kmol] – Molarna masa

29      Vazduh

18      Voda

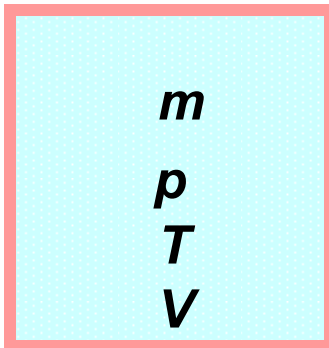
# Idealan gas (IG)

## ***Primjer***

U sudu zapremine  $V=1 \text{ m}^3$  se nalazi vazduh na pritisku  $p=2 \text{ bar}$  i temperaturi  $t = 120 \text{ C}$ . Odrediti masu i gustinu vazduha u sudu.

Podaci: molekulska masa vazduha je  $M=29 \text{ kg/kmol}$ , univerzalna gasna konstanta je  $(MR)=8314 \text{ J/kgK}$ .

Rešenje



$$pV=m R T \quad m=pV/ (R T )$$

$$R=8314/M = 8314/29 = 286.7 \text{ J / kgK}$$

$$T= t +273=120 + 273 = 393 \text{ K}$$

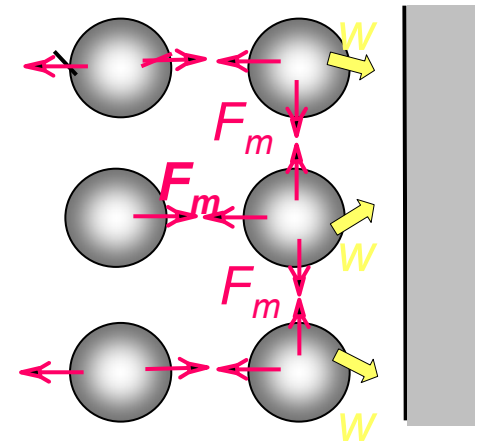
$$m=2 \cdot 10^5 \times 1 / (286.7 \times 393 )=1.78 \text{ kg}$$

$$\rho=m/V=1.78/1=1.78 \text{ kg/m}^3$$

# Realni gasovi – Pare (RG-P)

## Osnovne karakteristike RG-P

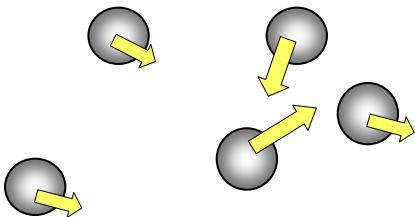
- *Postoje medjumolekulske sile*
- *Zapremina molekula nije zanemarljiva*



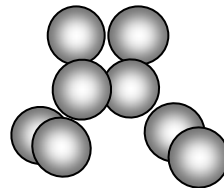
## Posledica

- *Pojava AGREGATNIH stanja*

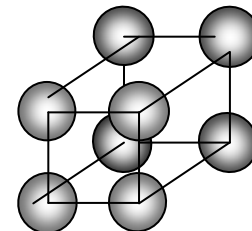
**Gas**



**Tečnost**

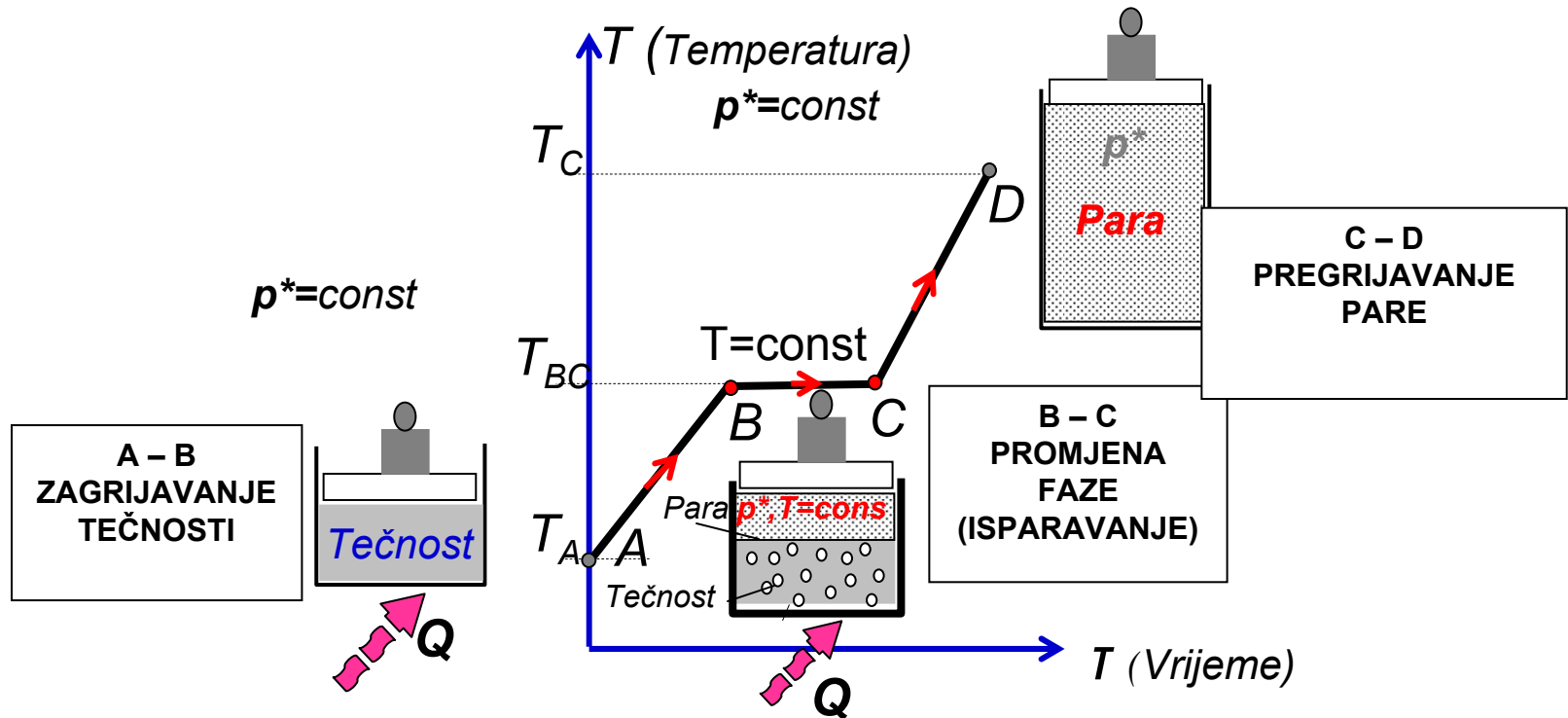


**Čvrsto**



# Realni gasovi - Pare

Kako izgleda proces dobijanja pare pri  $p=const$ ?

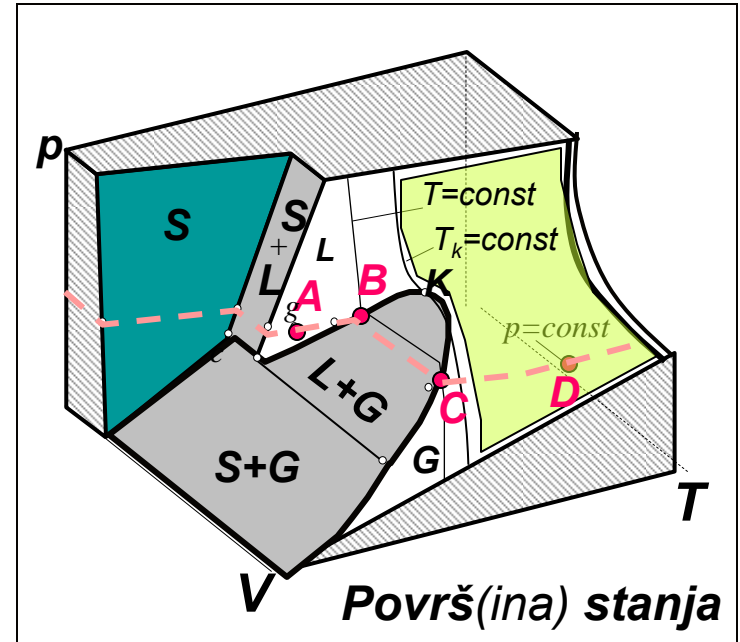
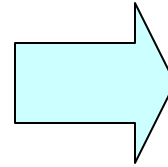
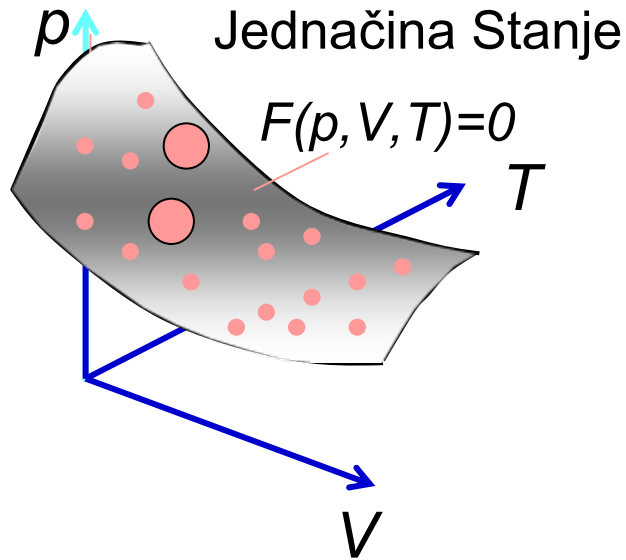


Promjena B-C je isparavanje (promjena faze)

Promjena C - B je kondenzacija (promjena faze)

PRI FAZNOM PRELAZU  $T=const$

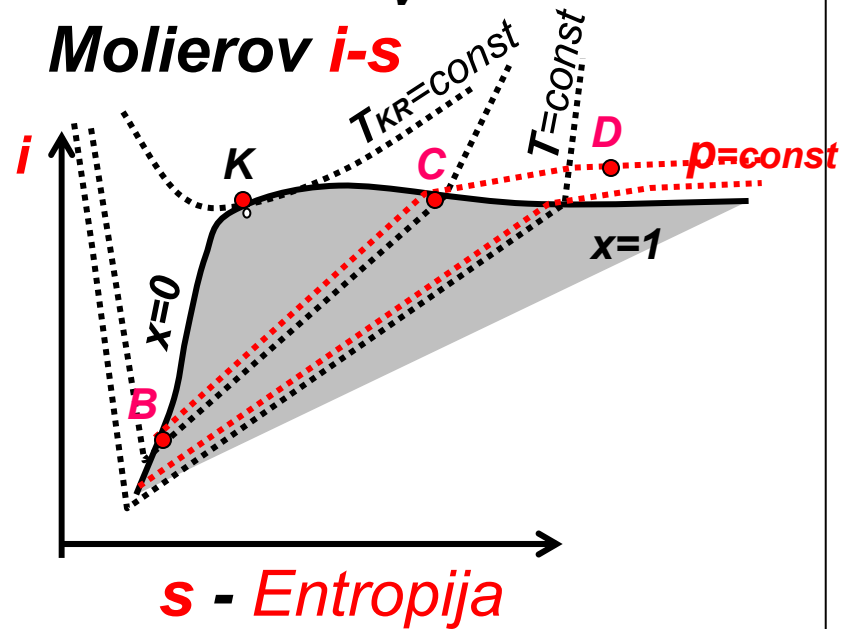
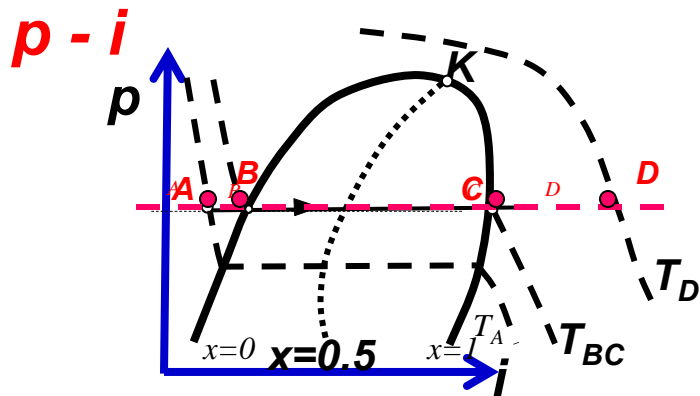
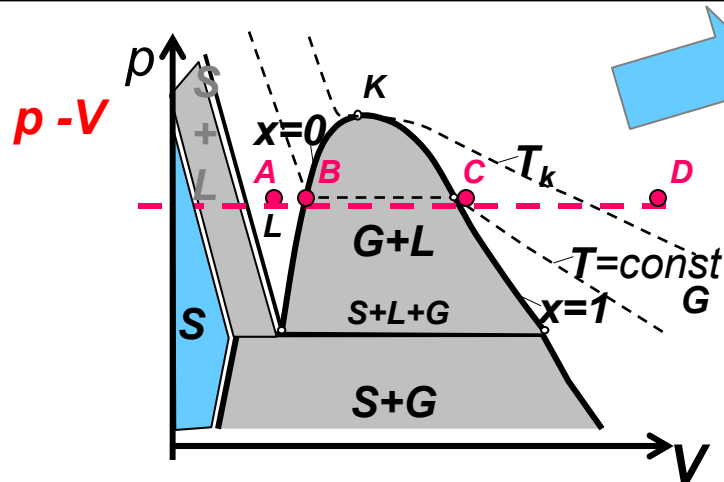
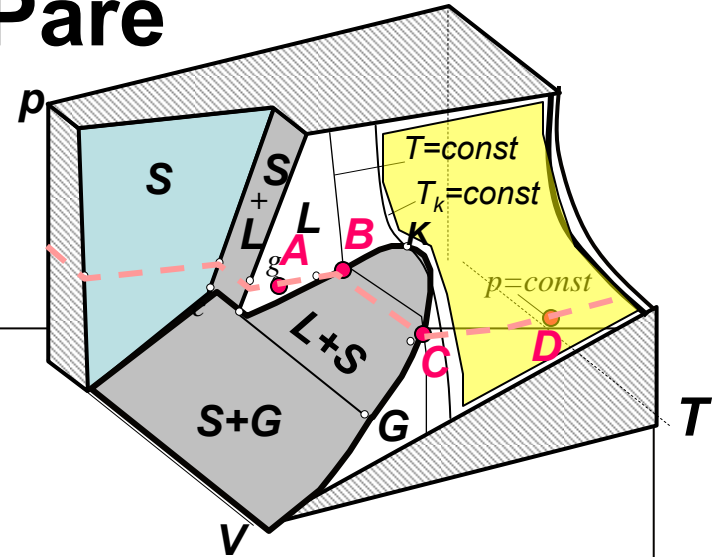
# Realni gasovi - Pare



- S**- Solid (Čvrsto)
- L**- Liquid (Tečno)
- G**- Gas-Para (Gasovito)

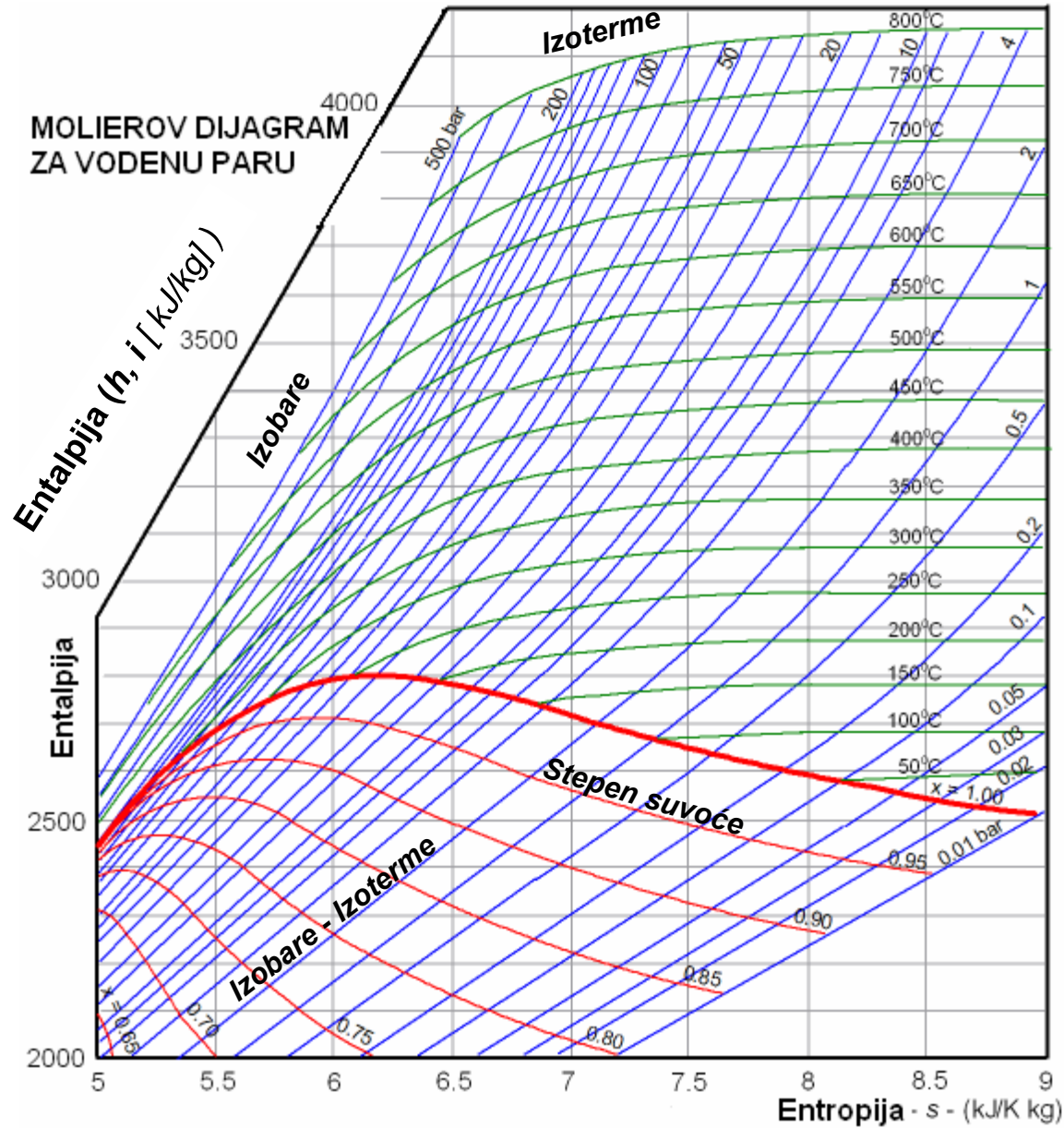
# Realni gasovi – Pare (RG-P)

*p-V, i-s, p-i* dijagrami

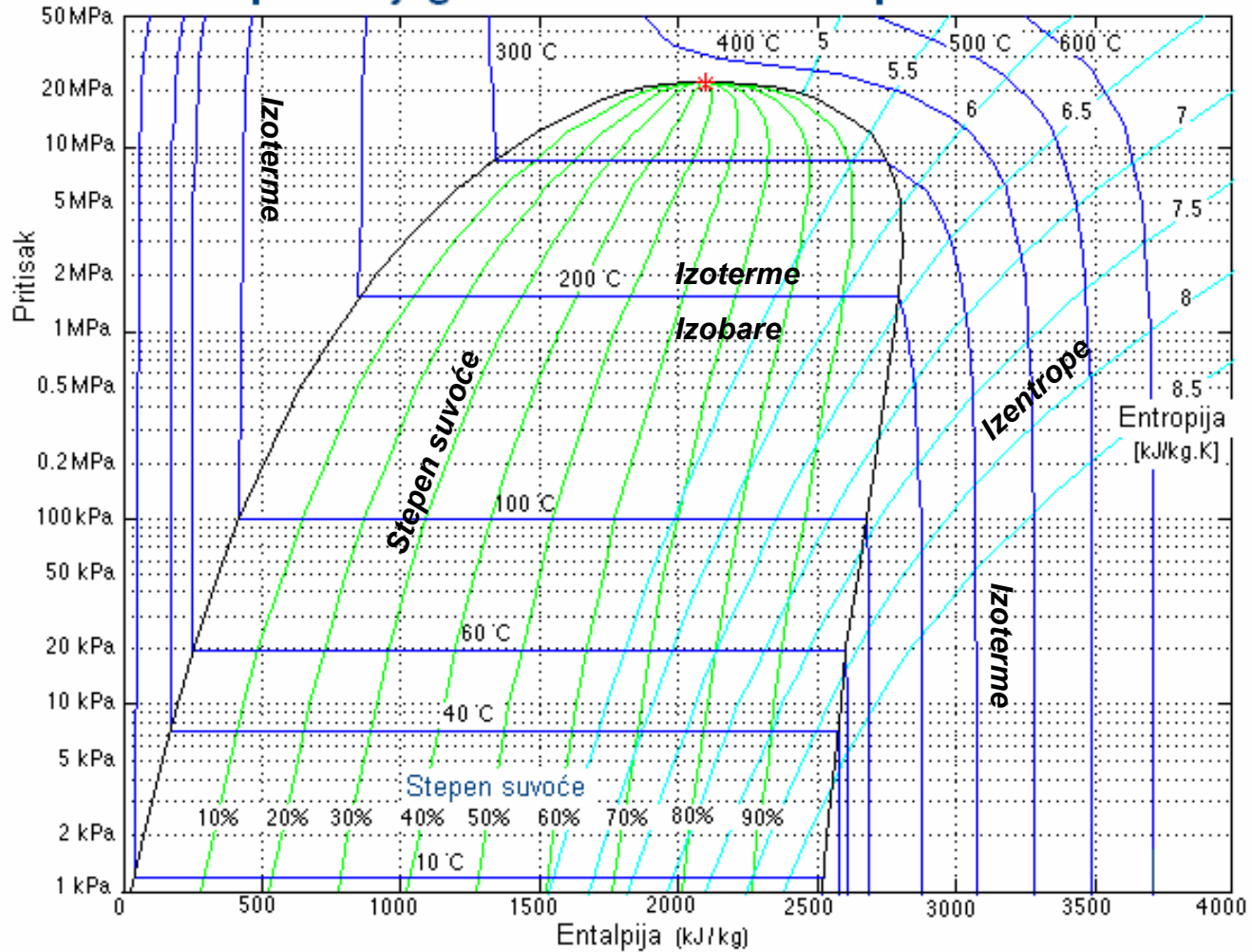




**MOLIEROV DIJAGRAM  
ZA VODENU PARU**



## p - h dijagram za Vodu-Vodenu paru

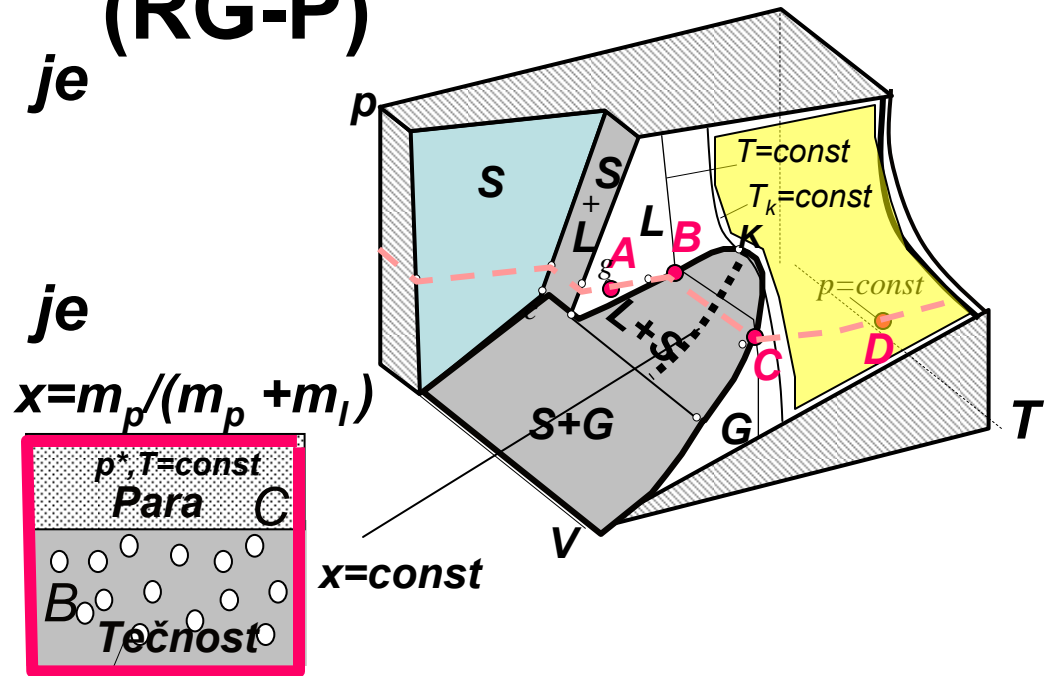


PRITISAK ( $p$ )-ENTALPIJA ( $h, i$ )

# Realni gasovi – Pare (RG-P)

Proces od B do C je **isparavanje**

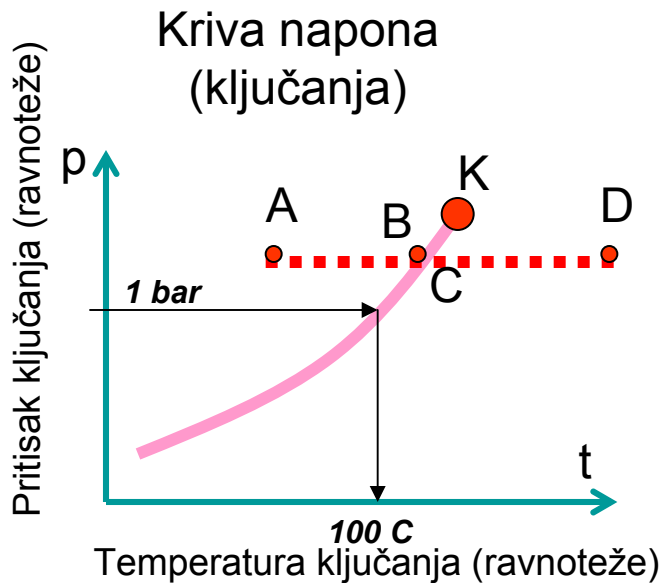
Proces od C do B je **kondenzacija**



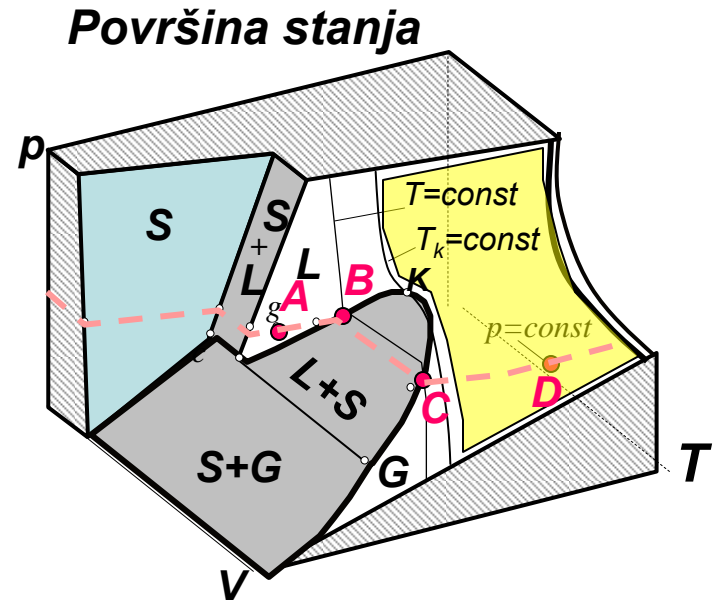
Fazni prelaz B u C (isparavanje) je skokovit, jer kad tečnost predje u paru povećava joj se zapremina ~ 1000 puta. Tečnost iz B “skoči” u paru C. Između njih nema “među-stanja”. Pri tome se sva toplota troši na slom strukture “tečne” u “gasnu”. To je latentna toplota isparavanja  $r \approx 2500 \text{ kJ/kg}$ .

U sudu tokom procesa imamo istovremeno tečnost B i paru C. Udio mase pare u ukupnoj masi u sudu se izražava preko “stepena suvoće pare”  $x = m_{\text{pare}} / (m_{\text{pare}} + m_{\text{tečnosti}})$ .

# Realni gasovi – Pare (RG-P)



Pokazuje vezu izmedju pritiska i temperature ključanja

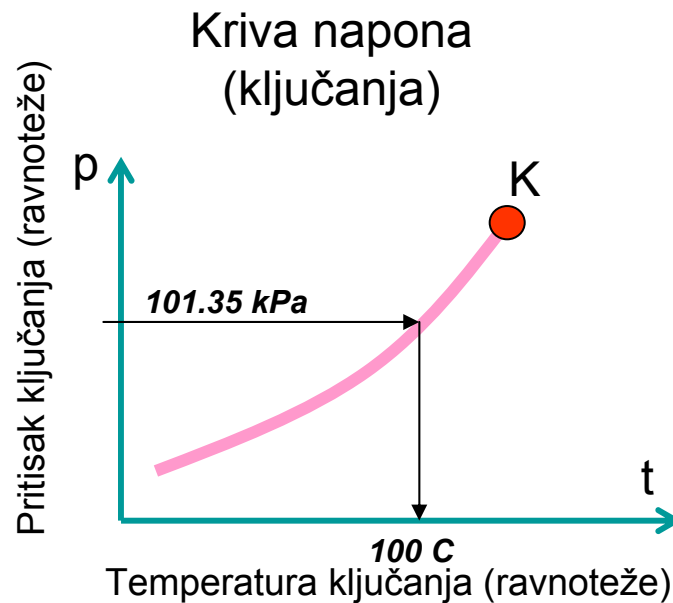


**S**- Solid (Čvrsto)  
**L**- Liquid (Tečno)  
**G**- Gas-Para (Gasovito)

# Realni gasovi – Pare (VODA)

$t$ [C]	$P$ [kPa]
0.01	0.6113
5	0.8721
10	1.2276
15	1.7051
20	2.339
25	3.169
30	4.246
35	5.628
40	7.384
45	9.593
50	12.349
$t$ [C]	$P$ [kPa]
55	15.758
60	19.940
65	25.03
70	31.19
75	38.58
80	47.39
85	57.83
90	70.14
95	84.55
100	101.35

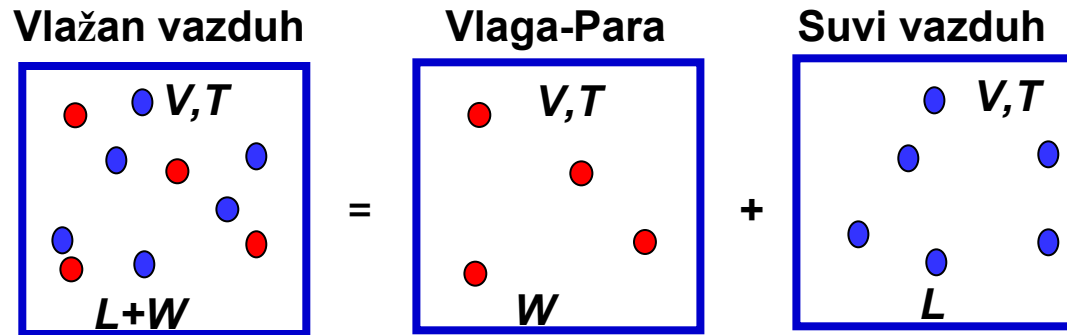
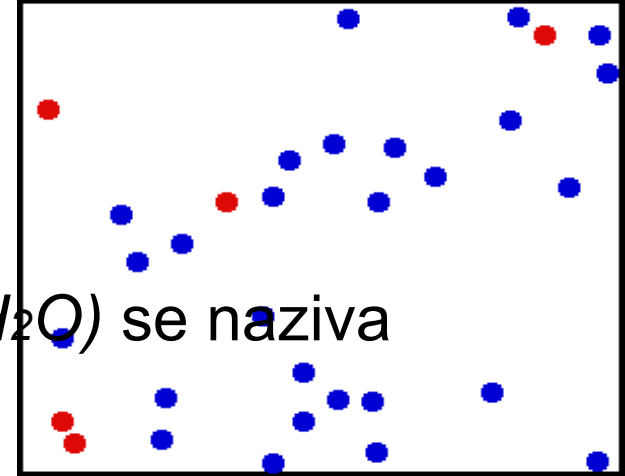
$t$ [C]	$P$ [kPa]
105	120.82
110	143.27
115	169.06
120	198.53
.....	.....
340	14586.
350	16513.
360	18651.
370	21030.
374.14	22090.



# Vlažan vazduh

## *Šta je vlažan vazduh?*

Smješa suvog vazduha ( $L$ ,  $SV$ ) i vlage ( $W$ ,  $H_2O$ ) se naziva **vlažan vazduh**:  $m_{vv} [kg] = L + W$



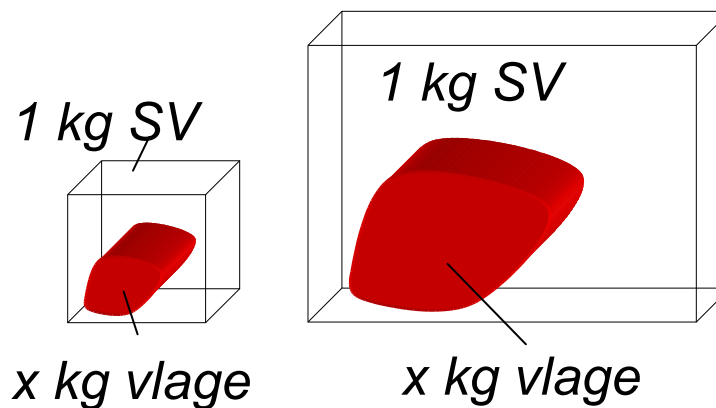
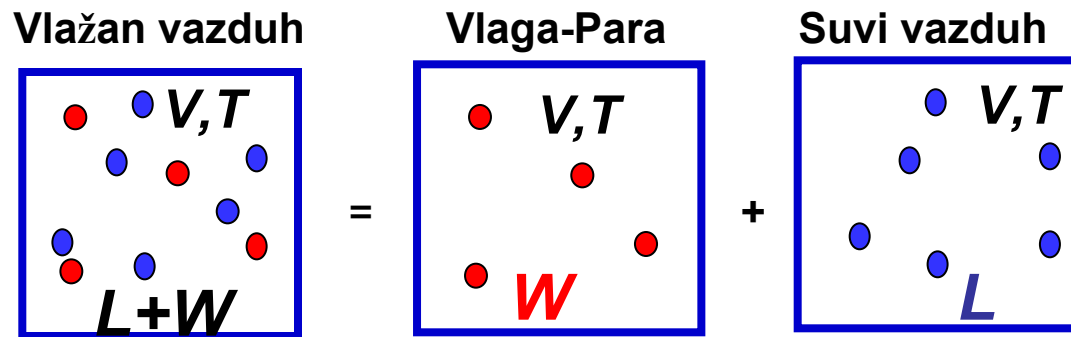
## **DALTONOV ZAKON:**

*KOMPONENTE SMJEŠE SE PONAŠAJU NEZAVISNO JEDNA OD DRUGE (KAO DA “NE VIDE” JEDNA DRUGU), TAKO DA IH MOŽEMO POSMATRATI RAZDVOJENO (SI. GORE). TO JE PRINCIP “SUPERPOZICIJE”.*

*Pri tome komponente imaju istu temperaturu  $T$  (jer su u kontaktu jedna sa drugom) i zauzimaju istu zapreminu  $V$ .*

# Vlažan vazduh

Prema principu superpozicije komponente vlažnog vazduha (**suvi vazduh** i  $H_2O$ ) razdvajamo i svaku posmatramo nezavisno jednu od druge.



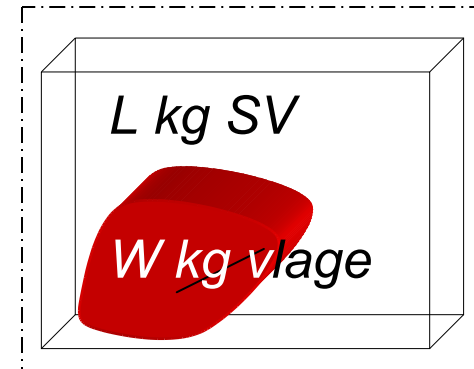
*Suvi vazduh (SV) kao "transportna" jedinica*

# Vlažnost vazduha

## ***Apsolutna vlažnost $x$***

Apsolutna vlažnost ( $x$ ) daje informaciju o sastavu smješe, tj. koliko ima vlage u 1 kg suvog vazduha (kg vlage / kg suvog vazduha), odnosno o koncentraciji vlage u suvom vazduhu

$$x = \frac{\text{masa vlage}}{\text{masa suvog vazduha}} = \frac{W}{L} \left[ \frac{\text{kgW}}{\text{kgSV}} \right]$$



$$m_{VV} = L + W = L \left( 1 + \frac{W}{L} \right) = L (1 + x)$$

$$x = \frac{W}{L} = \frac{W_G}{L} + \frac{W_L}{L} + \frac{W_S}{L} = x_G + x_L + x_S$$

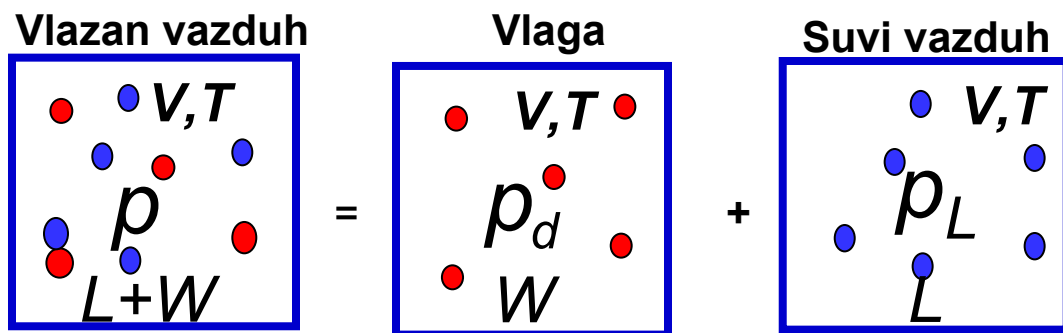
GAS-PARA    TEČNOST    LED



# Vlažnost vazduha

## **Relativna vlažnost ( $\varphi$ )**

To je odnos parcijalnog pritiska pare u vazduhu ( $p_d$ ) i parcijalnog pritiska pare zasićenja ( $p_d'$ ) pri datoj temperaturi vazduha ( $t$ ).



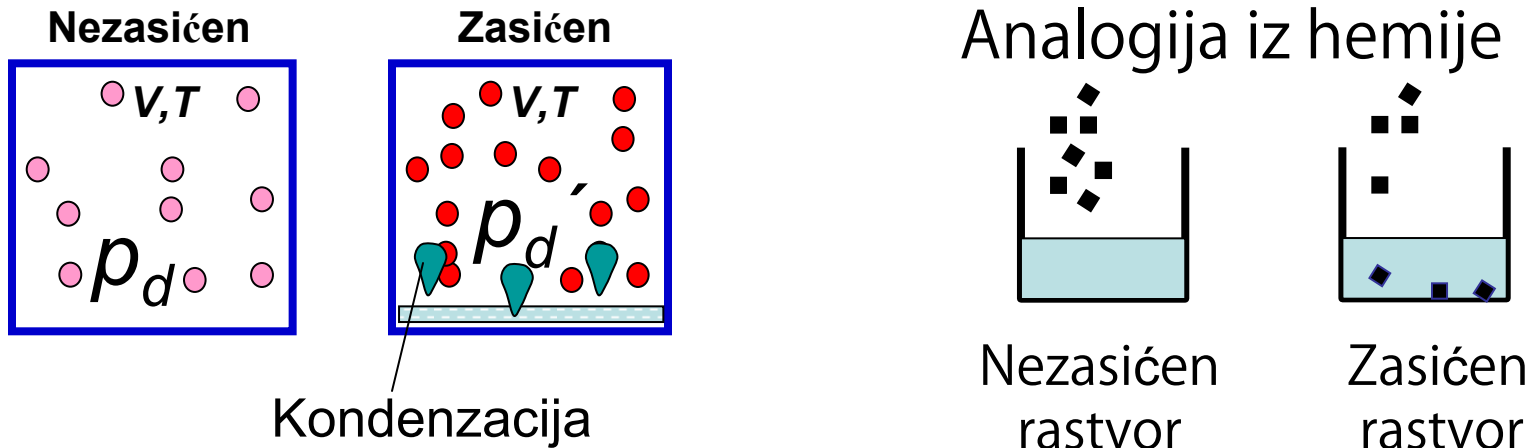
$$\varphi = \frac{p_d}{p_d'}$$

Ukupan pritisak smješe ( $p$ ) je jednak zbiru parcijalnih pritisaka suvog vazduha ( $p_L$ ) i parcijalnog pritiska vodene pare ( $p_d$ ).

# Vlažnost vazduha

## *Relativna vlažnost ( $\varphi$ )*

Šta je to “pritisak zasićenja” ( $p_d'$ ) vodene pare pri datoj temperaturi vazduha ( $t$ )?

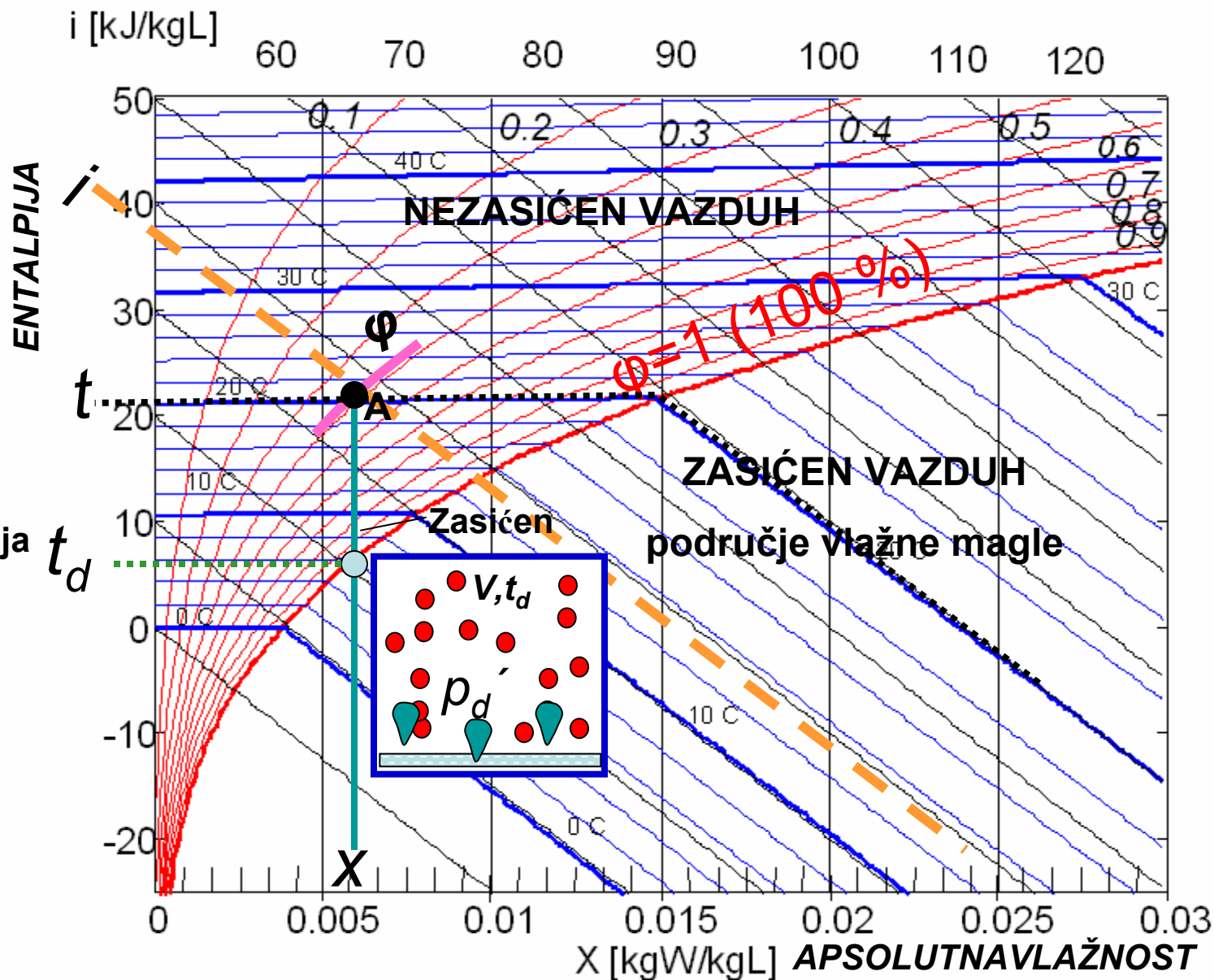


To je maksimalni pritisak vodene pare pri zadatoj temperaturi (to je pritisak koji odgovara temperaturi ravnoteže za H<sub>2</sub>O).

**Analogija sa rastvorima u hemiji:** Zasićen rastvor (na primjer voda i šećer) predstavlja rastvor sa maksimalnom koncentracijom rastvorene supstance (šećera u vodi). Dalje dodavanje šećera dovodi do njegovog izdvajanja na dnu.

Zasićen vazduh ne može više da “rastvori” (primi) vodene pare. Svako dalje dodavanje H<sub>2</sub>O dovodi do izdvajanja (kondenzacije) vode.

# Vlažan vazduh

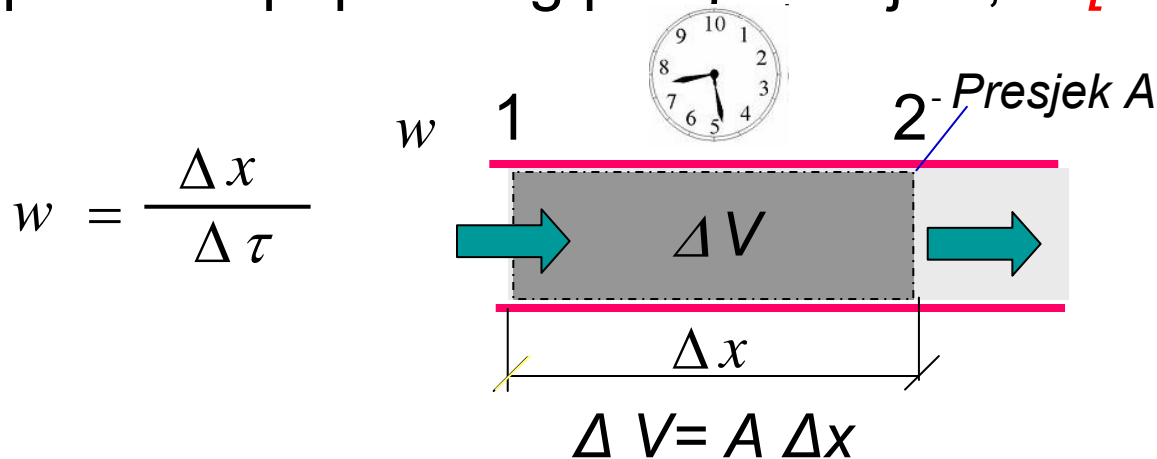


Tačka rose stanja  
vazduha A  
(Kondenzacija)

Zapreminski protok  $\dot{V} [m^3 / s]$  je zapremina koja prodje kroz određeni presjek u **1 sec**.

Dakle, ako kroz neki presjek površine  $A [m^2]$  "protekne" fluid zapremine  $\Delta V$  za vrijeme  $\Delta \tau$ , tada se zapreminski protok, dobija kao količnik, tj.  $\dot{V} [m^3 / s] = \frac{\Delta V [m^3]}{\Delta \tau [s]}$

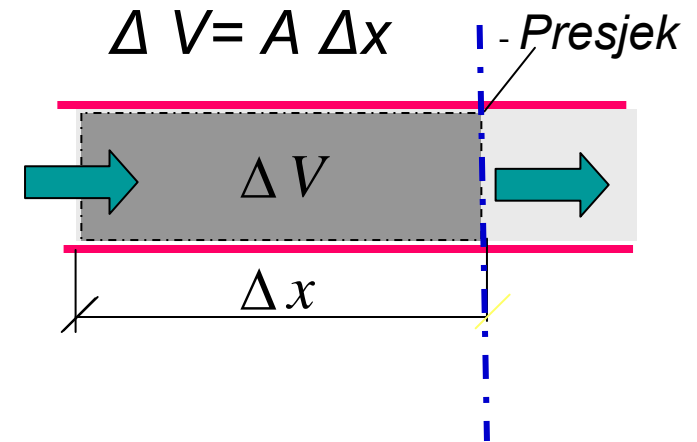
$A [m^2]$  je površina poprečnog presjeka cijevi,  $w [m/s]$  je brzina strujanja.



$$\dot{V} [m^3 / s] = \frac{\Delta V [m^3]}{\Delta \tau [s]} = \frac{A \Delta x}{\Delta \tau} = A [m^2] w [m / s]$$

## Primjer

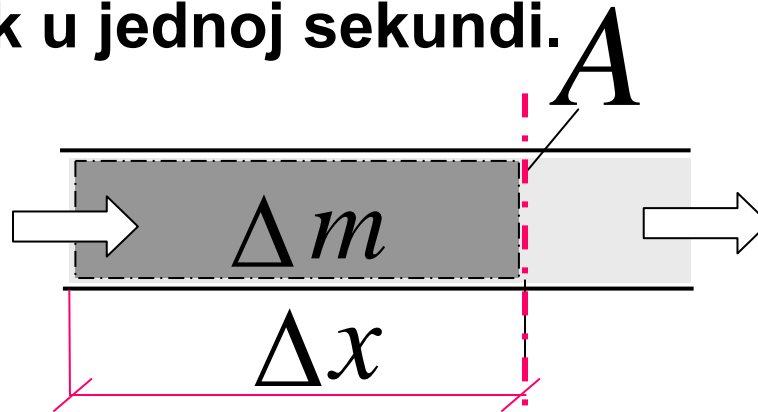
Kroz poprečni presjek cijevi površine  $A=0.5 \text{ m}^2$  za vrijeme  $\Delta\tau=5 \text{ s}$  protekne zapremina fluida  $\Delta V=6 \text{ m}^3$ . Odrediti zapreminski protok i brzinu strujanja u tom presjeku.



$$\dot{V}[\text{m}^3 / \text{s}] = \frac{\Delta V[\text{m}^3]}{\Delta\tau[\text{s}]} = \frac{6}{5} = 1.2$$

$$w[\text{m} / \text{s}] = \frac{\Delta x}{\Delta\tau} = \frac{\Delta V / A}{\Delta\tau} = \frac{\Delta V / \Delta\tau}{A} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{1.2}{0.5} = 2.4$$

**Maseni protok** (  $\dot{m}[\text{kg} / \text{s}]$  ) je masa koja prodje kroz odredjeni presjek u jednoj sekundi.



Ako kroz neki presjek protekne masa fluida ( $\Delta m$ ) za vrijeme  $\Delta \tau$ , tada je maseni protok  $\dot{m}[\text{kg} / \text{s}]$ , količnik

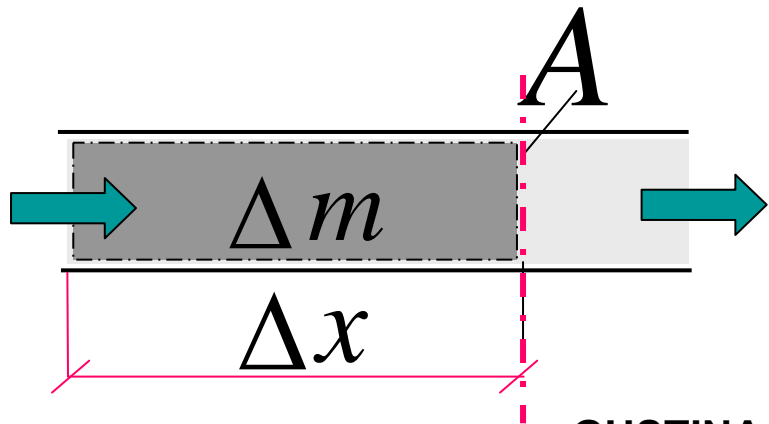
$$\dot{m} = \frac{\Delta m[\text{kg}]}{\Delta \tau[\text{s}]}$$

**GUSTINA**  
 **$\rho = m/V$**

$$\dot{m}[\text{kg} / \text{s}] = \frac{\Delta m[\text{kg}]}{\Delta \tau[\text{s}]} = \frac{\rho[\text{kg} / \text{m}^3] \Delta V[\text{m}^3]}{\Delta \tau[\text{s}]} = \rho \dot{V}$$

## Primjer

Koliki je maseni protok u prethodnom primjeru ako je gustina fluida  $\rho$  [kg / m<sup>3</sup>]=1.2?



$$\dot{V}[\text{m}^3 / \text{s}] = \frac{\Delta V[\text{m}^3]}{\Delta \tau[\text{s}]} = \frac{6}{5} = 1.2$$

GUSTINA  $\rho = m/V$

MASA  $m = \rho V$

$$\dot{m}[\text{kg} / \text{s}] = \frac{\Delta m[\text{kg}]}{\Delta \tau[\text{s}]} = \frac{\rho[\text{kg} / \text{m}^3] \Delta V[\text{m}^3]}{\Delta \tau[\text{s}]} = \rho \dot{V}$$

$$\dot{m}[\text{kg} / \text{s}] = \rho \dot{V} = 1.2 \cdot 1.2 = 1.44$$

# MJERENJE PROTOKA

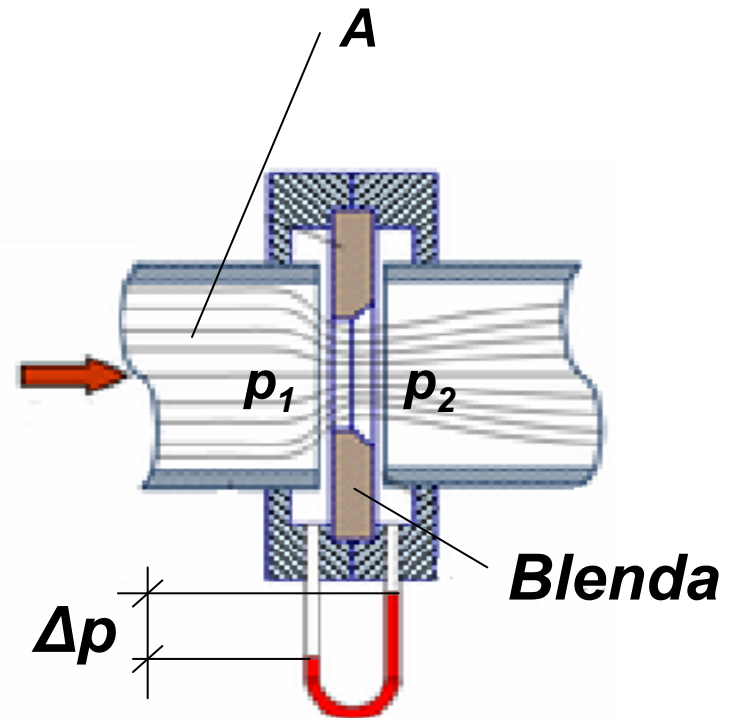
**BLENDA** (ploča sa otvorom u sredini)

*Pad pritiska ( $\Delta p$ ) pri proticanju kroz blendu je proporcionalan dinamičkom pritisku struje ( $p_d$ ):*

$$\Delta p = (p_1 - p_2) \sim \rho \frac{w^2}{2}$$

$$w (m / s) = K_B \sqrt{\Delta p}$$

$$\dot{V} [m^3 / s] = Aw$$

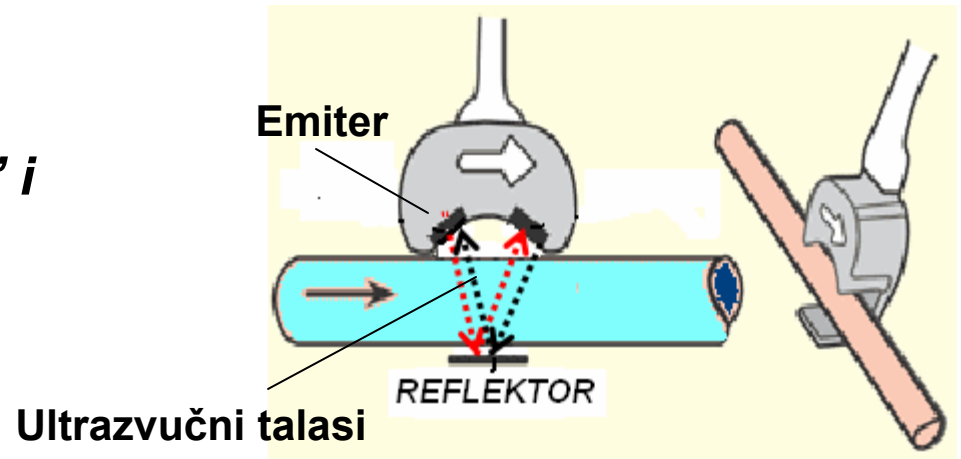




# MJERENJE PROTOKA

## **ULTRAZVUČNI MJERAČ PROTOKA**

***Brzina zvuka je različita “uz” i “niz” struju. Na osnovu te razlike se određuje brzina struje fluida.***

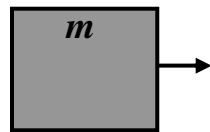


# ENERGIJA: OBLICI - KVALITET

ŠTA JE ENERGIJA?

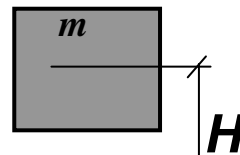
ENERGIJA JE VELIČINA STANJA!

KINETIČKA  
ENERGIJA



$$E_k = mw^2/2$$

POTENCIJALNA  
ENERGIJA



$$E_p = mgH$$

UNUTRAŠNJA  
ENERGIJA



MAKROSKOPSKI OBLICI

$$E_M = E_k + E_p$$

MIKROSKOPSKI OBLICI

$$E_m = U$$

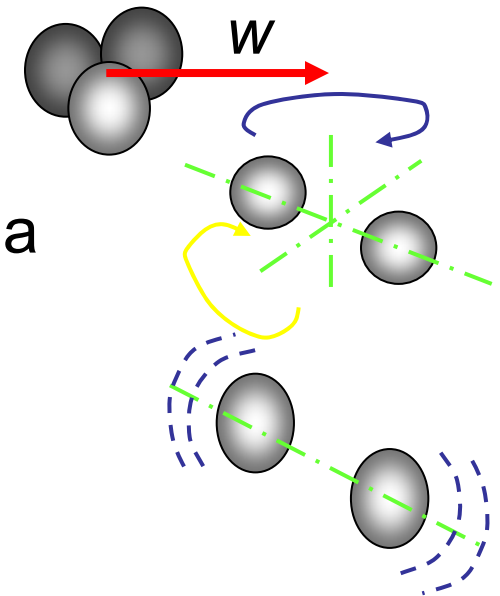
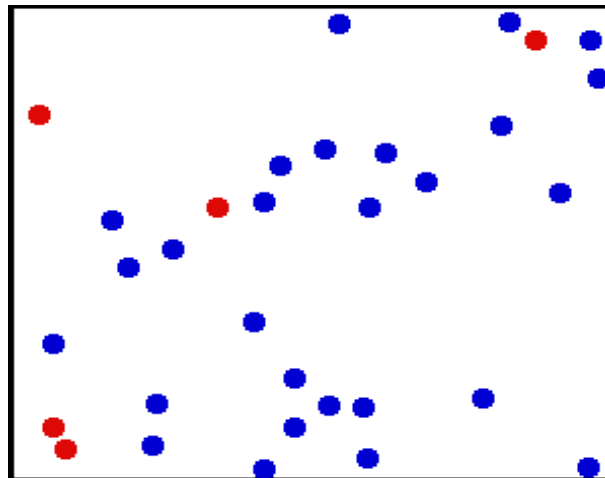
# Unutrašnja energija $U$ [J], $u$ [J/kg]

## MIKROSKOPSKI OBLIK ENERGIJE

Energija translatorsnog kretanja molekula

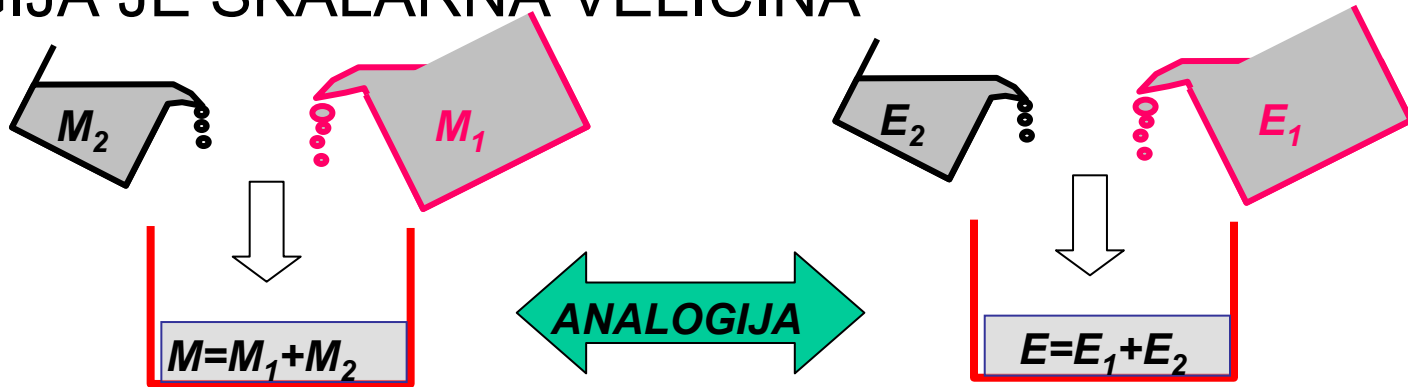
Energija *rotacije* usled rotiranja molekula

Energija *vibracije* molekula



# ŠTA JE ENERGIJA?

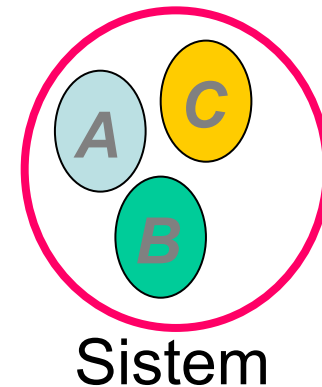
- ENERGIJA JE SKALARNA VELIČINA



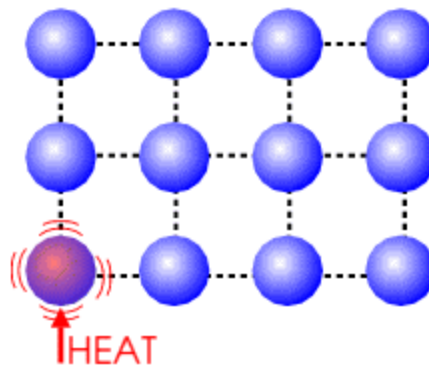
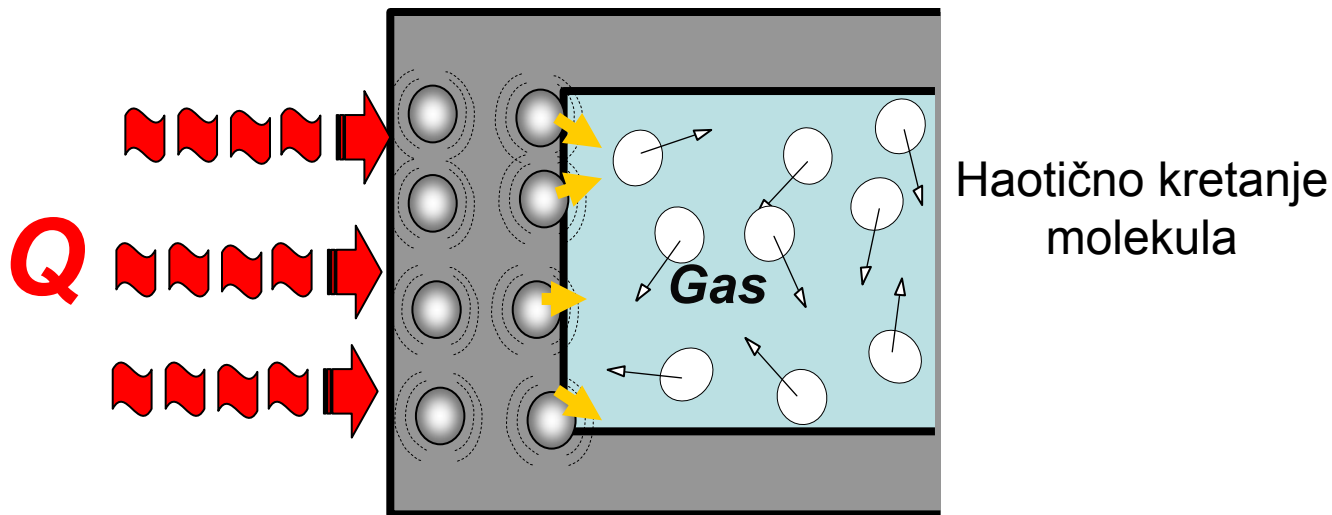
$$E [J]=m e \quad m [\text{kg}], e [J/\text{kg}]=E/m$$

- ENERGIJA IMA OSOBINU ADITIVNOSTI

$$E_{\text{Sistem}}=E_A+E_B+E_C$$



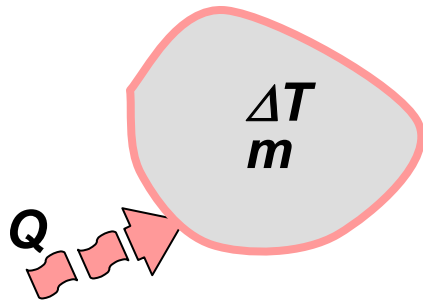
# TOPLOTA – $Q$ [J]



Toplota je  
transfer dezorganizovane energije.

# Specifična toplota $c$ [J/ kg K]

Toplota potrebna da se tijelo mase  $m$  zagrije za  $\Delta T$  ( $c$  je specifična toplota) je:



$$Q = m c \Delta T$$

Za čvrsta i tečna  
tijela  $C \sim \text{const.}$

Za gasove  $C = \text{const.}$

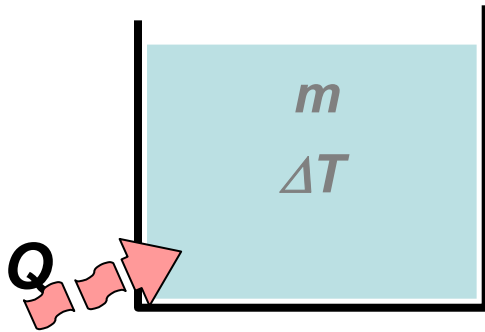
*Specifična toplota nije karakteristika materije, odnosno može imati različite vrijednosti.*

# Specifična toplota $c$ [J/ kg K]

## Primjer

Koliko je toplote potrebno dovesti da bi  $m=100$  kg (l) vode zagrijali za  $\Delta t=10$  C. Specifična toplota vode je  $c=4.18$  kJ/kgK.

Za čvrsta i tečna  
tijela  $C \sim const.$



$$Q = m c \Delta T$$

$$Q = 100 \times 4.18 \times 10 = 4180 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ} = 3600 \text{ kJ}$$

$$Q = 4180 / 3600 = 1.16 \text{ kWh}$$

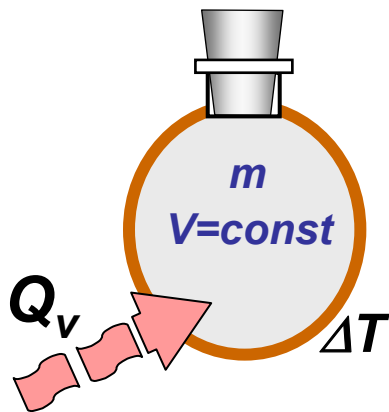
# Idealan gas

Specifične toplote gasova:

$c_p$  (pri  $p=const$ ) i  $c_v$  (pri  $V=const$ )

$$Q_v = m c_v \Delta T$$

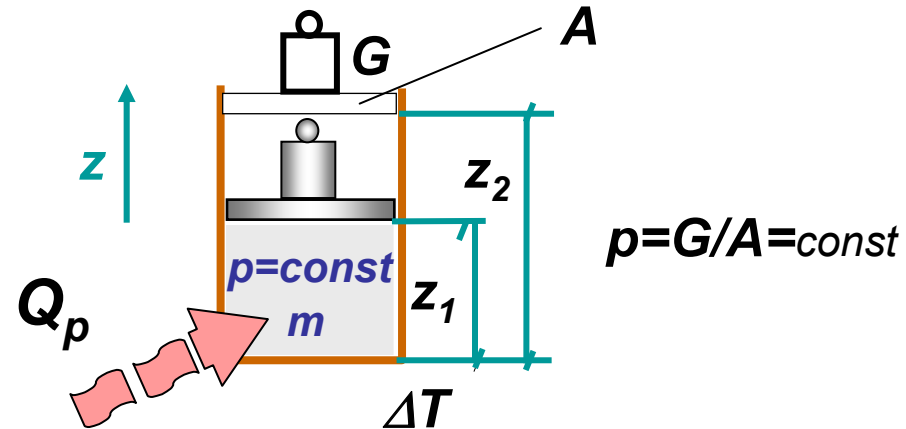
$$c_v = Q_v / m \Delta T$$



Promjena pri  $V=const$

$$Q_p = m c_p \Delta T$$

$$c_p = Q_p / m \Delta T$$



Promjena pri  $p=const$

Očigledno je da je  $c_p > c_v$

jer je  $Q_p > Q_v$  pri istoj masi  $m$  i promjeni  $\Delta T$



# Idealan gas

## Unutrašnja energija

$$U [J] = m c_v T \quad u [J / kg] = c_v T$$

## Entalpija

$$I [J] = m c_p T \quad i [J / kg] = c_p T$$

Za vazduh:

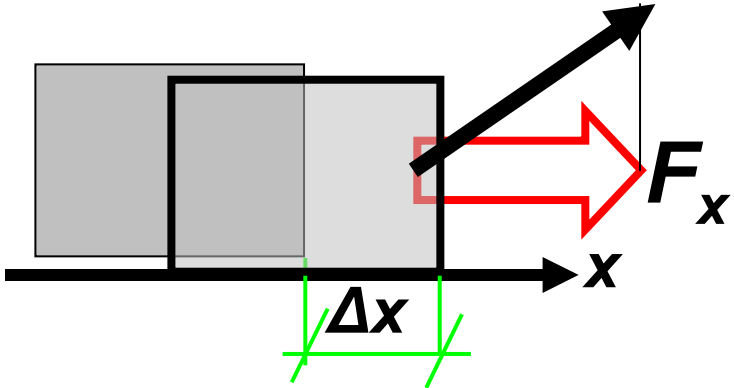
$$c_v = 720 \text{ J/kgK}$$

$$c_p = 1055 \text{ J/kgK}$$

# ***RAD – W [J]***

Rad predstavlja skalarni proizvod sile i puta.

Rad je transfer organizovane energije



$$\Delta W = F_x \Delta x$$

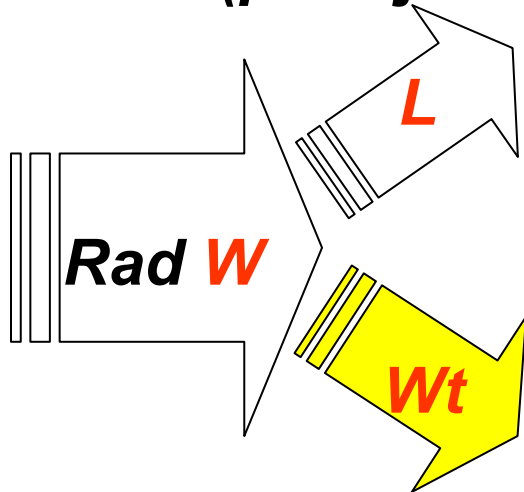
Ukupan rad:

$$W \approx \sum F_x \Delta x,$$

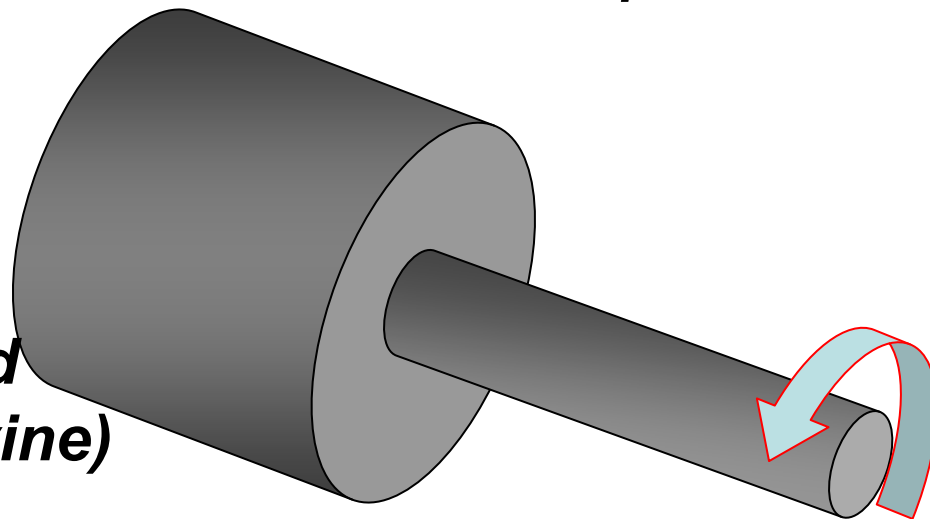
# RAD - W

## POJAVNI OBLICI RADA

**Apsolutni zapreminski rad**  
(promjena zapremine)



**Tehnički rad**  
(Obrtanje osovine)



$$\Delta L = F \Delta x$$

$$\Delta L = (pA) \Delta x$$

$$\Delta L = p \Delta V$$

