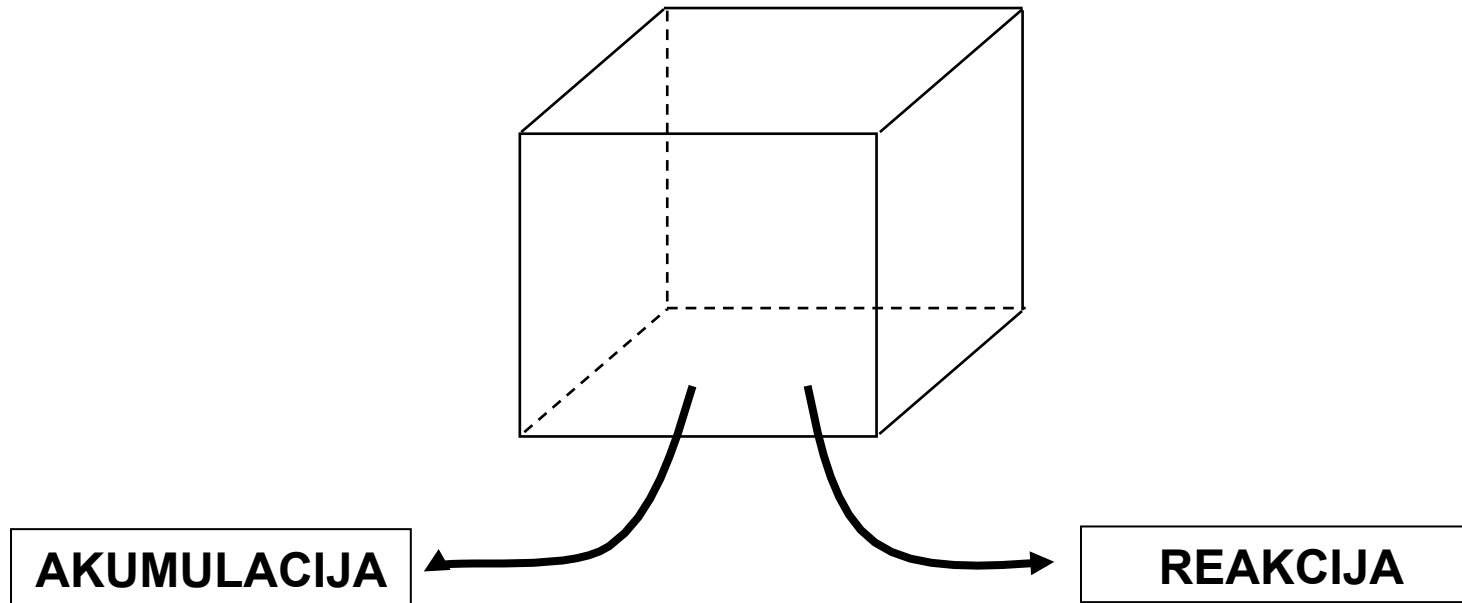


# Zatvoreni sustav

---

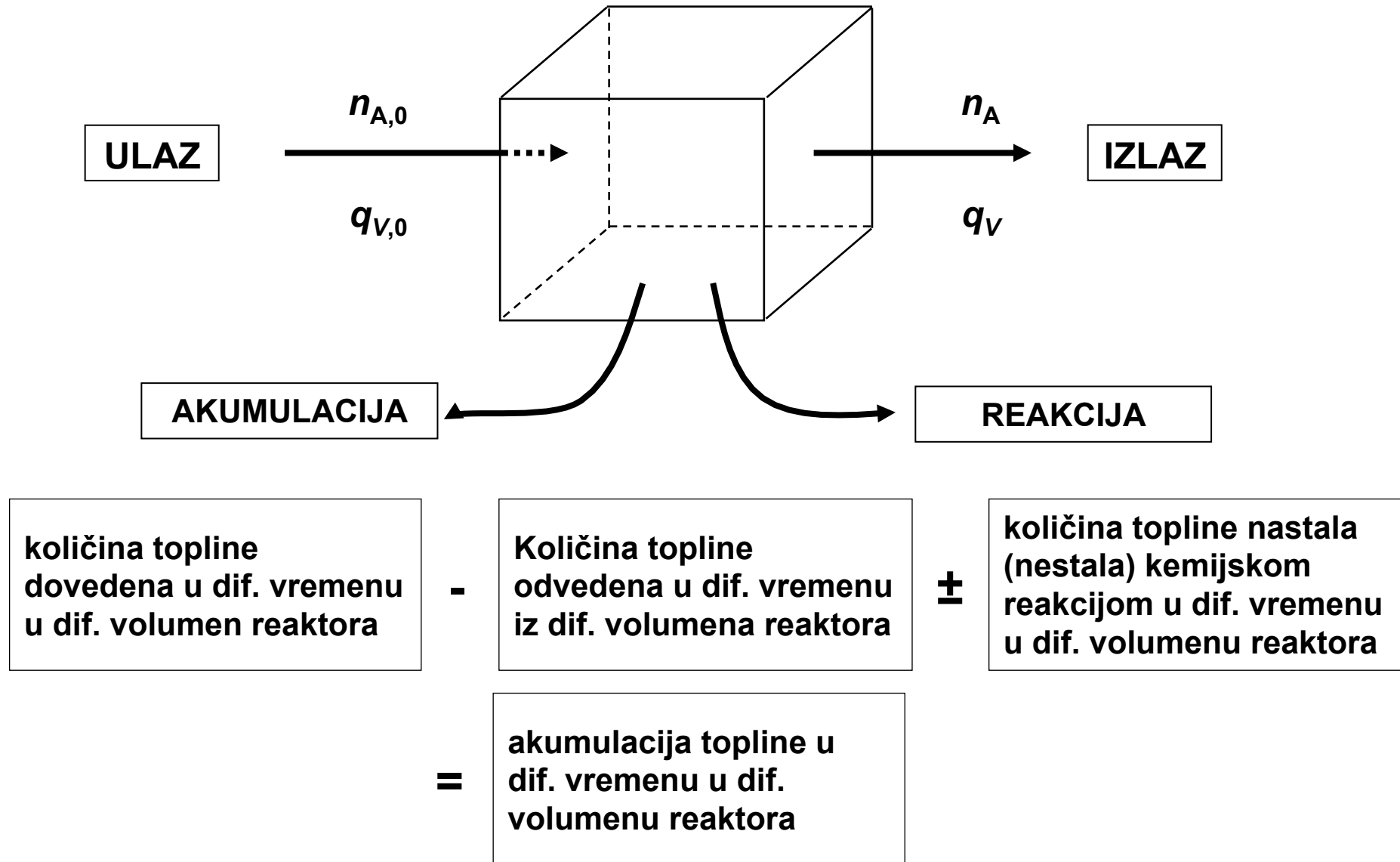


**količina topline nastala  
(nestala) kemijskom  
reakcijom u dif. vremenu  
u dif. volumenu reaktora**

**=**

**akumulacija topline u  
dif. vremenu u dif.  
volumenu reaktora**

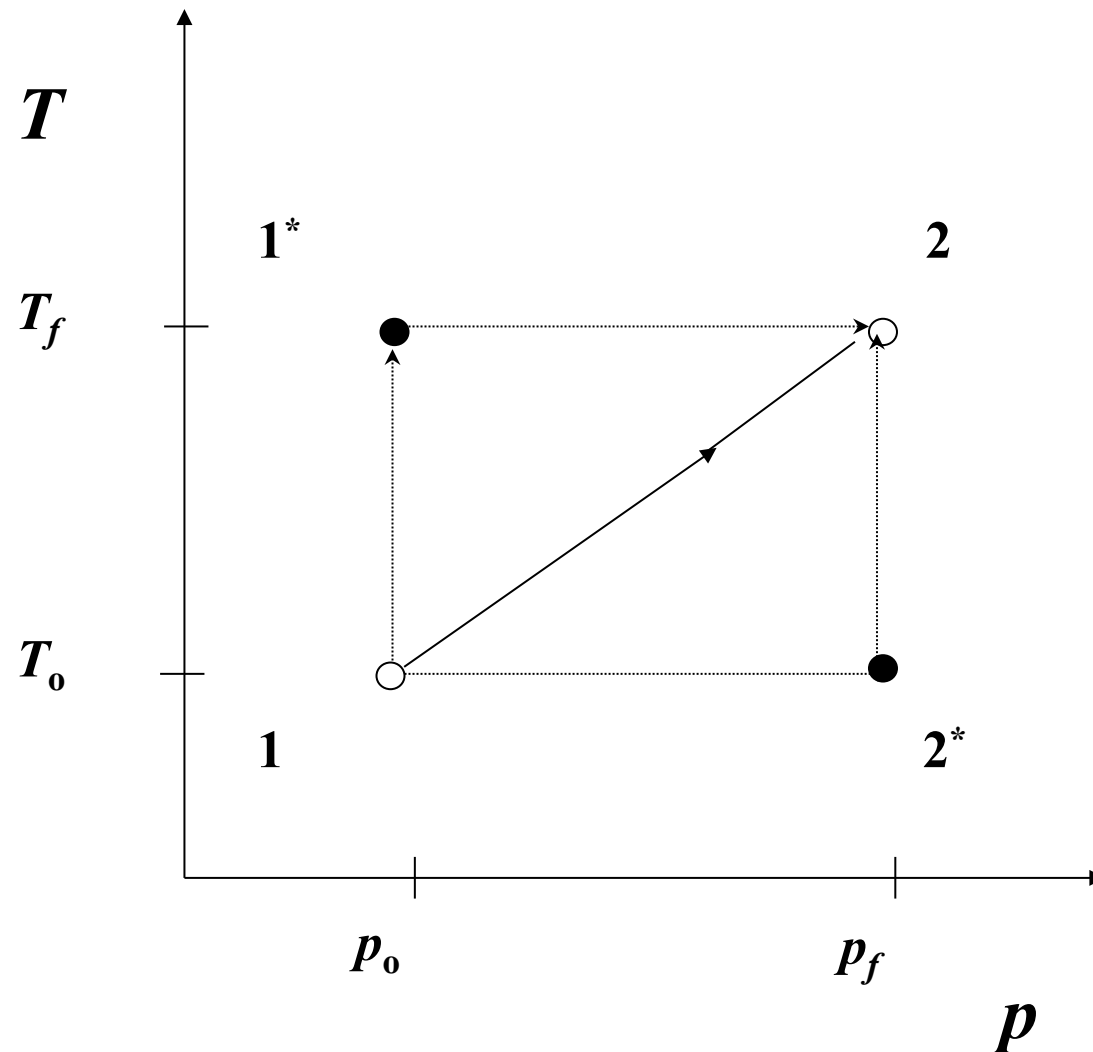
# Otvoreni sustav



# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

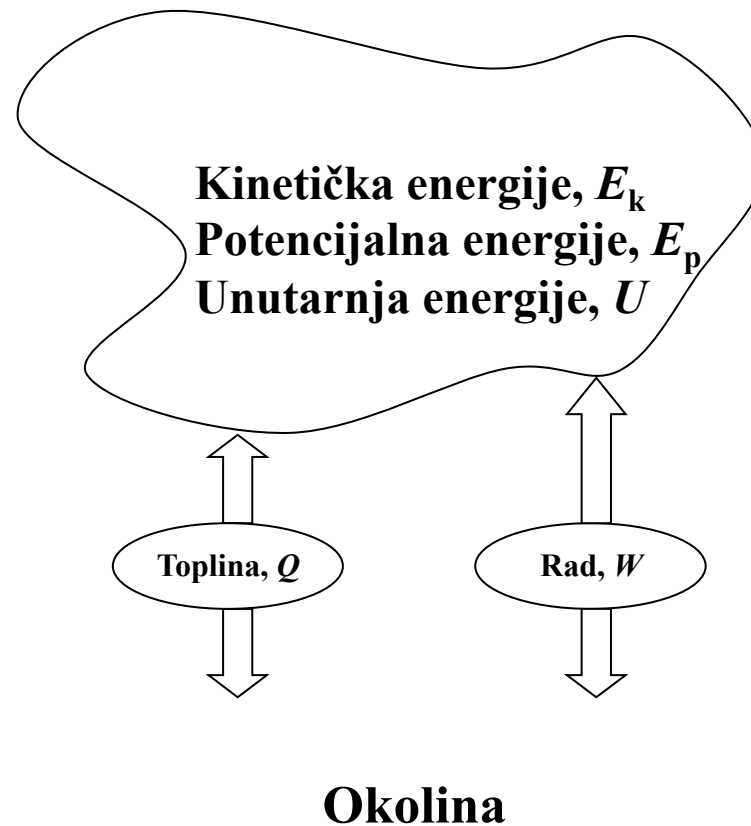
## Promjene veličina stanja



# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

**E n e r g i j a ( $E$ ) sustava je fizička veličina koja označava sustav. Ima tri oblika: kinetičku, potencijalnu i unutarnju energiju.**



# Potencijalna energija

---

P o t e n c i j a l n a e n e r g i j a ( $E_p$ ) je energija koju sustav posjeduje obzirom na gravitaciju i visinu u odnosu na površinu zemlje.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

**Primjer 2:** Sirova nafta se pumpa brzinom 15 kg/s iz bušotine duboke 220 m u spremnik koji se nalazi 20 m iznad površine zemlje. Koliko će energije biti potrebno za pokretanje pumpe?

# Unutarnja energija

---

**T e r m o d i n a m i č k a (unutarnja) e n e r g i j a (U)** je posljedica gibanja molekula relativno prema centru mase sustava. To je makroskopska mjera molekulske, atomske i subatomske energije. Mora se izračunati iz drugih veličina.

$$U = E - \left( E_k + E_p \right)$$

# Unutarnja energija

---

Specifična unutarnja energija:

$$du = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \cdot dT + \left( \frac{\partial u}{\partial v} \right)_T \cdot dv$$

**Specifični toplinski kapacitet pri stalnom volumenu:**

$$c_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

# Unutarnja energija

---

**Promjena specifične unutarnje energije:**

$$u_f - u_0 = \int_{T_0}^{T_f} c_v \cdot dT$$

$$\Delta u = \int_{T_0}^{T_f} c_v \cdot dT$$

**Treba zapamtiti da se može izračunati samo razlika unutarnje energije ili izračunati unutarnja energija u odnosu na referentno stanje, ali ne i apsolutna vrijednost unutarnje energije.**



# Entalpija

---

**E n t a l p i j a ( $H$ ) je oblik unutarnje energije koju posjeduje tvar kojoj se mijenja volumen.**

$$H = U + p \cdot V$$

# Entalpija

---

## M o l a r n a e n t a l p i j a :

$$dH_m = \left( \frac{\partial H_m}{\partial T} \right)_p dT + \left( \frac{\partial H_m}{\partial p} \right)_T dp$$

## Molarni toplinski kapacitet pri stalnom tlaku:

$$C_{p,m} = \left( \frac{\partial H_m}{\partial T} \right)_p$$

# Entalpija

---

**Promjena molarne entalpije:**

$$H_{m,f} - H_{m,0} = \int_{T_0}^{T_f} C_{p,m} dT$$

$$\Delta H_m = \int_{T_0}^{T_f} C_{p,m} dT$$

**Treba zapamtiti da se može izračunati samo promjena entalpije ili izračunati entalpija u odnosu na referentno stanje, ali ne i apsolutna vrijednost entalpije.**

# Entalpija

---

**Promjena molarne entalpije ovisi o početnom i konačnom stanju sustava:**

**Početno stanje sustava**

$$\Delta H_{m,0} = H_{m,0} - H_{m,\text{ref}}$$

**Konačno stanje sustava**

$$\Delta H_{m,f} = H_{m,f} - H_{m,\text{ref}}$$

**Ukupna promjena entalpije:**

$$\Delta H_m = \left( H_{m,f} - H_{m,\text{ref}} \right) - \left( H_{m,0} - H_{m,\text{ref}} \right)$$

$$\Delta H_m = H_{m,f} - H_{m,0}$$

# Primjer 1

---

**Primjer 1:** Molarna unutarnja energija helija je pri 300 K i 1 atm, 3800 J/mol, a molarni volumen pri istoj temperaturi i tlaku je 24,63 L/mol. Treba izračunati molarnu entalpiju helija pri ovoj temperaturi i tlaku, te brzinu kojom će se ukupna entalpija prenositi strujom helija pri 300 K i 1 atm, ako je molarni protok 250 kmol/h.

$$\Delta H_m = \Delta U_m + \Delta(p \cdot V_m)$$

$$\Delta H_m = 3800 + 1 \cdot 101325 \cdot 24,63 \cdot 10^{-3} = 6296 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H = q_m \cdot \Delta H_m$$

$$\Delta H = 250 \cdot 10^3 \cdot 6296 = 1,57 \cdot 10^9 \text{ J h}^{-1}$$

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

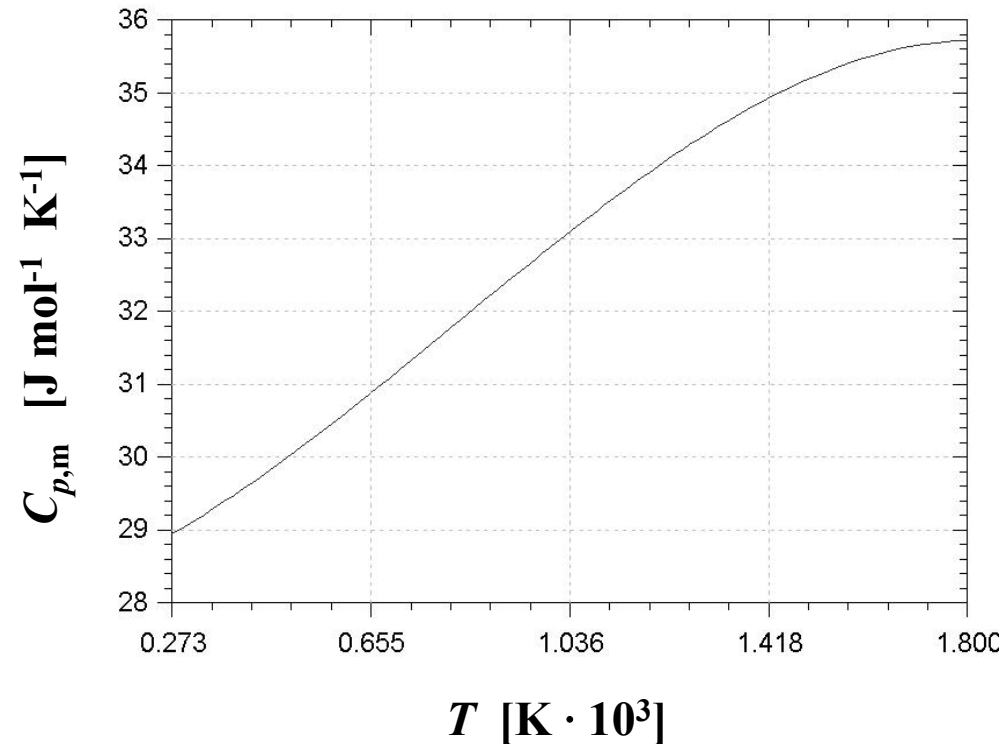
**Molarni toplinski kapacitet pri stalnom tlaku – specifična toplina je funkcija (polinomska) temperature:**

$$C_{p,m} = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3$$

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

**Molarni toplinski kapacitet pri stalnom tlaku – specifična toplina je funkcija temperature:**



# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

Srednji molarni toplinski kapacitet pri stalnom tlaku:

$$\bar{C}_{p,m} = \frac{\Delta H_m}{T_2 - T_1}$$

$$\bar{C}_{p,m} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} C_{p,m}(T) \cdot dT}{T_2 - T_1}$$



## Primjer 2

---

**Primjer 2:** Izračunati srednji specifični toplinski kapacitet pare pri tlaku 10 kPa (45,8 °C) ako su poznate specifične entalpije pare pri temperaturama 47,7 °C i 43,8 °C ( $h_{47,7\text{ °C}} = 2588,1$  kJ/kg i  $h_{43,8\text{ °C}} = 2581,1$  kJ/kg).

$$\Delta h = \Delta h_{47,7\text{ °C}} - \Delta h_{43,8\text{ °C}} = 7,0 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{c}_p = \frac{\Delta h}{\Delta T} = 1,79 \text{ kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$$

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

**K a p l j e v i n e i k r u t i n e**

$$C_{p,m} = C_{v,m}$$

**I d e a l n i p l i n o v i**

$$C_{p,m} = C_{v,m} + R$$

**V o d e n e o t o p i n e**

$$C_{p,m} = 4,184 \text{ kJ/(kg K) (voda)}$$

**O r g a n s k e o t o p i n e**

$$C_{p,m} = k \cdot M_m^a$$

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

## Specifični i srednji specifični toplinski kapaciteti (topline) nekih krutih elemenata, spojeva i tvari

Element	$T$ [K]	$c_p$ [kJ/kgK]	$\bar{c}_p$ [kJ/kgK]
Aluminij, Al	293,15	0,896	0,888
Bakar, Cu	293,15	0,383	0,381
Fosfor, P	293,15	0,754	-
Ugljik, (grafit)C	293,15	0,708	0,674
Živa, Hg	293,15	0,135	-
Šećer, C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	293,15	1,256	-
Aluminijev oksid, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	293,15	0,754	0,712
Led	273,15	2,039	-
Koks	293,15	0,837	-
Ugljen (briketi)	293,15	1,507	-
Sumpor (rombski), S	293,15	0,712	-

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

## Srednji specifični toplinski kapacitet (specifične topline) nekih kapljevina

---

Tvar	$T$ [K]	$c_p$ [kJ/kgK]
Aceton	293,15	2,160
Amonijak	293,15	4,731
Kisik	293,15	1,465
CO <sub>2</sub>	293,15	3,643
voda	293,15	4,183
n-Heptan	293,15	2,046
Toluen	293,15	1,521

---

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

## Molarni toplinski kapaciteti i specifični toplinski kapaciteti nekih plinova pri stalnom tlaku

Plin	$T$ [K]	$C_{p,m}$ [kJ/kmol K]	$c_p$ [kJ/kg K]
O <sub>2</sub>	273,15	29,274	0,915
	373,15	29,877	0,923
H <sub>2</sub>	273,15	28,617	14,195
	373,15	29,128	14,353
N <sub>2</sub>	273,15	29,115	1,039
	373,15	29,199	1,040
zrak	273,15	29,073	1,004
	373,15	29,266	1,006
CO <sub>2</sub>	273,15	35,860	0,815
	373,15	40,206	0,866
CO	273,15	29,123	1,040
	373,15	29,262	1,042
NH <sub>3</sub>	273,15	35,002	-
	373,15	37,597	-
CH <sub>4</sub>	273,15	34,738	2,165
	373,15	39,281	2,294
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	273,15	49,530	1,647
	373,15	62,170	1,860
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	273,15	68,329	1,550
	373,15	88,929	1,784
CH <sub>3</sub> CHO	273,15	51,769	1,176
	373,15	63,111	1,434

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

## T O P L I N A, $Q$

Toplina je dio ukupne energije koji prelazi ili prolazi granice sustava zbog temperaturne razlike između sustava i okoline.

Smjer izmjene je uvijek prema nižoj temperaturi.

Toplina je pozitivna kada s okoline prelazi na sustav, a negativna kada sa sustava prelazi na okolinu. Toplina se s okolinom može izmjeniti kondukcijom, konvekcijom ili radijacijom.

Toplina nije osobina (značajka) sustava.

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

**R A D    $W$**

**Rad je oblik energije koji prolazi granice sustava kao odgovor na neku pokretačku snagu.**

**Rad je pozitivan kada ga okolina vrši na sustav, a negativan kada sustav vrši rad na okolinu.**

**Rad nije osobina (značajka) sustava.**

# Osnovni pojmovi u bilancama energije

---

## PRVI ZAKON TERMODINAMIKE

Temelj svih računanja koja se izvode pomoću bilanci energije je Zakon o održanju energije: Energija se ne može stvoriti iz ničega niti uništiti. Ovaj zakon se još naziva i prvi zakon termodinamike.

**BILANCA ENERGIJE** je primjena prvog zakona termodinamika na procese.