



# TERMODINAMIČKA ANALIZA EJEKTORSKOG SOLARNOG HLAĐENJA

**Milan GOJAK, Đorđe KOZIĆ, Branislav PETROVIĆ**

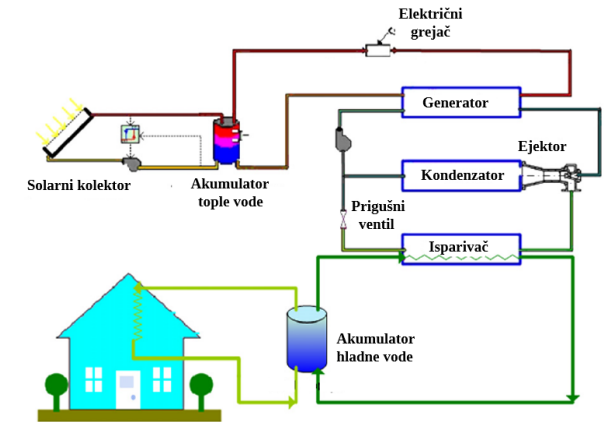
**Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija**



# 1. Uvod

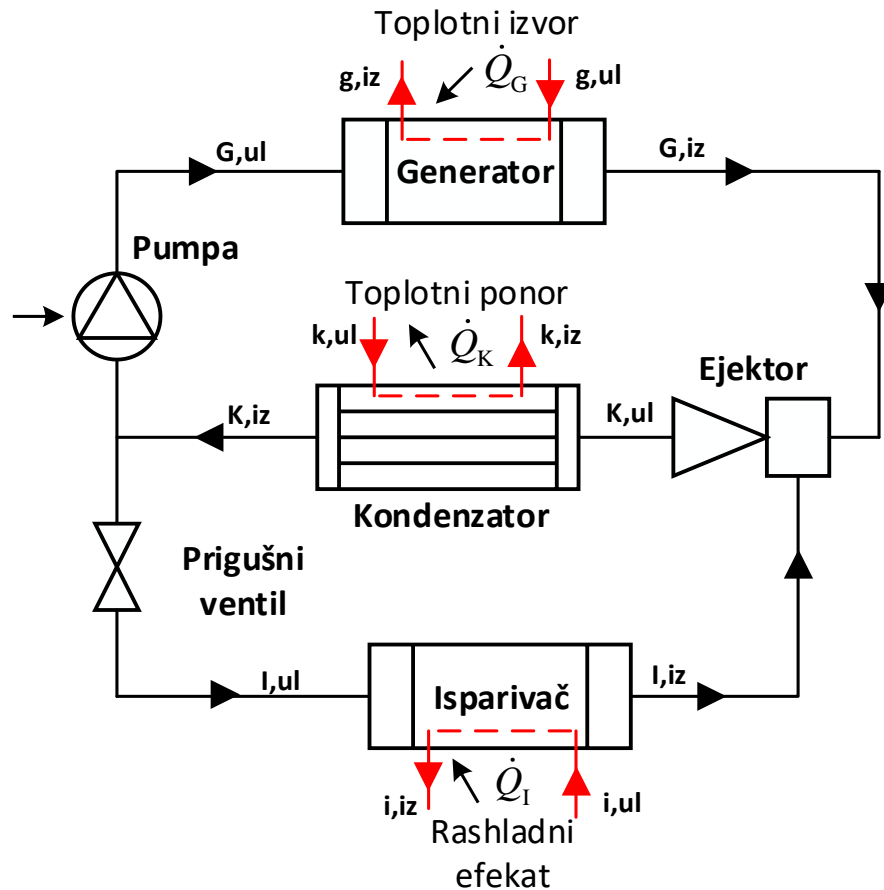
- **Prednosti ejektorskog rashladnog sistema:**

- odsustvo pokretnih delova
- konstruktivna jednostavnost,
- dug vek trajanja,
- niska cena,
- jednostavnost fukcionisanja, kontrole i održavanja.



- Ovi sistemi koriste jednokomponentni radni fluid, sposobni su da potiskuju velike zapremine u okviru relativno malog prostora – sve to sa malim utroškom rada za pogon pumpe.
- Poseduju potencijal da mogu da se koriste u mnogim delovima sveta, posebno za čuvanje medicinskih preparata (vakcina) u lokalitetima bez električne mreže
- Važan **nedostatak** ovakvih sistema je relativno niska vrednost COP, i zahtevaju znatno veću površinu solarnih kolektora kolektora
- U odnosu na konvencionalne kompresione rashladne sisteme, funkciju kompresora u ovom slučaju preuzimaju generator pare (grejan sunčevom energijom), ejektor i napojna pumpa

## 2. Princip rada i tok proračuna



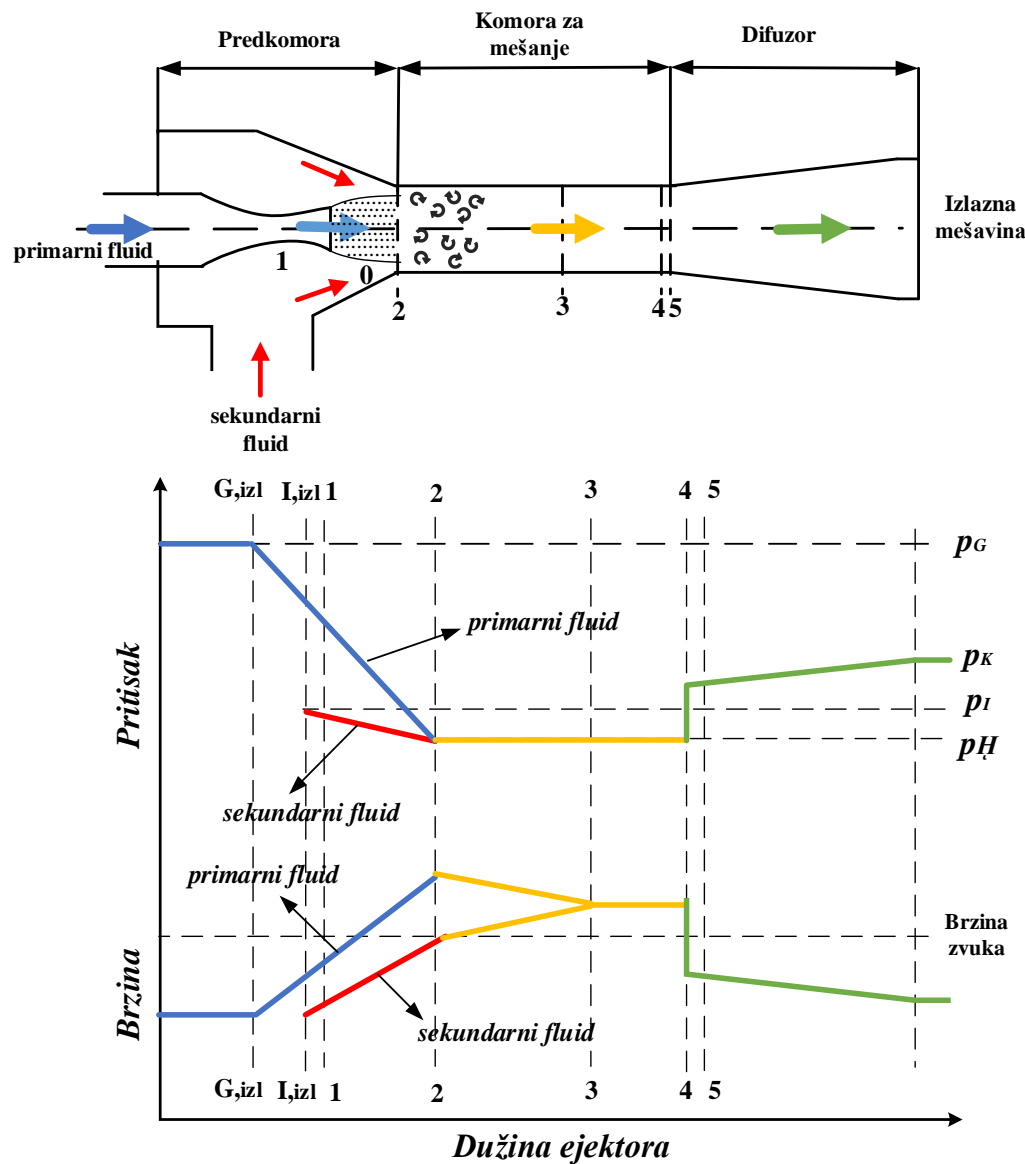
- **Ejektorski rashladni sistem se sastoji od:**

- generatora pare (**G**),
- kondenzatora (**K**)
- isparivača (**I**),
- ejektora,
- pumpe,
- prigušnog ventila

- **Uključena su još i tri spoljašnja fluidna toka:**

- dovođenje toplote od toplotnog izvora,
- odvođenje toplote od kondenzatora ,
- ostvarivanje efekta hlađenja.

Slika 1. Šema ejektorskog rashladnog sistema

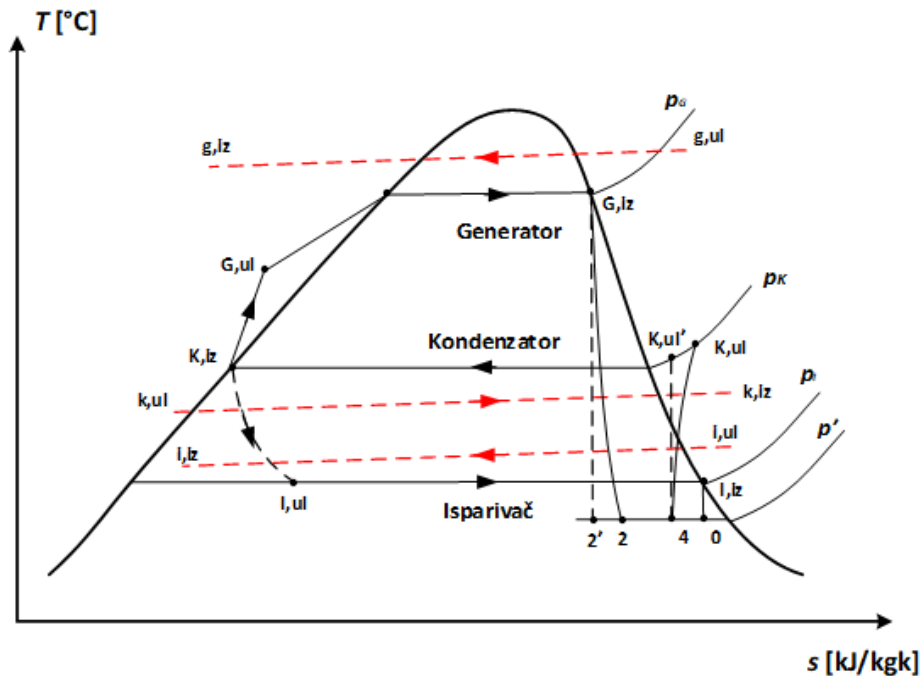


Slika 2. Šematski prikaz ejektora i odgovarajuće promena brzine i pritiska unutar ejektora

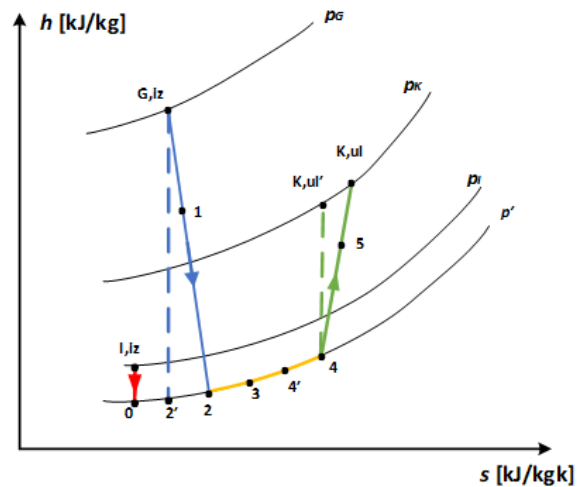
- Pokazuje se da je osnovni (ujedno i najproblematičniji) element ovog rashladnog sistema – upravo sam **ejektor**.
- Osnovni proces u ejektoru se događa zahvaljujući prenošenju impulsa (količine kretanja) između dve struje fluida.
- Procesi u ejektoru su, po prirodi stvari, u velikoj meri nepovratni: turbulentno mešanje dva fluidna toka, nadzvučno stujanje sa udarnim talasom itd.
- Za analizu procesa mešanja dve struje (primarnog fluida iz generatora i sekundarnog fluida iz isparivača), neophodno je da se uzme u obzir koeficijent usisavanja ejektora, kao odnos masenih protoka sekundarnog i primarnog toka.  $\mu = \dot{m}_1 / \dot{m}_G$
- S obzirom na to da na ovom stadijumu računanja, vrednost nije poznata, ona se u prvom koraku pretpostavlja i služi za određivanje  $V_4 h_4 h_{K,ul}$

## Korišćene sledeće pretpostavke:

- (1) Strujanje gasa u ejektoru je jednodimenzionalno i stacionarno;
- (2) primarni i sekundarni fluid se u parnom području smatraju idealnim, sa konstantnim vrednostima  $K$  i  $C_p$
- (3) brzine primarnog gasa, sekundarnog gasa i izlazne mešavine na ulazima i izlazu iz ejektora su zanemarljive;
- (4) strujanje gasova kroz ejektor je adijabatsko;
- (5) usisavanje pare sekundarnog fluida kao i proces mešanja se odvija na pritisku nižem od pritiska u isparivaču;
- (6) brzine primarnog i sekundarnog fluida na ulazu u ejektor kao i brzina pomešanog toka na izlazu iz ejektora se zanemaruju;
- (7) gubici u realnim adijabatskim procesima ekspanzije i kompresije, u odnosu na izentropske procese, se uzimaju u obzir pomoću stepena dobrote mlaznika



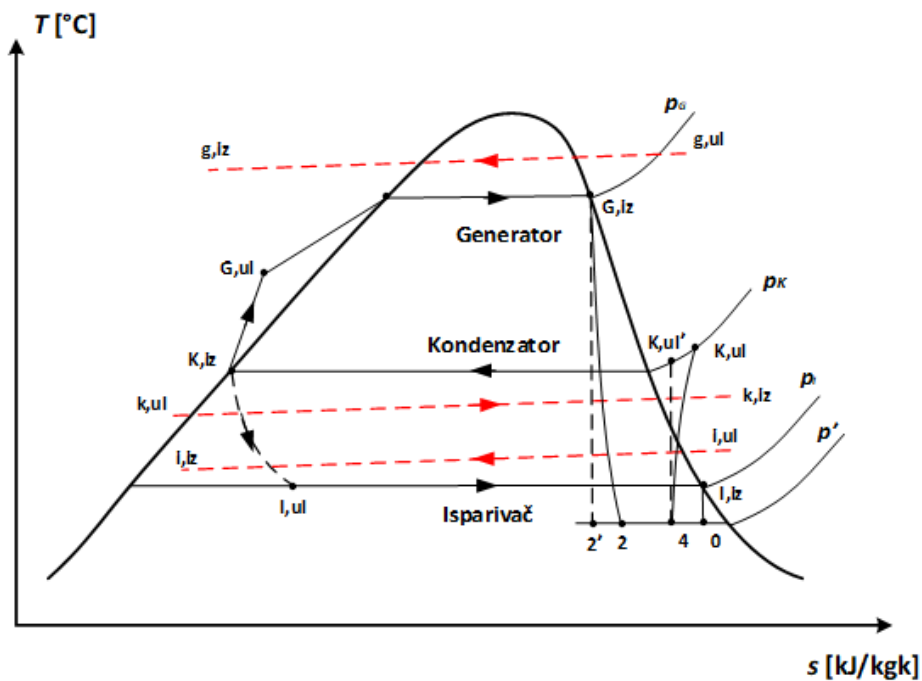
Slika 3.a) Šematski prikaz promene stanja radnog fluida u T-s koordinatnom sistemu



Slika 3.b) procesi ekspanzije, mešanja i kompresije u ejektoru, u h-s koordinatnom sistemu

- Osnovna karakteristika ovog proračuna je neophodnost da se izvrše dve iteracije, tako da se dobije stvarna vrednost za pritisak  $p'$  i koeficijent usisavanja ejektora  $\mu$  (eng. „entrainment ratio“), koji su u međusobnoj relaciji.

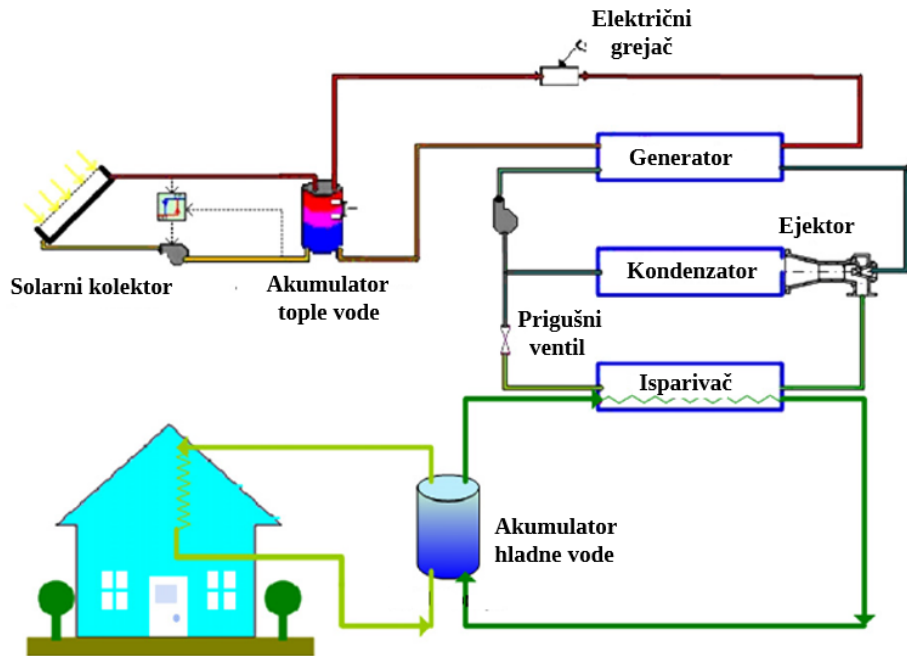
$$\mu = \frac{\sqrt{2\eta_m(h_{G,iz} - h_{2'})} - \sqrt{2(h_{K,ul'} - h_4) / (\eta_d \eta_{meš})}}{\sqrt{2(h_{K,ul'} - h_4) / (\eta_d \eta_{meš})} - \sqrt{2(h_{I,ul} - h_0)}}$$



- radni fluid freon **R134a**
- fiksni rashladni kapacitet od  $\dot{Q}_I = 3,6 \text{ kW}$
- radne temperature radnog fluida
  - generatora  $T_G = 80 \text{ °C}$ ,
  - kondenzatora  $T_K = 32 \text{ °C}$
  - isparivača  $T_I = 10 \text{ °C}$ ,
- Vrednosti stepena dobrote mlaznika, komore za mešanje i difuzora su konstantne vrednosti  $\eta_{ml} = 0,80$ ;  $\eta_{meš} = 0,8$ ;  $\eta_d = 0,9$ ;

### 3. Eksergijska analiza

$$I_r = Ex_{iz} - Ex_{ul} = T_0 \Delta S_{is} \quad ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz$$



Slika 5. Šematski prikaz svih elemenata jednog ejektorskog solarnog sistema za hlađenje

Generator:  $\dot{I}_G = T_0[\dot{m}_G(s_{G,iz} - s_{G,ul}) + \dot{m}_{V,g}(s_{g,iz} - s_{g,ul})]$

Kondenzator:  $\dot{I}_K = T_0[(\dot{m}_G + \dot{m}_I)(s_{K,iz} - s_{K,ul}) + \dot{m}_{V,k}(s_{k,iz} - s_{k,ul})]$

Isparivač:  $\dot{I}_I = T_0[\dot{m}_I(s_{I,iz} - s_{I,ul}) + \dot{m}_{V,i}(s_{i,iz} - s_{i,ul})]$

Ejektor:  $\dot{I}_E = T_0[(\dot{m}_G + \dot{m}_I)s_{K,ul} - \dot{m}_G s_{G,iz} - \dot{m}_I s_{I,iz}]$

Prigušni ventil:  $\dot{I}_{PV} = T_0[\dot{m}_I(s_{I,ul} - s_{K,iz})]$

Pumpa:  $\dot{I}_P = \dot{W}_P + \dot{m}_G[(h_{G,ul} - h_{K,iz}) - T_0(s_{G,ul} - s_{K,iz})]$

Ukupni ireverzibilitet:  $\dot{I}_{uk} = \dot{I}_G + \dot{I}_K + \dot{I}_I + \dot{I}_E + \dot{I}_{PV} + \dot{I}_P$

## 4. Zaključak

Osnovni rezultati ove analize, za date relevantne parametre, prikazani su u tabelarnoj formi. Kao računarski program korišćen je Matlab, a podaci za rashladni fluid R134a su učitavani iz baze podataka NIST

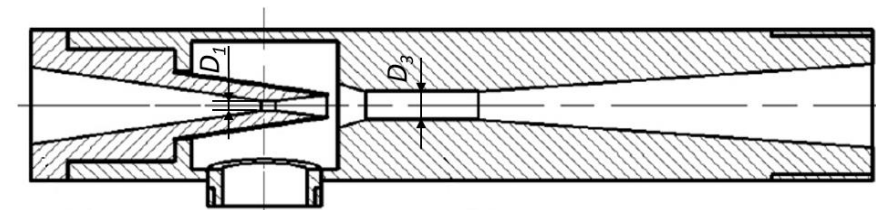
R134a	
$\bar{V}_2 = 259,86 \text{ m/s}$	$\dot{Q}_K = 10,72 \text{ kW}$
$\bar{V}_0 = 53,10 \text{ m/s}$	$\mu = 0,559$
$\bar{V}_4 = 174,59 \text{ m/s}$	$\dot{m}_I = 0,022 \text{ kg/s}$
$p' = 0,3876 \text{ MPa}$	$\dot{m}_G = 0,039 \text{ kg/s}$
$\dot{Q}_I = 3,60 \text{ kW}$	$A_r = 5,20$
$\dot{Q}_G = 7,22 \text{ kW}$	$\text{COP} = 0,48$

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_I}{\dot{Q}_G + \dot{W}_P} \approx \mu \frac{h_{I,iz} - h_{I,ul}}{h_{G,iz} - h_{K,iz}}$$

$$\dot{Q}_I = \dot{m}_I (h_{I,iz} - h_{I,ul})$$

$$\dot{Q}_G = \dot{m}_G (h_{G,iz} - h_{G,ul})$$

$$\dot{Q}_K = (\dot{m}_I + \dot{m}_G) (h_{K,ul} - h_{K,iz})$$



Slika 4. Prikaz ejektora sa karakterističnim geometrijskim parametrima

$$A_r = \frac{A_3}{A_1} = \frac{p_G (1 + \mu)^{1/2} (1 + \mu T_I / T_G)^{1/2} (2 / (\kappa + 1))^{1/(\kappa-1)} (1 - 2 / (\kappa + 1))^{1/2}}{p_K (p_5 / p_K)^{1/\kappa} (1 - (p_5 / p_K)^{(\kappa-1)/\kappa})^{1/2}}$$



# HVALA NA PAŽNJI!



Vanredni profesor **dr Milan Gojak** - [mgojak@mas.bg.ac.rs](mailto:mgojak@mas.bg.ac.rs)

Redovni profesor u penziji, **dr Đorđe Kozić** - [dkozic@mas.bg.ac.rs](mailto:dkozic@mas.bg.ac.rs)

Master inženjer mašinstva **Branislav Petrović** - [bpetrovic@mas.bg.ac.rs](mailto:bpetrovic@mas.bg.ac.rs)

**Katedra za termomehaniku**

**Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet**