



Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet

ANALIZA RADA APSORPCIONE RASHLADNE MAŠINE POGONJENE SUNČEVOM ENERGIJOM

Autori:

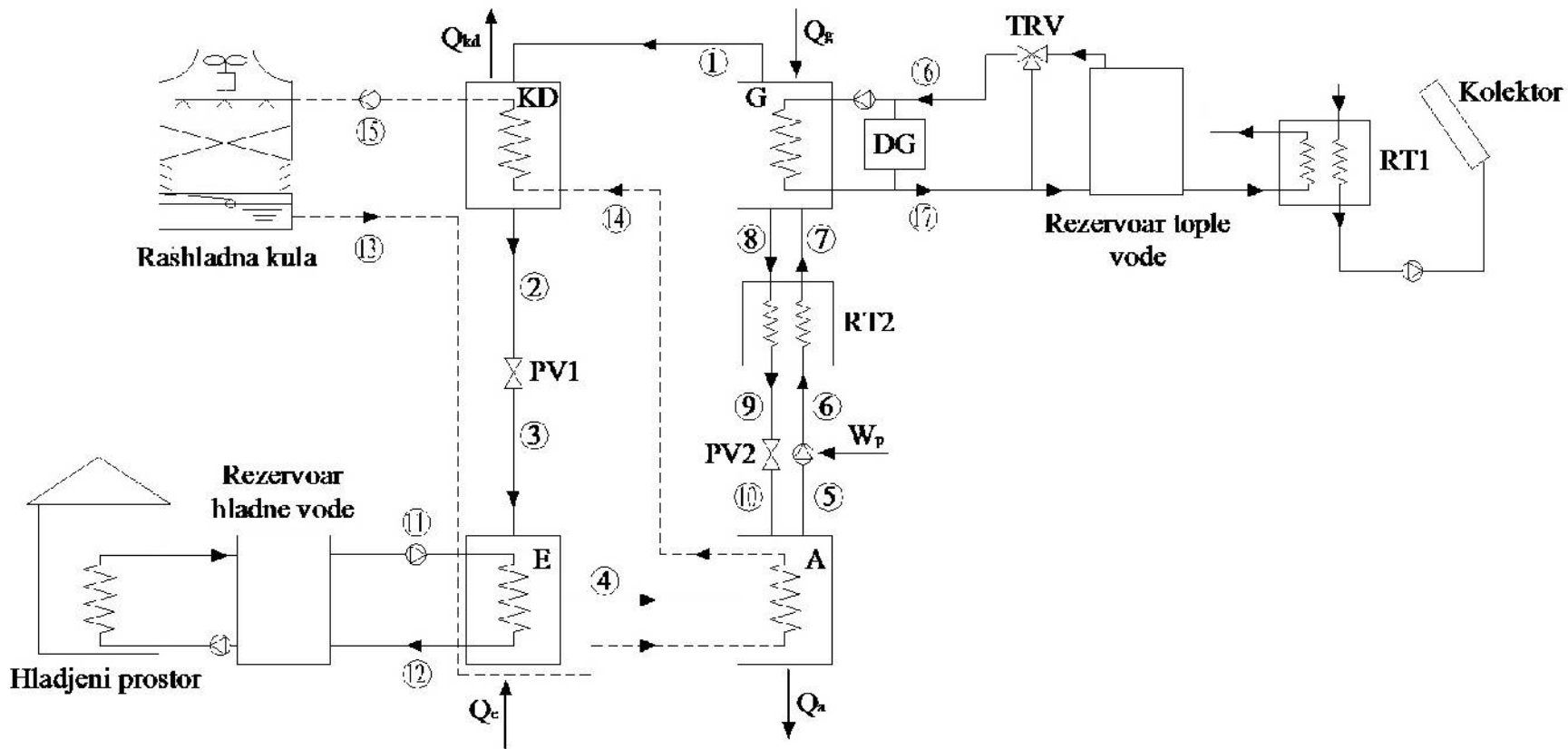
Milena Stojković

Milan Gojak

Franc Kosi

Uroš Milovančević

Opis rada sistema



A – apsorber, G – generator pare, DG – dodatni zagrejač vode, E – isparivač, KD – kondenzator, PV1, PV2 – prigušni ventil, RT1, RT2 – razmenjivač toplote, TRV – trokraki regulacioni ventil.

Matematički model sistema ARM

- *Solarni sistem*
- Osnovni energetska parametar kolektora – termička efikasnost:
 - $\eta = \frac{Q_u}{Q_t}$
- „Kriva efikasnosti“ kolektora – termički gubici: koeficijenti termičkih gubitaka kolektora i razlika temperatura fluida u kolektoru i okolnog vazduha:
 - $\eta = \eta_o - a_1 \frac{t_m - t_a}{G_t} - a_2 G_t \left(\frac{t_m - t_a}{G_t} \right)^2$

Matematički model sistema ARM

- Rad solarnog sistema – razvijen dinamički model.
- Diferencijalna jednačina bilansa energije u jedinici vremena solarnog kolektora:

- $$C_c \frac{dt_{m,i}}{d\tau} = A_c \times G_t \times \eta_i - \dot{m}_c c_p (t_{f,iz} - t_{f,ul})_i$$

- Jednačina trenutnog bilansa energije i -tog elementa solarnog sistema:

- $$C_i \frac{dt_{m,i}}{d\tau} = \sum_{j=1}^k (\dot{m}_f c_p t_f)_{j,ul} - \sum_{l=1}^m (\dot{m}_f c_p t_f)_{l,izl} - U_i (t_{m,i} - t_{a,i})$$

Matematički model sistema ARM

- *Apsorpcioni rashladni uređaj*
- Razmatran je sistem sa rastvorom LiBr/H₂O:
 - niže temperature ključanja u generatoru pare u odnosu na sistem sa rastvorom H₂O/NH₃,
 - COP su veći kod LiBr/H₂O nego kod H₂O/NH₃,
 - rashladni sistemi sa H₂O/NH₃ zahtevaju više pritiske (ograničenja pri upotrebi u zgradama zbog opasnosti povezane sa upotrebom amonijaka),
 - problem korodivnosti i odvajanja vodene pare iz amonijaka – složeniji od sistema sa LiBr/H₂O.
- Upotreba rastvora LiBr/H₂O u isparivaču i apsorberu ograničena – smrzavanje vode i očvršćavanje rastvora LiBr/H₂O (kristalizacija).

Matematički model sistema ARM

- Pretpostavljeni uslovi:
 - ustaljeno stanje sistema,
 - termodin. ravnoteža u svim stanjima radnih fluida,
 - rashladni fluid koji napušta E je suvozasićena vodena para, a KD – ključala tečnost,
 - pregrejana para rashladnog fluida na izlazu iz G je u temp. ravnoteži sa rastvorom koji u njega ulazi,
 - rastvori koji napuštaju A i G su zasićeni,
 - pritisci u G i KD su jednaki, kao i pritisci u E i A,
 - proces sabijanja fluida u pumpi je izentropski,
 - u ekspanzionim ventilima proces je adijabatski,
 - toplotni gubici i padovi pritisaka su zanemarljivi.

Matematički model sistema ARM

- Ravnotežna t i h rastvora LiBr/H₂O:

- $$t = \sum_0^3 b_n X^n + t_r \times \sum_0^3 a_n X^n$$

- $$h = \sum_0^4 A_n X^n + t \sum_0^4 B_n X^n + t^2 \sum_0^4 C_n X^n$$

$$\varepsilon_2 = \frac{t_7 - t_6}{t_8 - t_6}$$

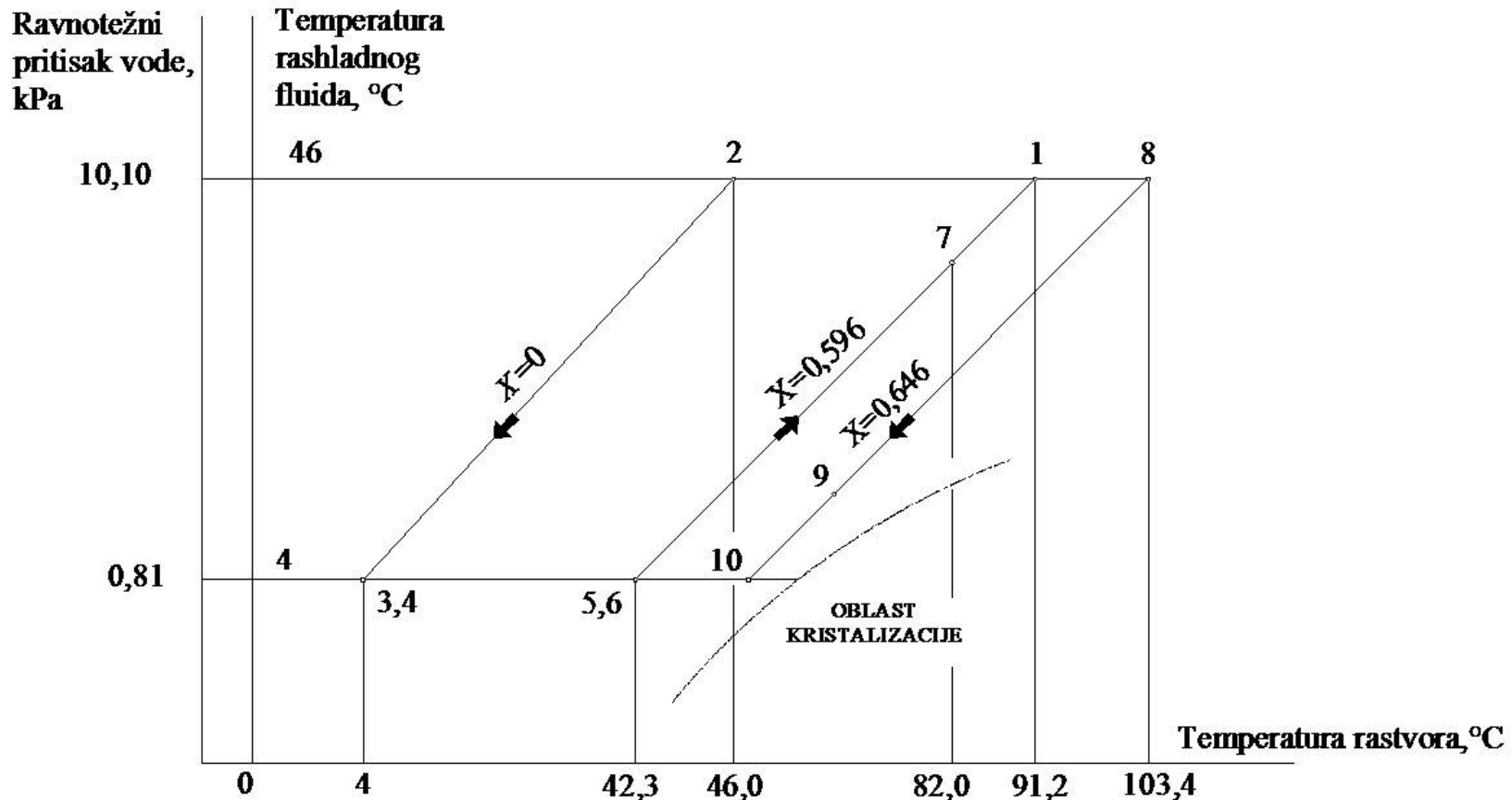
- Termička efikasnost razmenjivača toplote RT2:

- $$\text{COP}_\varepsilon = \frac{Q_e}{Q_g}$$

- Rashladni količnik COP \hat{U} :

-

Matematički model sistema ARM

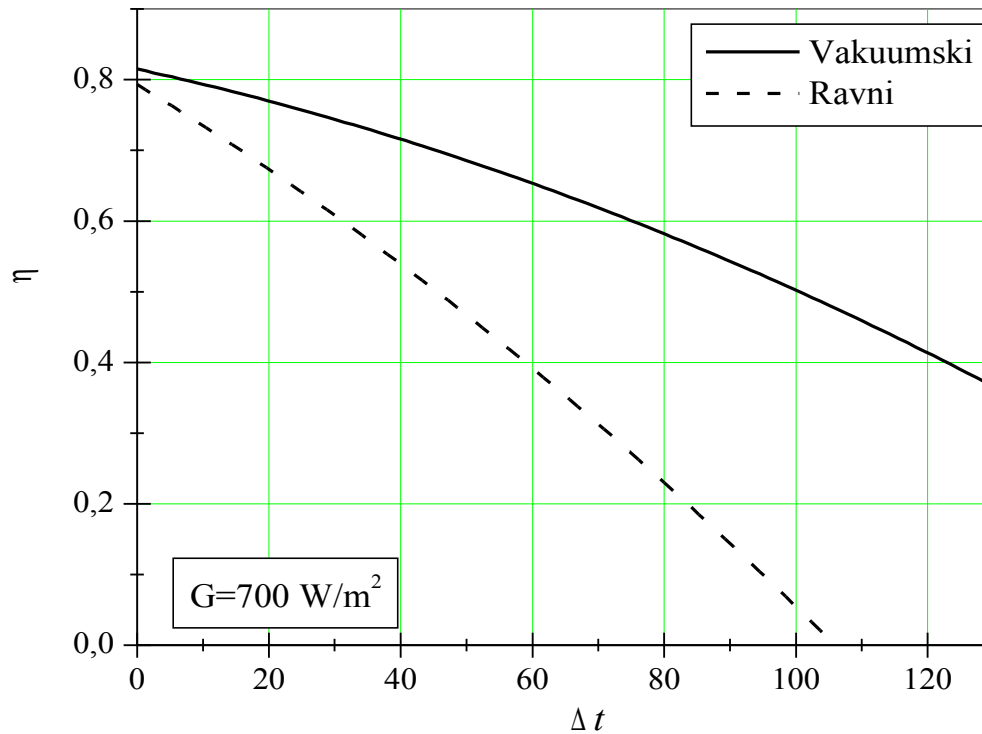


Grafički prikaz apsorpcionog rashladnog procesa u Dühring-ovom dijagramu (temperatura rashladnog fluida – temperatura rastvora)

Rezultati proračuna

- Solarni sistem sa **vakuumskim kolektorima** sa toplotnom cevi („heat pipe“) i ravnim kolektorima sa prekrivkom.
- Radni uslovi sistema su:
 - temperatura tople vode za pogon G: $thw,in = 110^{\circ}\text{C}$, $thw,out = 105^{\circ}\text{C}$,
 - temperatura isparavanja rashladnog fluida: $te = 4^{\circ}\text{C}$,
 - temperatura sekundarnog rashladnog fluida (vode) u isparivaču: $tcw,in = 12^{\circ}\text{C}$, $tcw,out = 7^{\circ}\text{C}$,
 - maksimalno toplotno opterećenje: $Qe = 38,2 \text{ kW}$,
 - temperatura kondenzacije: $tkd = 46^{\circ}\text{C}$,
 - termička efikasnost RT2: $\hat{U}2 = 0,65$,
 - temperatura r. vode: $tcoolw,in = 30^{\circ}\text{C}$, $tcoolw,out =$

Rezultati proračuna

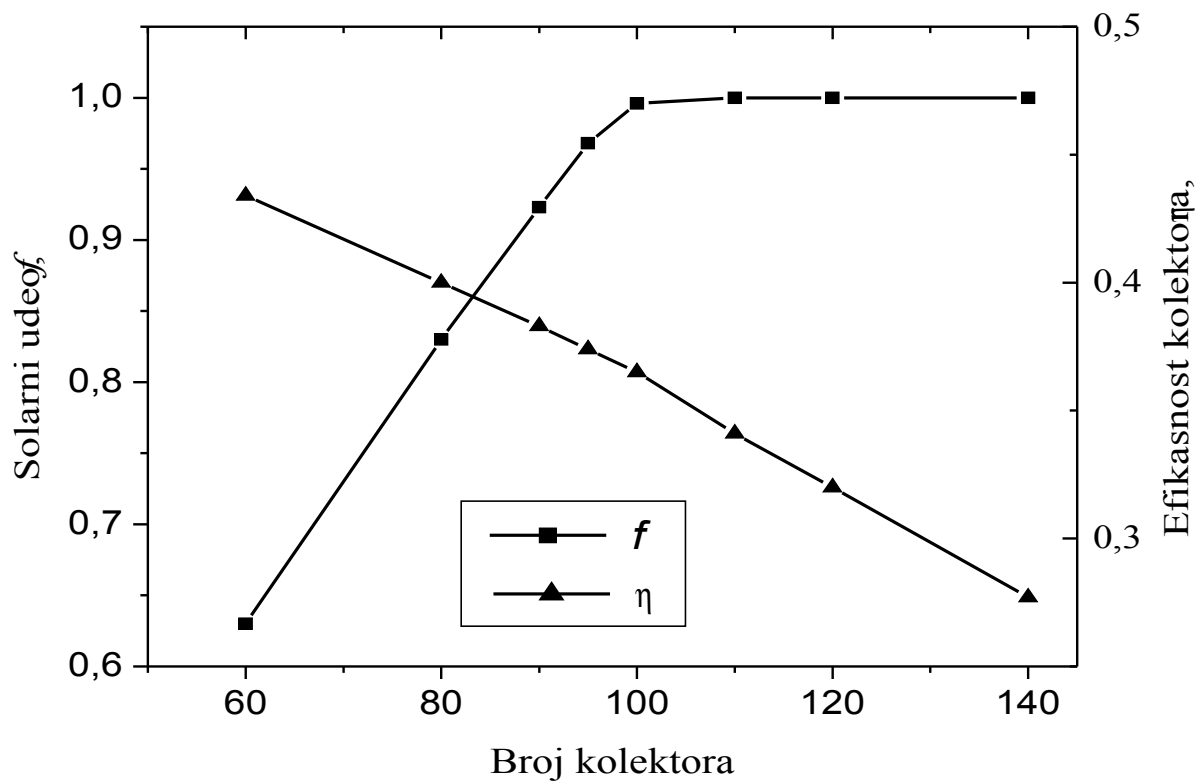


Zavisnost termičke efikasnosti kolektora od razlike temperatura fluida u njemu i okolnog vazduha

vakuumski kolek: $\eta_0 = 0,815$, $\alpha_1 = 1,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $\alpha_2 = 0,0076 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$

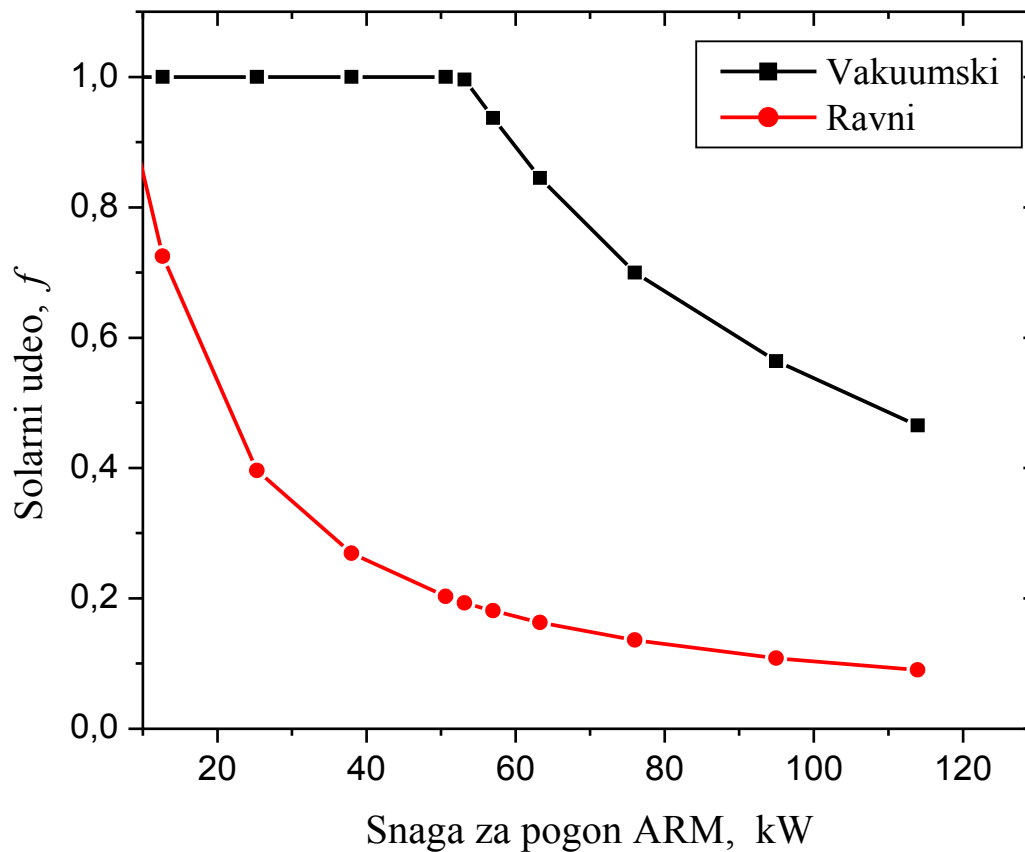
ravni kolektori: $\eta_0 = 0,793$, $\alpha_1 = 3,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $\alpha_2 = 0,0122 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$

Rezultati proračuna



Zavisnost solarnog udela i efikasnosti kolektora od broja (površine) kolektora

Rezultati proračuna



Zavisnost solarnog udela od snage za pogon ARM

Rezultati proračuna

- Usvojene površine apsorbera: vakuumski kolektori – 205 m² (100 kolektora) i ravni kolektori – 208,8 m² (90 kolektora).
- Niži f kod primene ravnih nego vakuumskih kolektora – termička efikasnost kolektora (relativno visoke razlike temperatura).
- Povećanjem rashladnog učinka (snage za pogon ARM) udeo Sunčeve energije opada (nešto niže temp. fluida – efikasnost kolektora blago raste).
- Vakuumski kolektori: za $f = 1$ potrebno je 5,37 m² površine apsorbera po kW hlađenja.

Rezultati proračuna

- Zanemarujući utrošak rada za pogon cirkulacione pumpe, dobijaju se sledeće vrednosti toplotnih protoka u stacionarnom stanju:
 - rashladni učinak isparivača : 38,2 kW,
 - toplotna snaga generatora pare: 53,0 kW,
 - toplotna snaga kondenzatora: 40,8 kW,
 - toplotna snaga apsorbera: 50,3 kW,
 - rashladni količnik: 0,72.

Zaključak

- Rashladne potrebe usklađene sa raspoloživom energijom koja se može dobiti sistemom solarnih kolektora.
- ARM sa smešom LiBr – voda mogu u kombinaciji sa solarnim sistemom da rade vrlo ekonomično (vakuumski kolektori).
- Primena apsorpcionog hlađenja može biti vrlo atraktivan koncept, posebno zbog izvesno vrlo kratkih „perioda otplate“ investicija.

Hvala!