



Sveučilište u Rijeci
Tehnički fakultet



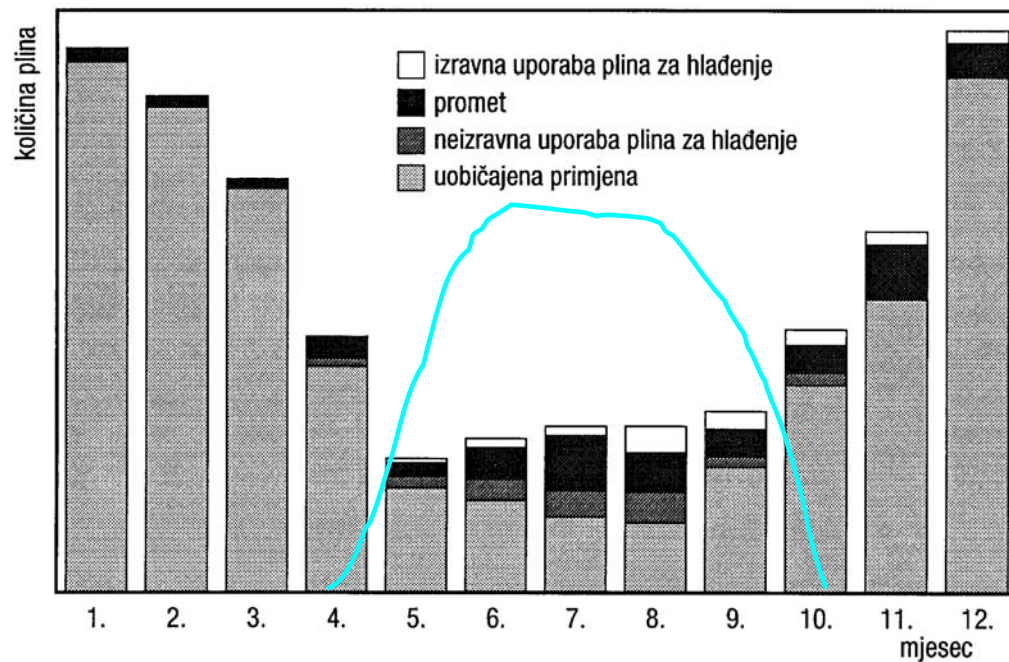
Sustavi hlađenja plinom

Pripremio:
Branimir Pavković

Rijeka, 27. svibnja 2006.

Razlozi za primjenu plina za hlađenje

1. Uravnoteženje potrošnje plina – zanimljivo distributerima, ali i korisnicima jer se smanjuju jedinični troškovi plina – moguća i povlaštena ljetna cijena
2. Smanjenje vršne potrošnje električne energije
3. Odgoda izgradnje dodatnih kapaciteta elektroopskrbe
4. Smanjenje zagađenja – emisije štetnih tvari
5. Moguća ušteda na troškovima grijanja i hlađenja



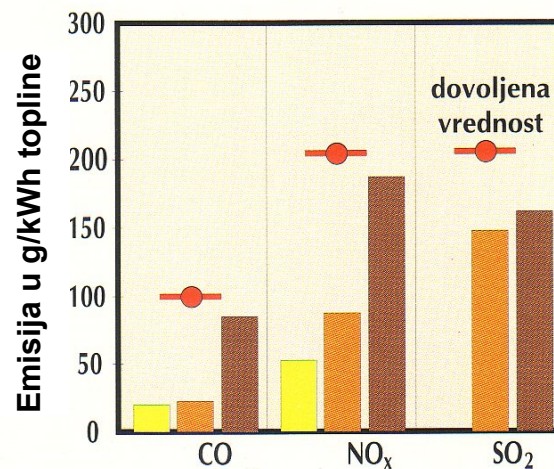
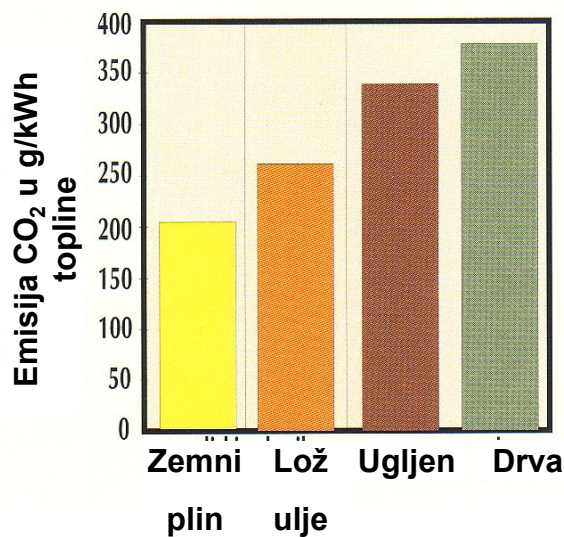
Ilustracija 3
Uporaba plina za standardne potrebe i nove primjene
tijekom 1996. godine u Gradskoj plinari Zagreb

Usporedba iznosa onečišćenja pri uporabi apsorpcijskog rashladnog uređaja pogonjenog plinom i kompresijskog rashladnog uređaja pogonjenog električnom energijom [3]

Onečišćivači	3517 kW apsorpcijski hladnjak (kg)	Vrsta elektroenergetskog objekta koji se supstituira hlađenjem na plin							
		3517 kW električni centrifugalni rashladni uređaj (kg)				3517 kW plinski apsorpcijski rashladni uređaj (% sniženja emisije)			
		Postojeća turbina na loživo ulje	Postojeća elektrana na ugljen	Nova turbina na loživo ulje	Nova elektrana na ugljen	Postojeća turbina na loživo ulje	Postojeća elektrana na ugljen	Nova turbina na loživo ulje	Nova elektrana na ugljen
SO ₂	3,175	1439,248	7948,753	886,773	1849,296	100%	100%	100%	100%
NO _x	494,869	2322,846	3304,421	886,773	1849,296	79%	44%	44%	73%
CO ₂	569052,077	814001,045	673951,216	740626,578	634910,065	28%	23%	23%	10%
lebdeće čestice	9,979	171,458	15703,822	177,354	1540,853	94%	94%	94%	99%

Ekološki razlozi su očigledni. Značajno je smanjenje emisije štetnih tvari korištenjem prirodnog plina.

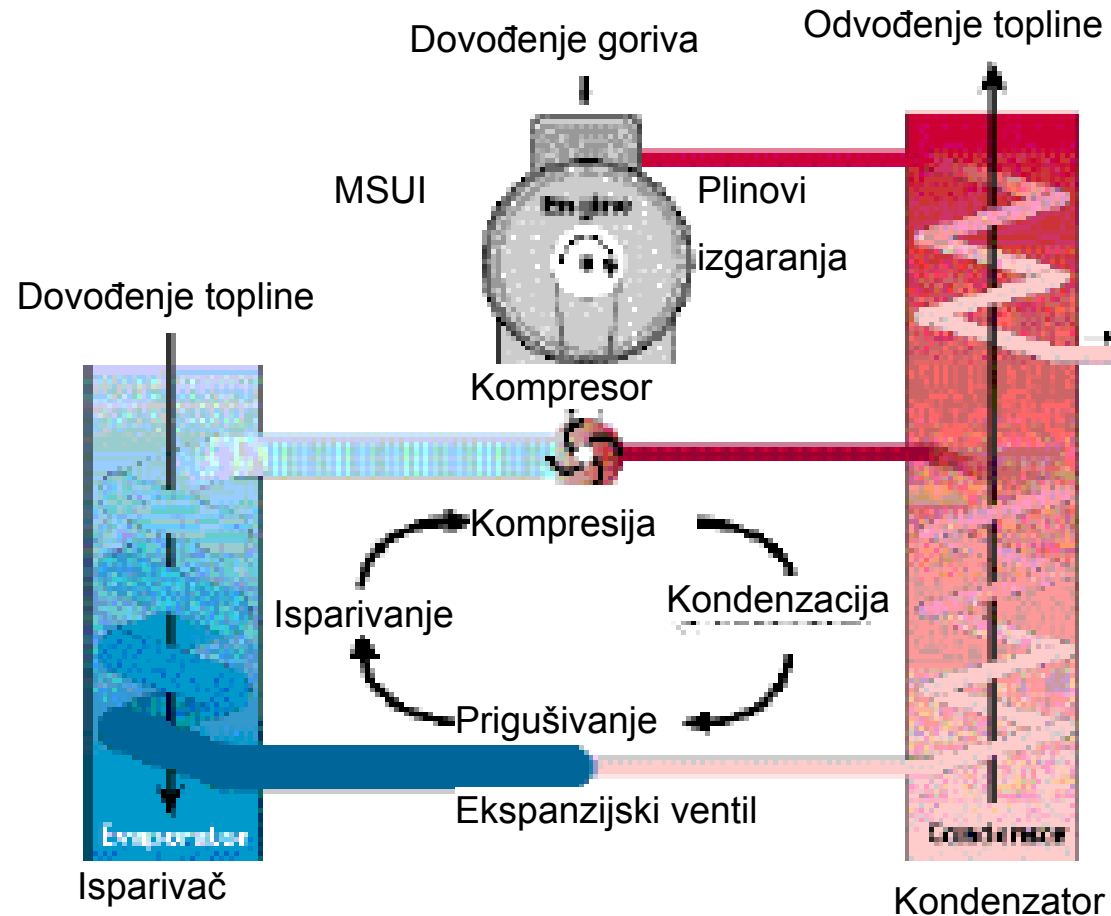
Posebno zanimljivo to može biti nakon uvođenja ekoloških taksi, što se može uskoro očekivati.



Mogućnosti primjene toplinske energije za pogon rashladnih uređaja

1. Kompresijski rashladni uređaji pokretani motorom s unutarnjim izgaranjem (MSUI)
2. Apsorpcijski rashladni uređaji
3. Adsorpcijski rashladni uređaji
4. Hlađenje odvlaživanjem – sušenjem zraka
5. Ejektorski rashladni uređaji

Kompresijski rashladni uređaji pokretani motorom s unutarnjim izgaranjem



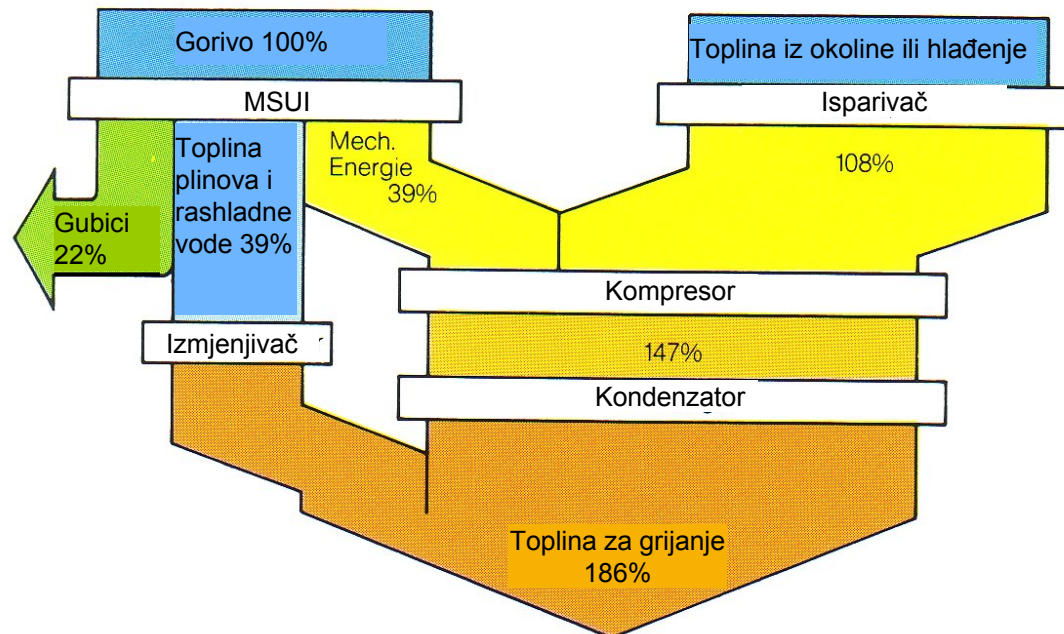
Plinski motor može pogoniti kompresor preko mehaničkog prijenosa ili pak može pogoniti generator koji proizvodi električnu energiju za pogon elektromotora kompresora

Prednosti su:

-korištenje prirodnog plina čime se rasterećuje elektrodistribucijska mreža i smanjuje emisija štetnih plinova. Ne plaća se priključna pristojba za električnu snagu.

-korištenje otpadne topline ispušnih plinova za grijanje čime se može postići visoka učinkovitost kod grijanja ali i vrlo visoka učinkovitost kod istovremenog hlađenja i grijanja

-Mogućnost regulacije učinka promjenom broja okretaja kod neposrednog pogona, čime se postiže i dodatno povećanje COP rashladnog uređaja – dizalice topline



Primjer energetske bilance

Sa 100% uložene energije gorivom moguće je za grijanje, ovisno o uvjetima dobiti oko 186% toplinske energije i oko 108% energije za hlađenje.

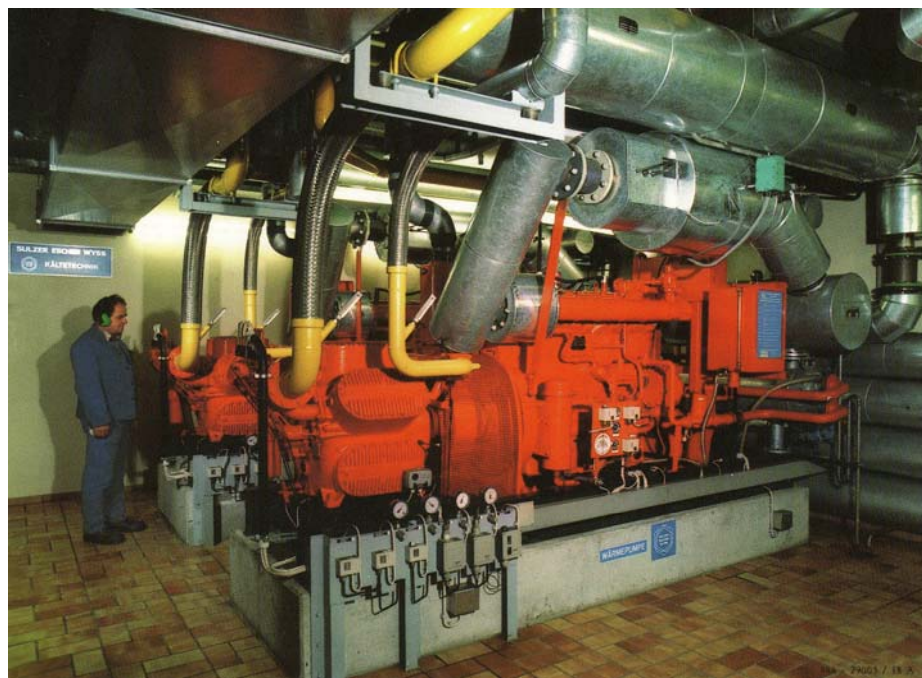
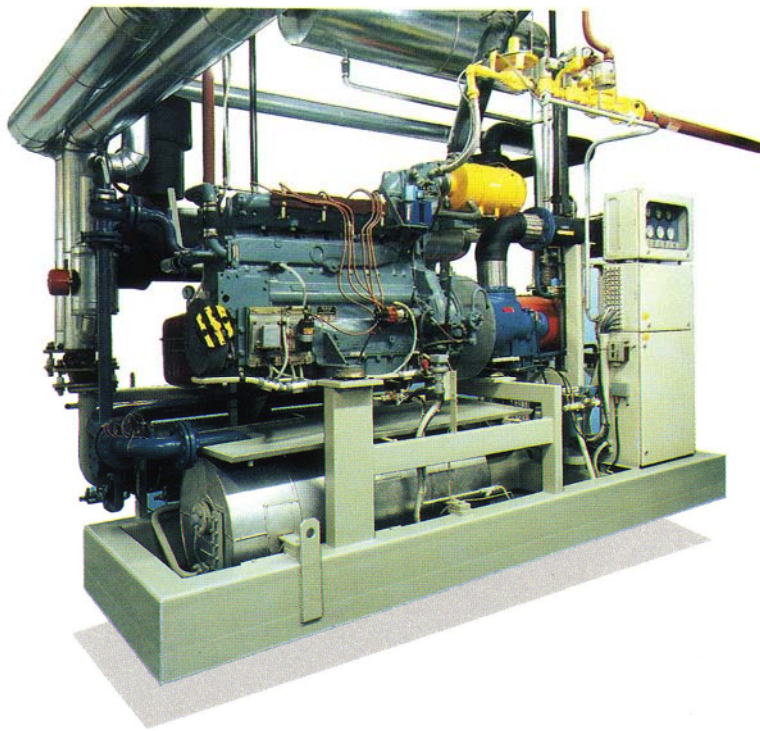
Nedostaci su:

-Viši investicijski troškovi

-Viši troškovi održavanja

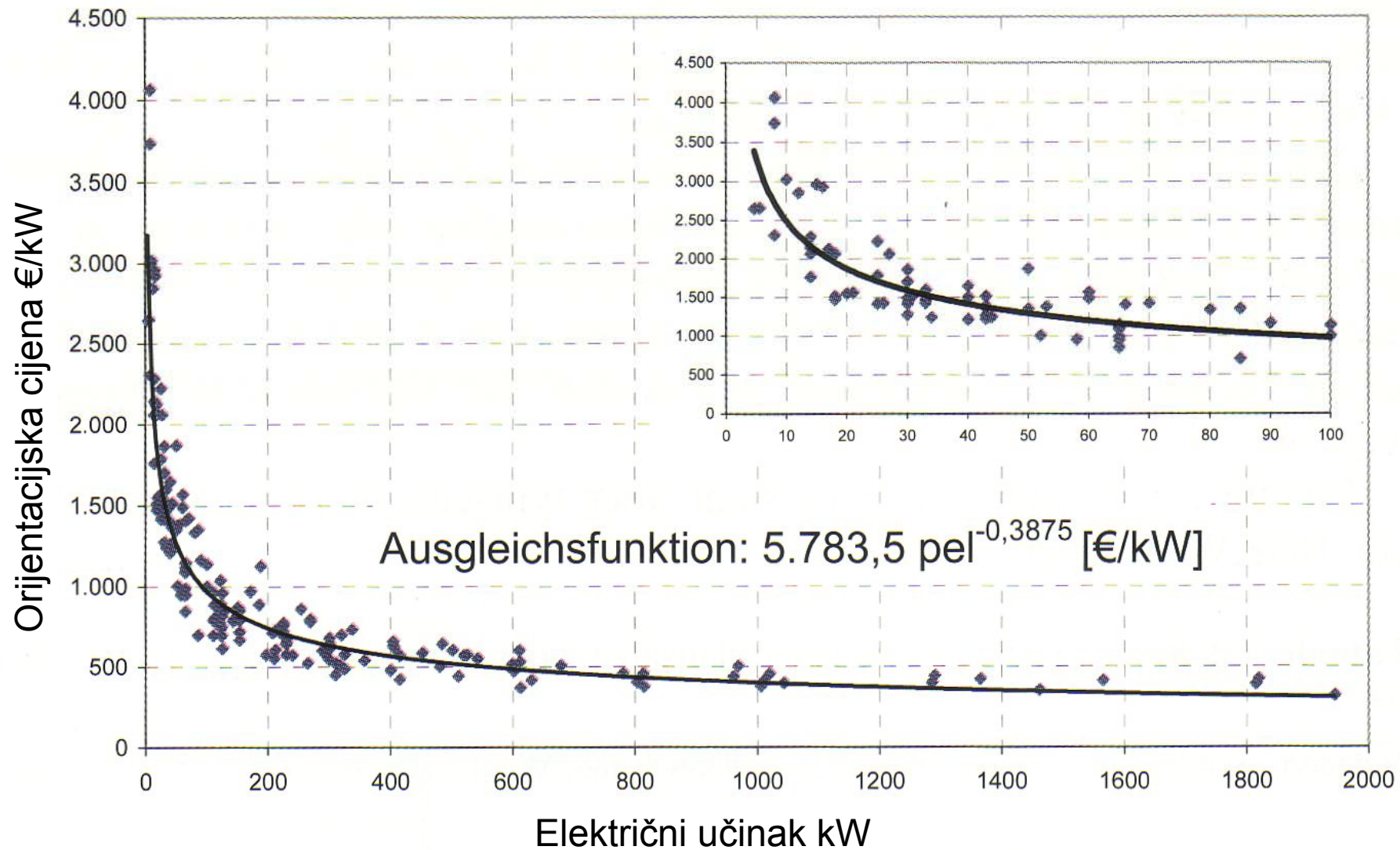
-Složenije projektiranje sustava, posebno obzirom na usklađivanje potrebne energije i kapaciteta uređaja

-Složenija regulacija sustava



Investicijski troškovi za kogeneracijsko postrojenje s plinskim motorom

(Schmitz, K.W., Schaumann, G. (Hrsg.): *Kraft-Wärme-Kopplung*)

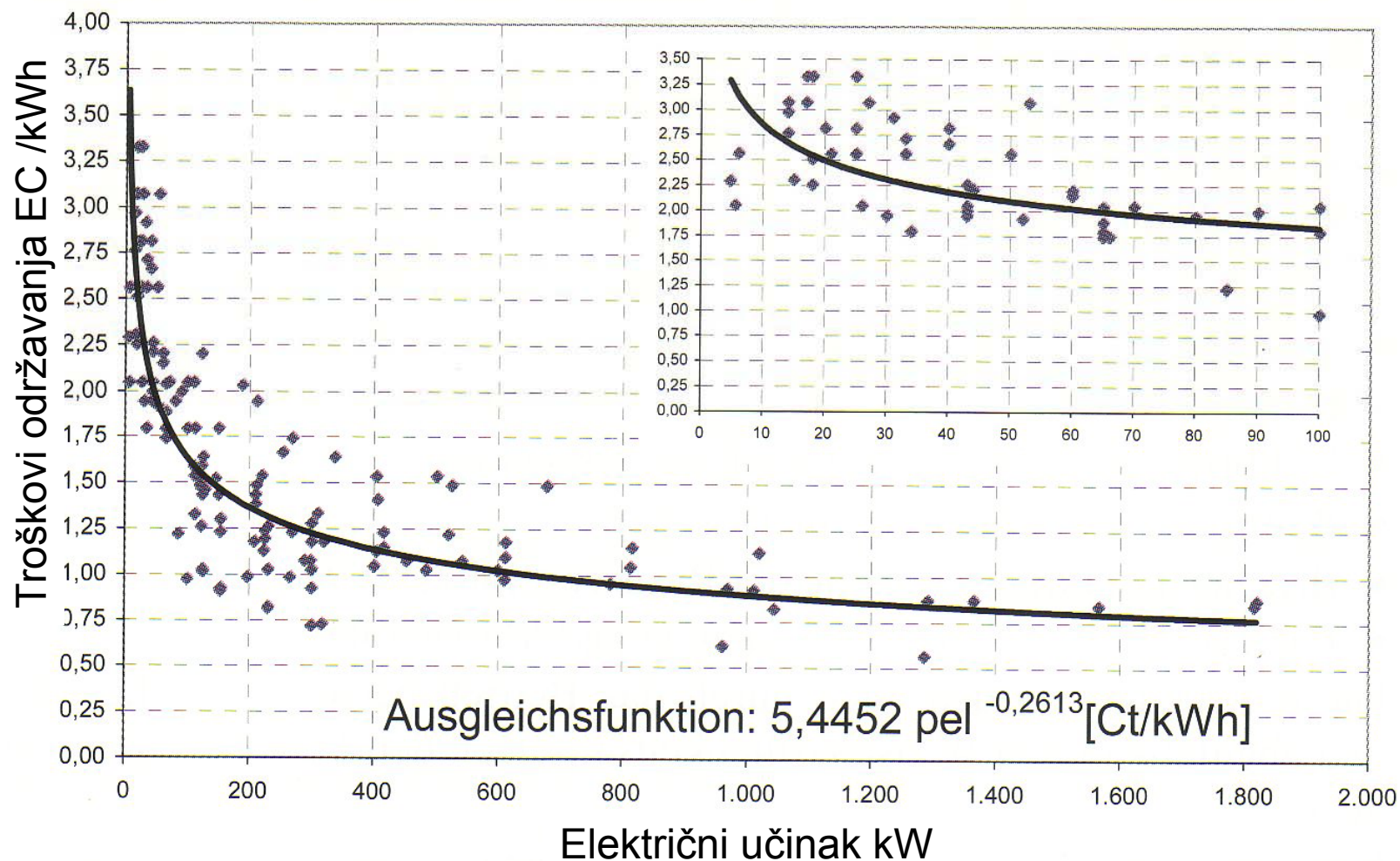


Troškovi održavanja za kogeneracijsko postrojenje s plinskim motorom

Dnevne kontrole

periodične kontrole (ventili, ulje, tlak ispušnih plinova, čišćenje izmjenjivača)

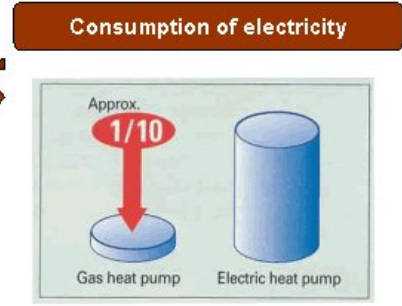
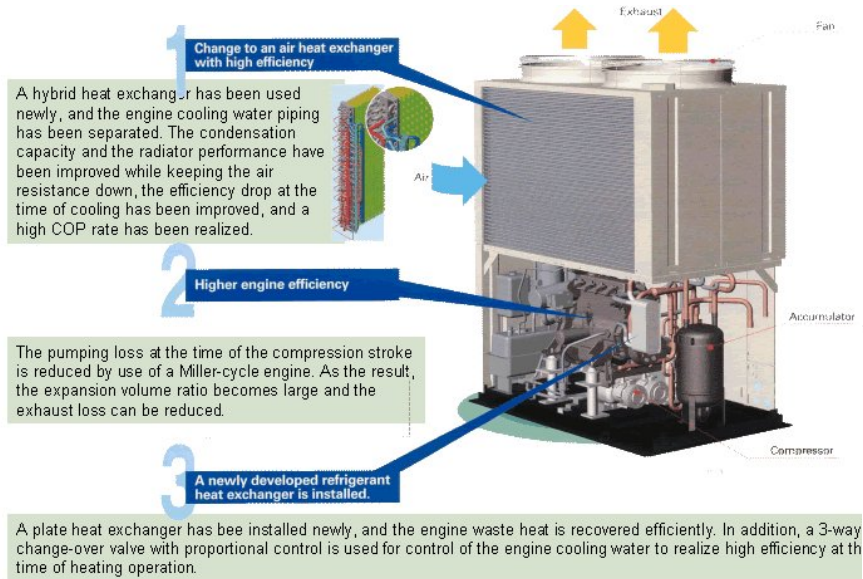
Održavanje – servisi – tu spadaju i veliki radovi, kao zamjena cilindarskih glava (nakon cca.15000 – 35000 radnih sati), generalni servis (nakon 35000 do 60000 radnih sati)



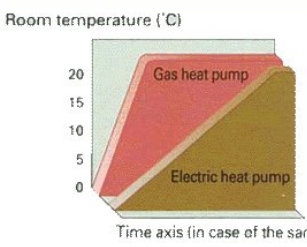
Općenito se može reći da su ekonomičnija veća postrojenja.

Na tržištu su danas prisutni i uređaji manjih učinaka.

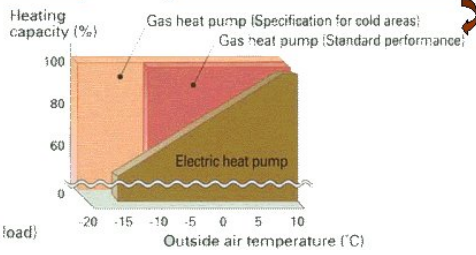
Zanimljiv primjer je jedan VRV sustav pogonjen plinskim motorom.



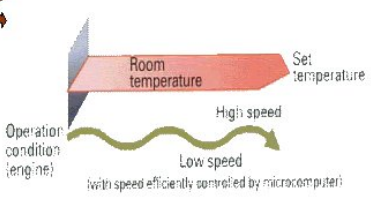
Comparison of the Start times for heating operation



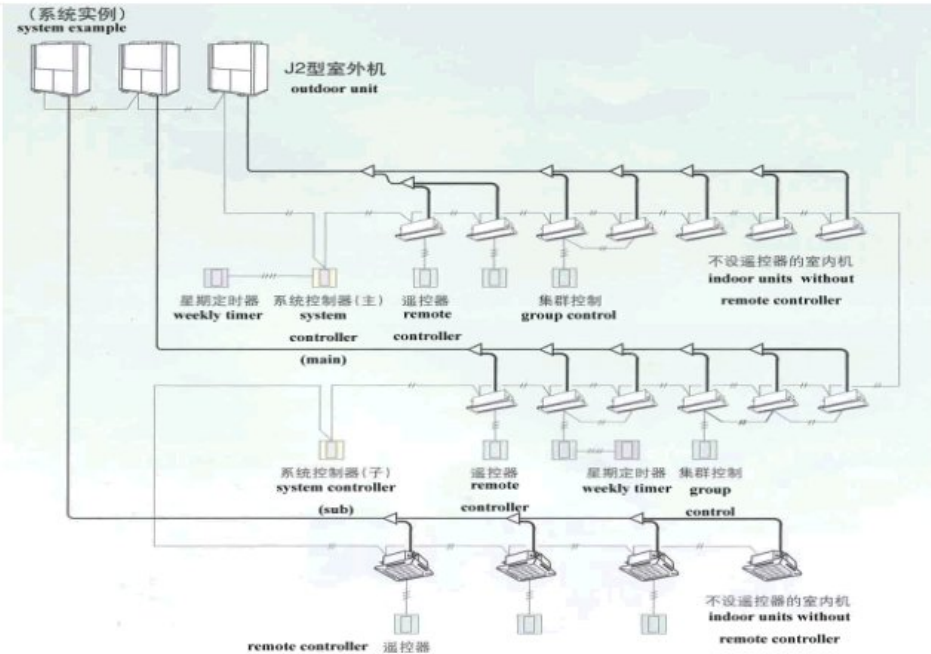
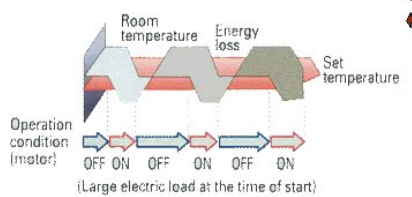
Comparison of the heating capacity



Gas heat pump air conditioner



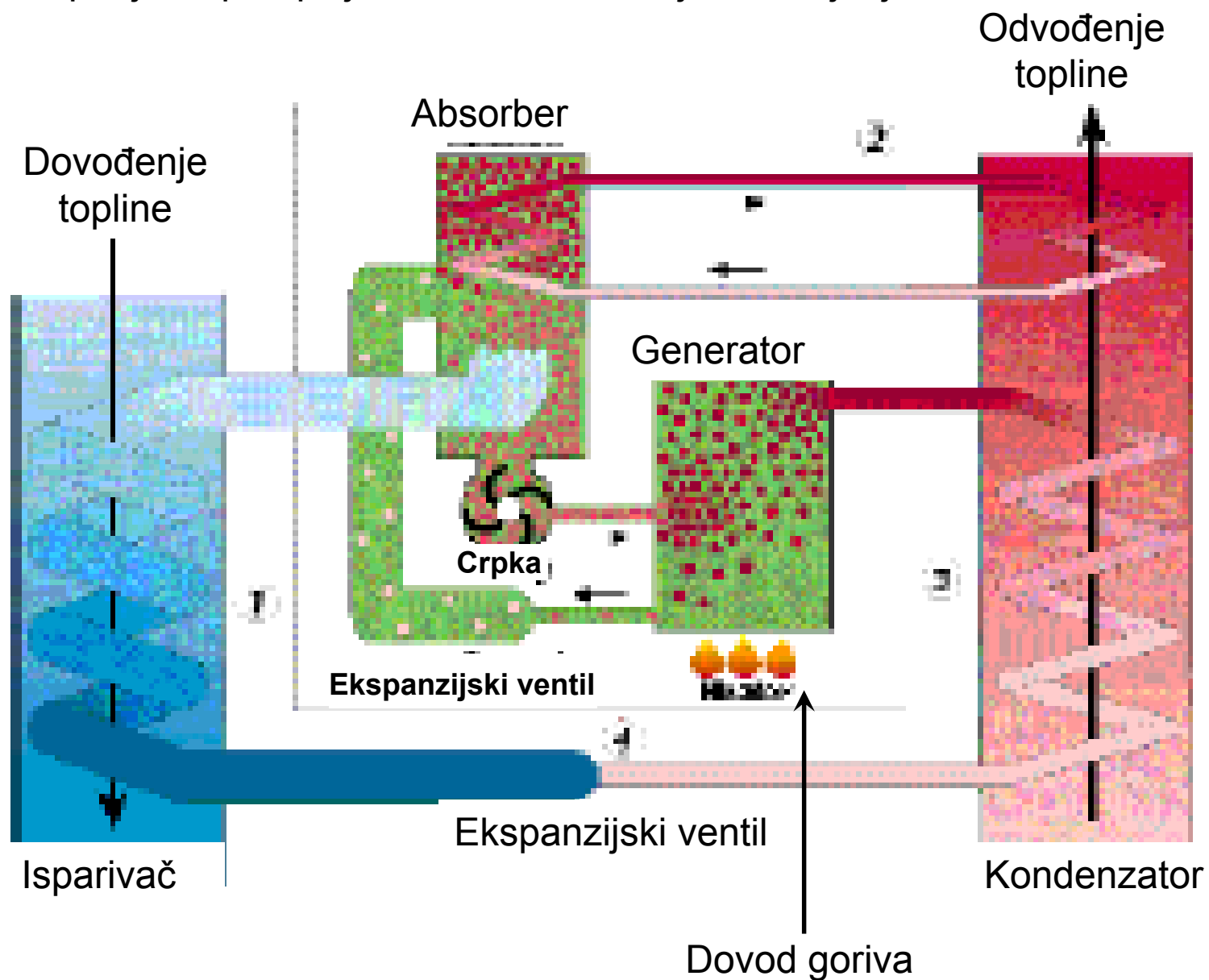
Electric air conditioner (At the time of cooling)



(5)

Apsorpcijski rashladni uređaji

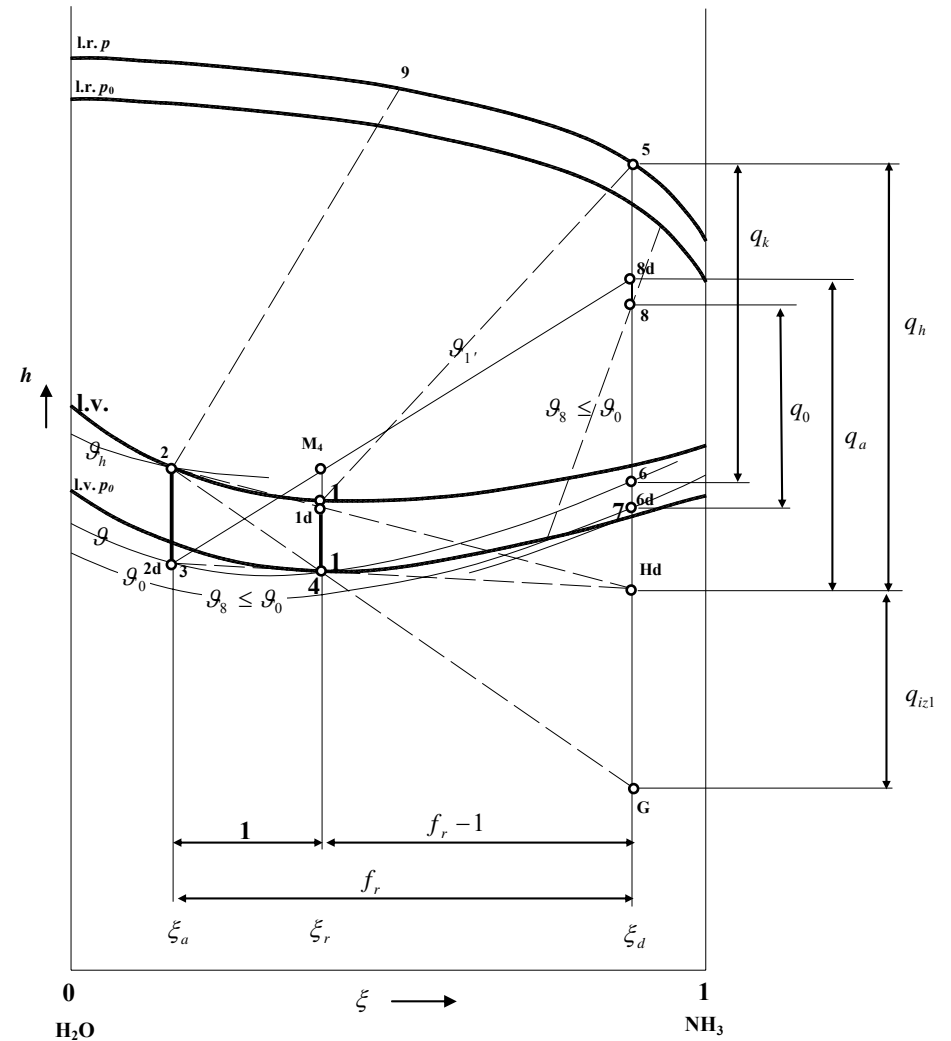
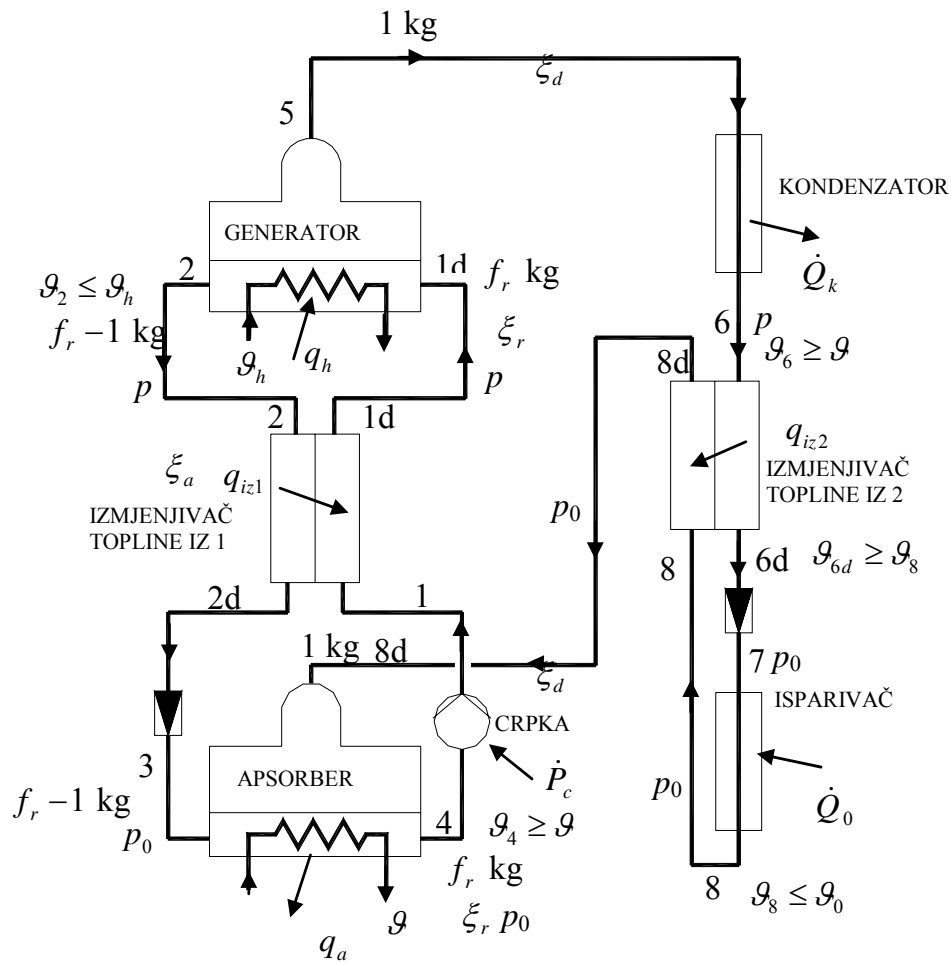
Jednostupanjski apsorpcijski rashladni uređaj bez izmjenjivača topline



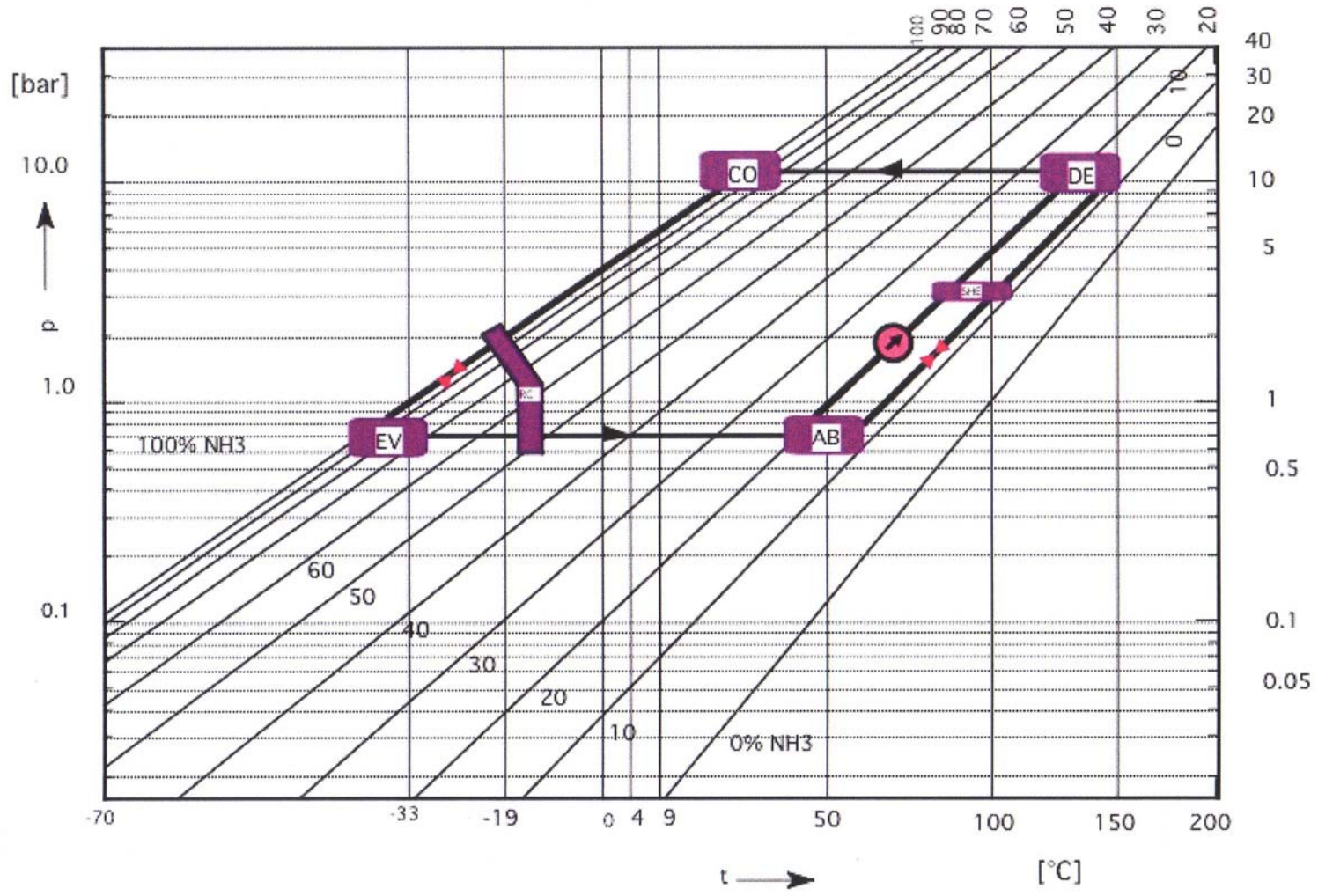
Veći i kvalitetniji uređaji imaju i izmjenjivače topline

Shematski je prikazan uređaj koji radi sa smjesom voda – amonijak

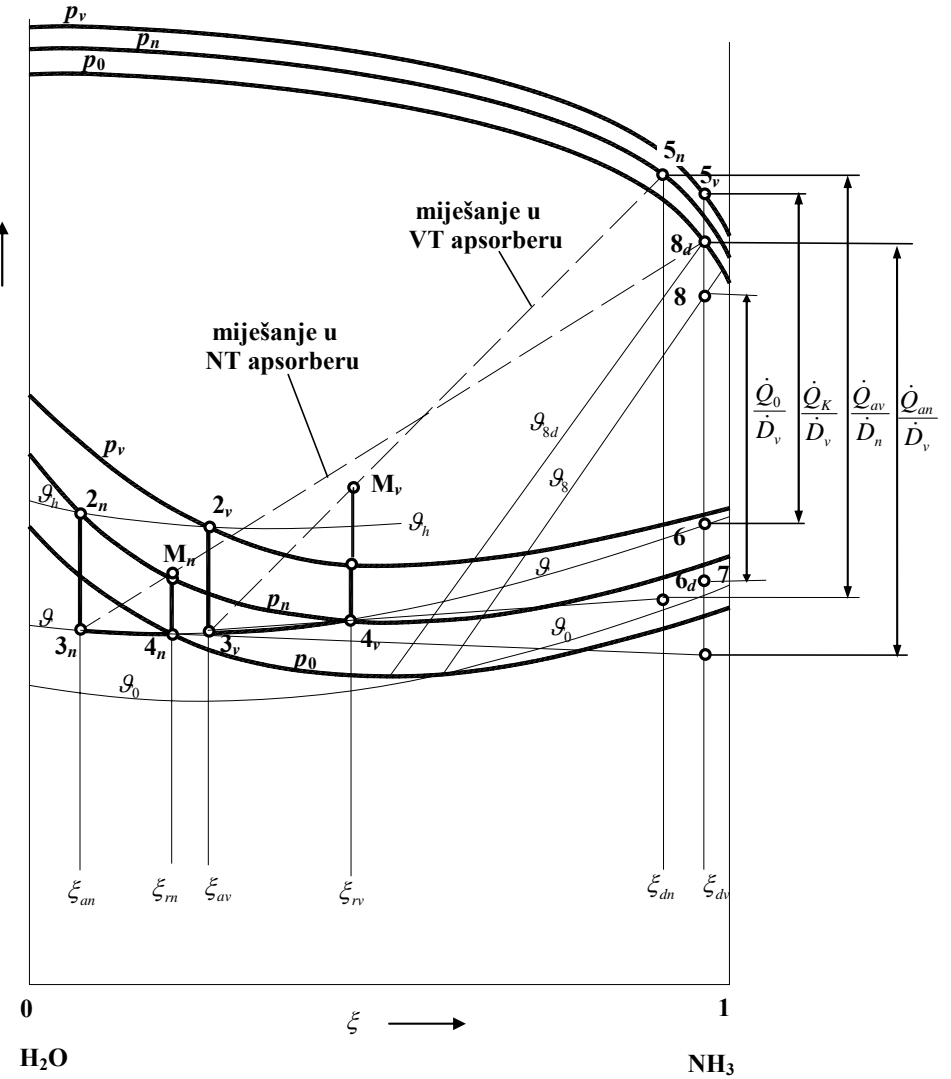
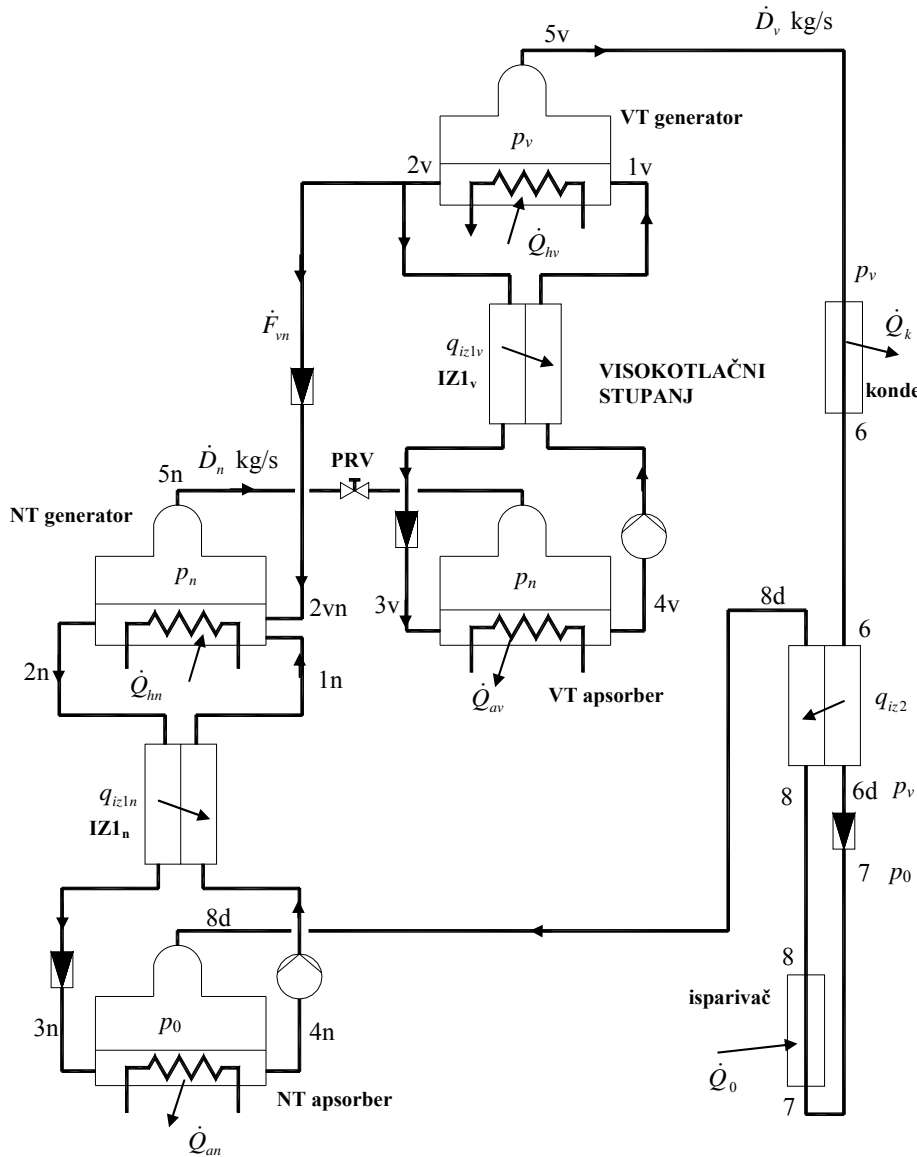
Bilanca energije i pogonski uvjeti mogu se odrediti iz h, ξ -dijagrama za smjesu H_2O-NH_3



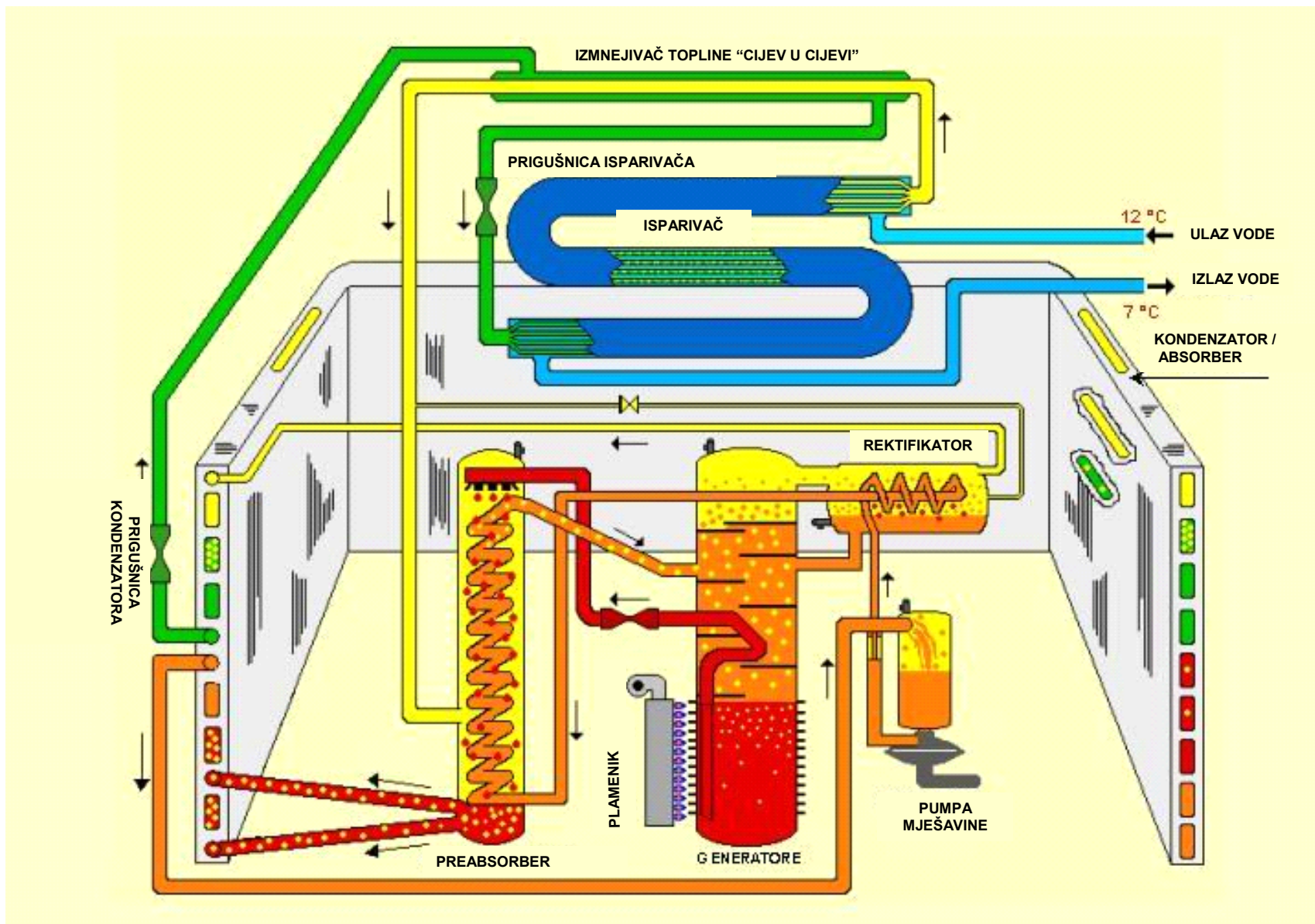
Prikaz procesa u p,t -dijagramu



Za niske temperature ogrjevnog medija, niske temperature hlađenja i visoke temperature rashladne vode mogu se koristiti dvostupanjski uređaji.



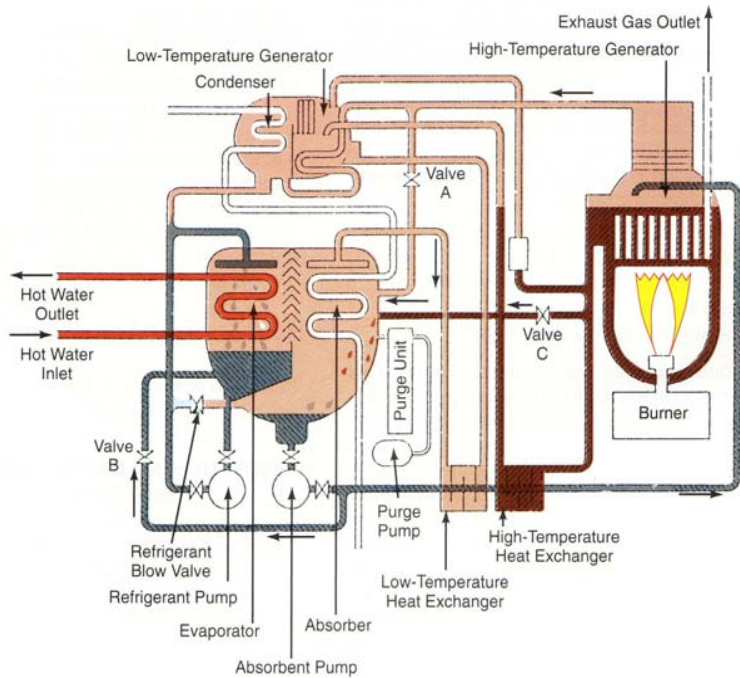
Primjer izvedbe rezidencijalnog rashladnog apsorpcijskog uređaja koji radi sa smjesom voda-amonijak loženog plinom - moguća je i izvedba u varijanti apsorpcijske dizalice topline



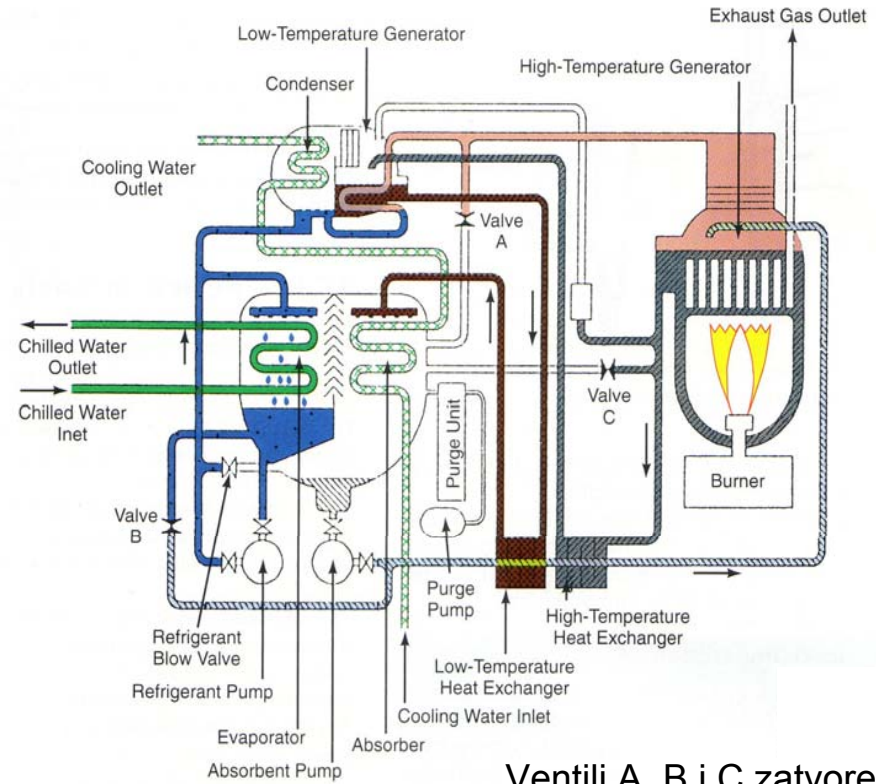
Primjer ugradnje uređaja na otvorenom – za veće učinke povezuje se više jedinica



Primjer izvedbe dvostepenog apsorpcijskog rashladnog uređaja za klimatizaciju - lijevo ciklus grijanja, desno ciklus hlađenja – radi na smjesu H₂O-NH₃

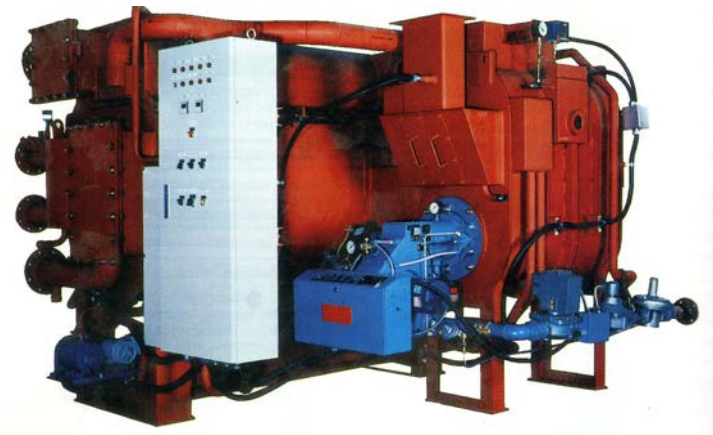


Ventili A, B i C otvoreni



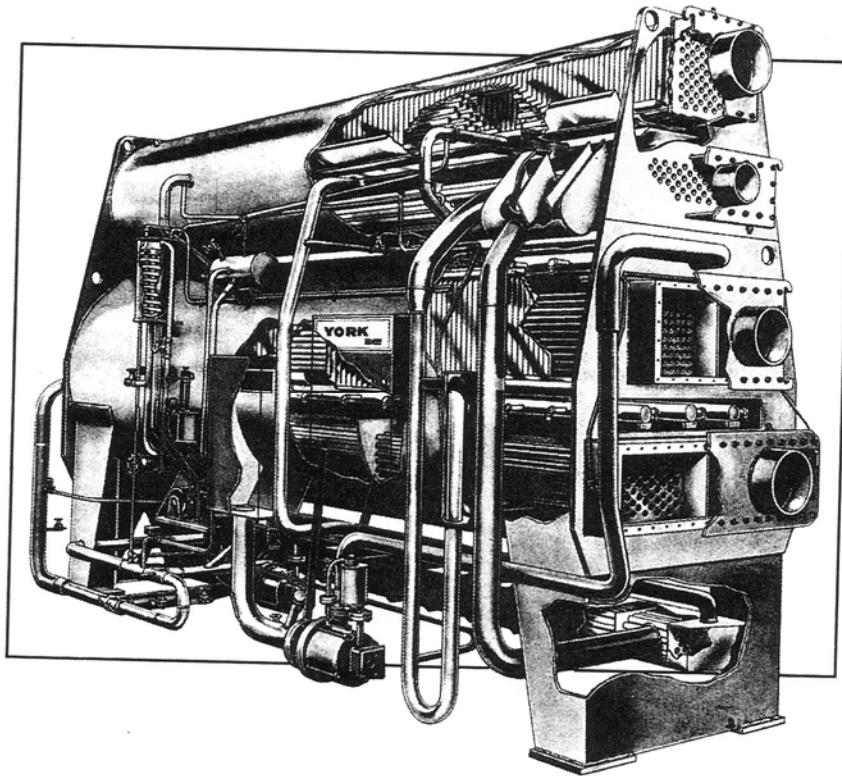
Ventili A, B i C zatvoreni

- Slaba otopina, visoki tlak
- Jaka otopina, niski tlak
- Amonijak u isparivaču
- Rashladna voda
- Hlađena voda
- Topla voda
- Para amonijaka na visokom tlaku
- Jaka otopina - srednje

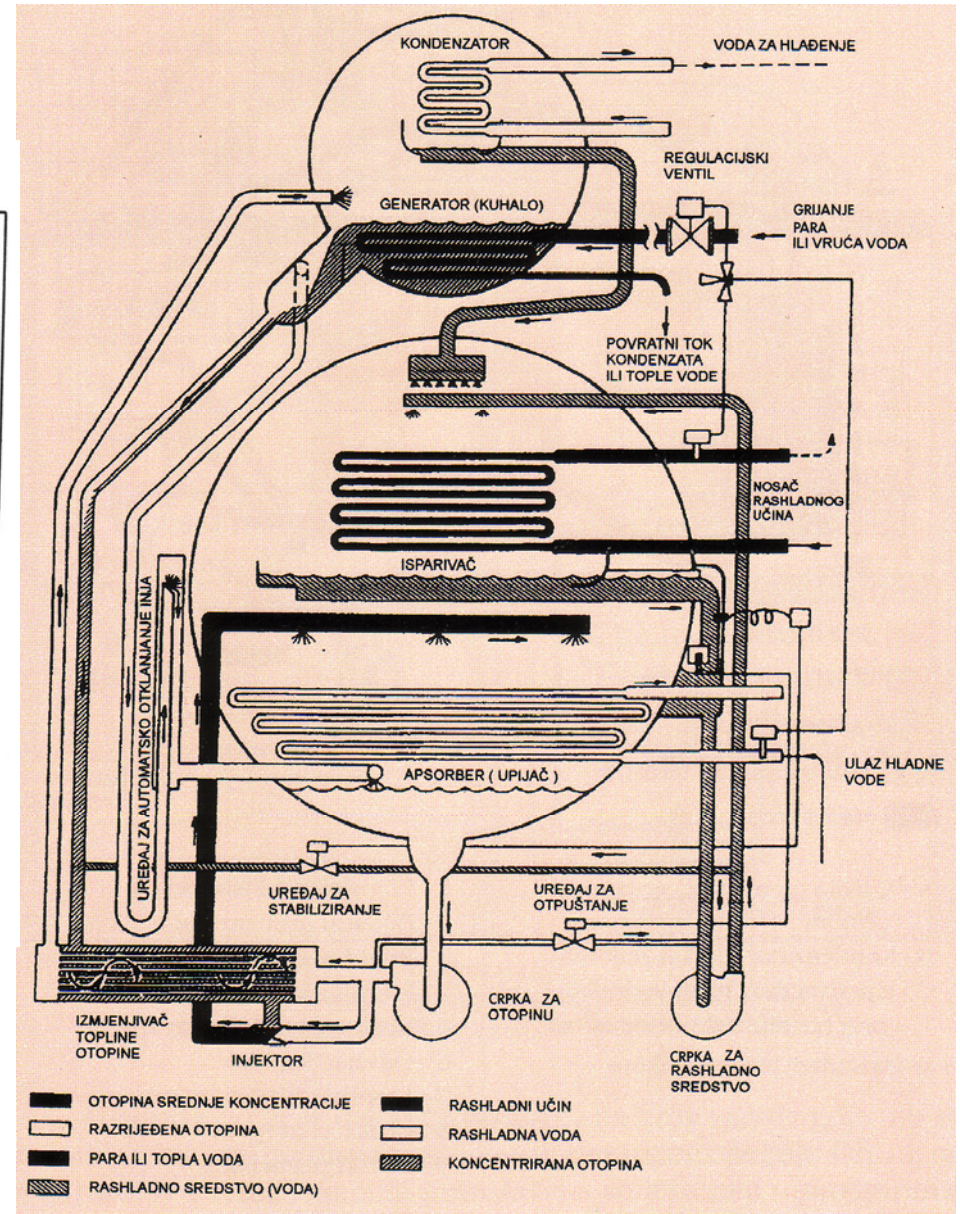


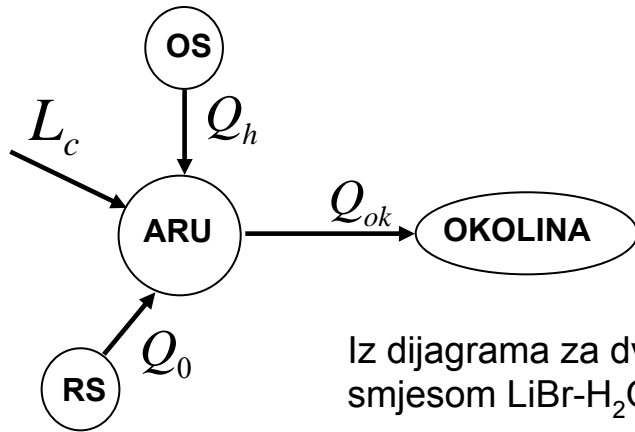
Izgled i shematski prikaz jednostupanjskog ARU koji radi sa smjesom LiBr-H₂O

Voda je radna tvar i nije namijenjen za negativne temperature



Grijanje parom ili vrelom vodom zanimljivo je kod prilagodbe postojećih toplana za hlađenje



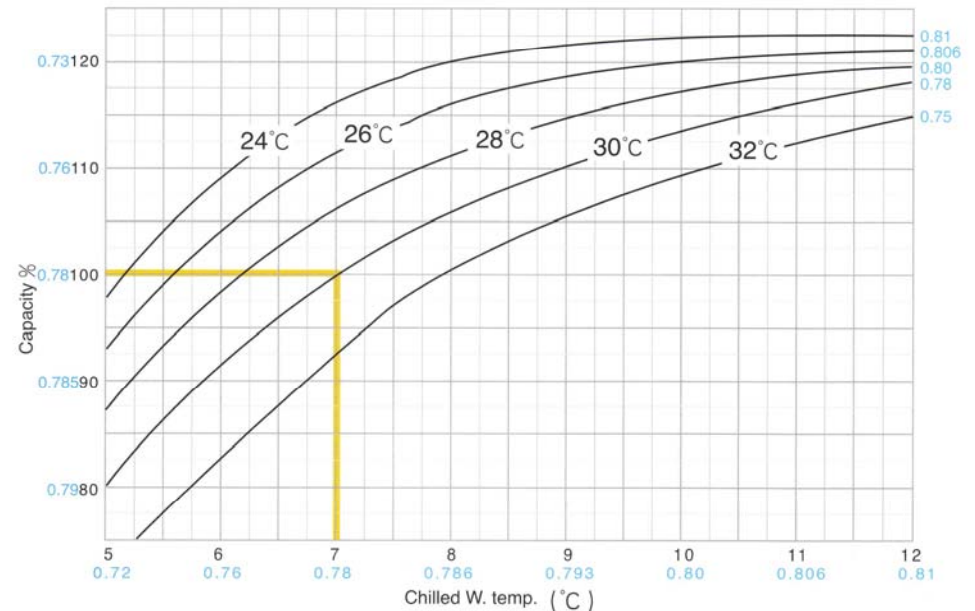
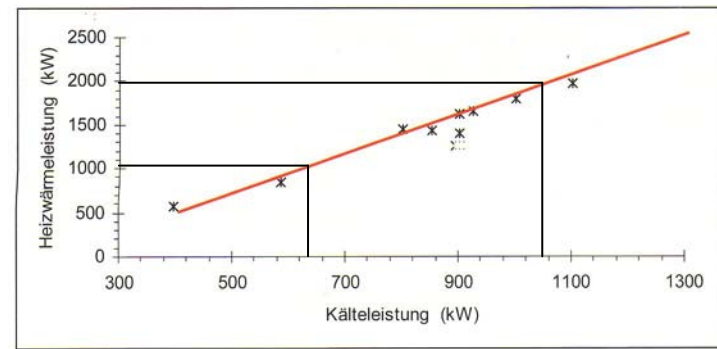
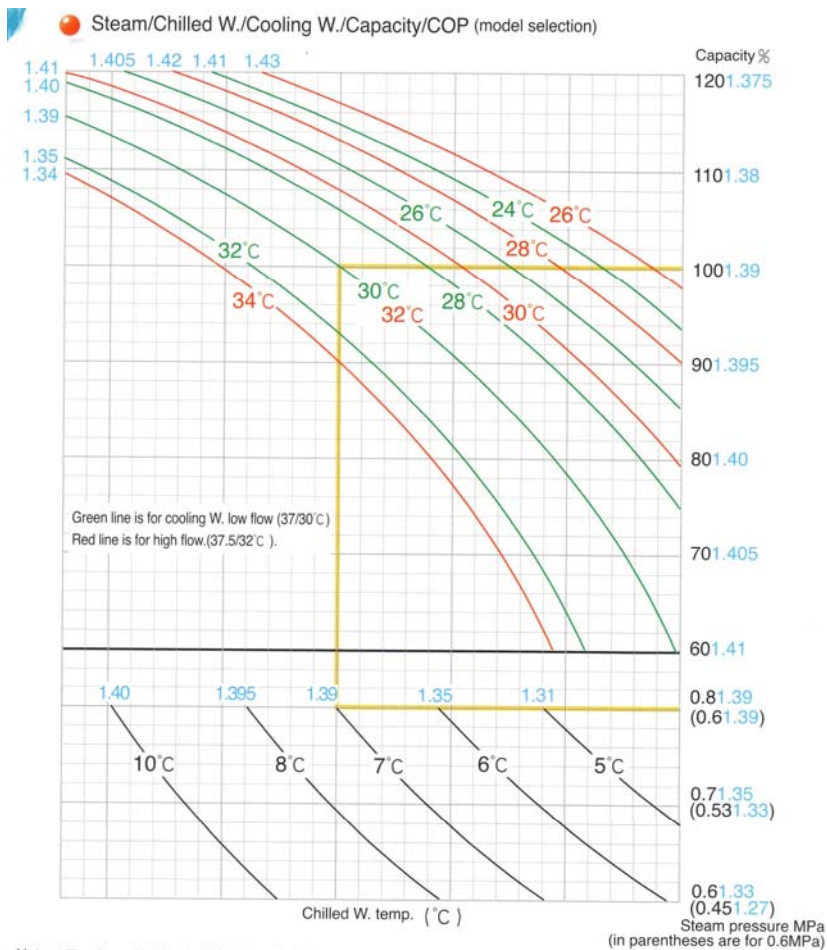


Ukupna bilanca energije ARU je

$$Q_h + L_c + Q_0 = Q_k + Q_a = Q_{ok}$$

Toplinski omjer hlađenja je $\zeta_0 = \frac{Q_0}{Q_h}$

Iz dijagrama za dvostepeni (lijevo) i jednostepeni (dolje) ARU koji radi sa smjesom LiBr-H₂O i griju se parom, vide se stvarni toplinski omjeri hlađenja



Kod kompresijskog se rashladnog uređaja pomoću rada L dobiva rashladna energija Q_0 , a faktor hlađenja je

$$\varepsilon_0 = \frac{Q_0}{L}$$

Rashladni omjer koji može poslužiti za usporedbu ARU i KRU definiran je izrazom

$$\zeta_{0L} = \frac{Q_0}{Q_L} \quad \text{odnosno} \quad \zeta_{0L} = \frac{Q_0}{L} \frac{L}{Q_L} = \varepsilon_0 \eta_t$$

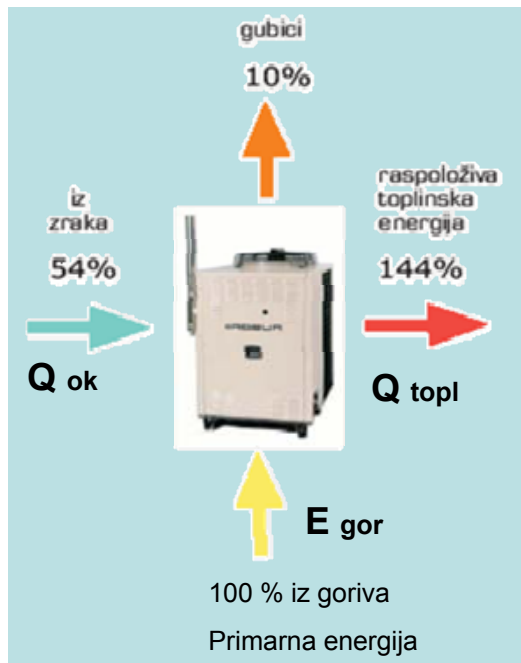
Usvoji li se vrijednost za $\eta_t = 0,3$ (pretvorba toplinske energije u elektrani, gubici prijenosa, gubici elektromotora) i faktor hlađenja $\varepsilon_0 \cong 3$ dobiva se $\zeta_{0L} = 3 \cdot 0,3 = 0,9$

Tek ovaj se toplinski omjer hlađenja ζ_L može usporediti s ζ_0 kod ARU.

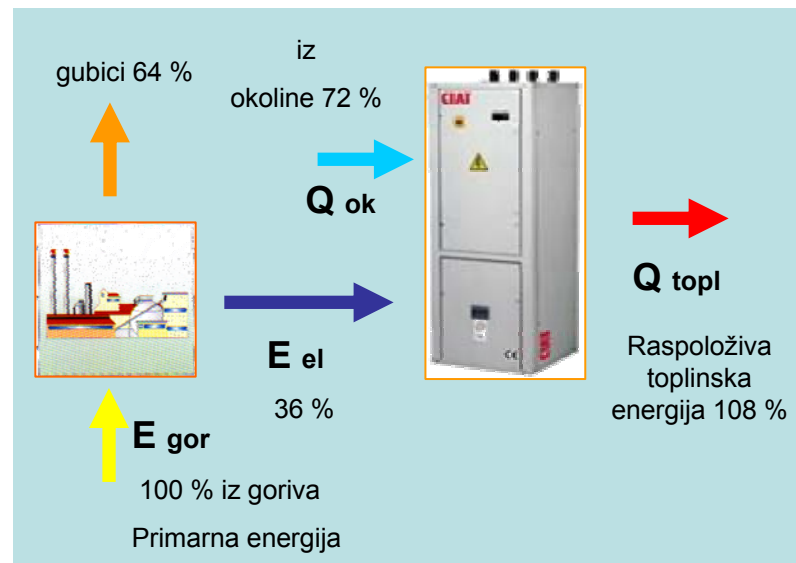
Usporedba toplinskih omjera hlađenja

Izvor: Prezentacija "Robur"

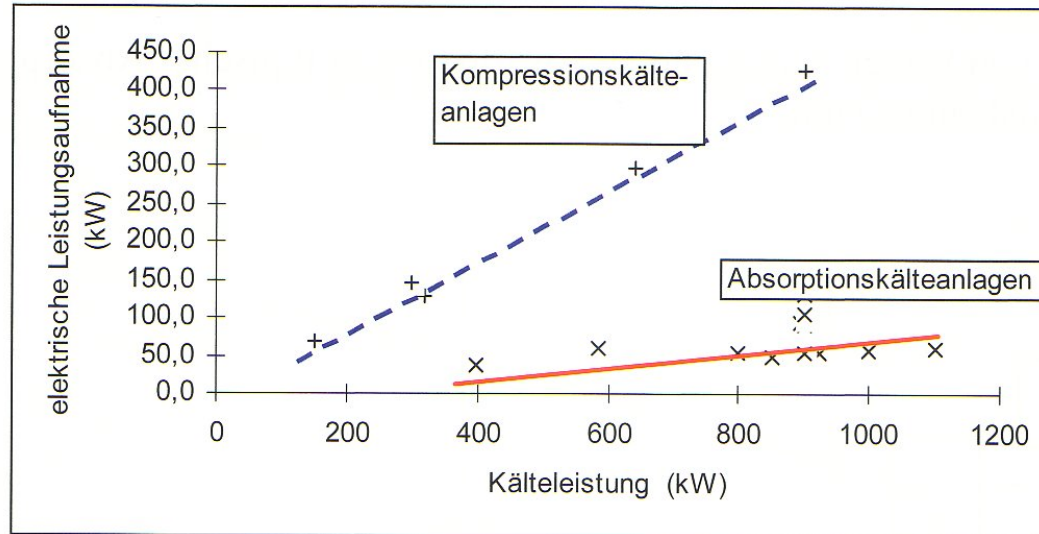
**PLINSKE
APSORPCIJSKE
(NH₃-voda)**



**ELEKTRO
MOTORNE
S KOMPRESOROM**



Potrošnja energije ARU ipak nije zanemariva



Investicijski troškovi za ARU kreću se od 250 do 500 €/kW rashladnog učinka.

Kod industrijskih postrojenja na amonijak mogu te vijednosti dosegnuti i 1500 €/kW

Za usporedbu, kod kompresijskih postrojenja ti su troškovi oko 125 do 350 €/kW.

Kombinacija MSUI ili mikroturbine s ARU i KRU može predstavljati pogodno rješenje kada ljeti nema veće potrebe za toplinskom energijom. Tada se električnom energijom iz generatora (cca 30-35% energije dovedene gorivom) pogoni KRU, dok se otpadna toplina (cca 30-40% energije dovedene gorivom) može iskoristiti za rad ARU. Tu je potrebna detaljna razrada i ocjena ekonomičnosti .

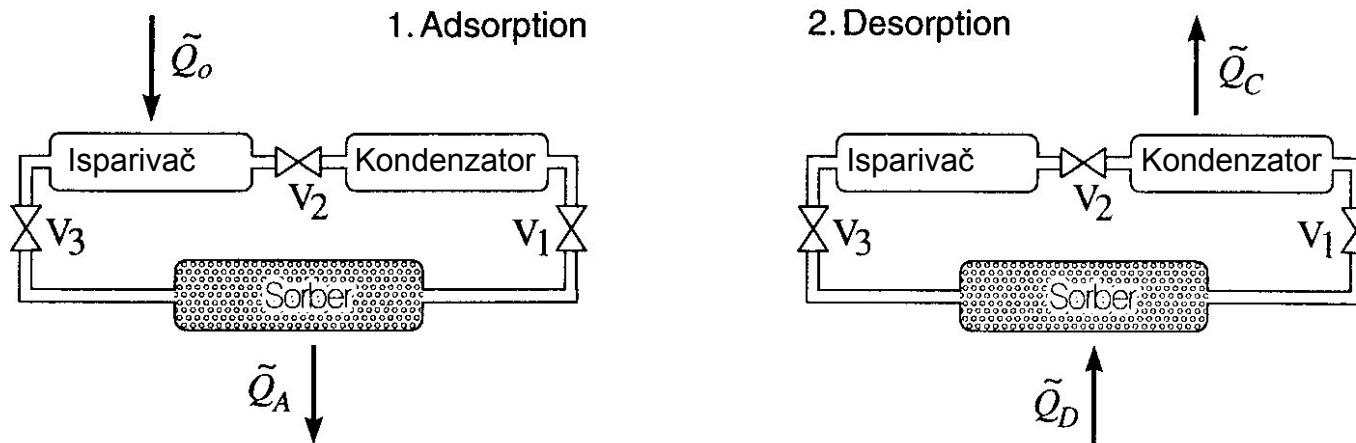
Adsorpcijski rashladni uređaji

Kod ovih uređaja se koriste procesi adsorpcije para ili plinova u krutim adsorbentima.

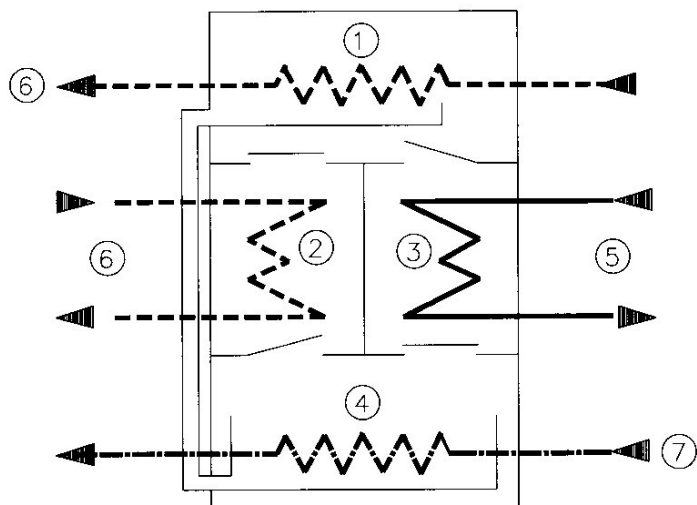
Izvedba prikazana na slici sastoji se od isparivača, kondenzatora, sorbera (adsorber-desorber) u kojem je adsorbent i tri ventila. Obzirom da je adsorbent kruta tvar mora se proces odvijati naizmjenice s krutom ili plinovitom radnom tvari. Tijekom jednog potpunog procesa adsorpcije adsorbent **veže** na sebe adsorbat pri čemu odaje toplinu Q_A . Adsorbat koji isparuje oduzima od okoline toplinu Q_0 , pa se ostvaruje hlađenje. Udio adsorbata

$$x = \frac{M_{\text{adsorbat}}}{M_{\text{adsorbens}}} \quad \text{u adsorbensu mijenja se od početne vrijednosti } x_R \text{ do konačne } x_A$$

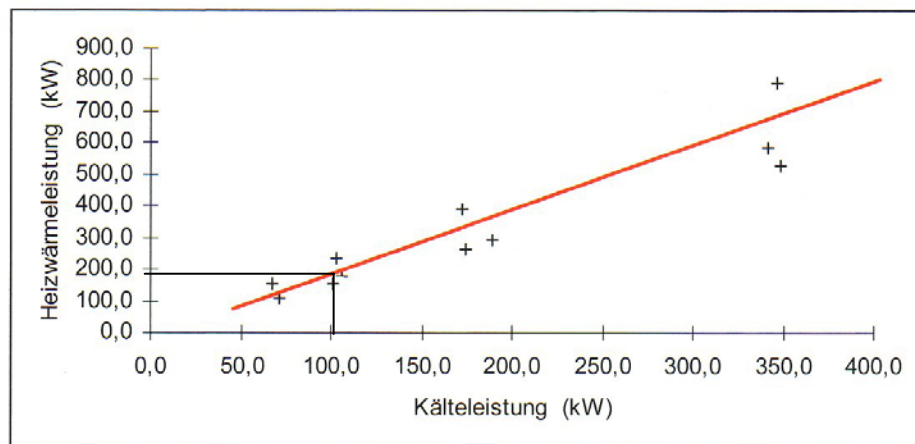
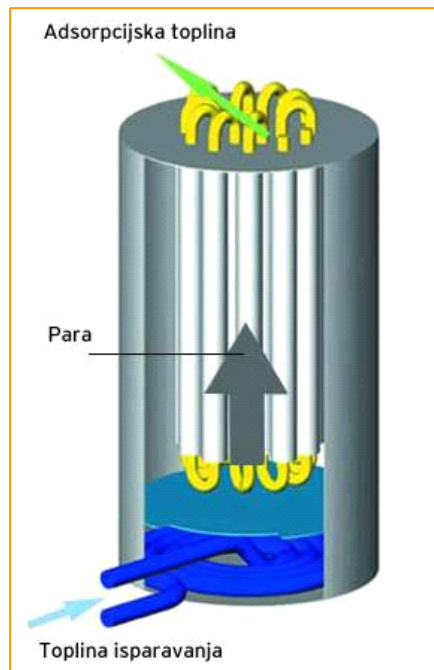
Tijekom procesa desorpcije dovođenjem topline Q_D (npr. grijanje plinom) adsorbat se “istjeruje” iz adsorbenta. Odavanjem topline Q_C okolini ili grijanom mediju adsorbat se ukapljuje u kondenzatoru. Ventili služe za određivanje vremena pogona u određenom režimu.



Praktrična izvedba (voda – zeolit)



1. Kondenzator
2. Sorber
3. Sorber
4. Isparivač
5. Ogrjevni medij
6. Priključak rashladne vode
7. Priključak na sustav hlađenja



Praktrična izvedba prikazana je shematski gore lijevo, a presjek i izgled stvarnog uređaja gore u sredini i desno.

Potrošnja topline za ostvarivanje željenog rashladnog učinka dana je na dijagramu lijevo.

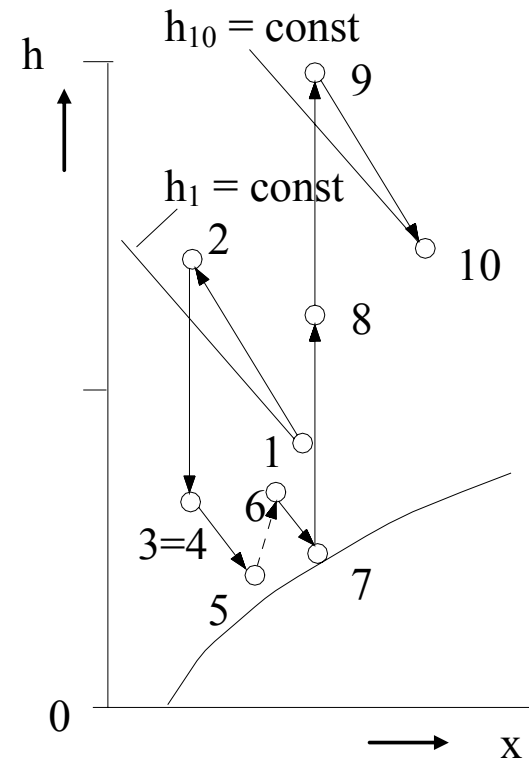
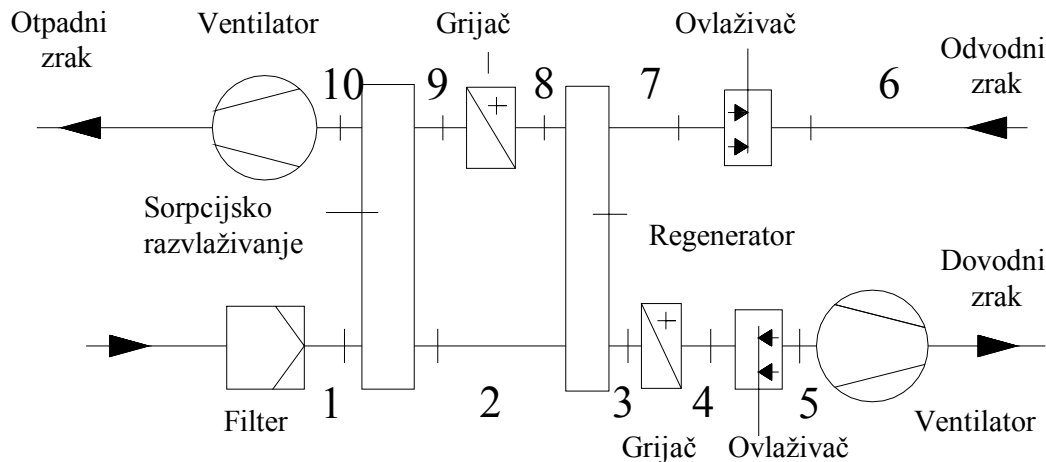
Investicijski troškovi kreću se oko 750 – 1800 €/kW rashladnog učinka. Na tržištu su uređaji pojedinačnih učinaka do oko 350 kW.

Pogodni za primjenu u kombinaciji s kogeneracijskim modulima.

Hlađenje odvlaživanjem – sušenjem zraka

Kod ishlapljivanja prelaze molekule kapljevine preko granične površine između kapljevine i plina u nezasićeni plin koji struji iznad kapljevine. Pri ishlapljivanju se, ovisno o stanju granične površine i plina iznad kapljevine može pojaviti ugrijavanje ili ohlađivanje plina.

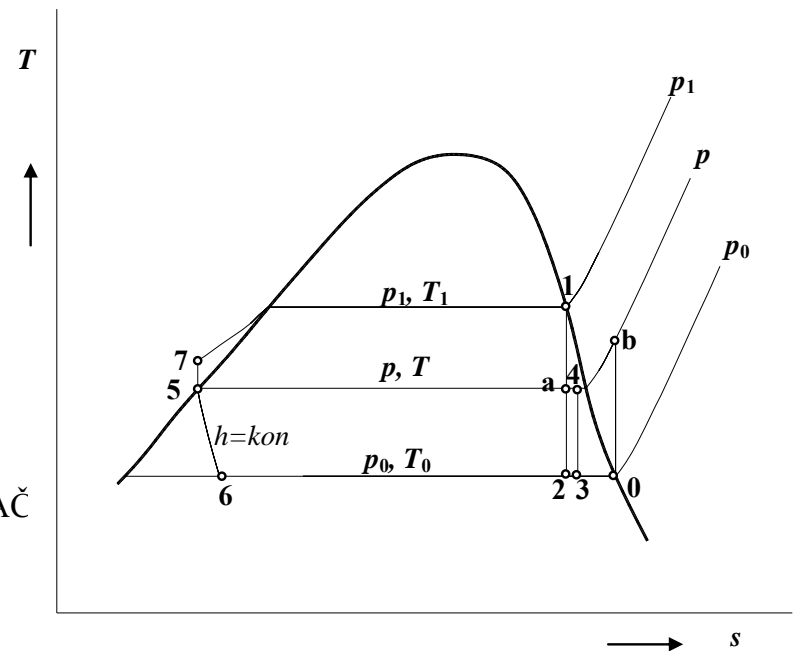
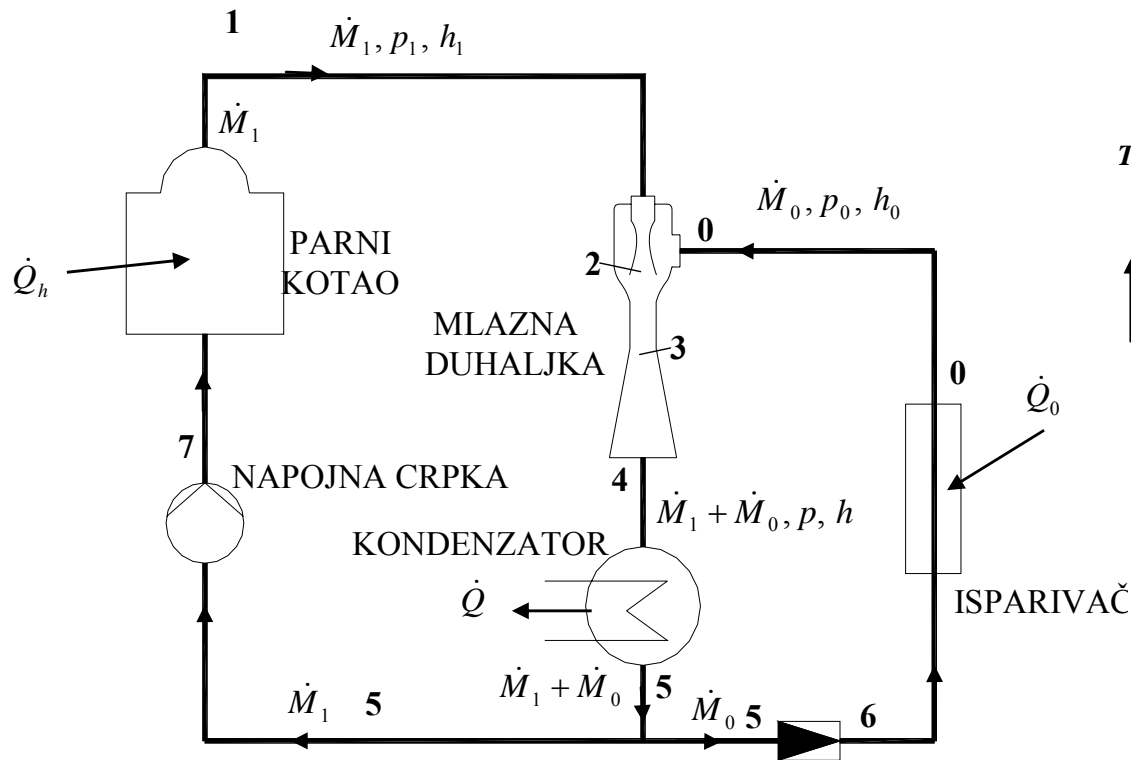
Hlađenje ishlapljivanjem u klimatizaciji – otvoreni sorpcijski sustav za hlađenje (koristimo toplinu, može to biti toplina izgaranja plina, otpadna toplina MSUI, sunčeva energija ili sl.)

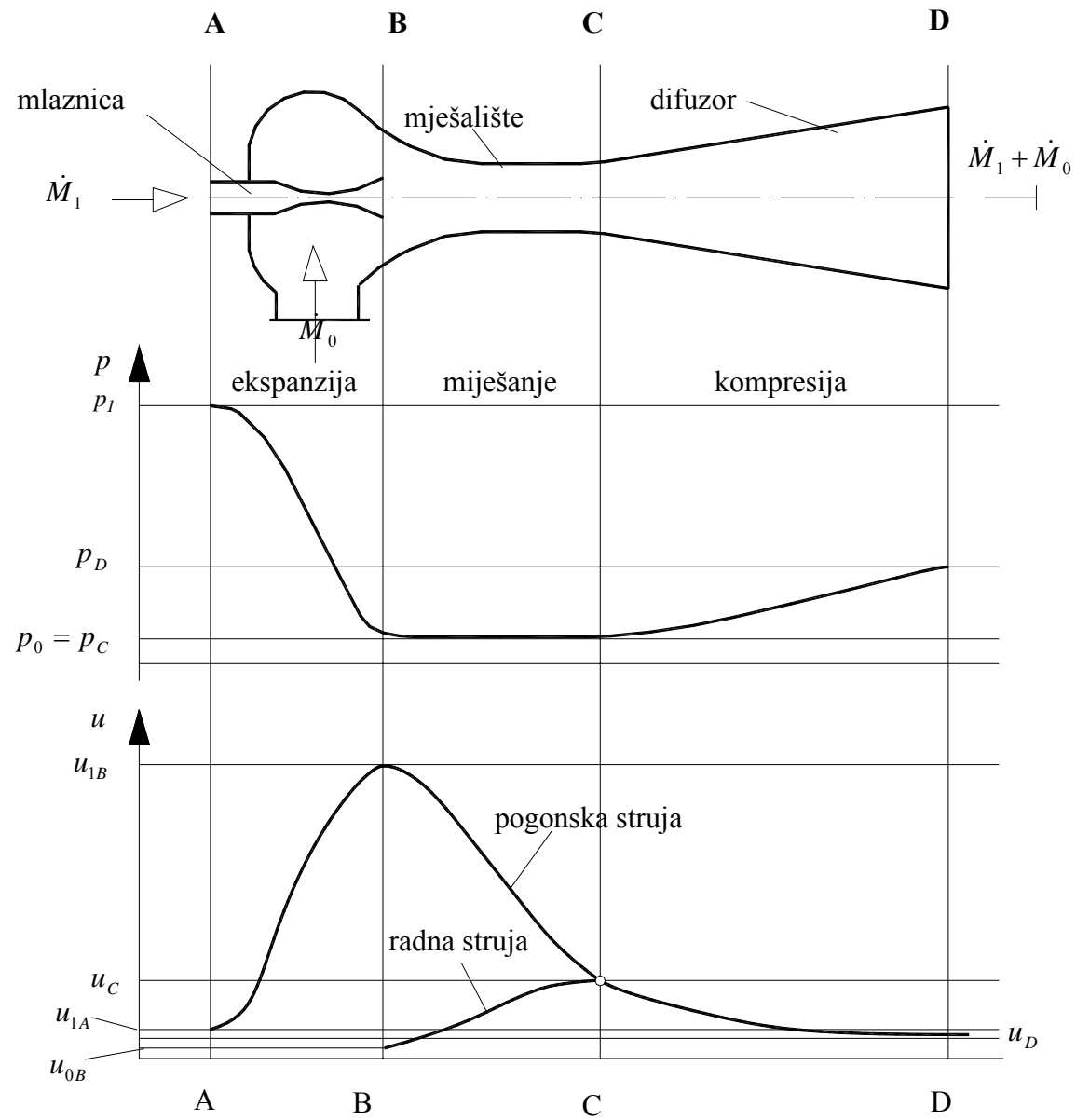


Ejektorski rashladni uređaji

U mlaznoj duhaljci prenosi se energija pogonske struje u neposrednom dodiru na struju radne tvari kroz procese prijenosa impulsa i mase tijekom miješanja. Mlazna duhaljka radi bez mehanički pokretanih dijelova.

Radna tvar je najčešće voda, ali mogu biti i radne tvari koje se koriste u tehnici hlađenja.

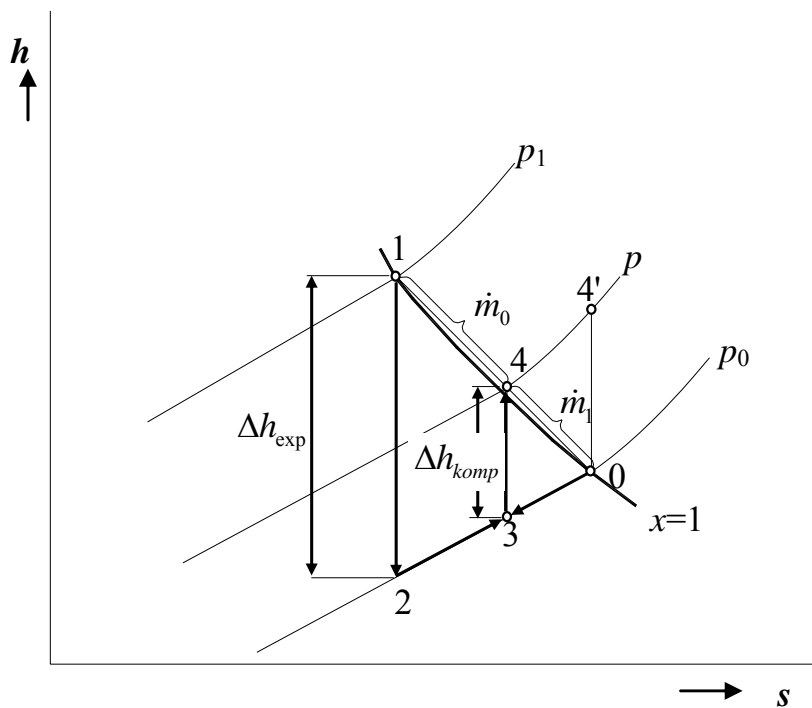




Odnos protoka pogonske i radne pare

Bez trenja

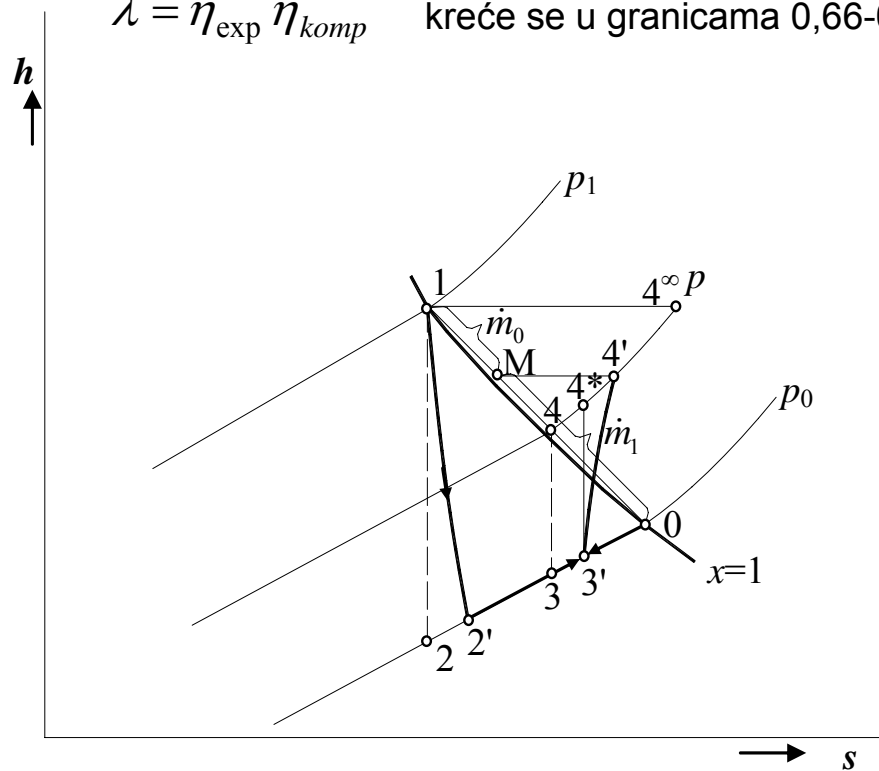
$$\left(\frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_0}\right)_{id} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\Delta h_{exp}}{\Delta h_{komp}} - 1}}$$

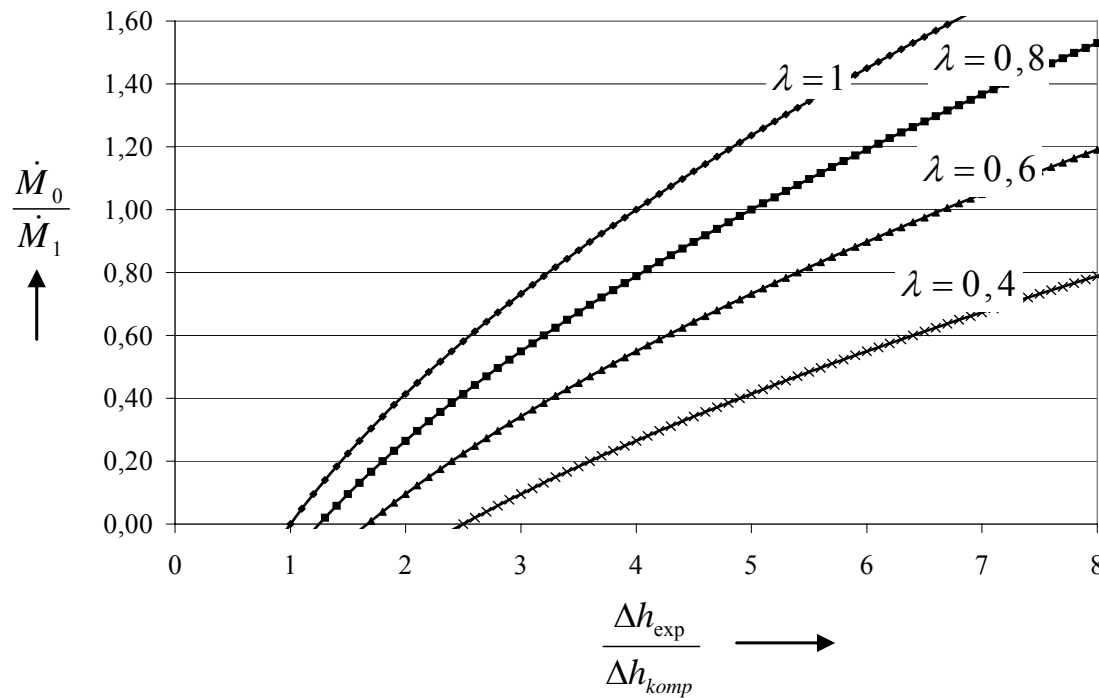


S trenjem

$$\frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_0} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\Delta h_{exp}}{\Delta h_{komp}} \eta_{exp} \eta_{komp} - 1}}$$

$\lambda = \eta_{exp} \eta_{komp}$ kreće se u granicama 0,66-0,7





Odnos protoka radne i pogonske pare s λ kao parametrom.

Relativno mala energetska učinkovitost $\zeta_0 = \frac{Q_0}{Q_h}$

Koja rijetko prelazi vrijednost 0,2.

Stoga su ovakvi uređaji više pogodni za slučajeve kad na raspolaganju stoji otpadna toplina ili pak sunčeva energija.



Mayekawa ejektorski rashladni uređaj pogonjen s MSUI.

Izvori podataka:

Šunjić, M.: *Efikasnost hlađenja plinom*, Energetika marketing Zagreb, 1998

Von Cube, H.L., Steimle, F., Lotz, H., Kunis, J. (Hrsg): *Lehrbuch der Kältetechnik*, Bd. 1 und 2, C.F. Müller Verlag, Heidelberg 1997.

Schmitz, K.W., Schaumann, G. (Hrsg): *Kraft-Wärme-Kopplung*, Springer Verlag, 2004.

Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: *Energija in okolje – izbira vrov in tehnologij za manjše obremenjvanje okolja*, Ljubljana 2000

Miljenko Baborsky: *Okrugli stol 1- budućnost distribuirane proizvodnje energije u energetske sustavima u Hrvatskoj – Toplinske pumpe – tehnologija za učinkovito korištenje energije*, Komercijalna prezentacija firme Tehnokom - ROBUR

Tehnokom: *Plamen koji hladi – hlađenje prirodnim plinom*, Komercijalna prezentacija firme Tehnokom - ROBUR

BROAD Air-Conditioning: *BROAD IX ABSORPTION CHILLER*, komercijalni katalog firme BROAD Air-Conditioning

Pavković, B.: *Tehnika hlađenja*, predavanja na sveučilišnom dodiplomskom studiju strojarstva Tehničkog fakulteta u Rijeci

Sulzer Escher Wyss: *Wasser-/Wasser Wärmepumpenanlage mit Gasmotorantrieb für ein Nahwärmekonzept*, Tehnička informacija firme Sulzer Escher Wyss

www.nrel.gov/vehiclesandfuels/ancillary_loads

www.dl-sanyo.com/beifen/neweng/production4.asp

www.colibri-bv.com

Zahvaljujemo na pažnji