



Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje



## Kako deluje toplotna črpalka?

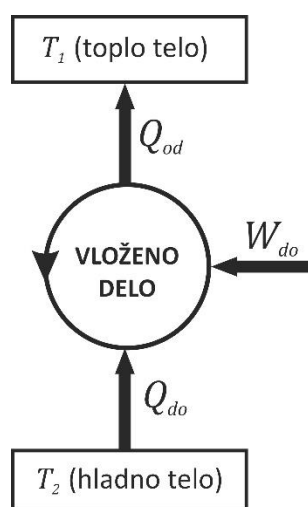
Inštitut za obnovljive vire energije in učinkovito rabo eksergije, INOVEKS d.o.o.,  
Cesta 2. grupe odredov 17, 1295 Ivančna Gorica, info@inoveks.si

### Povzetek

V članku na kratko prikazujemo kako deluje toplotna črpalka in njeno sorodnost s hladilnimi parnimi procesi, ki se uporabljajo na primer v gospodinjskih hladilnikih. Na pričetku prispevka bomo na kratko opisali proces hlajenja s poudarkom na parnih krožnih procesih. Nato sledi predstavitev kazalnikov učinkovitosti hladilnih procesov. Nato bomo predstavili realni parni krožni proces toplotne črpalke in vrednotenje grelnega števila ter osnovne režime delovanja.

### UVOD

Hlajenje lahko v splošnem definiramo kot postopek za doseganje temperatur, ki so nižje od temperature okolice. Namen hlajenja je hlajenje snovi, objektov in podobno. Načeloma pri hlajenju odvajamo toploto nekemu sistemu pri temperaturah, ki so nižje od temperature okolice. Skladno z drugim glavnim zakonom termodinamike, ki v formulaciji, ki jo je podal Clausius, pravi "Toplota ne more sama od sebe prehajati z nižje na višjo temperaturo.", potrebujemo zunanje dejavnike oziroma delo za tak proces. V splošnem za hlajenje potrebujemo različne hladilne procese, ki jih poganjamo z energijo. Za hladilne sisteme so značilni levi krožni procesi.



Slika 1: Levi krožni proces [1]

Najnižje na Zemlji dosežene temperature so v rangu biljoninke Kelvina nad absolutno ničlo (torej pri okoli  $-273,15\text{ °C}$ ). Na splošno velja približna ocena, da se za vsakih 100 K znižanja temperature za desetkrat poveča raba energije za pogon hladilnega procesa. V splošnem lahko delimo hladilne procese na odprte in zaprte. Pri obravnavi toplotnih črpalk nas seveda zanimajo zaprti hladilni procesi. Hlajenje s pomočjo izhlapevanja vode ali hlapilno hlajenje je v zadnjem času v porastu za hlajenje teras. Zelo uspešno se ja ta tehnika hlajenja uporabljala že v preteklosti. Na ta način so že stari Grki hladili vino v vrčih, prepojenih z vodo, kjer je hlapenje vode povzročilo ohlajevanje vina na primerno temperaturo serviranja. Danes hlapilno hlajenje uporabljamo npr. v klimatizacijski tehniki in pri hladilnih stolpih. Ko pršimo majhne kapljice vode v zrak, se zaradi spremembe agregatnega stanja potrebuje toplota in tako se posledično zniža temperatura zraka.

## KAZALNIKA UČINKOVITOSTI HLADILNIH PROCESOV

Kazalnika učinkovitosti hladilnega procesa sta splošno definirana kot:

1. hladilno število  $\varepsilon_R$ , ki predstavlja razmerje med procesu dovedeno toploto in vloženim delom krožnega procesa:

$$\varepsilon_R = \frac{Q_{do}}{W_{do}} = EER \quad (1)$$

2. grelno število  $\varepsilon_H$ , ki predstavlja razmerje med procesu odvedeno toploto in vloženim delom krožnega procesa:

$$\varepsilon_H = \frac{Q_{od}}{W_{do}} = COP \quad (2)$$

Za hladilno število  $\varepsilon_R$  se pogosto uporablja tudi oznaka *EER* (Energy Efficiency Ratio), za grelno število  $\varepsilon_H$  pa oznaka *COP* (Coefficient of Performance), ki izhajata iz angleške literature.

## PARNI HLADILNI PROCESI

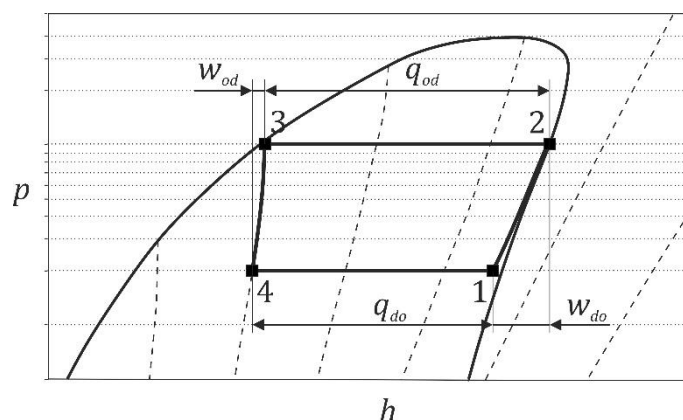
Parni hladilni procesi potekajo na način, da se hladilna snov ohlaja tako, da spremeni agregatno stanje iz tekočega v **paro** in obratno. V parnih hladilnih procesih torej uporabljamo delovno snov – hladivo. Od hladiv pričakujemo ustrezne lastnosti. Hladiva označujemo z oznako R, ki mu sledijo številke, torej: R SDE, ki nam označujejo snovsko sestavo hladiva. Pri tem pomenijo:

- število stotic S + 1 = število atomov ogljika C,
- število desetic D – 1 = število atomov vodika H,
- število enic E = število atomov fluora F.
- število prostih valenc ogljika = število atomov klora Cl.

Primeri pogosto uporabljenega hladiva je na primer R134, ki ima torej kemijsko formulo  $C_2H_2F_4$ .

Za proučevanje hladilnih procesov se navadno uporabljajo diagrami  $\log p-h$ , ki so izdelani za posamezno delovno snov, hladivo. Na absciso je za določeno hladivo nanesena specifična entalpija, na

ordinato pa tlak v logaritemskem merilu. Entalpija je veličina stanja, ki je vsota notranje energije ter zmnožka tlaka in volumna (volumskega dela). Slika 2 prikazuje v diagram  $\log p-h$  vrisan Carnotov hladilni proces. Pri tem od točke 1 do 2 izentropno komprimiramo hladivo, od točke 2 do 3 je izotermna kondenzacija hladiva in odvod toplote iz procesa, od 3 do 4 je izentropna ekspanzija hladiva, od točke 4 do 1 je izotermni dovod toplote v proces (odvod toplote iz hlajenega sredstva). Carnotov proces v realnosti ni izvedljiv, ker naj bi bila dovod toplote v proces in odvod toplote iz procesa izvedena pri konstantni temperaturi in imamo tudi izentropno kompresijo ter ekspanzijo. Prav tako imamo točko 1 na področju mokre pare. Večina kompresorjev je občutljiva za komprimiranje mokre pare, zato mora biti točka 1 vsaj na krivulji  $x = 1$ .



Slika 2: Diagram  $\log p-h$  z vrisanim Carnotovim procesom [1]

Iz procesa odvedena ali specifična kondenzacijska toplota je definirana z:

$$q_{od} = q_c = h_3 - h_2 \quad (3)$$

V proces dovedena ali specifična hladilna toplota je definirana z:

$$q_{do} = q_0 = h_1 - h_4 \quad (4)$$

V proces dovedeno specifično delo je definirano z:

$$w_{do} = w_0 = h_1 - h_2 \quad (5)$$

Iz procesa pridobljeno specifično delo je definirano z:

$$w_{od} = h_3 - h_4 \quad (6)$$

S pomočjo tako določenih veličin lahko izračunamo kazalnika učinkovitosti. Hladilno število  $\varepsilon_R$ , ki predstavlja razmerje med procesu dovedeno toploto in vloženim delom krožnega procesa:

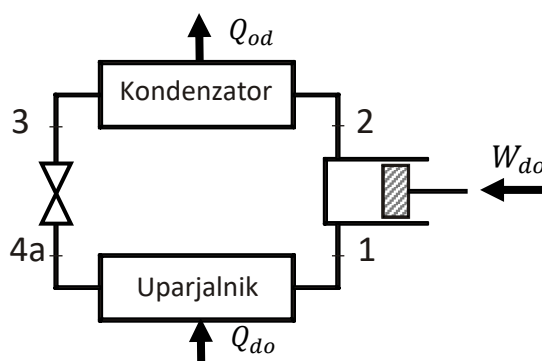
$$\varepsilon_R = EER = \frac{h_1 - h_4}{h_1 - h_2} \quad (7)$$

Grelno število  $\varepsilon_H$ , ki predstavlja razmerje med procesu odvedeno toploto in vloženim delom krožnega procesa:

$$\varepsilon_H = COP = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_2} \quad (8)$$

## REALNI PARNI HLADILNI PROCES

Slika 3 prikazuje napravo za realni parni hladilni proces. Preobrazba med točkama 3 in 4a poteka po izentalpi ( $h = konst$ ), in ne po izentropi, kot bi bilo v primeru idealnega procesa (točka 4).



Slika 3: Shema parne hladilne naprave z batnim kompresorjem in ekspanzijskim organom [1]

Potek realnega parnega hladilnega procesa:

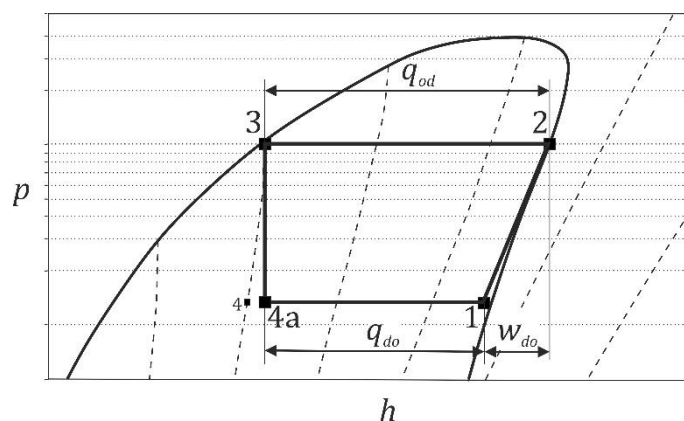
- 1 do 2 izentropna kompresija hlada  $w_{do} = h_1 - h_2$ , za kar potrebujemo električno energijo za pogon kompresorja,
- 2 do 3 izobarna in izotermna kondenzacija hlada  $q_{od} = q_c = h_3 - h_2$ , kjer toplota iz hladilnika preko prenosnika toplote na hladilniku preide v prostor,
- 3 do 4a izentalpna ekspanzija  $h_3 = h_{4a}$ , ki poteka v ekspanzijskem organu, ki je običajno kapilara,
- 4a do 1 izobarno in izotermno uparjanje hlada  $q_{do} = h_1 - h_{4a}$ , ki poteka v prenosniku toplote v hladilniku.

Slika 4 prikazuje diagram  $\log p-h$  procesa. Vloženo specifično delo je določeno:

$$w = w_{do} = h_1 - h_2 \quad (9)$$

Hladilno število je:

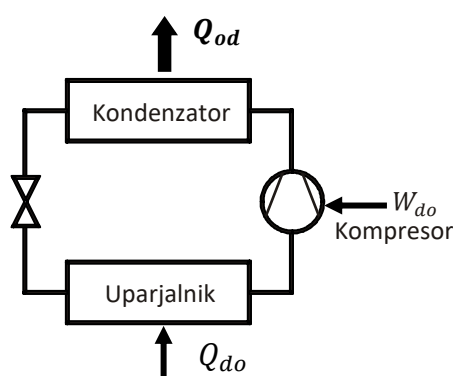
$$\varepsilon_c = \frac{|q_{do}|}{|w|} = \frac{h_1 - h_{4a}}{h_2 - h_1} \quad (10)$$



Slika 4: Diagram log  $p$ - $h$  realnega parnega hladilnega procesa [1]

## TOPLLOTNE ČRPALKE

Toplotna črpalka je naprava, ki služi za prečrpavanje toplote okolice z nižjega temperaturnega nivoja na višji nivo. Razlika med hladilno napravo in toplotno črpalko je samo v tem, da je osnovni namen hladilne naprave odvzem toplote oziroma hlajenje blaga ( $Q_{do}$ ), osnovni namen toplotne črpalke pa je dovod toplote blagu ali prostoru ( $Q_{od}$ ), kot to prikazuje Slika 5.



Slika 5: Shema toplotne črpalke [1]

Grelno število toplotne črpalke je definirano kot:

$$\varepsilon_H = COP = \frac{Q_{od}}{W_{do}} \quad (11)$$

Toplotna črpalka, ki nam ogreva hišo lahko deluje v osnovi na dva načina, in sicer:

- monovalentno,
- bivalentno.

Pri monovalentnem načinu obratovanja toplotna črpalka zagotavlja 100 % potreb po toploti. V primeru bivalentnega delovanja potrebo po toploti zagotavljamo iz dveh ločenih virov, torej toplotna črpalka deluje vzporedno z nadomestnim ogrevalnim sistemom (npr. kotlom na ekstra lahko kurilno olje). V takšnem načinu obratovanja nam ravnotežna oziroma bivalentna točka predstavlja najnižjo zunanjo temperaturo, pri kateri toplotna črpalka še samostojno zagotavlja vso potrebno toplotno moč.

Pri nižjih temperaturah od bivalentne točke se vklopi dodatni ogrevalni sistem (npr. kotel na ekstra lahko kurilno olje). V osnovi ločimo dva različna bivalentna načina obratovanja:

- nadomestno (toplotna črpalka se popolnoma izključi),
- vzporedno (toplotna črpalka še vedno deluje vzporedno s kotlom).

Pri bivalentnem vzporednem obratovanju se običajno lahko prihrani nekaj več energije. Bivalentne toplotne črpalke se največ uporabljajo v sistemih zrak-voda, kjer se toplotna moč črpalke zelo zmanjša pri nižjih zunanjih temperaturah zraka. Zmanjšanje je posledica slabšega števila *COP* (grelno število).

## ZAKLJUČEK

V prispevku smo prikazali opis delovanja toplotnih črpalk in njihovo sorodnost s hladilnimi napravami. Pri tem smo ugotovili, da gre v osnovi za enako napravo. Bistvena razlika je samo v tem, da nas pri hladilni napravi v osnovi zanima toplota na uparjalniku, pri toplotni črpalki pa toplota na kondenzatorju.

## LITERATURA

- [1] MUHIČ, Simon in Bogdan BLAGOJEVIČ. *Tehniška termodinamika*. Novo mesto: Fakulteta za tehnologije in sisteme, 2016. ISBN 978-961-6770-34-7.

## OPOMBA

Operacija Informiranje in ozaveščanje o potencialu učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije za sonaravni razvoj (in.OVE.in.URE) je bila potrjena na drugem Javnem pozivu za izbor operacij za uresničevanje ciljev Strategije lokalnega razvoja na območju LAS STIK v letu 2017.