

Termodinamična analiza kaskadne toplotne črpalke v visokotemperaturnem ogrevalnem sistemu

Nedžad Rudonja* – Milan Gojak – Ivan Zlatanović – Ružica Todorović
Univerza v Beogradu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

V članku je predstavljena termodinamična analiza sistema kaskadne toplotne črpalke, projektiranega za uporabo v visokotemperaturnih ogrevalnih sistemih. V literaturi je le malo člankov o kaskadnih toplotnih črpalkah zrak-voda, ki delujejo pri nizkih temperaturah in zagotavljajo visokotemperaturno ogrevanje. V pričujočem prispevku je zato preučen vpliv različnih kombinacij delovnih medijev na delovanje take toplotne črpalke. Nov termodinamični model je bil zgrajen na osnovi lastnosti delovnih medijev iz baze *CoolProp*. Kaskadna toplotna črpalka je bila projektirana za delo z zunanjim zrakom temperature $t_{amb} = -20$ °C kot virom toplote in visokotemperaturnim ogrevalnim sistemom do 70 °C. Analizirane so bile štiri kombinacije delovnih medijev za doseganje najvišjih vrednosti grelnega števila (COP) v danem temperaturnem območju. Temperaturno območje je bilo izbrano za ogrevanje objektov z visokotemperaturnimi ogrevalnimi sistemi in uporabo zunanjega zraka kot vira toplote. Za vsako kombinacijo delovnega medija je bila izračunana vrednost grelnega števila s spreminjanjem srednje temperature kaskadnega prenosnika toplote. Temperatura kondenzacije v visokotemperaturnem krogu je bila 75 °C, izparilna temperatura v nizkotemperaturnem krogu pa -25 °C. Napovedana moč kaskadne toplotne črpalke je bila 100 kW. Za najboljšo kombinacijo delovnih medijev so bili analizirani podhlajevanje, pregrevanje, tlačne izgube v sesalnem vodu kompresorja in eksergijska učinkovitost toplotne črpalke kot funkcije srednje temperature kaskadnega prenosnika toplote. Tako kombinacijo pri danih delovnih pogojih predstavljata R245fa v visokotemperaturnem krogu in R717 v visokotemperaturnem krogu toplotne črpalke. Najvišja vrednost grelnega števila je bila 2,77 in sledi sklep o upravičenosti uporabe kaskadnih toplotnih črpalk v visokotemperaturnih ogrevalnih sistemih. Pri vsaki kombinaciji delovnih medijev obstaja optimalna vrednost srednje temperature kaskadnega prenosnika toplote, pri kateri je vrednost grelnega števila maksimalna. Tlačne izgube v sesalnem vodu kompresorja v višini 2000 Pa prispevajo k zmanjšanju grelnega števila za skoraj 2,5 %. S podhladitvijo delovnega medija na izhodu kondenzatorja za 5 K se vrednost grelnega števila poveča za približno 2,5 %. Pregrevanje delovnega medija na vstopu kompresorja je pomembno za zaščito kompresorja, vendar ima tudi manjši negativen vpliv na vrednost grelnega števila. Zmanjšanje adiabatnega izkoristka kompresorjev znatno zmanjša vrednost grelnega števila, odvisnost pa je linearna.

Rezultati so uporabni za projektante in inženirje, ki projektirajo kaskadne toplotne črpalke za izkoriščanje toplote zraka v danem temperaturnem območju, saj podajajo predlog najboljše kombinacije delovnih medijev za največjo učinkovitost toplotnih črpalk. Znanstvenikom pa daje tudi boljši vpogled v vpliv analiziranih pojavov na termodinamično zmogljivost sistemov kaskadnih toplotnih črpalk. Delo se bo nadaljevalo z verifikacijo rezultatov v eksperimentalni študiji na realni kaskadni toplotni črpalci.

Ključne besede: kaskadne toplotne črpalke, delovni mediji, grelni število, eksergijski izkoristek