PROJEKTNI PARAMETRI PRI REVITALIZACIJI RECIRKULACIONIH RASHLADNIH SISTEMA TEHNOLOŠKE VODE

DESIGN PARAMETERS IN REVITALIZATION OF RECIRCULATION COOLING SYSTEMS OF SERVICE WATER

Dr Dušan Golubović, dipl. inž.,
Mašinski fakultet Univerziteta u Srpskom Sarajevu

U radu je analizirana revitalizacija recirkulacionog rashladnog sistema tehnološke vode u cilju povećanja efikasnosti hlađenja. Razmatrani su izbor rešenja vlažnog rashladnog tornja, uticajni faktori kao i mogućnosti poboljšanja termičkih karakteristika sistema. Prikazani su projektni parametri za termički proračun. Analiziran je uticaj temperature vlažnog termometra atmosferskog vazduha kao projektnog parametra pri definisanju tipa i visine ispune i mogućnosti korekcije iz tehno-ekonomskih razloga.

Za postojeće gabaritne dimenzije rashladnog tornja prikazani su slučajevi ostvarivanja temperature hladne vode u zavisnosti od visine ispune i temperature vlažnog termometra atmosferskog vazduha. Korišćeni su podaci o tehničkim karakteristikama novih tipova kompaktnih ispuna.

The paper includes the analysis of revitalization of recirculation cooling systems of service water for the purpose of cooling efficiency increase. The solution choice of a wet cooling tower, influencing factors and possibilities of improving the system thermal characteristics are considered. Design parameters for the thermal calculation are presented. Furthermore, the influence of temperature of atmospheric air wet thermometer is analyzed as a design parameter in defining the type and height of the filling along with correction possibilities due to technical and economical reasons.

For the existing dimensions of a cooling tower, herein are the cases of obtained cold water temperature depending on the height of a filling and temperature of the atmospheric air wet temperature. Data on technical characteristics of new types of compact fillings have been used.

Ključne reči: rashladni toranj; revitalizacija; ispuna; vlažni termometar
Key words: cooling tower; revitalization; filling; wet bulb

1. Uvod

U termoenergetskim i procesnim postrojenjima, hlađenje tehnološke vode uglavnom se vrši primenom recirkulacionih sistema hlađenja, pri čemu se hlađenje

vode izvodi u direktnom kontaktu sa atmosferskim vazduhom u vlažnim rashladnim tornjevima.

U opštem slučaju, pojektno rešenje rashladnog sistema sa vlažnim rashladnim tornjevima zavisi od: snage i tipa postrojenja, termodinamičkih parametara, uslova veze sa energetskim sistemom, tehno-ekonomskih uslova, cene opreme i drugog.

U toku eksploatacije rashladnog sistema često dolazi do odstupanja od projektnih parametara, zbog čega dolazi do pogoršanja uslova odvođenja toplote iz postrojenja i problema u tehnološkim procesima.

Rashladni sistemi se, nakon višegodišnje eksploatacije, često revitalizuju. Tada se može izvršiti kritička analiza ranije definisanih projektnih parametara kao i karakteristika nove opreme predviđene za ugradnju. Od projektanta se zahteva maksimalno tehničko iskorišćenje postojećih gabaritnih dimenzija sistema, ali i ekonomski opravdano. Pri tome se vodi računa da se relativni odnosi cena i pojedinačnih komponenti opreme sistema menjaju, a menjaju se i odnosi cena troškova investicija i održavanja.

Sa aspekta vođenja tehnološkog procesa, ponekad se javlja potreba za povećanjem efikasnosti hlađenja. Takođe, u toku eksploatacije ponekad se vrši neplanirano priključenje manjih potrošača koje dodatno opterećuje rashladni sistem. Zbog toga treba pažljivo analizirati glavne uticajne faktore pri revitalizaciji rashladnog sistema u cilju poboljšanja efikasnosti hlađenja.

U radu je izvršena analiza rashladnog tornja, kao glavnog elementa rashladnog sistema, sa aspekta primene novog tipa kompaktne ispune i analiza temperature vlažnog termometra atmosferskog vazduha.

2. Izbor rešenja vlažnog rashladnog tornja

U opštem slučaju, funkcija kriterijuma za izbor rešenja vlažnog rashladnog tornja ima oblik:

$$z = z\,(x, s, v), \tag{1}$$

gde su:

$x\,(x_1, x_2, ..., x_n)$ nezavisno promenljive,

$s\,(s_1, s_2, ..., s_m)$ spoljašnji parametri,

$v\,(v_1, v_2, ..., v_p)$ unutrašnji (zavisni) parametri.

Po svom sadržaju, relacija (1) izražava troškove koje treba svesti na minimum. Osim jednakosti (1), postoje i ograničenja u obliku jednakosti ili nejednakosti:

$$f_i = f_i(x, s, v) \Leftrightarrow 0, \qquad i = 1, 2, ..., k. \tag{2}$$

Jednačine ograničenja su obično jednačine bilansa mase i energije, ograničenja promenljivih parametara, tehnoloških ograničenja i dr. U zavisnosti od detaljnosti proračuna, u ograničenja (2) mogu se svrstati i diferencijalne jednačine termičkog proračuna tornja. Opšte rešenje minimuma funkcije (1) u uslovima (2) dobija se metodama nelinearnog programiranja.

Nezavisno promenljive veličine dele se na: konstrukcione i tehnološke. Konstrukcioni parametri jednoznačno određuju konstrukciono rešenje tornja, a tehnološki njegov rad sa termodinamičkog aspekta.

Po karakteru, nezavisno promenljive mogu biti diskretne i neprekidne.

Spoljašnji parametri određuju vezu ili uticaj okoline na toranj. Po karakteru, većina tih parametara je stohastička, sa funkcijom raspodele ili bez nje. U poslednjem slučaju predstavljaju slučajne veličine neodređenog karaktera. Unutrašnji (zavisni) parametri jednoznačno se određuju jednačinama (2). Neke od zavisno promenljivih imaju poseban značaj i određuju rad postrojenja u tehnološkom smislu.

Složenost modela vlažnih tornjeva zavisi od vrste analize koja se vrši. Za različite analize, optimizacije i varijantne proračune, koristi se obično Merkelov model:

$$\mathrm{Me} = \frac{\beta_{xv} \cdot v}{\dot{m}_w} \tag{3}$$

gde su:
β_{wk} [kg/m^{3}s] – koeficijent prelaza toplote i mase,
V [m^3] – zapremina ispune,
$\dot{m}_w$ [kg/s] – maseni protok vode.

Glavne jednačine koje opisuju proces razmene toplote u rashladnom tornju su:

1) jednačina prelaza toplote i mase.

$$\dot{m}_v \, dh_v = \beta_{xv} \, (h_{vs} - h_v) \, dV \tag{4}$$

gde su:
$\dot{m}_v$ [kg/s] – maseni protok vazduha,
h_v [kJ/kg] – entalpija vazduha,
h_{vs} [kJ/kg] – entalpija zasićenog vazduha;

2) jednačina toplotnog bilansa:

$$\dot{m}_v \, dh_v = \dot{m}_w \, dh_w \tag{5}$$

gde je $\dot{m}_v$ [kg/s] – maseni protok vode, a h_w [kJ/kg] je entalpija vode.

Aerodinamički proračun vrši se prema relaciji:

$$\Delta p = \xi_p \cdot \rho_v \cdot \frac{v^2}{2} \tag{6}$$

gde su:
Δp [pa] – pad pritiska vazduha,
ρ_v [kg/m^3 – srednja vrednost gustoće vazduha kroz ispunu,
v [m/s] – brzina vazduha u slobodnom preseku ispred ispune,
ξ_p – koeficijent otpora vazduha u ispuni.

3. Projektni parametri za termički proračun

Dimenzionisanje rashladnih tornjeva vrši se na osnovu termičkog proračuna. Površina ispune za razmenu toplote između vode i vazduha zavisi od uslova tečenja vode i strujanja vazduha koji su veoma složeni, pa se problem najčešće svodi na određivanje ukupne zapremine ispune.

Termički proračun vrši se i kao kontrolni u slučaju određivanja temperature hladne vode u zavisnosti od uslova različitih od projektnih.

Sa termičkim proračunom vrši se i strujni proračun, pri čemu se određuju kapacitet i napor ventilatora za obezbeđenje strujanja vazduha.

Za termički proračun rashladnih tornjeva potrebni su sledeći projektni parametri:

1) toplotni kapacitet, Q [kW],
2) protok vode, $\dot{m}_v$ [kg/s],
3) temperatura tople vode, t_{w1} [°C],
4) temperatura hladne vode, t_{w2} [°C],
5) parametri atmosferskog vazduha,
   – temperatura suvog termometra, t_{vs} [°C],
   – relativna vlažnost, φ [%], ili
   – temperatura vlažnog termometra, t_{wB} [°C].

Ako se protok vode i toplotni kapacitet menjaju u pogonu, mogu se odrediti srednji uslovi za posmatrani period ili maksimalni uslovi. Izbor zavisi od pogonskih uslova i režima rada postrojenja u vremenu visokih spoljašnjih temperatura i velike vlažnosti, kada su uslovi za evaporativno hlađenje najnepovoljniji.

4. Temperatura vlažnog termometra t_{wB} kao projektni parametar

Pri izboru projektnih parametara atmosferskog vazduha, uzimaju se u obzir tehnološki zahtevi i trajnost temperatura vlažnog termometra. Pri tome, vodi se računa o mogućnostima prekoračenja temperature hladne vode iznad projektovane vrednosti i vremenu trajanja prekoračenja. Izbor projektnih parametara vazduha za najnepovoljnije uslove nije ekonomičan, zbog kratkotrajnosti tih temperatura.

Ne preporučuje se izbor proračunskih temperatura i vlažnosti uzetih kao srednje mesečne vrednosti, već za duži period (npr. za tri letnja meseca: jun, jul, avgust).

Na osnovu meteoroloških podataka, mogu se prikazati dijagrami temperatura u trajanju 5, 10, 20, 30, 60 dana godišnje, posmatrano u poslednjih 5–10 godina. Slično, daju se temperature za posmatrani letnji period u trajanju 1, 2, 5, 10 procenata, u poslednjih 5–10 godina. Na slici 1 prikazana je godišnja učestalost broja sati u odabranim intervalima temperatura po suvom i vlažnom termometru (prema podacima za Ugljevik, u periodu 1985–1990. godina). Očigledno je da se visoke vrednosti temperatura vlažnog termometra (24–26°C) pojavljuju veoma kratko vreme (0,1–0,2%), pa se korišćenje ovih vrednosti kao projektnog parametra ne preporučuje. Drugim rečima, u tom kratkom vremenskom intervalu dozvoljeno je prekoračenje projektnih temperatura hladne vode za 1÷3°C, ali pod uslovom da se ne poremeti tehnološki proces. Npr. u slučaju termoelektrane, povišenje temperature hladne vode utiče na promenu pritiska u kondenzatoru i smanjenja snage termoelektrane, ali je vreme trajanja kratko, a tehnološki proces nije ugrožen. Ako je uslov za izvođenje tehnološkog procesa temperatura hladne vode, koja se dobija za ekstremno visoke vrednosti temperatura vlažnog termometra, postojećem rashladnom sistemu treba dodati neko alternativno hlađenje (npr. mešanje bunarske ili gradske vode, rashladni agregat i sl.).

Uobičajene projektne vrednosti temperatura vlažnog termometra su u intervalu 1–2,5% godišnje učestalosti broja sati sa tom temperaturom (cca 80–200 sati godišnje), u zavisnosti od vrste pogona. Za klimatsko područje Jugoslavije, uobičajene vrednosti projektnih temperatura vlažnog termometra za projektovanje rashladnih tornjeva su u intervalu 19–22°C. Veće vrednosti usvajaju se samo iz tehnoloških razloga, ili su dobijene tehno-ekonomskom analizom kompletnog postrojenja.

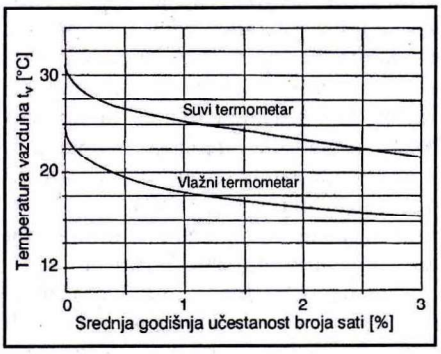
5. Analiza projektnih parametara pri revitalizaciji rashladnog tornja

Izvršena je revitalizacija rashladnog tornja sledećih projektnih parametara:
$\dot{m}_w = 350$ [m^3/h] – protok vode,
$t_{w1}/t_{w2} = 42/27$ [°C] – temperatura vode, topla/hladna,
$t_{wB} = 23$ [°C] – temperatura vlažnog termometra.
Ostali podaci o tornju:
– poprečni presek 36 m^2,
– visina ispune 0,9 m,
– tip ispune filmski,
– vodeno opterećenje 9,7 m^3/m^{2}h,
– ventilatori snage 2 x 20/5,5 kW,
– vazdušni broj $\lambda = 1,2$.

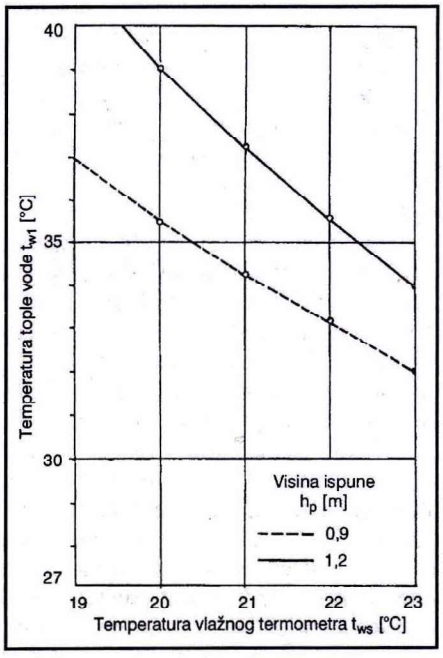
Toranj je u pogonu više od 10 godina. U tom periodu je veoma često dolazilo do prekoračenja temperature $t_{w2} = 27$°C, a ponekad i u znatnoj meri (npr. $t_{w2} = 35$°C). U poslednje vreme, prema merenjima koje je izveo investitor, praktično je temperatura t_{w2} stalno iznad 30°C. Analizom uticajnih parametara i stanja ugrađene opreme, donesena je odluka o revitalizaciji koja obuhvata zamenu postojeće ispune i eliminatora kapljica sa novim, pri čemu se ostali delovi tornja i rashladnog sistema ne menjaju.

Usvojena je kompaktna filmsko-kapljičasta plastična ispuna i plastični eliminatori kapljica. Analizirana su dva slučaja. U prvom, postavlja se zahtev konstantnog održavanja temperature $t_{w2} = 27$°C za visine ispune $h_p = 0,9$ i 1,2 m, a za različite vrednosti temperatura vlažnog termometra (slika 2). Očigledno je da je moguće ostvariti temperaturu tople vode $t_{w1} = 42$°C za temperature vlažnog termometra ispod 19°C za visinu ispune $h_p = 1,2$ m, a za $h_p = 0,9$ vrednosti su još niže.

Na slici 3 prikazana je zavisnost hladne vode t_{w2} od temperature vlažnog



Slika 1



Slika 2

termometra t_{wB} za visine ispune 0,9 i 1,2 m, a za projektni pad temperature vode Δt = 15°C.

Prvobitni projektni parametri zadovoljeni su ispod temperature t_{wB} = 18,4°C. S druge strane, za vrednosti t_{wB} = 22°C dobija se t_{w2} = 29°C (2°C iznad projektne vrednosti).

Ako se izvrši korekcija protoka vode (što je moguće ostvariti smanjenjem otpora na pumpama), dobijene vrednosti t_{w2} biće još povoljnije (1–1,5°C iznad projektne vrednosti). Na slici 4 prikazana je zavisnost $t_{w2} = f(t_{wB})$ za pad temperature vode Δt = 10°C.

Imajući u vidu da u konkretnom primeru nema tehnoloških ograničenja temperature t_{w2}, kao i činjenicu da pogon u najtoplijim letnjim mesecima radi smanjenim kapacitetom zbog remonta pojedinih delova pogona ili godišnjih odmora radnika, može se dozvoliti vrednost t_{w2} = 27–29°C.

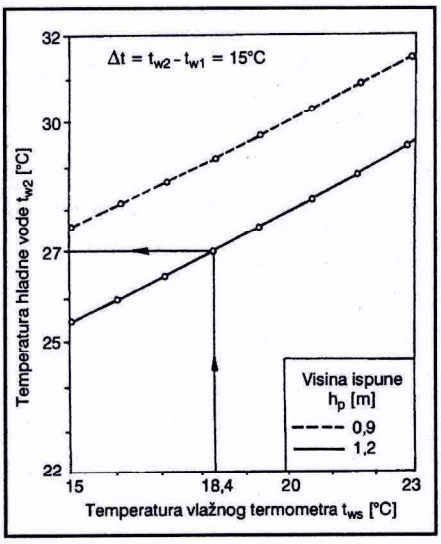
U tom slučaju vrednosti t_{wB} su ispod 22°C, a približenje („aproach") 5–7°C, što je sasvim zadovoljavajuće.

6. Zaključak

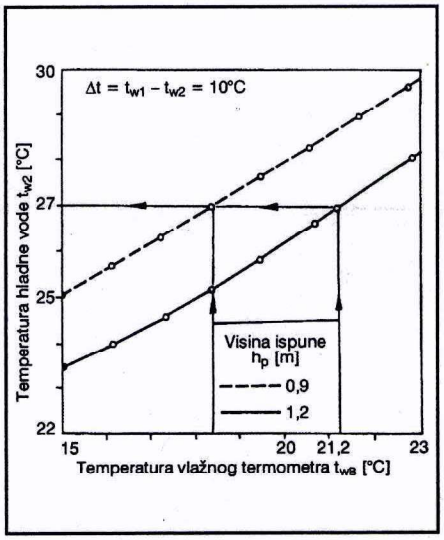
Analiziran je slučaj revitalizacije rashladnog tornja sa zamenom ispune i eliminatora kapljica. Na osnovu tehnoloških zahteva rashladnog tornja, moguće je izvršiti korekciju projektnog parametra temperature vlažnog termometra t_{wB}. Nove vrednosti su u granicama preporučenih (19–22°C) za našu klimatsku zonu, a odstupanja temperature hladne vode t_{w2} su u granicama 1–1,5°C, što je zadovoljavajuće.

Takođe, vrednosti približenja („aproach") $\Delta t = t_{w2} - t_{wB}$ = 5–7°C su u preporučenim granicama.

Niže vrednosti „aproach"-a Δt < 5°C treba izbegavati, osim u slučajevima ograničenja tehnološke prirode. Pad temperature vode u tornju treba birati u intervalu 10–12°C, a veće vrednosti treba izbegavati.



Slika 3



Slika 4

Literatura

[1] ***: *Cooling Tower Performance Curves,* Cooling Tower Institute, Houston, 1967.

[2] **Golubović, D.:** *Rashladni toranj br. 2 – rekonstrukcija ispune i eliminatora kapljica,* M. D. Borplastinženjering, Bor, 1997.

[3] **Golubović, D.:** *Rashladni tornjevi sa filmsko-kapljičastom plastičnom ispunom,* Procesing 99, SMEITS, Beograd, 1999.

[4] **Golubović, D.:** *Filmsko-kapljičati tip ispune vlažnih rashladnih tornjeva,* Savezni zavod za intelektualnu svojinu, Beograd, 2000.

[5] **Zemanek, J.:** *Heat and Mass Transfer in Cooling Tower Packings,* National Research Institute for machine Design, Praha, 1989.