

# REVITALIZACIJA SEKCIJA VENTILATORSKIH RASHLADNIH TORNJEVA TERMOELEKTRANE

## REVITALIZATION OF THERMAL POWER PLANT'S VENTILATION COOLING TOWER SELECTION

DUŠAN GOLUBOVIĆ,  
Mašinski fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, i  
DUŠICA GOLUBOVIĆ,  
Mašinski fakultet, Beograd

*U radu je analizirano hlađenje vode u višesekcijskom rashladnom tornju termoelektrane snage 161 MW sa postojećom drvenom ispunom za kapljičasti tok vode. Uzimajući u obzir karakteristike savremene opreme rashladnih tornjeva (ispuna, raspršivači, eliminatori), izvršena je revitalizacija pojedinih sekcija, zadržavajući postojeće ventilatore. Izvršena je korekcija projektnih parametara sa aspekta povećanja efikasnosti hlađenja. Analiziran je uticaj promene vodenog opterećenja tornja na temperaturu hladne vode. Izvršeno je dimenzionisanje distributora vode za ostvarenje ravnomerne gustine kiše. Primenjeni su gravitacioni raspršivači prilagođeni uslovima toka povremeno zaprljane vode. Analizirane su ispune za filmsko-kapljičasti tok vode. Obezbeđeno je ravnomerno strujanje vazduha kroz poprečni presek tornja. Prikazane su krive hlađenja vode u skladu sa promenama režima strujanja vazduha i vode. Revitalizacijom je znatno smanjena vlastita potrošnja električne energije za pogon ventilatora i izvršeno poboljšanje specifičnog rashladnog učinka sekcija tornja.*

*Water cooling was analyzed in the multi-section cooling tower of the 161 MW thermal power plant with the existing wood filling for drop water flow. Taking into account the characteristics of the cooling tower modern equipment (filling, sprayers, eliminators), certain sections were revitalized, while the existing fans remained. The design parameters were corrected from the aspect of cooling efficiency increase. The effects of the changes of the tower's water load on the cold water temperature were analyzed. The water distributor was dimensioned for achieving the uniform drop density. The gravitation sprayers were used adapted to the water flow, which was sometimes unclean. The fillings for the film-water flow were analyzed. Uniform air flow through the tower cross-section was provided. The water cooling curves were presented with changes of the air and water flow regime changes. The revitalization significantly reduced the electricity consumption for fans and increased the specific cooling efficiency of the tower section.*

*Ključne reči: rashladni toranj; revitalizacija; ispuna; filmsko-kapljičasto strujanje*

*Key words: cooling tower; revitalization; filling; film-drop flow*

## 1. Uvod

U termoenergetskim i procesnim postrojenjima, hlađenje tehnološke vode vrši se, uglavnom, primenom recirkulacionih sistema hlađenja, pri čemu se hlađenje vode izvodi u direktnom kontaktu sa atmosferskim vazduhom u vlažnim rashladnim tornjevima.

Primenom recirkulacionih sistema hlađenja postiže se ušteda u potrošnji vode do 98%. Projektno rešenje rashladnog sistema sa vlažnim rashladnim tornjevima zavisi od: snage postrojenja, termodinamičkih parametara, uslova veze sa energetskim sistemom, tehno-ekonomskih uslova, cene opreme i drugog.

Rashladni sistemi se nakon višegodišnje eksploatacije 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 dimenzija sistema, ali i ekonomski opravdano.

U tornjevima starijih generacija (60-ih do 80-ih godina prošlog veka) često su korišćene ispune za kapljičasti tok, od drvenih letvica poređanih u horizontalne i vertikalne redove, pri čemu je raspršivanje vode vršeno gravitaciono. Gabariti tih tornjeva su veliki jer je rashladni kapacitet po jedinici zapremine tornja relativno nizak.

Uzimajući u obzir kvalitet drvene ispune, ovi tornjevi imali su relativno jednostavno održavanje i dug period primene.

U našoj zemlji, poslednjih godina, pojavljuje se potreba za rekonstrukcijama drvene ispune u postojećim građevinskim konstrukcijama tornjeva. Imajući u vidu razvoj novih modela filmsko-kapljičastih ispuna, sa većim koeficijentom prenosa toplote i materije, moguće je ostvariti veći rashladni kapacitet postojećih konstrukcija.

Na intenzifikaciju hlađenja vode utiču i sledeći faktori: ravnomernost vodenog opterećenja i raspršivanja po poprečnom preseku tornja, strujanje vazduha u kompletnoj zapremini tornja, uticaj zona kiše ispod ispune i drugi.

## 2. Osnovni projektni podaci

Analiziran je postojeći trosekcioni rashladni toranj sa drvenom ispunom za kapljičasti tok vode, u termoelektrani snage 161 MW (sl. 1). Protok vode po sekciji tornja je 1084 m<sup>3</sup>/h. Revitalizacijom je predviđeno povećanje protoka vode u dve krajnje sekcije za 50%, uz blokadu rada srednje sekcije, pri čemu se ostvaruje usis vazduha sa sve 4 strane sekcija.

Osnovni projektni podaci su:

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| – protok vode po sekciji | 1626 m <sup>3</sup> /h, |
| – temperature:           |                         |
| tople vode – ulaz        | 38°C,                   |
| ohlađene vode – izlaz    | 30°C,                   |
| vlažnog termometra       | 20°C,                   |
| – priključak tople vode  | 2 x DN 450,             |

- aksijalni ventilator sa reduktorom i elektromotorom izvan difuzora,
- protok vazduha 626 400 m<sup>3</sup>/h,
- pritisak vazduha 121,5 Pa,
- prečnik ventilatora 5,5 m,
- broj obrtaja ventilatora 210 min<sup>-1</sup>,
- snaga elektromotora 45 kW,
- broj obrtaja elektromotora 1475 min<sup>-1</sup>.

Na slici 1 prikazane su osnovne gabaritne dimenzije sekcije i raspored ugrađene opreme.

Ostali podaci:

- razvod tople vode: cevima,
- raspršivanje tople vode: preko gravitacionih raspršivača,
- ispuna: PVC filmsko-kapljičastog tipa,
- eliminatori kapljica: PVC,
- noseća konstrukcija: toplo-pocinkovani čelik.

### 3. Hlađenje vode u protivstrujnom rashladnom tornju

#### 3.1. Termički proračun

Prenos toplote u rashladnom tornju sastoji se od simultanih procesa prelaza toplote konvekcijom i prenosa toplote usled isparavanja vode u vlažan vazduh. Glavne jednačine koje opisuju proces prelaza toplote i materije u rashladnom tornju su [1, 2].

Jednačine prelaza toplote i materije:

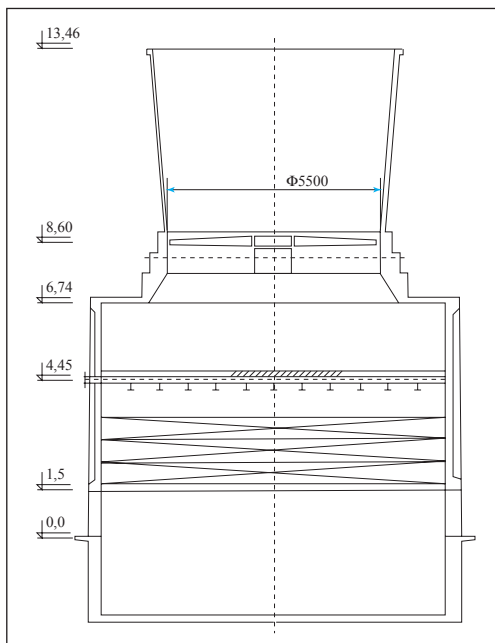
$$q_{mv} dh_v = \beta_{xv} (h_{vs} - h_v) dV. \quad (1)$$

Jednačina toplotnog bilansa:

$$q_{mv} dh_v = \beta_{xv} dh_w. \quad (2)$$

Kombinacijom (1) i (2) dobija se Merkelova glavna jednačina [1, 2, 6]:

$$\int_{t_{w2}}^{t_{w1}} \frac{c_{pw} dt_w}{h_{vs} - h_v} = \frac{b_{xv} \cdot V}{q_{mv}}. \quad (3)$$



Slika 1

Karakteristika ispune izražena je u obliku Merkelovog broja:

$$\frac{b_{xv} \cdot V}{q_{mw}} = A \lambda^n h_p, \quad (4)$$

gde su:  $\lambda = q_{mv}/q_{mw}$  koeficijent viška vazduha,  $A$  i  $n$  koeficijenti dobijeni eksperimentalno, a  $h_p$  [m] visina ispune.

Za postojeće komercijalne filmsko-kapljičaste ispune  $A = 1,0 \div 2,0$  a  $n = 0,4 \div 0,6$ .

### 3.2. Aerodinamički proračun

Ukupni koeficijent otpora vazduha u rashladnom tornju zavisi od konstrukcionog rešenja tornja i vodenog opterećenja (gustina kiše). Egzaktno rešenje vrednosti koeficijenata otpora praktično je nemoguće dobiti, pa je najpouzdaniji način određivanja ovog koeficijenta merenje na izvedenim tornjevima ili modelima.

Ukupan koeficijent otpora predstavlja zbir lokalnih koeficijenata za pojedine delove tornja i to: ulaz u toranj, zaokret vazdušne struje, ispuna, zone kiše iznad i ispod ispune, eliminatori, zona iznad ventilatora, difuzor i izlaz tornja.

Najveći otpor vazduha nastaje u ispuni tornja. Koeficijent otpora vazduha u ispuni [2, 6] zavisi od konstrukcionog rešenja i gustine kiše i najčešće je u obliku:

$$\zeta_p = A_v \lambda - 1 + n_v, \quad (5)$$

gde su  $A_v$  i  $n_v$  eksperimentalne vrednosti.

Pad pritiska vazduha u ispuni je:

$$\Delta p = x_p \cdot r_v \cdot \frac{v^2}{2}, \quad (6)$$

gde su:  $\rho_v$  kg/m<sup>3</sup> – srednja vrednost gustine vazduha,  $v$  [m/s] – brzina vazduha u slobodnom preseku ispod ispune.

Za filmsko-kapljičaste ispune je  $A_v = 2 \div 5$ , a  $n_v = 10 \div 30$ .

### 3.3. Hidraulički proračun

Vodeno opterećenje tornja (gustina kiše) je:

$$q = \frac{q_{mv}}{A} = \frac{1626}{90} = 18,07 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h},$$

gde je  $A = 90 \text{ m}^2$  površina poprečnog preseka tornja.

Brzina tople vode u magistralnom cevovodu je:

$$v_u = \frac{4 \cdot q_{mw}}{d^2 \rho} = 1,42 \text{ m/s}.$$

Glavne razdelne cevi DN100 su na rasteru 0,7 m.

Raspršivači vode DN40 su gravitacionog tipa, na rasteru 0,7 x 0,75 m (168 kom.). Brzina vode kroz cev raspršivača je  $v_r = 2,58 \text{ m/s}$ .

## 4. Tehnološko-konstrukcione karakteristike opreme tornja

### 4.1. Razvod tople vode

Na postojeće priključke  $2 \times \text{DN}450$  povezuju se dva cevovoda od PEVG dimenzija  $\text{DN}500/450/400$ , sa redukcijom radi uravnoteženja vodenog opterećenja po preseku tornja. Na glavne cevi montiraju se sekundarne razvodne cevi od PEVG, dimenzija  $\text{DN}100$  na međusobnom rastojanju  $700 \text{ mm}$  (sl. 2). Pritisak tople vode ne menja se jer nije potreban natpritisak rashladne vode u raspršivaču.

### 4.2. Ispuna

Usvojena je ispuna filmsko-kapljičastog tipa [7].

Materijal ispune je PVC. Ploče ispune su specijalno profilisane za stvaranje veće kontaktne površine vode i vazduha. Rastojanje između ploča je  $20 \text{ mm}$ . Ploče su međusobno zalepljene u pakete dimenzija  $500 \times 2000 \times 200 \text{ mm}$ . Ukupna visina ispune je  $1500 \text{ mm}$  (3 reda  $\times 500 \text{ mm}$ ). Način slaganja paketa omogućuje ostvarivanje ravnomernog strujanja vazduha. Razmak ploča i oblik reljefa ispune prilagođeni su uslovima tečenja i povremeno zaprljane vode u termoelektrani. Na sl. 3 prikazana je termička karakteristika ispune (zavisnost Merkelovog broja od koeficijenta viška vazduha za različite visine ispune).

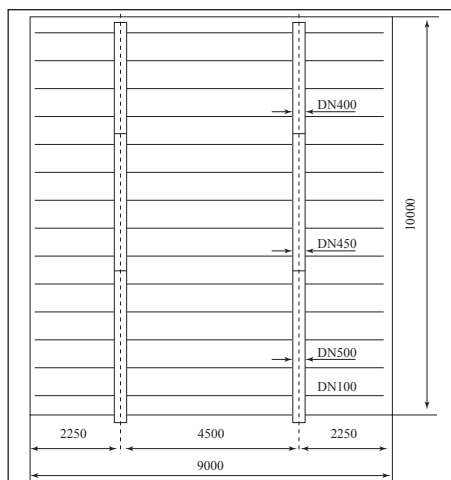
### 4.3. Raspršivači vode

Usvojen je gravitacioni tip za slobodno isticanje vode [7]. Materijal je PP. Raspršivanje vode je o specijalno profilisane tanjiriće u sitne kapljice. Kiše raspršivača se delimično poklapaju. Začepljenje raspršivača praktično nije moguće.

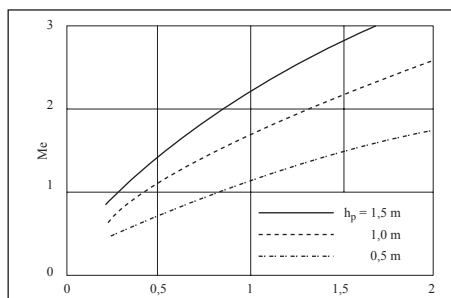
Prečnik cevi raspršivača je  $\text{DN}40$ . Za potrebe potpunog ujednačenja raspršivača po preseku tornja predviđeno je produženje cevi raspršivača do  $290 \text{ mm}$ . Priključenje raspršivača je na otvore u razdelnim cevima. Na sl. 4 prikazana je hidraulička karakteristika raspršivača (zavisnost protoka vode od pritiska vode za različite vrednosti prečnika cevi raspršivača).

### 4.4. Eliminatori kapljica

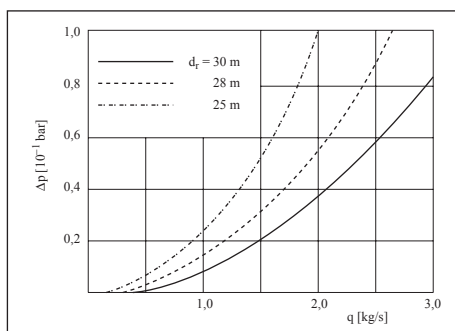
Materijal je PVC. Ploče eliminatora spojene su u pakete dimenzija  $2500 \times 560 \times 176 \text{ mm}$ . Efekat eliminacije kapi je preko  $99\%$ . Paketi su slobodno oslonjeni na cevi za raspodelu vode. Na sl. 5 prikazana je eliminacija



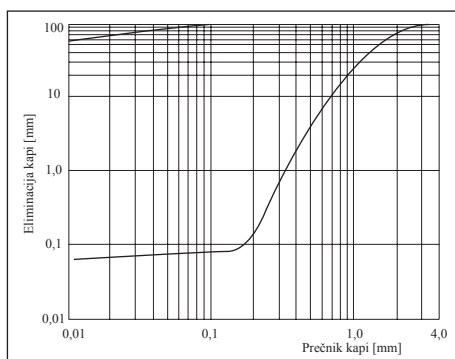
Slika 2



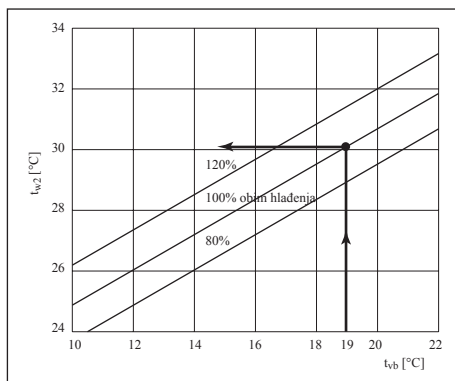
Slika 3



Slika 4



Slika 5



Slika 6

kapljica u [%], u zavisnosti od prečnika kapljica (kriva a – sa eliminatorom kapljica, kriva  $\Delta$  – bez eliminatora kapljica) [7].

## 5. Analiza tehnoloških parametara

Uzimajući u obzir gabaritne dimenzije sekcija rashladnog tornja, kao i karakteristike opreme predviđene za ugradnju pri revitalizaciji tornja, uz zadržavanje postojećeg ventilatora sa elektromotorom, izvršena je analiza tehnoloških parametara.

Povećanjem protoka vode za 50%, uz zadržavanje projektnih vrednosti temperatura vode i vazduha, znatno su nepovoljniji uslovi hlađenja, što je kompenzovano boljim tehnološkim karakteristikama ugrađene opreme.

Vodeno opterećenje tornja ( $q = 18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ) je iznad uobičajenih vrednosti za primenu filmsko-kapljičastih ispuna ( $10 - 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ), ali ovaj nedostatak kompenzovan je ravnomernom globalnom distribucijom vode, većim brojem i tipom raspršivača i različitim dužinama cevi raspršivača.

Vazdušni broj ( $\lambda = 0,45$ ) je nizak, što je posledica znatno povećanog protoka vode. Brzina vazduha kroz ispunu ( $\approx 2,0 \text{ m/s}$ ) je zadovoljavajuća, a raspored paketa ispune omogućuje ravnomerno strujanje po poprečnom preseku tornja.

Povišenje temperature vlažnog termometra iznad projektna vrednosti, znatno utiče na promenu temperature hladne vode. U letnjim mesecima, zbog nepovoljnih uslova hlađenja,

temperature vode povišavaju se za  $2-3^{\circ}\text{C}$ , a to se može kompenzovati smanjenjem protoka hladne vode!

Na sl. 6 prikazana je zavisnost temperature hladne vode  $t_{WB}$  za obime hlađenja 120%, 100% i 80%.

## 6. Zaključak

Analizirana je revitalizacija sekcija rashladnog tornja za povećani (50%) protok rashladne vode. Na osnovu povoljnih tehnoloških karakteristika opreme tornja (ispune, eliminatora kapljica, distributora vode i raspršivača) i pored nepovoljnih tehnoloških uslova hlađenja, ostvarene su projektne vrednosti temperatura rashladne vode. Takođe, znatno je povećan specifični rashladni učinak po zapremini sekcije.

U revitalizacionom tornju sa dve sekcije (umesto tri) u radu su dva ventilatora, svaki snage 45 kW, pa je ostvarena ušteda u vlastitoj potrošnji električne energije.

Revitalizacijom rashladnih tornjeva sa postojećim drvenim ispunama, primenom savremene opreme tornja, znatno se poboljšavaju tehnološke karakteristike, uz uštede vlastite potrošnje električne energije.

## 7. Oznake

$c_{pw}$	– specifični toplotni kapacitet vode, J/(kgK),
$h_v$	– entalpija vazduha, J/kg,
$h_{vs}$	– entalpija zasićenog vazduha, J/kg,
$h_w$	– entalpija vode, J/kg,
$q_{mv}$	– maseni protok vazduha, kg/s,
$q_{mw}$	– maseni protok vode, kg/s,
$t_v$	– temperatura vazduha, °C,
$t_{w1}/t_{w2}$	– temperatura vode na ulazu/izlazu, °C,
$V$	– zapremina ispune, m <sup>3</sup> ,
$\beta_{.xv}$	– koeficijent prelaza toplote i mase, W/(m <sup>2</sup> K),
$q$	– gustina kiše, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h .

## 8. Literatura

- [1] \*\*\* *Cooling Tower Performance Curves*, Cooling Tower Institute, Huston, 1967.
- [2] **Farforovskij, B. S., V. B. Farforoskij**, *Ohladitelji cirkulacionoj vodi teplovih elektostancij*, Energija, Lenjingrad, 1972.
- [3] **Golubović, D.**, *Studija revitalizacije rashladnog tornja za termoelektranu Kolubara A – Veliki Crljeni*, Decotra engineering, Beograd, 2006.
- [4] **Golubović, D.**, *Filmsko-kapljicasti tip ispune vlažnih rashladnih tornjeva*, Savezni zavod za intelektualnu svojinu, Beograd, 2000.
- [5] **Golubović, D.**, *Dimenzionisanje ispuna protivstrujnih rashladnih tornjeva*, Kongres o KGH, SMEITS, Beograd, 2003.
- [6] **Zemanek, J.**, *Heat and Mass Transfer in Cooling Tower Packings*, National Research Institute for Mashine Design, Praha, 1989.
- [7] \*\*\* *Cooling Filling, Drop Separator Blocks, Spraying Nozzle*, BETVAR, Praha, 2006.

kgH