

SLOBODAN P. ŠERBANOVIĆ<sup>1</sup>  
DEJAN S. MILOŠEVIĆ<sup>2</sup>  
EMILA M. ĐORĐEVIĆ<sup>1</sup>  
ALEKSANDAR Ž. TASIĆ<sup>1</sup>  
BOJAN D. ĐORĐEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tehnološko–metalurški fakultet,  
Beograd

<sup>2</sup>Duga Holding AD – Industrija  
boja i lakova, Beograd

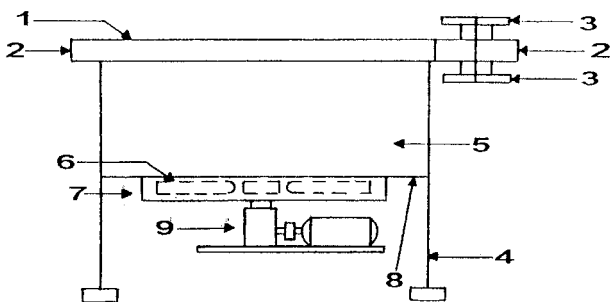
NAUČNI RAD

621.175+ 621.565.3:543.226:519.85

## RAZVOJ PROGRAMSKOG PAKETA ZA TERMOHIDRAULIČKI PRORAČUN VAZDUŠNIH HLADNJAKA

Vazdušni hladnjaci su mnogo veći potrošači energije u odnosu na ostale tipove razmenjivača toplote, zbog utroška snage na motorima ventilatora. To je dodatni razlog za potrebu uspostavljanja pouzdanih metoda za njihovo racionalno projektovanje i termohidrauličku analizu. Pri tome je od posebnog značaja određivanje optimalne vrednosti izlazne temperature, odnosno protoka, vazduha. U radu je uspostavljena metodologija termohidrauličkog proračuna vazdušnih hladnjaka i oformljen odgovarajući programski paket "Air Cooler". Obuhvaćena su dva slučaja, hlađenje i/ili kondenzacija procesnog fluida vazduhom, kao rashladnim sredstvom. Programski paket takođe omogućava prikaz dobijenih rezultata na više različitih načina, tabelarno i grafički.

Vazdušni hladnjaci spadaju u grupu cevnih reku-peratora toplote kod kojih ambijentni vazduh, prolazeći oko orebrenih cevi, ima ulogu rashladnog medijuma, koji kondenzuje i/ili hladi procesni fluid u cevima. Najširu primenu su našli u petrohemijskoj i naftnoj industriji. Ovi aparati mogu biti različitih tipova i konstrukcija. U praksi se najčešće koriste razmenjivači sa prinudnim strujanjem vazduha i horizontalnim snopom cevi, čiji je šematski prikaz sa nazivima osnovnih delova, dat na slici 1.



1. Snop cevi, 2. Ram snopa sa glavama, 3. Priklučak, 4. Nosač, 5. Sprovodna komora, 6. Ventilator, 7. Prsten ventilatora, 8. Poklopac ventilatora, 9. Pogonski mehanizam  
1. Tube bundle, 2. Header, 3. Nozzle, 4. Supporting column, 5. Plenum, 6. Fan, 7. Fan ring, 8. Fan deck, 9. Drive assembly

Slika 1. Šematski prikaz vazdušnog hladnjaka sa nazivima osnovnih delova

Figure 1. Schematic representation of heat exchanger with its main components

Pri termohidrauličkom projektovanju novih i analizi rada postojećih vazdušnih hladnjaka koriste se API Standardi [1].

Adresa autora: S.P. Šerbanović, Tehnološko–metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, e-mail: serban@elab.tmf.bg.ac.yu  
Rad primljen: Mart 6, 2003  
Rad prihvaćen: April 11, 2003

### TERMOHIDRAULIČKI PRORAČUN VAZDUŠNIH HLADNJAKA

Termohidraulički proračun razmenjivača toplote se odnosi na fenomene prenosa toplote i količine kretanja (kao i mase, kada je prisutna fazna transformacija fluida) u aparatu. Postoje tri tipa proračuna:

- projektovanje novog razmenjivača toplote,
- provera postojećeg aparata i
- analiza (simulacija) rada ugrađenog razmenjivača.

Uprošćen algoritam termohidrauličke provere vazdušnih hladnjaka, koji uključuje hlađenje ili kondenzaciju procesnog fluida, dat je na slici 2.

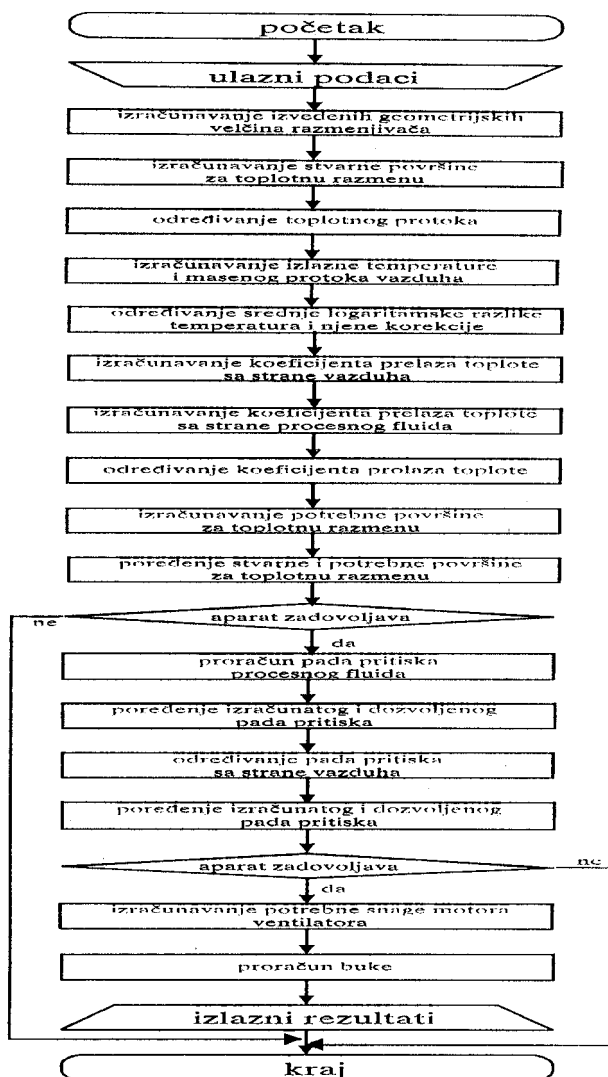
Ulazne podatke čine procesni parametri oba fluida i osnovne geometrijske karakteristike aparata:

#### Procesni parametri

- ulazna i izlazna temperatura i pritisak procesnog fluida,
- ulazna temperatura i pritisak vazduha,
- maseni protok procesnog fluida,
- termofizičke karakteristike procesnog fluida i vazduha (gustina, maseni toplotni kapacitet, koeficijent dinamičkog viskoziteta, koeficijent toplotne provodljivosti),
- termički otpori onečišćenja za oba fluida,
- dozvoljeni pad pritiska za oba fluida.

#### Osnovne geometrijske veličine

- ukupna i efektivna širina rama,
- ukupna i efektivna dužina cevi,
- broj cevi u snopu,
- broj redova cevi po dubini snopa,
- spoljašnji i unutrašnji prečnik cevi,
- korak i raspored cevi,
- broj prolaza procesnog fluida kroz cevi,
- broj ventilatora po ramu,
- brzina vrha propelera,
- prečnik prstena ventilatora,
- broj rebara po dužnom metru cevi,
- spoljašnji prečnik orebrenja,
- debljina rebara,
- najmanje rastojanje između susednih rebara,
- broj ramova.



Slika 2. Uprošćen algoritam termohidrauličke provere performansi vazдушnih hladnjaka

Figure 2. Simplified algorithm for the rating calculations of air-cooled heat exchangers

Izvedene geometrijske veličine razmenjivača neophodne za termohidraulički proračun, kao i stvarna standardna površina za toplotnu razmenu određuju se korišćenjem osnovnih geometrijskih veličina.

Toplotni protok se izračunava iz energetskog bilansa razmenjivača toplote.

Nepoznate vrednosti izlazne temperature i masenog protoka vazduha određuju se iterativnim postupkom. Kada su poznate sve četiri temperature fluida pristupa se određivanju srednje logaritamske razlike temperatura  $\Delta T_{sl}$  i njene korekcije.

Toplotni proračun vazdušnog hladnjaka koji obuhvata izračunavanje koeficijenta prelaza toplote oba fluida, koeficijenta prolaza toplote i potrebne površine za toplotnu razmenu je iterativan. Uključeno je i određivanje temperature zida, koja može imati izuzetno veliki uticaj na potrebnu površinu za toplotnu razmenu, ali i na pad

pritiska procesnog fluida. Taj uticaj je izražen preko korekcionog faktora  $\mu/\mu_z$ , koji predstavlja odnos koeficijenta dinamičkog viskoziteta fluida na srednjoj temperaturi i na temperaturi zida a figuriše u korelacijama za izračunavanje koeficijenta prelaza toplote i pada pritiska. Za vazduh, promena koeficijenta dinamičkog viskoziteta sa temperaturom nije velika pa je vrednost pomenutog korekcionog faktora bliska jedinici. Međutim za procesni fluid, naročito kada su u pitanju viskozne tečnosti, neophodno je uzeti u obzir i ovaj uticaj.

Aparat termički zadovoljava ukoliko je stvarna površina za toplotnu razmenu veća od potrebne (kod dobro projektovanih razmenjivača za 5–10 %).

Hidraulički proračun se svodi na izračunavanje padova pritiska u aparatu sa strane oba fluida. Vazdušni hladnjak hidraulički zadovoljava u slučaju da je izračunata vrednost pada pritiska procesnog fluida niža od odgovarajućeg, maksimalno dozvoljenog pada pritiska.

Nakon izračunavanja snage motora ventilatora i buke, štampaju se željeni rezultati čime se proračun vazdušnog hladnjaka završava. Opisani algoritam se može primeniti na hlađenje i kondenzaciju procesnog fluida. Proračun kondenzacije procesnog fluida je i termički i hidraulički znatno složeniji.

U postupku termohidrauličkog proračuna vazdušnih hladnjaka potrebno je posebno voditi računa o sledećim faktorima:

- Ulazna temperatura vazduha

Ulazna temperatura vazduha u aparat je od vitalnog značaja pri proračunu i za njen izbor se moraju poznavati lokalni meteorološki uslovi tokom godine, zimski i letnji. Aparat se uvek proračunava za nepovoljnije, letnje uslove rada.

- Izlazna temperatura vazduha

Izlazna temperatura vazduha je funkcija protoka vazduha ali i ostalih veličina koje zavise od protoka. Određuje se optimizacijom pri čemu je neophodno naći više rešenja, za niz kombinacija protok vazduha/temperatura izlaznog vazduha i između njih odabrati optimalno za rad razmenjivača.

Ovako utvrđena temperatura daje mogućnost da se za datu geometriju aparata:

- uspostave ulazne i izlazne temperature za oba fluida,
- odredi protok vazduha iz energetskog bilansa,
- izračuna srednja logaritamska razlika temperatura.

U proračun je uključena i Brown–ova empirijska metoda za izlaznu temperaturu vazduha [2].

- Srednja logaritamska razlika temperatura

S obzirom na to da u ovom tipu razmenjivača postoji unakrsan tok fluida, srednja logaritamska razlika temperatura  $\Delta T_{sl}$  se mora korigovati pomoću korekcionog faktora  $F$ , koji zavisi od temperatura procesnog fluida i vazduha, broja redova cevi po prolazu i broja prolaza [3,4].

- Koeficijent prelaza toplote sa strane vazduha

Detaljan prikaz korelacija za izračunavanje koeficijenta prelaza toplote sa strane vazduha u odnosu na spoljašnju površinu neorebrene cevi  $\alpha_{fo}$ , koji u sebi uključuje i termički otpor onečišćenja, može se naći u literaturi [5–11]. Osnovna jednačina ima sledeći oblik:

$$\alpha_{fo} = \frac{\alpha_f(\eta_f A_f + A_u)}{A_s}, \quad (1)$$

i u njoj figurišu sledeće veličine:

$\alpha_f$  – koeficijent prelaza toplote sa strane vazduha, uključujući termički otpor onečišćenja,  $N/m^2K$ ,

$\eta_f$  – efikasnost rebra,

$A_f$  – površina orebrenja po jedinici dužine,  $m^2/m$ ,

$A_u$  – površina neorebrenog dela cevi po jedinici dužine,  $m^2/m$ ,

$A_s$  – spoljašnja površina neorebrene cevi po jedinici dužine  $m^2/m$ .

• Koeficijent prelaza toplote sa strane procesnog fluida

Za definisanje prenosa toplote sa strane procesnog fluida, koji protiče kroz cevi, mogu se koristiti odgovarajuće korelacije iz literature [8–13]. Dobijena vrednost koeficijenta prelaza toplote se zatim svodi na spoljašnju površinu neorebrene cevi.

• Koeficijent prolaza toplote

Koeficijent prolaza toplote se definiše u odnosu na spoljašnju površinu neorebrene cevi:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_{fo}} + r_{zo} + r_{fc} + \frac{1}{\alpha_{fc}}, \quad (2)$$

gde su:

$\alpha_{fo}$  – koeficijent prelaza toplote sa strane vazduha u odnosu na spoljnu površinu neorebrene cevi,  $W/m^2K$ ,

$r_{zo}$  – termički otpor provođenju toplote kroz zid cevi u odnosu na spoljnu površinu neorebrene cevi,  $m^2K/W$ ,

$r_{fc}$  – termički otpor onečišćenja sa strane fluida u cevima u odnosu na spoljnu površinu neorebrene cevi,  $m^2K/W$ ,

$\alpha_{fc}$  – koeficijent prelaza toplote sa strane procesnog fluida u odnosu na spoljnu površinu neorebrene cevi,  $W/m^2K$ .

• Površina za toplotnu razmenu

Potrebna površina za toplotnu razmenu se izračunava iz korelacije:

$$A_p = \frac{Q}{KF\Delta T_{sl}} \quad (3)$$

u kojoj su:

$Q$  – razmenjen toplotni protok,  $W$ ,

$F$  – korekcionni factor za srednju logaritamsku razliku temperatura,

$\Delta T_{sl}$  – srednja logaritamska razlika temperatura fluida,  $K$ ,

i zatim se poredi sa stvarnom (standardnom) površinom za toplotnu razmenu:

$$A_{st} = n_c d_s \pi L \quad (4)$$

gde su:

$n_c$  – ukupan broj cevi u aparatu,

$d_s$  – spoljašnji prečnik cevi,  $m$ ,

$L$  – ukupna dužina cevi,  $m$ .

• Pad pritiska sa strane vazduha

Pad pritiska sa strane vazduha čine pad pritiska u cevnom snopu ( $\Delta P_{os}$ ) i pad pritiska u ventilatoru i sprovodnoj komori ( $\Delta P_{vsk}$ ):

$$\Delta P_{o,uk} = \Delta P_{os} + \Delta P_{vsk} \quad (5)$$

Pad pritiska u snopu se računa preko korelacija koje preporučuje proizvođač ili preko opštih korelacija datih u literaturi [5–11].

Pad pritiska u ventilatoru uključuje ulazne gubitke, izlazne gubitke, gubitke u sprovodnoj komori (prinudno strujanje) i gubitke u atmosferu (indukovano strujanje). Pad pritiska u sprovodnoj komori obuhvata gubitke usled složenog strujanja vazduha između snopa i ventilatora.

• Pad pritiska u cevima

Pad pritiska procesnog fluida u cevima se određuje na osnovu korelacija datih u literaturi [8–11]. Pri tome treba voditi računa da se ne prevaziđe maksimalno dozvoljeni pad pritiska.

• Utrošak snage na ventilatoru

Kada je u pitanju utrošak snage na ventilatoru potrebno je definisati dve ključne veličine. To su:

– Snaga na osovini ventilatora, koja se određuje iz jednačine

$$N_{osov} = \Delta P_{o,uk} V_o, \quad (6)$$

u kojoj su:

$V_o$  – zapreminski protok vazduha kroz ventilator,  $m^3/s$ ,

$\Delta P_{o,uk}$  – ukupni pad pritiska vazduha,  $Pa$ .

• Snaga motora ventilatora

Za određivanje ove veličine pri letnjim uslovima,  $N_{motl}$  koristi se jednačina

$$N_{motl} = \frac{N_{osov}}{\eta_{vent}} \quad (7)$$

gde je:

$\eta_{vent}$  – koeficijent iskorišćenja ventilatora i prenosnog uređaja.

Snaga motora ventilatora pri zimskim uslovima  $N_{motz}$  određuje se iz jednačine:

$$N_{motz} = N_{motl} C_t \quad (8)$$

u kojoj je  $C_t$  korekcionni factor za temperaturu.

• Buka ventilatora

Vazdušni hladnjaci značajno doprinose ukupnoj emisiji buke velikih rafinerija i hemijskih postrojenja. Zakoni većine zemalja ograničavaju nivo buke na 85 dB (na udaljenosti od 1 m od ventilatora). Ovaj efekat se prikazuje pomoću vrednosti nivoa pritiska zvuka – SPL (sound pressure level):

$$SPL = C + 30 \log \omega_{per} + 10 \log N_{osov} + 20 \log D_{ivent} \quad (9)$$

gde su:

$w_{per}$  – brzina vrha propelera, m/s,

$D_{ivent}$  – prečnik ventilatora, m,

$C$  – konstanta koja je funkcija tipa strujanja vazduha.

Za termohidraulički proračun vazdušnog hlađenja u kome dolazi do kondenzacije procesnog fluida, aparat je potrebno podeliti na proizvoljan broj temperaturnih intervala. Razmenjen toplotni protok, srednja logaritamska razlika temperatura i koeficijent prolaza toplote se računaju za svaki interval, a zatim na osnovu ovih vrednosti i potrebna površina za toplotnu razmenu svakog intervala. Na kraju se izračunava ukupno razmenjen toplotni protok, ukupan koeficijent prolaza toplote i ukupna potrebna površina aparata koja se poredi sa površinom standardnog vazdušnog hladnjaka.

### AirCooler – PROGRAMSKI PAKET ZA TERMOHIDRAULIČKI PRORAČUN PERFORMANSI VAZDUŠNIH HLADNJAKA

Za termohidraulički proračun vazdušnih hladnjaka, razvijen je programski paket "AirCooler", koji obuhvata proračun hlađenja jednofaznog fluida, kao i kondenzaciju jednokomponentnog ili višekomponentnog procesnog fluida. U ovom radu će biti prikazana primena programskog paketa na vazdušni hladnjak koji se u rafineriji nafte koristi za kondenzaciju frakcije vakuum ostataka (VO).

Aplikacija je urađena pomoću programskog okruženja Delphi® za rad pod operativnim sistemom MS Windows. Programi za izvršni deo aplikacije su napisani na objektno orijentisanom programskom jeziku Object Pascal®.

Softver "AirCooler" čine dve osnovne celine:

- ulazni podaci,
- rezultati.

#### Ulazni podaci

Program "AirCooler" je koncipiran tako da omogućiti korisniku unošenje podataka u okviru nekoliko različitih grupa. U zavisnosti od toga da li program izvršava proračun jednofaznog hlađenja ili kondenzacije, korisnik ima pristup sledećim grupama ulaznih podataka:

- *Geometrijske karakteristike razmenjivača* (dostupni za oba slučaja)
- *Podaci za procesni i rashladni fluid* (dostupni za oba slučaja)
- *Podaci za proračun kondenzacije* (dostupni samo za slučaj kondenzacije)

Prikaz pojedinih ekrana preko kojih se unose ulazni podaci biće dat na primeru kondenzacije višekomponentne smeše.

U okviru grupe koju čine podaci vezani za geometrijske karakteristike vazdušnog hladnjaka (izgled aplikacije, za taj slučaj, je prikazan na slici 3) nalazi se nekoliko podgrupa ulaznih podataka. One su razdvojene na posebne celine u okviru kojih se nalaze sve veličine koje bliže određuju tu podgrupu i odnose se na:

- Gabarite snopa

- Ventilator
- Cevi
- Orebrenje
- Ostale karakteristike

Sa slike 3 se može utvrditi koje su geometrijske karakteristike razmenjivača neophodne za termohidraulički proračun vazdušnih hladnjaka pomoću aplikacije "AirCooler". Pored unosa brojnih vrednosti ovih veličina, korisnik se ovde odlučuje i za vrstu strujanja vazduha, koje može biti:

- *Prinudno*
- *Indukovano*

Nakon unošenja svih željenih vrednosti, korisnik je u mogućnosti da pređe na sledeću grupu ulaznih podataka koji se odnose na procesni i rashladni fluid (vazduh). Prilikom unosa ovih podataka (slika 4), korisnik se suočava i sa izborom vrste procesa u cevima. U okviru ove podgrupe moguće je izabrati ili hlađenje jednofaznog fluida ili kondenzaciju.

Ostale podgrupe podataka prisutne na ekranu prikazanom na slici 4 su :

- Kod za proveru opravdanosti aproksimacije  $\mu/\mu_z = 1$  kod jednofaznog toka procesnog fluida
  - Provera
  - Bez provere
- Orijehtacija razmenjivača
  - Horizontalna
  - Vertikalna
- Smer proticanja procesnog fluida
  - Na više
  - Na niže

Pored ovih veličina korisnik ima mogućnost unošenja i željene tačnosti proračuna, kao i izbora ugla između vertikalnog i pravca kretanja. Ove veličine su neophodne za proračun kondenzacije.

Ukoliko se korisnik odluči za hlađenje jednofaznog fluida, postoji mogućnost izbora orijentacije razmenjivača. Ukoliko je razmenjivač vertikalno, otvara se i mogućnost izbora smera proticanja procesnog fluida. U suprotnom slučaju, ako je razmenjivač horizontalan, ovo polje nije upotrebljivo i korisnik mu ne može prići. Polje koje se odnosi na proveru, kod jednofaznog toka procesnog fluida, omogućava usvajanje aproksimacije  $\mu/\mu_z = 1$  (*Bez provere*) ili proveru te aproksimacije (*Provera*).

Treba naglasiti da se pri proračunu kondenzacije jednokomponentnog ili višekomponentnog procesnog fluida izvedene geometrijske karakteristike razmenjivača, kao i koeficijent prelaza toplote sa strane vazduha izračunavaju identično kao i kod proračuna hlađenja.

Kod proračuna koji uključuje kondenzaciju procesnog fluida aparat se deli na temperaturne inkremente kako je to već ranije napomenuto. Korisnik može da menja broj temperaturnih intervala, kao i broj komponentata. Promenom broja temperaturnih intervala menja se i broj kolona, u koje se unose vrednosti određenih veličina na granicama intervala (temperature, termofizičke karakteristike pare i tečnosti i sl.). Jedino za razmenjene toplotne protoke, korisnik unosi onoliko vrednosti koliko ima

*Slika 3. Izgled ekrana aplikacije za unos podataka o geometrijskim karakteristikama razmenjivača*  
*Figure 3. Input data for the exchanger geometric characteristics*

*Slika 4. Izgled ekrana aplikacije za unos podataka o karakteristikama procesnog i rashladnog fluida*  
*Figure 4. Process parameter input dataa*

temperaturnih intervala. Proračun osim toga zahteva i unošenje vrednosti srednje gustine i srednjeg koeficijenta dinamičkog viskoziteta fluida u cevima.

Aplikacija u sebi sadrži isprogramirane mehanizme za kontrolu unetih podataka, čime se sprečava unošenje nelogičnih vrednosti. U slučaju da se ipak pojave neke greške pri unosu podataka, koje nije moguće kontrolisati, program obaveštava o načinjenoj grešci. Sa druge strane, moguć je unos "loših" podataka, onih vrednosti koje ne dozvoljavaju programu da konvergira, odnosno, nastavi izračunavanje. I u tom slučaju korisnik se obaveštava da mora da promeni unete vrednosti.

## Rezultati

Poslednju celinu, u programu "AirCooler" čine rezultati termohidrauličkog proračuna vazdušnih hladnjaka. Rezultati se izračunavaju "on-line", odnosno, promenom svakog ulaznog podatka, dobijamo odgovarajući izlaz, ukoliko ne postoji problem konvergencije, koji najčešće potiče od pogrešnog unošenja podataka. Ovu celinu čine sledeće grupe:

- Glavni rezultati, koji su sistematizovani u tri podgrupe. To su:
  - Procesni i fizički parametri
  - Karakteristike ventilatora
  - Geometrijske karakteristike razmenjivača.

Na slici 5 prikazani su procesni i fizički parametri.

Veličine koje ulaze u glavne rezultate proračuna, se razlikuju u zavisnosti od toga da li je izabrano hlađenje jednofaznog fluida ili kondenzacija, ali su u oba slučaja sistematizovane na isti način.

- Pomoćni rezultati, koje čine sve veličine koje se određuju prilikom proračuna vazdušnih hladnjaka. Ove veličine su razvrstane u četiri podgrupe:

- Geometrijske karakteristike
- Karakteristike procesa
- Karakteristike procesnog fluida
- Karakteristike rashladnog fluida – vazduha

I u ovom slučaju veličine su grupisane na isti način, bilo da se radi o hlađenju ili kondenzaciji, mada se broj pomoćnih rezultata u velikoj meri razlikuje. U slučaju hlađenja imamo pedesetak, dok u slučaju kondenzacije postoji oko stotinu pomoćnih rezultata.

Uz pomenute dve grupe rezultata proračuna, postoji još jedna, koja predstavlja vizuelni prikaz nekih važnijih rezultata i predstavljena je imenom:

- Grafici

Kada je u pitanju štampanje, snimanje i pretraživanje rezultata proračuna korisniku su na raspolaganju brojne mogućnosti. Programski paket omogućava štampanje rezultata na bilo kom štampaču. Takođe nudi se puno mogućnosti od ucrtavanja različitih tipova graničnih linija oko i unutar tabela, promene fontova, postavljanja datuma, vremena, naslova, broja strana do izbora

Slika 5. Izgled ekrana aplikacije za prikaz glavnih rezultata proračuna

Figure 5. Output data for the calculation results

Slika 6. Izgled ekrana aplikacije za prikaz grafika zavisnosti potrebne površine vazdušnog hladnjaka od izlazne temperature vazduha  
 Figure 6. Chart showing the dependence of the required exchanger area on the outlet air temperature

orijentacije strana, podešavanja svih margina i još mnogo drugih opcija.

Pretraživanje liste glavnih i pomoćnih rezultata obavlja se po određenim principima, koje bira sam korisnik. Ukoliko korisnik traži neki pojam koji ne postoji među rezultatima, pojavljuje se dijalog *Information* koji ga obaveštava o tome.

Aplikacija sadrži i vizuelni prikaz zavisnosti određenih veličina od izlazne temperature vazduha, u vidu grafika. Grafici se ažuriraju "on-line", odnosno promenom svake veličine koja je vezana za određeni grafik, menja se i izgled samog grafika. Program "AirCooler" nudi šest grafičkih prikaza, odnosno dijagrama zavisnosti od izlazne temperature vazduha:

- *Nosovine*, snage na osovinama ventilatora,
- *Nmotora*, snage motora
- *Puk*, ukupnog pada pritiska vazduha
- *Auk*, potrebne površine za razmenu toplote
- *Kuk*, koeficijenta prolaza toplote
- *SPL*, nivoa pritiska buke

Na slici 6 prikazana je zavisnost potrebne površine za toplotnu razmenu od izlazne temperature vazduha. U dijagram je unesena vrednost stvarne (raspoložive) površine razmenjivača. Takođe je uneta i vrednost potrebne površine za toplotnu razmenu za izlaznu temperaturu vazduha definisanu u procesnoj dokumentaciji vazdušnog hladnjaka koji je termohidraulički proveravan.

Aplikacija pruža mogućnost pozicioniranja grafika na papiru, odnosno korisnik može sam da odredi gde želi da odštampa dijagram. Isto tako, korisnik određuje i veličinu odštampanog dijagrama.

## ZAKLJUČAK

U ovom radu je uspostavljena metodologija i oformljen programski paket za termohidraulički proračun vazdušnih hladnjaka. Korišćene su savremene metode za određivanje koeficijenata prelaza toplote i pada pritiska oba fluida. Razmatrana su dva slučaja:

- hlađenje i/ili
- kondenzacija procesnog fluida,

pri čemu vazduh kao rashladno sredstvo struji oko snopa spolja orebrenih cevi. Posebno je razmatrano određivanje optimalne izlazne temperature, odnosno masenog protoka vazduha, u cilju postizanja što boljih performansi analiziranog aparata.

Programski paket je napisan u programskom okruženju Delphi i pruža korisniku veliki broj mogućnosti u pogledu samog proračuna, pregleda i prikazivanja rezultata, kao i njihovog štampanja. Testiran je uspešno na osam primera iz literature [8] kao i tri primera iz industrijske prakse (rafinerije nafte).

## LITERATURA

- [1] American Petroleum Institute, Air-cooled Heat Exchangers for General Refinery Service, API Standard 661, 1978

- [2] R. Brown, Chem. Eng. **85** (1978) 108
- [3] J. Taborek, Heat Exchanger Design Handbook, vol 1., Hemisphere Publishing, Corp., 1983
- [4] A. Pignotti, G.O. Cordero, Trans. ASME, Journal of Heat Transfer **105** (1983) 592
- [5] D.E. Briggs, E. H. Young, Chemical Engineering Progress Symposium 59 (1963) 1
- [6] E. Gianolio, F. Cuti, Heat. Trans. Eng. **3** (1981) 38
- [7] D.J. Ward, E.H. Young, Chemical Engineering Progress Symposium **55** (1959) 37
- [8] E.A.D. Sounders, Heat Exchangers–Selection, Design & Construction, Longman Scientific & Technical, Harlow, 1988
- [9] G.F. Hewitt, Heat Exchanger Design Handbook, Begell House INC, New York, 1998
- [10] W.M. Rohsenow, J.P. Hartnett, Y.I. Cho, Handbook of Heat Transfer, McGraw–Hill, New York, 1998
- [11] E.E. Ludwig, Applied Process Design for Chemical and Petroleum Plants, Gulf, 1965
- [12] Engineering Series Data Unit International Ltd., London, 1967
- [13] Engineering Series Data Unit International Ltd., London, 1968

## SUMMARY

### DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE THERMOHYDRAULIC ANALYSIS OF AIR COOLERS

(Scientific paper)

Slobodan P. Šerbanović<sup>1</sup>, Dejan S. Milošević<sup>2</sup>, Emila M. Djordjević<sup>1</sup>, Aleksandar Ž. Tasić<sup>1</sup>, Bojan D. Djordjević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade

<sup>2</sup>Duga IBL Paints, Polymers and Chemicals

Air coolers consume much more energy compared to other heat exchangers due to the large fan power required. This is an additional reason to establish reliable methods for the rational design and thermohydraulic analysis of these devices. The optimal values of the outlet temperature and air flow rate are of particular importance. The paper presents a methodology for the thermohydraulic calculation of air cooler performances, which is incorporated in the "Air Cooler" software module. The module covers two options: cooling and/or condensation of process fluids by ambient air. The calculated results can be given in various ways ie. in the tabular and graphical form.

Key words: Air coolers • Heat transfer and pressure drop • "Air Cooler" software for thermohydraulic calculations of air cooled heat exchangers •

Ključne reči: