

Универзитет у Београду
Машински факултет

Милена М. Отовић

**ПЕРФОРМАНСЕ ВАЗДУШНИХ
ХЛАДЊАКА СА РАСПРШИВАЊЕМ ВОДЕ**

Докторска дисертација

Београд, 2021.

University of Belgrade
Faculty of Mechanical Engineering

Milena M. Otović

**THE PERFORMANCES OF AIR COOLED
HEAT EXCHANGERS WITH WATER
SPRAYING**

Doctoral dissertation

Belgrade, 2021.

Ментор:

др Србислав Генић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

Чланови комисије:

др Драган Туцаковић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

др Урош Милованчевић, доцент, Универзитет у Београду, Машински факултет

др Милош Ивошевић, доцент, Универзитет у Београду, Машински факултет

др Милан Миливојевић, венредни професор, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Датум јавне одбране дисертације: _____ 2021. године

Огромну захвалност дугујем свом ментору професору Србиславу Генићу на пријатељским, а неретко и очинским, саветима и помоћи не само током израде ове дисертације.

Користим ову прилику да се искрено захвалим и професору Браниславу Јаћимовићу, редовном професору Машинског факултета у пензији, на бескрајном стрпљењу, подршци и предусретљивости у току целог процеса израде овог рада.

Хвала члановима комисије, професорима Драгану Туцаковићу, Милану Миљивојевићу, Урошу Милованчевићу и Милошу Ивошевићу, на свим корисним саветима и сугестијама како би ова дисертација била што боља.

Велико хвала мојим драгим пријатељима и колегама Милану Антићу, Ненаду Савићу и Милошу Михаиловићу на свој помоћи око монтирања инсталације и спровођења експеримената.

Бескрајно ХВАЛА мојој породици, Стојковићима и Отовићима, на свеобухватној непрекидној подршци и љубави.

Милена

Београд, септембар 2021.

*Филипу и Милошу.
Срлету.
Мојима.*

Деки.

Перформансе ваздушних хладњака са распршивањем воде

Резиме

Ваздушни хладњаци се у термотехници и процесној техници често примењују у условима када су температуре амбијенталног ваздуха јако високе и знатно више од температура усвојених у прорачунима, па није могуће одвести прорачунску количину топлоте. Потребна топлотна снага се у таквим случајевима може достићи ако се околни ваздух орошава (влажи) распршивањем воде на улазу у апарат, јер се тиме снижава температура ваздуха, па се температурна разлика повећава, као и размењена количина топлоте. Појава слоја влаге на размењивачу топлоте кључно мења топлотне и струјне перформансе оваквих апарата.

Детаљнија анализа расположиве литературе показала је да радови у којима се истражује проблематика размене топлоте и супстанције на површини оребреног размењивача топлоте са напрскавањем воде нису бројни, те се доводи у питање могућност реалне примене података доступних у литератури за потребе инжењерских прорачуна при експлоатацији оваквих апарата, односно коју методологију прорачуна коефицијената прелаза топлоте и влаге препоручити као релевантну у одређеним условима.

У овој докторској дисертацији испитивани су различити режими рада ваздушних хладњака са оребреним цевима при њиховом напрскавању водом на улазу у апарат. Експериментална истраживања рада предметних размењивача топлоте су спроведена на самостално пројектованој инсталацији, која је направљена и монтирана у оквиру топлотне подстанице Машинског факултета у Београду. Развој физичког и прорачунског модела, заснованог на истовременом транспорту топлоте и супстанције, битан је за одређивање и прорачун релевантних параметара рада размењивача топлоте. Применом теорије сличности, уз одговарајуће статистичке методе, одређене су меродавне критеријумске зависности за израчунавање пада притиска, као и коефицијената прелаза топлоте и супстанције, тј. одређени су изрази погодни за инжењерску праксу.

Ова докторска дисертација представља наставак истраживања проблема проналажења поуздане прорачунске процедуре за одређивање коефицијената прелаза топлоте, супстанције и трења за широк опсег Рејнолдсових бројева и различите геометријске карактеристике цевних размењивача топлоте са оребрењем који се испитују на Машинском факултету у Београду.

Кључне речи: размењивач топлоте са оребреним цевима, орошавање ваздуха, пад притиска, коефицијенти прелаза топлоте и супстанције

Научна област: техничке науке, машинство

Ужа научна област: термотехника

УДК број: 621.565.94:536.22(043.3)

The performances of air cooled heat exchangers with water spraying

Abstract

In HVAC&R and process engineering, air coolers are often used in the conditions when ambient air temperatures are very high and significantly higher than the temperatures accepted in the calculations, and hence it is not possible to remove the calculated amount of heat. In these cases, the required heat can be reached if the surrounding air is humidified by spraying water at the entrance to the apparatus, because this lowers the air temperature, so the temperature difference increases, as well as the amount of exchanged heat. The appearance of a layer of moisture on the heat exchanger crucially changes the thermal performance and flow pattern of such apparatus.

A more detailed analysis of the available literature shows that the papers which investigate the problem of heat and substance exchange on the surface of the finned heat exchanger with water spraying are not numerous. Hence, the possibility of real application of data available in the literature is questionable when it comes to engineering calculations in exploitation of these apparatus, as well as to recommending relevant methodology for calculating the coefficients of heat and mass transfer in certain conditions.

This doctoral dissertation examines different operating regimes of air coolers with finned tubes during their spraying with water at the entrance to the apparatus. Experimental research on the operation of these heat exchangers was conducted on a self-designed installation, which was made and installed within the heating substation of the Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade. The deployment of a physical and computational model, based on the simultaneous transport of heat and substance, is important for determining and calculating the relevant operating parameters of heat exchangers. Applying the theory of similarity, along with the appropriate statistical methods, the relevant criteria equations for the calculation of pressure drop were determined, as well as the coefficients of heat and mass transfer, i.e. certain equations suitable for engineering practice.

This doctoral dissertation is a continuation of research on the problem of finding a reliable calculation procedure for determining the coefficients of heat and mass transfer and the coefficient of friction for a wide range of Reynolds numbers and different geometric characteristics of tubular heat exchangers with fins that are tested at the Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade.

Key words: tubular plate-fin heat exchanger, water spraying, pressure drop, coefficients of heat and mass transfer

Scientific field: Technical science, Mechanical engineering

Scientific subfield: Thermal science

UDC number: 621.565.94:536.22(043.3)

СПИСАК КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА

Ознаке које започињу латиничним словима:

- a [m^2/s] – топлотна дифузивност (температурна проводљивост),
 A [m^2] – површина попречног пресека апарата,
 A_{av} [m^2] – површина попречног пресека канала вентилатора,
 A_t [m^2] – укупна површина размењивача топлоте,
 B [mm] – ширина размењивача топлоте (струјног канала),
 B^s [$\text{kmolA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] – Колбурнов коефицијент прелаза супстанције,
 c [kmolA/m^3] – молска концентрација мешавине,
 c_A [kmolA/m^3] – молска концентрација компоненте А у мешавини А + В,
 c_{Blm} [kmolA/m^3] – средња логаритамска концентрација стаганта,
 \tilde{c}_L [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] – специфични топлотни капацитет расхладне воде при константном притиску,
 \tilde{c}_p [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] – специфични топлотни капацитет,
 \tilde{c}_{pA} [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] – специфични топлотни капацитет водене паре у ваздуху при константном притиску,
 \tilde{c}_{pAB} [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$] – специфични топлотни капацитет влажног ваздуха при сталном притиску,
 \tilde{c}_{pB} [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$] – специфични топлотни капацитет сувог ваздуха (В) при сталном притиску,
 $\tilde{c}_{p,l2}$ [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] – специфични топлотни капацитет воде у течном стању,
 $\tilde{c}_{p,p2}$ [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] – специфични топлотни капацитет водене паре,
 $\tilde{c}_{p,sv2}$ [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$] – специфични топлотни капацитет сувог ваздуха,
 \tilde{c}_{p1} [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$] – специфични топлотни капацитет топле воде при сталном притиску,
 \tilde{c}_{p2} [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$] – специфични топлотни капацитет влажног ваздуха при сталном притиску,
 d_h [mm] – хидраулички пречник,
 d_{kr} [mm] – пречник у корену ребра,
 d_r [m] – прорачунски пречник ребра,
 d_s [mm] – спољашњи пречник цеви,
 d_{sl} [cm] – димензије цеви у подужном правцу,
 d_{sp} [cm] – димензије цеви у попречном правцу,
 d_u [mm] – унутрашњи пречник цеви,
 dh_2 [J/kg] – промена енталпије влажног ваздуха дуж елементарне површине,
 $d\dot{m}_{isp}$ [kg/s] – количина испарене воде са елементарне површине контакта воде и ваздуха,
 $d\dot{Q}_G$ [W] – количина топлоте коју вода преда ваздуху преко елементарне површине за размену топлоте,
 dS_{rt} [W/m^2] – елементарна површина,
 dt_1 [$^{\circ}\text{C}$] – промена температуре са стране топлијег (радног) флуида,
 dt_2 [$^{\circ}\text{C}$] – промена температуре влажног ваздуха за елементарну површину,

- $d\tilde{Y}$ [kgA/kgB] – промена апсолутне влажности ваздуха на датом сегменту РТ,
 D [mm] – унутрашњи пречник усисне цеви,
 D_{av} [m] – пречник канала вентилатора,
 D_{AB} [m²/s] – коефицијент дифузије компоненте А кроз мешавину А + В,
 E [W/(m²·K·Pa)] – „индекс енергије“,
 Eu [/] – Ојлеров број,
 F – класа појава,
 Fr [/] – Фрудов број,
 g [m/s²] – убрзање силе Земљине теже,
 g_{z_i} [m/s²] – компоненте резултујуће конзервативне силе у правцу осе z_i ,
 Gz_1 [/] – Грецов број за топлији флуид који струји кроз цеви,
 h [J/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха у основној маси флуида на улазу у елементарни део РТ,
 h [J/kgB] или [J/(1+x) kg(A+B)] – специфична енталпија влажног гаса,
 $h_{gr,sr}$ [J/kg] – специфична енталпија ваздуха на граничној површини са водом за средњу температуру воде,
 h_k [J/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на излазу из апарата,
 h_p [J/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на улазу у апарат,
 h_r [mm] – висина ребара,
 h_w [kJ/kg] – специфична енталпија орошавајуће воде,
 h_{2k} [kJ/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на излазу из размењивача,
 $h_{2k,okv}$ [kJ/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на излазу из последње оквашене секције размењивача,
 h_{2p} [kJ/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на улазу у размењивач,
 $h_{2p,az}$ [kJ/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на улазу у размењивач (на излазу из маглених секција) рачуната преко температуре адијабатског засићења,
 h'_{2pRT} [kJ/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на улазу у размењивач рачуната преко измерене испарене воде,
 h''_{2pRT} [kJ/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на улазу у размењивач рачуната преко измерене количине топлоте размењене са стране топле воде,
 H [mm] – висина размењивача топлоте (струјног канала),
 H_{av} [m] – дужина канала вентилатора,
 H_p [m] – растојање од осе вентилатора до цевног снопа,
 j_D [/] – фактор,
 j_H [/] – фактор,
 k [W/m²·K] – коефицијент пролаза топлоте,
 k_{fl} [W/(m²·K)] – коефицијент пролаза топлоте за спољну површину цеви усвојену као референтну,
 k_{sp} [W/m²·K] – коефицијент пролаза топлоте сведен на спољашњу површину РТ,
 k_{in} [W/m²·K] – коефицијент пролаза топлоте сведен на унутрашњу површину РТ,
 k_{igr} [W/m²·K] – коефицијент пролаза топлоте од топлијег флуида ка граници фаза,
 K_a [/] – коефицијент сличности коефицијената температурне проводљивости,
 K_c [/] – коефицијент сличности укупне концентрације,
 K_{c_A} [/] – коефицијент сличности концентрационих поља,
 K_{c_B} [/] – коефицијент сличности концентрација компоненте В,
 K_D [/] – коефицијент сличности коефицијената дифузије,
 K_g [/] – коефицијент сличности конзервативних масених сила,

- K_l [/] – коефицијент геометријске сличности,
 K_m [kgA/(m²·s·(kgA/ kgB))] – коефицијент прелаза масе,
 K_{or} [/] – коефицијент оребрења,
 K_p [/] – коефицијент сличности притисака,
 K_T [/] – коефицијент сличности температурских поља,
 K_u [/] – коефицијент сличности физичких величина,
 K_w [/] – коефицијент сличности брзине,
 K_β [/] – коефицијент сличности коефицијената прелаза супстанције,
 K_λ [/] – коефицијент сличности коефицијената топлотне проводљивости,
 K_ν [/] – коефицијент сличности кинематских вискозности,
 K_ρ [/] – коефицијент сличности густина,
 K_τ [/] – коефицијент хомохроности,
 l_{ef} [m] – ефективна дужина ребра,
 l_r^* [m] – карактеристична геометријска величина за попречна ребра,
 L [mm] – дужина размењивача у смеру струјања ваздуха,
 L_c [m] – дужина цевног снопа,
 \dot{m}_G [kg/s] – масени проток сувог ваздуха,
 \dot{m}_{isp} [kg/s] – количина воде која испарава,
 $\dot{m}_{isp,mb}$ [kg/s] – масени проток испарене воде рачунат преко материјалног биланса целокупне инсталације,
 \dot{m}_L [kg/s] – проток расхладне (распршиване) воде преко елементарне површине РТ,
 \dot{m}_{Lk} [kg/s] – проток воде на излазу из размењивача,
 \dot{m}_{Lo} [kg/s] – проток воде која се одводи из апарата,
 \dot{m}_{Lp} [kg/s] – проток воде на улазу у размењивач,
 \dot{m}_{Lr} [kg/s] – проток воде која се рециркулише,
 \dot{m}_{Ls} [kg/s] – проток свеже воде која се доводи у систем,
 \dot{m}_1 [kg/s] – масени проток топлијег флуида (вода),
 \dot{m}_2 [kg/s] – масени проток хладнијег флуида (сувог ваздуха),
 n_{okv} [/] – укупни број оквашених деоница,
 N_A [kgA/(m²·s)] – специфични масени проток водене паре у околни влажни ваздух,
 N_c [/] – укупан број цеви,
 N_l [/] – број редова цеви у правацу струјања ваздуха,
 N_r [1/m] – број ребара по јединици дужине,
 N_{reb} [/] – укупни број ребара по дужини размењивача,
 N_t [/] – број цеви у чеоном реду,
 Nu [/] – Нуселтов број,
 Nu_1 [/] – Нуселтов број за воду,
 Nu_2 [/] – Нуселтов број за ваздух,
 p [Pa] – статички притисак,
 p_A [Pa] – парцијални притисак водене паре у ваздуху,
 p_{Agr} [Pa] – парцијални притисак водене паре на граници између фаза,
 p_{amb} [Pa] – амбијентални притисак ваздуха,
 p_{sat} [Pa] – притисак сатурације (засићења) влажног ваздуха,
 Pe [/] – Пеклеов број,
 Pe_D [/] – Пеклеов дифузиони број,
 Pe_1 [/] – Пеклеов број за топлији флуид,

- Pr [/] – Прантлов број,
 Pr_1 [/] – Прантлов број за флуид који струји кроз цеви,
 Pr_2 [/] – Прантлов број за хладнији флуид,
 \dot{q} [W/m^2] – количина топлоте топлоте размењена са елементарне површине PT ,
 \dot{q}_G [W/m^2] – количина топлоте која се размени са стране ваздуха,
 \dot{q}_l [W/m^2] – латентна топлота,
 \dot{q}_s [W/m^2] – осетна топлота,
 \dot{Q} [W] – топлотна снага размењивача,
 \dot{Q}_G [W] – количина топлоте коју радни флуид размени са ваздухом,
 $\dot{Q}_{G,mod}$ [W] – модификована количина топлоте коју радни флуид размени са ваздухом,
 \dot{Q}_L [W] – количина топлоте коју радни флуид размени са водом,
 $\dot{Q}_{L,mod}$ [W] – модификована количина топлоте коју радни флуид размени са водом,
 \dot{Q}_{sr} [kW] – средња вредност топлотне снаге за један мерни пролаз (режим),
 \dot{Q}_1 [kW] – топлотна снага размењивача топлоте са стране топлијег флуида (воде),
 \dot{Q}_2 [kW] – топлотна снага размењивача са стране хладнијег флуида (ваздуха),
 R_f [$m^2 \cdot K/W$] – фактор запрљања са унутрашње стране цеви,
 R_L [$m^2 \cdot K/W$] – фактор запрљања са спољашње стране цеви,
 R_1 [$m^2 \cdot K/W$] – отпор запрљања са водене стране,
 R_2 [$m^2 \cdot K/W$] – отпор запрљања са ваздушне стране,
 Re [/] – Рејнолдсов број,
 Re_1 [/] – Рејнолдсов број за топлији флуид,
 Re_2 [/] – Рејнолдсов број за хладнији флуид,
 RV_{usis} [%] – релативна влажност ваздуха на усису у цев,
 RV_{2k} [%] – релативна влажност ваздуха на излазном пресеку размењивача,
 RV_{2p} [%] – релативна влажност ваздуха на улазном пресеку размењивача или на улазу у маглену комору код „влажних“ режима,
 s_k [kW] – дисперзијакоефицијента пролаза топлоте,
 s_l [m] – подужни корак цеви (у правцу струјања ваздуха),
 s_m [kg/s] – грешка мерења протока,
 s_{mr} [m^2/m^3] – међуребарна површина цеви сведена на јединичну запремину размењивача,
 s_Q [W] – грешка мерења топлотне снаге,
 s_r [mm] – корак ребра,
 s_{RV} [%] – грешка мерења релативне влажности,
 s_t [m] – попречни корак цеви,
 s_t [°C] – грешка мерења температуре (оцена дисперзије),
 s_v [m^2/m^3] – специфична површина оребрене површине,
 $s_{\Delta t_{sr}}$ [°C] – дисперзија средње температурске разлике,
 S_k [/] – прецизност мерења коефицијента пролаза топлоте,
 S_{LG} [m^2] – укупна површина контакта воде и ваздуха,
 S_{mr} [m^2/m] – међуребарна површина по јединици дужине цеви,
 S_{okv} [m^2] – укупна оквашена површина PT ,
 S_{rt} [m^2] – површина за размену топлоте,
 S_{sp} [m^2] – површина за размену топлоте са спољашње стране цеви,

- S_{un} [m²] – површина за размену топлоте са унутрашње стране цеви,
 Sc [/] – Шмитов број,
 Sh [/] – Шервудов број,
 St [/] – Стентонов број,
 St_D [/] – Стентонов дифузиони број,
 t_{az} [°C] – температура адијабатског засићења,
 t_G [°C] – температура ваздуха,
 t_{gr} [°C] – температура ваздуха на граници између фаза,
 t_L [°C] – температура расхладне воде на улазу у посматрани део апарата,
 t_{Lk} [°C] – температура воде на излазу из апарата,
 t_{Lp} [°C] – температура воде која долази на цевни сноп,
 t_{Ls} [°C] – температура свеже воде која се доводи у систем,
 $t_{L,sr}$ [°C] – средња температура наструјавајуће воде,
 t_{oros} [°C] – температура воде за орошавање ваздуха,
 $t_{v,max}$ [°C] – максимална температура ваздуха за последњих десет година,
 t_{usis} [°C] – температура ваздуха на усису у цев,
 $t_{v,sr}$ [°C] – средња температура у току најтоплијег месеца у години за последњих десет година,
 t_1 [°C] – температура радног флуида у цевима (воде),
 t_{1k} [°C] – температура топле воде (топлијег флуида) на излазу из размењивача,
 t_{1p} [°C] – температура топле воде (топлијег флуида) на улазу у размењивач,
 t_2 [°C] – температура влажног ваздуха,
 t_{2k} [°C] – температура хладнијег флуида на излазу из размењивача,
 $t_{2k,okv}$ [°C] – температура хладнијег флуида на излазу из оквашеног дела РТ,
 t_{2p} [°C] – температура хладнијег флуида на улазу у размењивач или на улазу у маглену комору код „влажних“ режима,
 t_{2p} [°C] – прорачунска температура околног ваздуха,
 T [K] – апсолутна температура,
 u – физичка величина,
 V [m³] – укупна запремина размењивача топлоте,
 \dot{V}_1 [l/h] – запремински проток топле воде кроз размењивач,
 \dot{V}_2 [m³/h] – запремински проток ваздуха,
 \vec{w} – вектор брзине,
 w_{kan} [m/s] – фасадна брзина,
 w_{z_i} [m/s] – компоненте вектора брзине у правцу осе z_i ,
 w_ε [m/s] – карактеристична брзина струјања ваздуха сведена на порозни пресек РТ,
 w_1 [m/s] – средња брзина струјања флуида кроз цеви РТ,
 \tilde{Y} [kg_{vlage}/kg_{sv}] – апсолутна влажност ваздуха на улазу у посматрани део РТ,
 \tilde{Y}_{az} [kg_{vlage}/kg_{sv}] – апсолутна влажност при адијабатском засићењу ваздуха,
 \tilde{Y}_{gr} [kgA/kgB] – масени однос водене паре у ваздуху на граници фаза,
 $\tilde{Y}_{gr,sr}$ [kgA/kgB] – масени однос водене паре у ваздуху у стању засићења на средњој температури границе фаза,
 \tilde{Y}_k [kgA/kgB] – масени однос влаге у ваздуху на излазу из апарата,
 $\tilde{Y}_{k,okv}$ [kg_{vlage}/kg_{sv}] – масеног односа водене паре према ваздуху на крају процеса влажења (на излазу из оквашеног дела размењивача),

\tilde{Y}_p [kgA/kgB] – масени однос влаге у ваздуху (апсолутна влажност ваздуха) на улазу у апарат,

\tilde{Y}_2 [kg_{vlage}/kg_{sv}] – апсолутна влажност ваздуха,

\tilde{Y}'_{2pRT} [kg_{vlage}/kg_{sv}] – апсолутна влажност ваздуха на улазу у РТ рачуната преко измерене испарене воде,

\tilde{Y}''_{2pRT} [kg_{vlage}/kg_{sv}] – апсолутна влажност ваздуха на улазу у размењивач рачуната преко излаза из апарата,

z – дужина размењивача топлоте,

z_1, z_2, z_3 – координате тачке простора у Декартовом координатном систему,

Ознаке које почињу грчким словима:

- α [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] – коефицијент прелаза топлоте (конвекције),
 α_f [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] – коефицијент прелаза топлоте између радног флуида и унутрашње површине цеви,
 α_G [$\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$] – коефицијент прелаза топлоте са стране ваздуха,
 α_L [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] – коефицијент прелаза топлоте између расхладне воде и спољашње површине цеви,
 α_s [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] – коефицијент прелаза топлоте са спољашње површине РТ на напрскану воду,
 α_1 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] – коефицијент прелаза топлоте са стране топлијег флуида,
 α_2 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] – коефицијент прелаза топлоте са спољашње површине РТ на ваздух,
 β [$\text{kmolA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{kmolA}/\text{m}^3))$] – коефицијент транспорта супстанције на граници флуидне струје и зида,
 $\tilde{\beta}_p$ [$\text{kgA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$] – коефицијент прелаза супстанције у гасу (водене паре у ваздуху),
 $\tilde{\beta}_y$ [$\text{kgA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{kgA}/\text{kgB}))$] – коефицијент транспорта супстанције (коефицијент испаравања),
 β^s [$\text{kmolA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{kmolA}/\text{m}^3))$] – коефицијент прелаза компоненте А кроз стагнант В,
 δ_c [m] – дебљина филмског слоја флуида,
 δ_L [m] – дебљина слоја расхладне воде,
 δ_r [mm] – дебљина ребра,
 δ_T [m] – ефективна дебљина температурског филма,
 δ_w [m] – ефективна дебљина динамичког филма,
 Δc_A [kmolA/m^3] – разлика запреминских молских концентрација компоненте А на граници фаза и у зони непоремећеног струјања,
 Δh [kJ/kg] – топлота испаравања воде на 0°C ,
 $\Delta h_A(t_{gr})$ [kJ/kg] – топлота испаравања воде на температури на граници између фаза,
 Δh_{sr} [J/kg] – средња погонска сила процеса,
 Δp [Pa] – пад притиска код евапоративних размењивача,
 Δp_{RT} [Pa] – пад притиска на размењивачу топлоте,
 Δp_{usis} [Pa] – диференцијални притисак ваздуха у усисном пресеку цеви,
 Δt_{ln} [$^\circ\text{C}$] – средња логаритамска разлика температура,
 Δt_{sr} [$^\circ\text{C}$] – средња температурска разлика,
 Δt_1 [$^\circ\text{C}$] – разлика температура топле воде на улазу и излазу из РТ (диференцијална температура топлијег флуида),
 ΔT [K] – разлика температура флуида на граници фаза и у зони непоремећеног струјања,
 $\Delta \tilde{Y}_{sr}$ [kgA/kgB] – средња погонска сила процеса размене супстанције,
 Δ_{St} [/] – стационарност радног режима,
 ε [m^3/m^3] – порозност оребрене површине (цевног снопа),
 $\varepsilon_{пов}$ [m^2/m^2] – површинска порозност на најужем делу цевног снопа,
 ε_t [/] – корекциони фактор за средњу температурску разлику,
 η_L [/] – ефикасност оребрене површине при наструјавању расхладне воде,
 η_2 [/] – ефикасност оребрене површине,
 θ [/] – ефикасност ребра,
 θ_L [/] – ефикасност ребра при наструјавању расхладне воде,

- λ [W/(m·K)] – топлотна проводљивост,
 λ_L [W/m·K] – топлотна проводљивост слоја расхладне воде,
 λ_r [W/m·K] – топлотна проводљивост материјала ребара (алуминијум),
 λ_z [W/m·K] – топлотна проводљивост материјала зида цеви (бакар),
 λ_1 [W/m·K] –топлотна проводљивост воде,
 λ_2 [W/m·K] –топлотна проводљивост ваздуха,
 μ_L [Pa·s] – динамичка вискозност расхладне воде,
 μ_1 [Pa·s] – динамичка вискозност флуида који струји кроз цеви,
 μ_{1z} [Pa·s] – динамичка вискозност флуида који струји кроз цеви на средњој температури зида цеви,
 μ_2 [Pa·s] – динамичка вискозност хладнијег флуида,
 ν [m²/s] – кинематска вискозност,
 ξ [/] – фактор,
 ξ' [/] – однос протока свеже воде и воде на улазу у размењивач,
 ρ [kg/m³] – густина флуида,
 ρ_L [kg/m³] – густина расхладне воде,
 ρ_1 [kg/m³] – густина флуида који струји кроз цеви,
 ρ_2 [kg/m³] – густина хладнијег флуида,
 ρ_{2usis} [kg/m³] – густина влажног ваздуха на усису,
 τ [s] – временски интервал,
 φ_D [°] – угао дисперзије ваздушне струје,
 ψ_G [/] – корекциони фактор,
 ψ_s [/] – коефицијент који зависи од конструкције апарата,

СПИСАК СЛИКА

- | Слика | Назив |
|-------|---|
| 2.1. | Размењивач топлоте са ваздушним хлађењем |
| 2.2. | Ваздушни хладњак са потисним струјањем ваздуха |
| 2.3. | Ваздушни хладњак са усисним струјањем ваздуха |
| 2.4. | Ваздушни хладњак са завареном конструкцијом коморе за процесни флуид |
| 2.5. | Ваздушни хладњак са раздвојивим коморама |
| 2.6. | Ваздушни хладњак са раздвојивим поклопцима |
| 2.7. | Ваздушни хладњак са коморама израђеним од цевних сегмената |
| 2.8. | Основни начини постављања цевног снопа и вентилатора |
| 2.9. | Ваздушни хладњак са једним или више вентилатора |
| 2.10. | Геометријске величине за постављање аксијалних вентилатора |
| 2.11. | Размењивач топлоте са могућношћу делимичне рецикулације ваздуха |
| 2.12. | Размењивач топлоте са ламеластим ребрима |
| 2.13. | Основне геометријске карактеристике размењивача топлоте са ламеластим ребрима |
| 2.14. | Евапоративни орошавајући размењивач топлоте са усисним вентилатором |
| 2.15. | Евапоративни орошавајући размењивач топлоте са потисним вентилатором |
| 2.16. | Дистрибутер воде – преливник |
| 2.17. | Шематски приказ евапоративног кондензатора са кулом за хлађење воде у оквиру једног апарата |
| 2.18. | Евапоративни размењивач са рецикулацијом ваздуха |
| 2.19. | Шематски приказ токова радних флуида |
| 2.20. | Елементарна површина контакта радног флуида, воде и ваздуха |
| 2.21. | Шематски приказ топлотних и материјалних токова са елементарне површине РТОЦ са напрскавањем воде |
| 4.1. | Репринт из чланка [27] |
| 4.2. | Репринти из чланка [28] |
| 4.3. | Репринт из чланка [28] |
| 4.4. | Репринт из чланка [29] |
| 4.5. | Репринт из чланка [29] |
| 4.6. | Репринт из чланка [29] |
| 4.7. | Репринт из чланка [30] |
| 4.8. | Репринт из чланка [30] |
| 4.9. | Репринт из чланка [30] |
| 4.10. | Репринт из чланка [30] |
| 4.11. | Репринт из чланка [31] |
| 4.12. | Репринт из чланка [31] |
| 4.13. | Репринт из чланка [31] |
| 4.14. | Репринт из чланка [31] |
| 4.15. | Репринт из чланка [31] |
| 4.16. | Репринт из чланка [32] |
| 4.17. | Репринти из чланка [34] |
| 4.18. | Репринт из чланка [35] |
| 4.19. | Репринт из чланка [35] |
| 4.20. | Репринт из чланка [35] |

- 4.21. Репринт из чланка [36]
- 4.22. Репринт из чланка [37]
- 4.23. Репринт из чланка [37]
- 4.24. Репринт из чланка [38]
- 4.25. Репринт из чланка [38]
- 4.26. Размењивач топлоте са млазницама за распршивање воде
- 5.1. Шематски приказ експерименталне инсталације
- 5.2. Резултат испитивања киселости/базности воде за орошавање
- 6.1. Паритетни дијаграм једначине (6.4) у односу на измерене вредности
- 6.2. Паритетни дијаграм једначине (6.5) у односу на измерене вредности
- 6.3. Паритетни дијаграм мерених и рачунатих вредности масеног протока испарене воде за област влажне магле
- 6.4. Паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха на улазу у РТ према једначинама (6.7) и (6.8) за област влажне магле
- 6.5. Паритетни дијаграм апсолутне влажности ваздуха на улазу у РТ према једначинама (6.9) и (6.10) за област влажне магле
- 6.6. Паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха за област влажне магле на улазу у РТ према једначинама (6.7) и (6.11)
- 6.7. Паритетни дијаграм средњих топлотних снага РТ измерених и добијених помоћу модела за област влажне магле
- 6.8. Паритетни дијаграм масених протока испарене воде измерених и добијених из модела за област влажне магле
- 6.9. Паритетни дијаграм апсолутних влажности ваздуха на излазу из модела и оквашеног дела РТ према једначини (6.17) за област влажне магле
- 6.10. Паритетни дијаграм апсолутних влажности ваздуха на излазу из модела и вредности добијених мерењем за област влажне магле
- 6.11. Паритетни дијаграм температура влажног ваздуха на излазу из модела и оквашеног дела РТ према једначини (6.19) за област влажне магле
- 6.12. Паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха на излазу из оквашеног дела РТ из модела и према једначини (6.20) за област влажне магле
- 6.13. Пад притиска кроз РТ у влажним режимима и једначина (6.21)

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела	Назив
2.1.	Препоручени геометријски односи и величине везани за избор и постављање аксијалних вентилатора
4.1.	Геометријске карактеристике испитиваних размењивача топлоте са равним ребрима из чланка [28]
4.2.	Резултати мерења (просечни)
4.3.	Обрађени резултати мерења
4.4.	Резултати прорачуна за пројектовани проток распршене воде
5.1.	Геометријске карактеристике испитиваног размењивача топлоте
6.1.	Прорачун потребних величина за елементарне површине РТ
6.2.	Потребне величине на излазу из посматраног сегмента РТ

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	1
2. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА.....	3
2.1. Размењивачи топлоте са оребреним цевима.....	3
2.1.1. Размењивачи топлоте хлађени ваздухом – ваздушни хладњаци.....	4
2.1.1.1. Цеви и цевни сноп.....	6
2.1.1.2. Коморе за увођење, одвођење и скретање топлијег флуида.....	7
2.1.1.3. Струјање ваздуха код размењивача топлоте са ваздушним хлађењем.....	8
2.1.1.4. Струјне машине за размењиваче топлоте са ваздушним хлађењем.....	9
2.1.1.5. Избор прорачунске температуре ваздуха код размењивача топлоте са ваздушним хлађењем.....	11
2.1.2. Размењивачи топлоте са оребреним цевима смештени у канале.....	12
2.1.3. Геометријске карактеристике размењивача топлоте са ламеластим ребрима потребне за анализу топлотних перформанси и пада притиска.....	13
2.2. Орошавајући размењивачи топлоте.....	15
2.2.1. Експлоатациони проблеми код орошавајућих размењивача топлоте... ..	18
2.2.2. Биланс топлоте и супстанције орошавајућих размењивача топлоте.....	19
2.2.3. Механизам размене топлоте и супстанције код орошавајућих размењивача топлоте.....	21
2.2.4. Прорачун орошавајућег размењивача топлоте.....	25
2.2.4.1. Средња температурска разлика код орошавајућих размењивача топлоте.....	26
2.2.5. Прорачун атмосферског орошавајућег размењивача топлоте.....	26
2.2.6. Прорачун евапоративног орошавајућег размењивача топлоте.....	28
2.3. Прорачун оребрених размењивача топлоте са распршивањем воде.....	30
3. РАЗМЕНА ТОПЛОТЕ И СУПСТАНЦИЈЕ И ПАД ПРИТИСКА КОД РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ СА ОРЕБРЕНИМ ЦЕВИМА.....	33
3.1. Теорија сличности.....	33
3.1.1. Сличност физичких појава.....	33
3.1.2. Теореме теорије сличности.....	35
3.2. Критеријуми сличности.....	36
3.2.1. Критеријуми сличности и критеријалне једначине при транспорту количине кретања.....	36
3.2.2. Критеријуми сличности и критеријалне једначине за размену топлоте.....	38
3.2.3. Критеријуми сличности и критеријалне једначине за размену супстанције.....	40

3.2.4. Аналогија преноса количине кретања, топлоте и супстанције.....	42
4. ПРЕГЛЕД ДОСТУПНЕ ЛИТЕРАТУРЕ	44
4.1. Finlay и McMillan [27]	44
4.2. Yang и Clark [28].....	45
4.3. Nakayama, Kuwahara и Hirasawa [29].....	47
4.4. Dreyer, Kriel и Erens [30].....	48
4.5. Hasan и Sirén [31]	50
4.6. Youbi-Idrissi и др. [32]	53
4.7. Chen, Yang и Hu [34]	54
4.8. Boulet и др. [35].....	55
4.9. Tissot и др. [36].....	56
4.10. Popli и др. [37].....	57
4.11. Bălănescu, Nomutescu и Lupu [38]	58
4.12. Розенфельд и Ткачев [39].....	59
4.13. Анализа резултата добијених на основу тестирања утицаја TE COOLING система за предхлађење воденом маглom на ефикасност рада хладњака	60
4.14. Закључна разматрања у вези са доступном литературом.....	62
5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИНСТАЛАЦИЈА И РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА.....	63
5.1. Опис експерименталне инсталације	63
5.1.1. Услови за извођење експеримената	66
5.1.2. Проблеми приликом извођења експеримената.....	67
5.2. Математичка обрада резултата експеримената	68
5.2.1. Процена квалитета експерименталних резултата	69
6. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА.....	76
6.1. Прорачун и анализа резултата пада притиска и прелаза топлоте и влаге на ореброј површини	76
6.2. Анализа резултата добијених у „сувим“ режимима рада размењивача топлоте	76
6.3. Анализа резултата добијених у „влажним“ режимима рада размењивача топлоте	77
6.3.1. Провера мерених и вредности добијених прорачуном.....	78
6.3.2. Математички модел симултане размене топлоте и супстанције за елементарну површину РТ.....	81
6.3.3. Провера вредности добијених на основу модела и преко оквашене површине	84
6.3.4. Пад притиска кроз РТ.....	87
7. ЗАКЉУЧАК	89
ЛИТЕРАТУРА	91

ПРИЛОЗИ.....	95
А. Резултати мерења топлотних и струјних перформанси РТОЦ у „сувим“ режимима.....	96
Б. Резултати мерења топлотних и струјних перформанси РТОЦ у „влажним“ режимима.....	118
Биографија.....	173

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Размењивачи топлоте са оребреним цевима (РТОЦ) су топлотни апарати који се користе при размени топлоте са флуидима које карактерише мали коефицијент прелаза топлоте (првенствено ваздух и индустријски гасови). Релативно мале вредности коефицијента прелаза топлоте са стране гасовитог медијума донекле се компензују уградњом оребрених цеви, којима се може повећати површина за размену топлоте чак и преко педесет пута у односу на неоребрену цев, при чему се увек поставља и оштар услов у вези са падом притиска при струјању кроз апарат. Ови размењивачи се примењују као хладњаци, загрејачи, испаривачи и кондензатори у термотехници, термоенергетици, процесној техници... За овакве размењиваче у литератури се може наћи велики број једначина за израчунавање коефицијената отпора струјања ваздуха и прелаза топлоте за различите режиме струјања. Уочено је да постоји велики број параметара који на различите начине утичу на перформансе ових апарата.

Бројни су и експериментални и нумерички подаци дефинисани за најразличитије конструкције (распоред, број редова и кораци цеви, карактеристике оребрења...) и услове рада размењивача топлоте са оребреним цевима при размени сензибилне (суве) топлоте. Међутим, када су у питању РТОЦ са орошавањем ваздуха литературни извори су изразито скромни, посебно у погледу тачности и примене доступних података.

У летњим експлоатационим условима, када су температуре амбијенталног ваздуха јако високе и знатно више од температура усвојених прорачунима, није могуће одвести прорачунску количину топлоте, тј. пројектована топлотна снага размењивача топлоте се смањује услед смањења разлике температура између околног ваздуха и радног флуида који се хлади у цевима апарата и тада апарат ради у нерегуларном режиму са смањеним капацитетом. Потребна топлотна снага се у таквим случајевима може достићи ако се околни ваздух орошава (влажи) распршивањем воде на улазу у апарат, јер се тиме снижава температура ваздуха, па се температурна разлика повећава, као и размењена количина топлоте. Такође, потребна топлотна снага се у таквим екстремним летњим условима може достићи и квашењем цевног снопа водом, чиме се повећава могућност хлађења радног флуида услед испаравања воде.

Употреба распршивања воде када су температуре околине високе дуго се користи у процесној индустрији, а овај начин хлађења је често коришћен без проучавања самог процеса, с обзиром на то да се са малим количинама воде могло постићи задовољавајуће побољшање рада РТ.

Предмет експерименталних и теоријских истраживања ове докторске дисертације је управо утицај промене енталпије ваздушне струје на перформансе РТОЦ који раде као загрејачи ваздуха (нпр. кондензатор расхладних уређаја), као последица орошавања ваздуха водом на улазу у апарат у два различита случаја: при размени суве топлоте са орошавањем ваздуха до стања адијабатског zasiћења и при размени суве и латентне топлоте за случај струјања пресићеног ваздуха.

Циљ истраживања је да се обрадом експерименталних података дефинишу поуздане прорачунске процедуре и корелациони односи за израчунавање коефицијената отпора струјању и прелаза топлоте и влаге са ваздушне стране на сложеној геометрији размењивача топлоте (РТ) који ради као ваздушни хладњак при реалним експлоатационим условима са орошавањем ваздуха за поменуте режиме рада, а у функцији од меродавних критеријума сличности. Такође, циљ је и да се спроведе анализа и поређење резултата са вредностима из доступне научно-стручне литературе, као и оптимизација потрошње воде потребне за орошавање ваздуха.

На основу дефинисаног циља у наставку је приказан план истраживања ове докторске дисертације:

1. преглед и критичка анализа прорачунских процедура и података из досадашње научно-стручне литературе,
2. израда алгоритма за прорачун струјно-термичких перформанси размењивача топлоте са оребреним цевима,
3. израда математичког модела за одређивање феномена преноса топлоте и супстанције код РТОЦ при експлоатацији у процесима са вишекомпонентним смешама,
4. прорачун параметара и припрема техничке документације за израду физичког модела (експерименталне инсталације),
5. мерења на експерименталној инсталацији ради одређивања меродавних параметара ваздушног хладњака за случајеве рада са и без влажења ваздуха,
6. анализа и статистичка обрада сопствених експерименталних резултата и поређење са експерименталним подацима из литературе,
7. формирање прорачунских процедура за дефинисање струјно-термичких перформанси апарата у реалним радним условима,
8. извођење закључака.

Планом истраживања предвиђена су испитивања различитих режима рада ваздушних хладњака са оребреним цевима са орошавањем ваздуха. Мерења су спроведена на новопроектваној инсталацији која је монтирана на Машинском факултету у Београду.

Полазна хипотеза у овој дисертацији базира се на теорији сличности и тројној аналозији што значи да су отпор струјању кроз размењивач топлоте (пад притиска), коефицијент прелаза топлоте и коефицијент прелаза супстанције (транспорт влаге) међусобно повезани и условљени и зависе од:

- флуидодинамичких параметара наструјавајућег ваздуха,
- својстава двокомпонентне двофазне мешавине ваздуха и влаге, односно воде, што укључује температуру и састав орошеног ваздуха,
- температуре на површини размењивача топлоте која је у контакту са орошеним ваздухом.

Истиче се да су основни научни методи у реализацији истраживања у оквиру ове докторске дисертације експериментално испитивање и математичка анализа и моделирање. Експериментални подаци су обрађени одговарајућим статистичким методама како би се одредили релевантни параметри рада РТ, а на основу којих је применом теорије сличности израђен математички модел. Одређене су критеријалне једначине за пад притиска и коефицијенте прелаза топлоте и супстанције погодне за инжењерску праксу.

Дакле, на основу претходно реченог може се закључити да су у оквиру ове докторске дисертације остварени следећи резултати:

- развијена је експериментална инсталација за испитивање струјно-термичких перформанси рада ваздушног хладњака са оребреним цевима у условима орошавања ваздуха водом на улазу у апарат,
- дефинисани су меродавни бездимензијски параметари неопходни за корелисање пада притиска и коефицијената прелаза топлоте и супстанције,
- одређене су критеријалне једначине за пад притиска и коефицијенте прелаза топлоте и супстанције које ће обезбедити довољну прецизност прорачуна за конкретне инжењерске проблеме.

2. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА

2.1. РАЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ СА ОРЕБРЕНИМ ЦЕВИМА

Размењивачи топлоте са оребреним цевима се као топлотни апарати веома широко употребљавају у термотехници, процесној техници и термоенергетици и то при размени топлоте са флуидима које карактерише мала вредност коефицијента прелаза топлоте (случај струјања ваздуха, разних индустријских и димних гасова и др) који је последица мале топлотне проводљивости. Размена топлоте са стране гасовитог медијума може се интензивирати уградњом оребрених цеви, при чему се површина за размену топлоте може повећати и преко педесет пута у односу на апарате са неоребреним цевима. С обзиром да ове радне флуиде карактерише и компресибилност, требало би имати у виду да је за њихов транспорт потребна велика количина енергије, тј. велика снага погонских мотора струјних машина, тако да се, поред услова везаних за размену топлоте, увек поставља и општар услов у вези са падом притиска при струјању флуида кроз ове апарате.

Поред уобичајене примене у наведеним областима машинства као хладњака, загрејача, испаривача или кондензатора, ови топлотни апарати се користе и као помоћни уређаји омогућавајући рад мотора са унутрашњим сагоревањем, деловање фриксионих кочионих система, рад електро-графоа, итд.

Код размењивача топлоте са оребреним цевима, који спадају у рекуперативне размењиваче топлоте, флуиди између којих се размењује топлота раздвојени су непропусном баријером [1]. Под њима се подразумевају апарати код којих су цеви у снопу оребрене са спољашње стране, где кроз цеви протиче енергетски (процесни) флуид, а са спољашње стране цеви протичу гасови. Ако се овакви апарати користе за хлађење енергетског (процесног) флуида и ако се као хладнији флуид користи ваздух, тада се ови апарати зову и размењивачи топлоте хлађени ваздухом, односно ваздушни хладњаци.

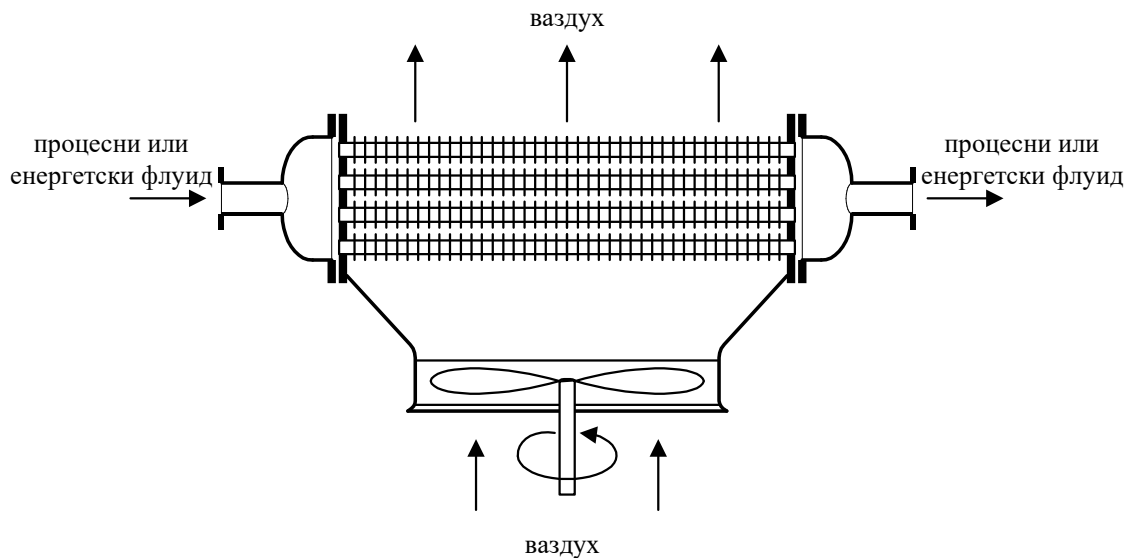
Код ваздушних хладњака струјање гаса, односно ваздуха, може се остварити на два начина – природно или принудно помоћу вентилатора, при чему вентилатори могу бити усисни или потисни, аксијални или радијални (најчешће се у пракси срећу усисни аксијални вентилатори). У току године, када су климатски услови променљиви, а са њима и температура ваздуха, јавља се потреба за варијацијом протока ваздуха кроз ове апарате, што се може учинити на неки од следећих начина: променом броја обртаја или угла лопатица вентилаторског кола, помоћу жалузина, или њиховом комбинацијом.

На слици 2.1. шематски је приказан размењивач топлоте са ваздушним хлађењем (ваздушни хладњак са принудним струјањем ваздуха помоћу потисног аксијалног вентилатора).

Поред њихове широке примене коришћење ваздушних хладњака је практично незаменљиво техничко решење свуда где температурски режими дозвољавају употребу ваздуха као хладнијег флуида и када нема других могућности за хлађење у погледу расхладног медијума (нпр. нема довољне количине воде за хлађење).

Размењивачи топлоте са оребреним цевима су веома компактни апарати (имају веома велику површину за размену топлоте у односу на запремину самог апарата), што има за последицу повећање пада притиска при струјању гасовитог медијума у односу на апарате са неоребреним цевима, тако да се мора поставити и услов везан за пад притиска при струјању кроз њих. У индустријској пракси најчешће се користе размењивачи топлоте са оребреним цевима који имају 5 до 25 пута већу површину за размену топлоте у односу на неоребрену цев [1], мада се површина може увећати и више од 50 пута.

Потребно је обратити пажњу на техно-економску анализу приликом димензионисања ових апарата, јер укупни трошкови њихове израде зависе од количине и цене уграђеног материјала (цеви, ребра, итд), затим цене израде самих оребрења, али и пада притиска радних флуида [2].



Слика 2.1. Размењивач топлоте са ваздушним хлађењем

Код ових апарата струјање гасова се одвија са спољашње оребрене површине цеви, при чему оребрења могу бити изведена подужно и попречно у односу на подужну осу цеви. У пракси се срећу и цеви оребрене са унутрашње стране ради турбулизације флуидног тока кроз цеви.

Овде ће бити разматрани размењивачи топлоте са попречним ребрима изведеним са спољашње стране цеви (слика 2.1), који се према намени могу поделити у две групе:

- размењиваче топлоте хлађене ваздухом (ваздушне хладњаке) и
- размењиваче топлоте смештене у канале.

2.1.1. Размењивачи топлоте хлађени ваздухом – ваздушни хладњаци

У цевима ваздушних хладњака се одвија хлађење или кондензација топлијег флуида (енергетског или процесног), док преко оребреног цевног снопа попречно наструјава амбијентални ваздух. Примена ваздуха као медијума за хлађење у индустријским постројењима започета је изградњом рафинерије са комплетним ваздушним хлађењем 1948. године.

Употреба ваздушних хладњака у индустријским процесима у данашње време је све распрострањенија, с обзиром на то да вода временом постаје све скупљи расхладни медијум. Примера ради, ваздушни кондензатори у нашој земљи се користе у расхладној техници као апарати са природним струјањем ваздуха за потребе малих расхладних капацитета као што су кућни расхладни уређаји (фрижидери и замрзивачи) и са принудним струјањем ваздуха за уређаје већих топлотних снага.

Требало би имати у виду да је интензитет размене топлоте код ваздухом хлађених апарата мањи него код водом хлађених (због мањег коефицијента прелаза топлоте са стране ваздуха), па се у циљу интензивирања овог процеса врши оребравање цеви, чиме се повећава цена апарата. Током дана, као и током године, мењају се температуре околног ваздуха за његово хлађење, што резултира потребом за променљивим протоком ваздуха кроз њих. Такође, ограничавајући фактор може представљати и бука коју стварају њихови вентилатори.

Ваздух у поређењу са водом има приближно 4 пута мањи специфични топлотни капацитет, па је потребан 4 пута већи масени проток ваздуха за исту разлику

температура, и 25 пута мању топлотну проводљивост, због чега је коефицијент прелаза топлоте са стране воде далеко већи него код ваздуха.

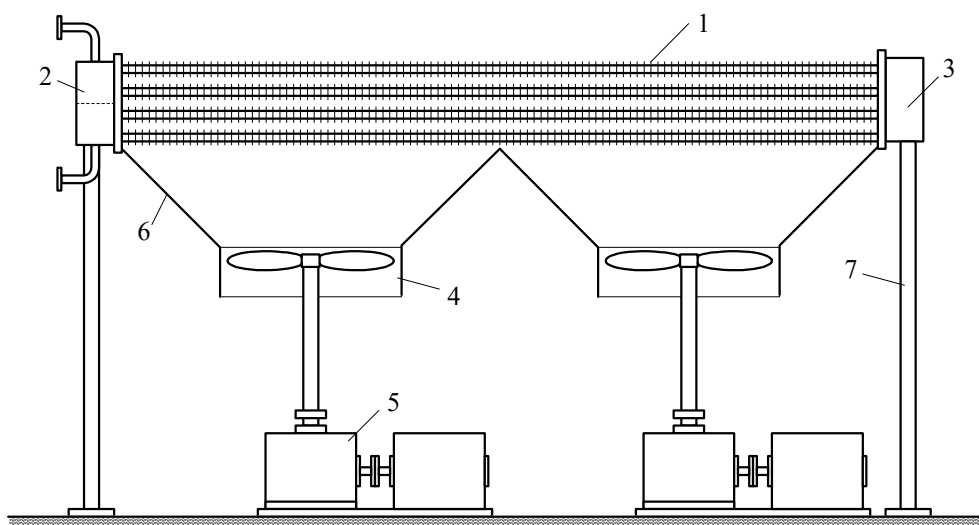
Када се као расхладни медијуми упореде ваздух и вода, поред ових недостатака могу се истаћи и одређене предности ваздуха [1]:

- доступан је свуда преко целе године у неограниченим количинама, док је употреба воде за хлађење ограничена на близину река, мора, бунара, итд,
- не захтева посебну припрему, јер, уопштено говорећи, не делује кородивно у значајнијој мери на уобичајене материјале за израду цеви и оребрења, па су отпори провођењу топлоте услед корозије и запрљања знатно мањи него у случају коришћења хемијски неприпремљене воде,
- одржавање ваздушних хладњака је јефтиније од система са воденим хлађењем, где се подразумева употреба пумпи, кула за хлађење, одвајача нечистоћа, уређаја за припрему воде, цевовода, итд,
- притисак са стране ваздуха је близак атмосферском, те се механичка напрезања делова апарата јављају само услед притиска топлијег флуида (стога је конструкција ових апарата значајно поједностављена),
- загревање ваздуха као расхладног медијума у погледу заштите животне средине има значајно мањи утицај на околину у односу на загревање воде, с тим да су евентуална истицања процесних флуида у воду много опаснија од цурења у ваздух.

За рад ваздушних хладњака потребно је несметано струјање ваздуха, па их је погодније монтирати на отвореном простору, на довољном удаљењу од других објеката. С обзиром да је за исту размењену топлоту потребна много већа површина ваздушног у односу на водени хладњак, то је потребан и већи смештајни простор за његов рад, али у поређењу са воденим хладњаком повезаним са кулом за циркулационо хлађење воде, смештајни простори су сличних димензија [1].

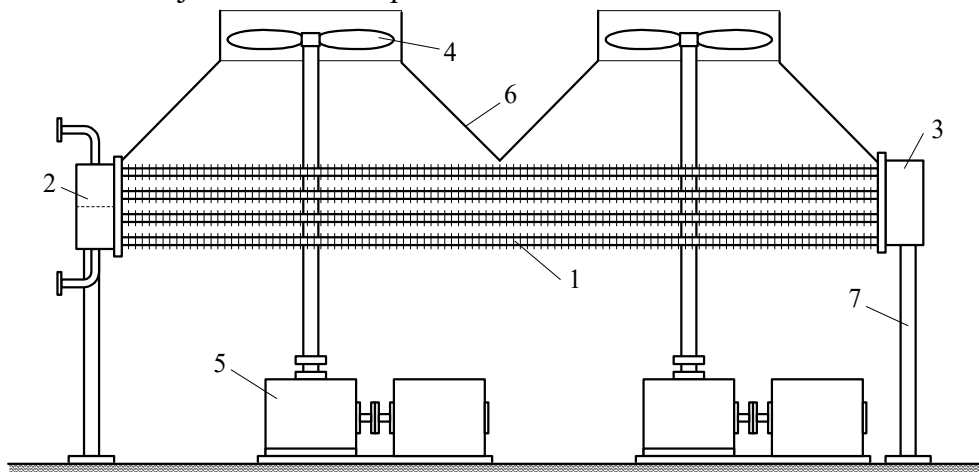
Анализом свега претходно реченог може се закључити да су инвестициони трошкови ваздушних хладњака већи, а експлоатациони трошкови мањи и до 4 пута у односу на размењиваче топлоте хлађене водом, тако да је у инжењерској пракси потребно извршити одговарајућу процену једног и другог решења, имајући при томе у виду специфичност технолошког процеса, локацијских и осталих набројаних фактора.

На слици 2.2. је приказан размењивач топлоте са ваздушним хлађењем са струјањем ваздуха оствареним помоћу потисног вентилатора, док је на слици 2.3. дат шематски приказ ваздушног хладњака са уисним струјањем ваздуха.



Слика 2.2. Ваздушни хладњак са потисним струјањем ваздуха

Ваздушни хладњак се састоји из цевог снопа са оребреним цевима (поз. 1) и комора за увођење и одвођење процесног или енергетског флуида (поз. 2), односно његово скретање (поз. 3). Потребно је предвидети и прикључке за пражњење и одваздушење на одговарајућим местима на коморама, док се на цевним прикључцима постављају и прикључци за мерење величина стања радних флуида (притисак, односно температура). Струјање ваздуха се остварује помоћу вентилатора (поз. 4), који је погоњен електромотором са редуктором (поз. 5). Уколико су вентилатори постављени испред цевог снопа, реч је о потисном струјању, а ако су постављени иза снопа, у питању је усисно струјање ваздуха. Између цевог снопа и вентилатора се постављају коморе за дистрибуцију ваздуха (поз. 6), а испод комора ослонци апарата (поз. 7), при чему је један од ослонаца покретан и дозвољава растерећење услед напрезања изазваних топлотним дилатацијама делова апарата.



Слика 2.3. Ваздушни хладњак са усисним струјањем ваздуха

Посебну групу размењивача топлоте са ваздушним хлађењем чине кондензатори расхладних уређаја у домаћинству [3], који представљају размењиваче малог капацитета, код којих се користи природна конвекција, при чему је коефицијент прелаза топлоте врло мали (обично износи $3 \div 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), па је потребно често чишћење спољашње површине за размену топлоте, као и постављање апарата на довољној удаљености од зидова, ради обезбеђења несметане циркулације ваздуха. Пречник цеви ових размењивача износи неколико милиметара, а цевна змија је оребрена ребрима од жице, лима или ламеластим ребрима.

2.1.1.1. Цеви и цевни сноп

Уколико не постоје неки посебни захтеви, цеви ваздушних хлађењака се обично израђују од угљеничних челика, а ребра од алуминијума. Ако је процесни флуид агресиван, основна цев може бити израђена и од других материјала (легирани челици, бакар, итд), као и алуминијумска ребра која могу да се оштете ако ваздух садржи нечистоће (у виду капљица, пара, чврсте фазе и др).

У пракси се најчешће среће троугласти распоред цеви у цевном снопу (по теменима једнакостраничног троугла). Пречник цеви d_s [mm] је у границама од 10 mm (за расхладне уређаје са фреоном), па до 50 mm (у петрохемијској индустрији), а најчешће се користе цеви са спољашњим пречником од 25 mm. Уобичајени опсег геометријских параметара оребрених цеви за ову врсту апарата је следећи [1], [3], [4], [5], [6]:

- висина ребара – $h_r = (0,4 \div 0,75) \cdot d_s$ [mm],
- број ребара по јединици дужине цеви – $N_r = 275 \div 625 \text{ m}^{-1}$,
- дебљина ребра – $\delta_r = 0,3 \div 0,5$ mm,
- корак цеви (подужни и попречни) – $(2 \div 2,75) \cdot d_s$ [mm],

- однос укупне површине са спољашње стране цеви и површине неоребрене исте цеви (коэффицијент оребравања) обично се креће до 25.

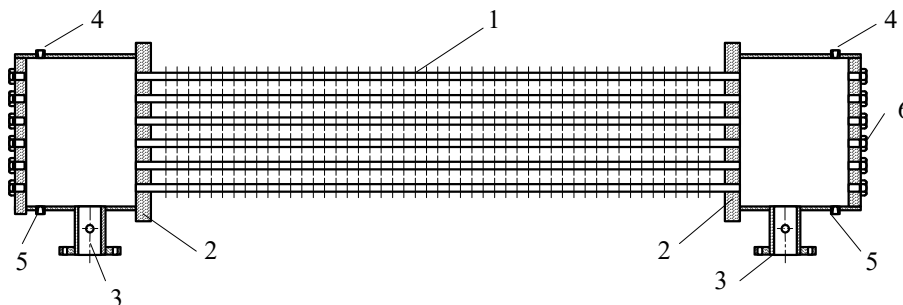
Цевни сноп се код ове врсте апарата израђује у дужинама од $L_c = 1,2 \div 18$ m, а ширина цевног снопа је у распону $(0,4 \div 1) \cdot L_c$. Најчешће дужине цевног снопа су у опсегу $L_c = 3 \div 12$ m, док се број редова цеви обично креће од 3 до 8, али може бити и до 30 [6].

Крајеви цеви се израђују без ребара како би се остварила веза између цеви и цевне плоче, која се изводи углавном уваљивањем, при чему се за више притиске може применити поступак заваривања. Да би се избегло механичко оштећење везе цеви и цевне плоче услед сопствене тежине и вибрација цеви, у међуцевни простор се уграђују носеће преграде за цеви, на растојању максималне неослоњене дужине цеви.

2.1.1.2. Коморе за увођење, одвођење и скретање топлијег флуида

Коморе за топлији процесни или енергетски флуид се најчешће израђују у призматичном облику, са равним површинама, али се могу срести и други облици, посебно када је притисак радног флуида висок. Цевне плоче се са комором спајају растављивим или нарастављивим везама, што је приказано на сликама 2.4. – 2.7, на којима су позиције елемената следеће: 1 – цевни сноп, 2 – цевна плоча, 3 – прикључци за улаз и излаз радног флуида, 4 – прикључак за одваздушење, 5 – прикључак за цеђење, 6 – прикључак за механичко чишћење унутрашње површине цеви.

На слици 2.4. приказана је конструкција код које се сви спојеви коморе остварују заваривањем (тзв. крута конструкција), што снижава цену апарата, због чега се веома често користи. Проблем механичког чишћења унутрашње површине цеви је у овом случају решен тако што се завртњеве са спољашње стране поклопца одвијају и кроз отвор се провлаче уређаји за чишћење (пречник завртња је обично 1 mm већи од пречника цеви). Оваква конструкција се користи за притиске до 300 bar.

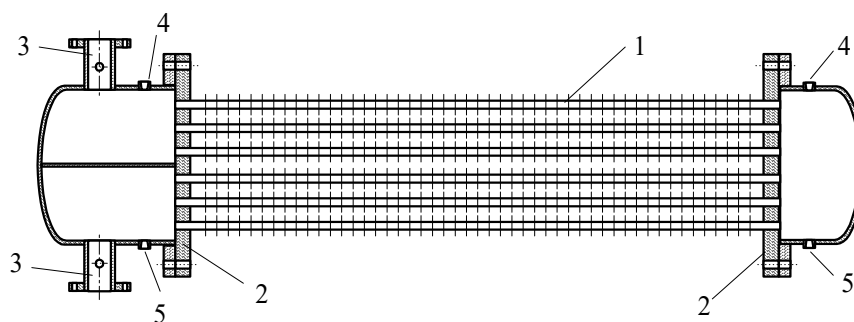


Слика 2.4. Ваздушни хладњак са завареном конструкцијом коморе за процесни флуид

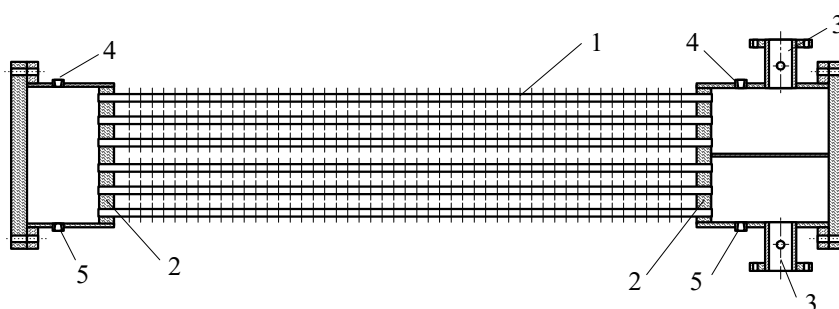
Апарати са развојивим коморама омогућавају да се скидањем комора директно приступи цевима и цевној плочи ради чишћења и поправки (слика 2.5). С обзиром да су површине заптивања обично велике дужине, потребно је при монтажи обратити посебну пажњу на могуће цурење радних флуида. Такође, при демонтажи коморе неопходно је извршити и раздвајање везе прикључака апарата са цевоводима.

Раздвајање везе цевовода и прикључака при демонтажи се може избећи применом конструкције са развојивим поклопцем (слика 2.6), при чему се ради несметаног прилаза цевној плочи, односно цевима, скида само поклопац коморе.

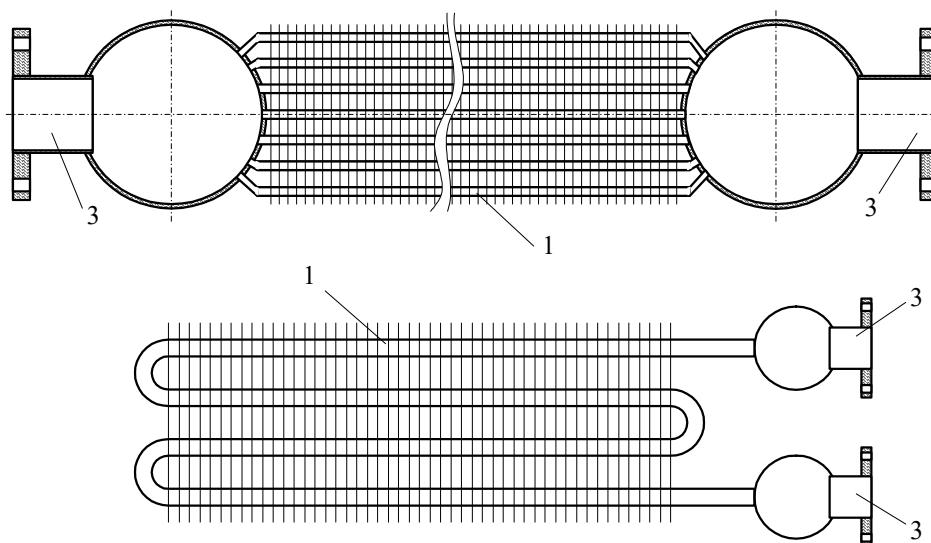
Уколико се при раду апарата не очекују велика запрљања са унутрашње стране цеви, онда се коморе за увођење флуида могу израдити од цевних сегмената (слика 2.7). Такође, већи број пролаза флуида кроз цеви се може постићи и коришћењем правих цеви спојених помоћу U цевних лукова. Овакво конструкционо решење онемогућава механичко чишћење унутрашње површине цеви, али због заваривања оребрених цеви за комору издржава изузетно високе притиске.



Слика 2.5. Ваздушни хладњак са раздвојивим коморама



Слика 2.6. Ваздушни хладњак са раздвојивим поклопцима



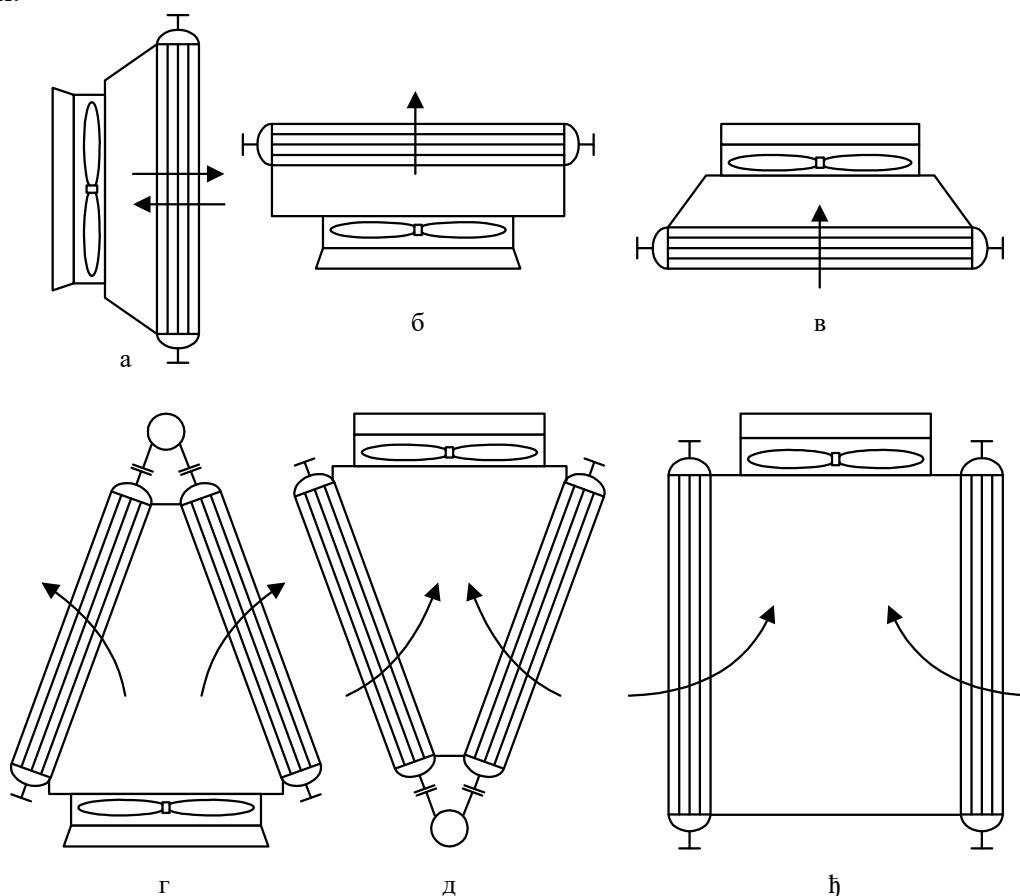
Слика 2.7. Ваздушни хладњак са коморама израђеним од цевних сегмената

2.1.1.3. Струјање ваздуха код размењивача топлоте са ваздушним хлађењем

Ваздушни хладњаци се могу постављати хоризонтално, вертикално или под углом, а струјање ваздуха може бити усисно или потисно. Основни начини постављања цевног снопа и вентилатора, односно уградње размењивача топлоте са ваздушним хлађењем (стрелице представљају смер струјања ваздуха), приказани су на слици 2.8:

- а – вертикални (потисни или усисни),
- б – хоризонтални потисни,
- в – хоризонтални усисни,
- г – потисни са косо постављеним грејним површинама (тзв. А – тип),
- д – усисни са косо постављеним грејним површинама (тзв. V – тип),
- ђ – усисни са два вертикална цевна снопа,

Поред поменутих постоји и низ других решења, али се она ређе примењују у пракси.



Слика 2.8. Основни начини постављања цевног снопа и вентилатора

При избору усисног или потисног струјања требало би имати у виду да оба начина постављања вентилатора имају своје предности [4], [6]:

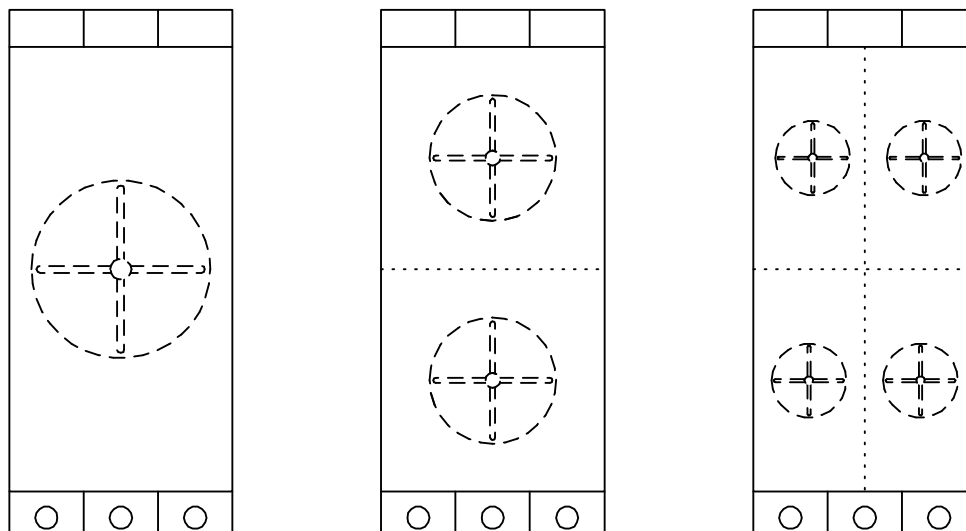
- исти вентилатор постављен као потисни остварује већи масени проток ваздуха, јер кроз потисни вентилатор струји ваздух температуре околине, а кроз усисни загрејани ваздух, па је за једнак масени проток ваздуха потребна мања снага за погон вентилатора,
- применом усисних вентилатора се остварује равномернија дистрибуција ваздуха у попречном пресеку апарата,
- усисни вентилатор, односно оплата ваздушне коморе, обезбеђује заштиту површине за размену топлоте од лоших временских услова (град, снег, киша, итд),
- када је температура радног флуида блиска температури околног ваздуха, погодније је применити размењивач са усисним вентилатором, јер се при пролазу кроз вентилатор ваздух загрева,
- усисни вентилатор ствара мању буку.

У [5] и [6] се препоручује да при димензионисању размењивача топлоте брзина струјања ваздуха сведена на пун попречни пресек апарата буде $2 \div 3,5$ m/s, односно да брзина ваздуха у најужем струјном пресеку цевног снопа не премашује $4 \div 7$ m/s.

2.1.1.4. Струјне машине за размењиваче топлоте са ваздушним хлађењем

Размењивачи топлоте са ваздушним хлађењем се углавном израђују са аксијалним вентилаторима, али се код мањих размењивача могу уграђивати и центрифугални вентилатори.

Код размењивача малих димензија најчешће се користи један вентилатор, док се код осталих уобичајено користи већи број (најчешће паран) вентилатора, који раде у паралелној вези (слика 2.9), чиме се обезбеђује равномернија дистрибуција ваздуха преко цевног снопа и лакша монтажа. Такође, уколико дође до квара на једном од вентилатора и он испадне из погона, размењивач топлоте може да настави са радом са мањим капацитетом.



Слика 2.9. Ваздушни хладњак са једним или више вентилатора

Проблему равномерне дистрибуције ваздуха преко цевног снопа мора се посветити одговарајућа пажња, а нарочито је изражен када се користе апарати са потисним вентилаторима. Препоручени односи геометријских величина размењивача, који би требало да обезбеде равномерну дистрибуцију ваздуха, дати су у табели 2.1, односно на слици 2.10, при чему су коришћене следеће ознаке:

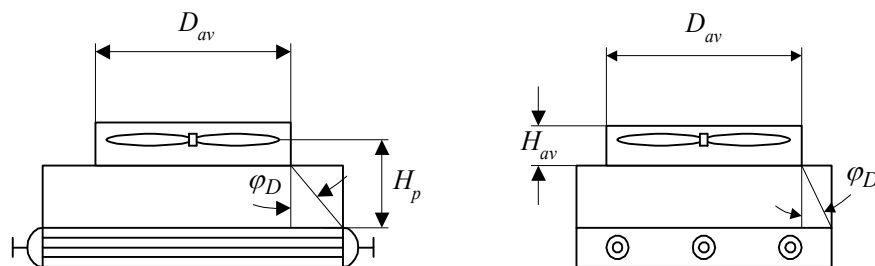
- A [m^2] – површина попречног пресека апарата,
- A_{av} [m^2] – површина попречног пресека канала вентилатора:

$$A_{av} = \frac{\pi \cdot D_{av}^2}{4} \quad (2.1)$$

- D_{av} [m] – пречник канала вентилатора,
- H_{av} [m] – дужина канала вентилатора,
- H_p [m] – растојање од осе вентилатора до цевног снопа,
- φ_D [°] – угао дисперзије ваздушне струје.

Табела 2.1. Препоручени геометријски односи и величине везани за избор и постављање аксијалних вентилатора

	Потисно струјање	Усисно струјање
A_{av} / A	0,4	0,3
H_p / D_{av}	0,5	0,3
H_{av} / D_{av}	0,16	0,16
φ_D [°]	45	45



Слика 2.10. Геометријске величине за постављање аксијалних вентилатора

Аксијални вентилатори, који се примењују код ваздушних хладњака, обично су пречника $0,3 \div 5$ m, са 3 до 10 лопатица. Лопатице вентилатора се израђују превасходно од алуминијума, али могу бити и од угљеничних и легираних челика, пластичних материјала и различитих легура. За њихов погон се у преко 90 % случајева користе електромотори, али и парне турбине, мотори са унутрашњим сагоревањем, итд. Веза вентилатора и погонске машине остварује се на неколико начина [4]:

- директном везом електромотора и вентилатора (примењује се за пречнике вентилатора мање од 1,5 m),
- каишним преносом, који се користи за електромоторе снаге до 30 kW и пречнике до 3 m,
- помоћу редуктора, ако је снага електромотора већа од 30 kW и када је пречник вентилатора већи од 3 m, као и при коришћењу парне турбине као погонске машине (као на слици 2.2).

Снага за погон вентилатора зависи од стања околног ваздуха. Зимом је околни ваздух ниже температуре и има већу густину, а пошто вентилатор практично остварује константан запремински проток, повећава се потрошња енергије за погон. Према [4] препоручује се да се прорачунска снага погонског мотора увећава за $25 \div 30$ %.

Оплату вентилатора би требало израдити тако да зазор између лопатица вентилатора и оплате износи максимално 0,5 % од пречника вентилатора (за пречнике $2 \div 4$ m), с тим што није пожељно да је мања од 9 mm, ни већа од 19 mm [6].

Дужина канала вентилатора има утицаја на проток ваздуха, па се тако, према [6], двоструким повећањем дужине оплате може постићи повећање протока од $5 \div 15$ % при истој потрошњи енергије.

2.1.1.5. Избор прорачунске температуре ваздуха код размењивача топлоте са ваздушним хлађењем

Температура околног ваздуха је од великог значаја за рад размењивача и трошкове експлоатације, јер површина размењивача директно зависи од температурске разлике. С обзиром да мора бити испуњен технолошки захтев по питању улазних и излазних температура топлијег флуида, односно топлотне снаге размењивача, јасно је да температура околног ваздуха, тј. температура ваздуха на улазу у апарат, као и на излазу из апарата, поред шеме струјања флуида кроз апарат, има велики утицај на средњу температурску разлику.

Услед варијација температуре ваздуха у току године требало би обратити посебну пажњу на избор прорачунске температуре на улазу у размењивач. За ову температуру се не усваја максимална температура на посматраној локацији у току године, већ се према [4] препоручује да се усвоји нешто нижа температура која се достиже само у $4 \div 6$ % периода рада у току године. Оваквим избором се прорачунска температура на улазу у апарат снижава за $12 \div 14$ °C, а инвестициони трошкови чак за $50 \div 60$ % [4].

Уколико нису доступни прецизнији метеоролошки подаци за дату локацију, може се искористити једноставна релација за израчунавање прорачунске температуре околног ваздуха t_{2p} [°C] која, како је наведено у [3], гласи

$$t_{2p} = t_{v, sr} + \frac{t_{v, max}}{8} \quad (2.2)$$

где је $t_{v, sr}$ [°C] средња температура у току најтоплијег месеца у години за последњих десет година, а $t_{v, max}$ [°C] представља максималну температуру ваздуха за последњих десет година.

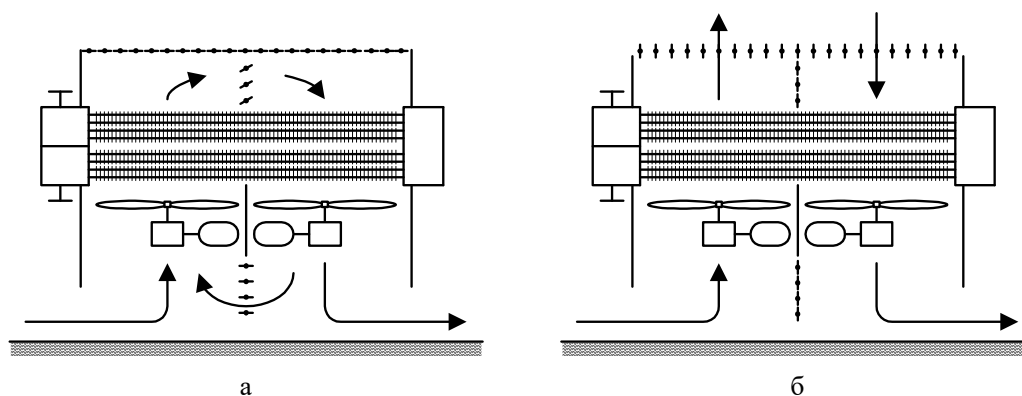
Прорачунска температура у нашој земљи обично износи између 30°C и 35°C.

Температура ваздуха на излазу из апарата је често условљена температуром топлијег флуида на његовом излазу. Према [6] препоручује се да минимална разлика температура (разлика температура топлијег флуида и ваздуха на излазу из апарата) буде већа од $8 \div 14^\circ\text{C}$.

Уколико температура околног ваздуха премаши температуру која је усвојена као прорачунска, топлотна снага апарата се смањује у односу на прорачунску и апарат ради у нерегуларном режиму, тј. са смањеним капацитетом. Потребна топлотна снага се у таквим случајевима може достићи ако се цевни сноп кваси водом, чиме се, услед испаравања воде, повећава могућност хлађења процесног, односно енергетског флуида. Такође, у одређеним случајевима се може уградити комора за припрему ваздуха у којој се околни ваздух влажи убризгавањем воде, чиме се снижава температура ваздуха на улазу у апарат.

Побољшање рада апарата у летњем режиму се може извршити променом протока ваздуха варијацијом броја обртаја вентилаторског кола или променом угла лопатица, али се оваква корекција протока може спроводити само у уским границама. Понекад је целисходније предвидети вршне вентилаторе, који би радили само у периоду повећаног оптерећења, или погонски мотор са две брзине обртања.

У периоду када је температура околног ваздуха ниска, може доћи до стињавања, односно мржњења топлијег флуида у цевима, услед повећане температурске разлике топлијег флуида на излазу и хладнијег флуида на улазу у апарат. За флуиде који су склони овим појавама мора се предвидети могућност загревања улазног ваздуха (такође преко оребрених цеву у којима се нпр. кондензује водена пара) или делимична рециркулација излазног ваздуха, како је приказано на слици 2.11.



Слика 2.11. Размењивач топлоте са могућношћу делимичне рециркулације ваздуха:

- а) рециркулација ваздуха при ниским спољашњим температурама,
- б) без рециркулације при вишим спољашњим температурама

2.1.2. Размењивачи топлоте са оребреним цевима смештени у канале

Размењивачи топлоте са оребреним цевима, који се смештају у канале, користе се у различите сврхе као што су:

- загревање и хлађење процесних и енергетских флуида (нпр. загревање воде или ваздуха за технолошке потребе помоћу врелих гасова из индустријских пећи или израђеног ваздуха из сушара),
- рекуперацију топлоте из продуката сагоревања ради испаравања воде или загревања ваздуха за сагоревање (нпр. котлови који користе тзв. отпадну топлоту, рекуператори топлоте димних гасова, итд),
- припрему ваздуха за различите намене (нпр. хлађење атмосферског ваздуха са одвођењем влаге, а затим његово загревање за потребе складишта лако кварљивих производа),
- загревање ваздуха за потребе централног или локалног грејања радних просторија помоћу вреле воде или водене паре која струји кроз цеви (тзв. калорифери),
- загревање ваздуха за сушаре (енергетски флуид је топла или врела вода или водена пара).

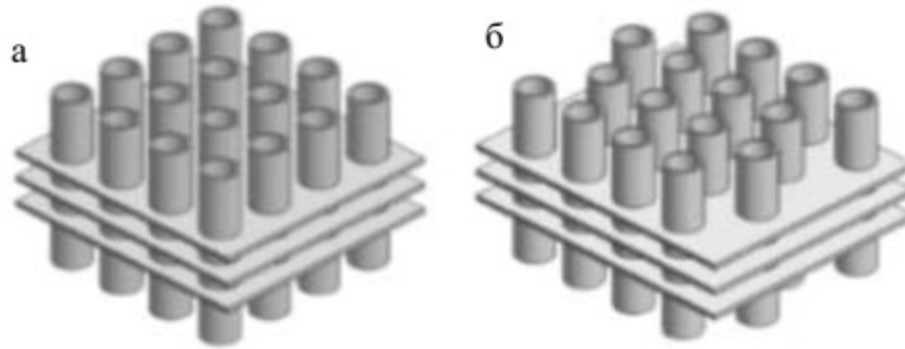
За разлику од ваздушних хладњака, код којих се примењује скоро искључиво троугласти распоред цеви, код размењивача смештених у каналима се користи и квадратни распоред цеви. Пречник цеви, димензије и облик ребара, као и коморе за увођење и одвођење радних флуида који протичу кроз цеви, бирају се и израђују са многим варијацијама у зависности од конкретних услова. Код ових апарата је веома чест случај коришћења ламеластих ребара. Уколико радни флуид у цевима испарава (нпр. расхладни флуид, вода, итд), апарат се може изградити са природном или принудном циркулацијом течности. Код кондензатора се поред вертикалних користе и хоризонтално постављене цеви.

При хлађењу продуката сагоревања и гасова из индустријских пећи мора се водити рачуна о појави нискотемпературске корозије, која се јавља када гас садржи водену пару и оксиде сумпора, а када је температура зида цеви на хладнијем крају апарата нижа од температуре тачке росе овакве гасно-парне мешавине. При њеној кондензацији ствара се водени раствор сумпорне киселине, који је изузетно агресиван према већини материјала који се користе за израду размењивача топлоте и струјних канала. У циљу избегавања нежељених последица ове појаве потребно је посебно пажљиво проучити састав гасно-парне мешавине и услове стварања кондензата, као и шему струјања радних флуида и њен утицај на температуру зида. При пројектовању постројења и уградњи апарата потребно је применити систем аутоматске регулације, који може искључити размењивач топлоте из система, односно прекинути протицање хладнијег флуида у критичном радном режиму.

Како би се приступило обради добијених резултата мерења потребних величина, потребно је претходно одредити геометријске карактеристике РТОЦ.

2.1.3. Геометријске карактеристике размењивача топлоте са ламеластим ребрима потребне за анализу топлотних перформанси и пада притиска

У циљу израчунавања размењене количине топлоте и пада притиска код размењивача топлоте са ребреним цевима потребно је познавати геометријске карактеристике апарата и неке односе међу њима. На слици 2.12. приказан је размењивач топлоте са коридорним и шаховским распоредом цеви са ламеластим ребрењем.

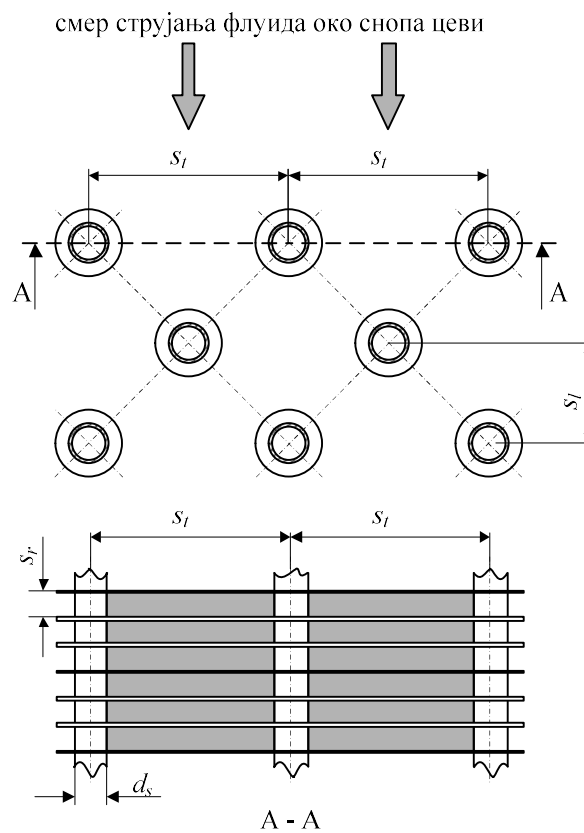


Слика 2.12. Размењивач топлоте са ламеластим ребрима: а) коридорни и б) шаховски распоред цеви

Неке од основних геометријских карактеристика оребрења при опструјавању цевног снопа ваздухом дефинисане су на слици 2.13.

У овој дисертацији су коришћене следеће ознаке:

- d_s [mm] – спољашњи пречник цеви,
- d_u [mm] – унутрашњи пречник цеви,
- d_{kr} [mm] – пречник у корену ребра,
- s_t [mm] – попречни корак цеви,
- s_l [mm] – подужни корак цеви,
- s_r [mm] – корак ребара,
- δ_r [mm] – дебљина ребра.



Слика 2.13. Основне геометријске карактеристике размењивача топлоте са ламеластим ребрима

Поред наведених величина неопходно је познавати и:

- N_t [/] – број цеви у чеоном реду,

- N_l [/] – број редова цеви у правцу струјања ваздуха,
- N_c [/] – укупан број цеви,
- H [mm] – висину размењивача топлоте (струјног канала),
- B [mm] – ширину размењивача топлоте (струјног канала),
- L [mm] – дужину размењивача у смеру струјања ваздуха.

На основу претходних геометријских величина могу се одредити изведене величине:

- N_r [1/m] – број ребара по јединичној дужини цеви:

$$N_r = 1/s_r \quad (2.3)$$

- ε [m³/m³] – запреминска порозност оребрене површине:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\pi \cdot d_{kr}^2 \cdot (s_r - \delta_r) + s_t \cdot s_l \cdot \delta_r}{4 \cdot s_t \cdot s_l \cdot s_r} \quad (2.4)$$

- $\varepsilon_{пов}$ [m²/m²] – површинска порозност на најужем делу цевног снопа:

$$\varepsilon_{пов} = \frac{(s_t - d_{kr}) \cdot (s_r - \delta_r)}{s_t \cdot s_r} \quad (2.5)$$

- s_v [m²/m³] – површина за размену топлоте сведена на јединицу запремине размењивача (специфична површина):

$$s_v = \frac{2 \cdot \left(s_t \cdot s_l - \frac{\pi \cdot d_{kr}^2}{4} \right) + \pi \cdot d_{kr} \cdot (s_r - \delta_r)}{s_t \cdot s_l \cdot s_r} \quad (2.6)$$

- s_{mr} [m²/m³] – међуребарна површина цеви сведена на јединичну запремину размењивача:

$$s_{mr} = \frac{\pi \cdot d_{kr} \cdot \left(1 - \frac{\delta_r}{s_r} \right)}{s_t \cdot s_l} \quad (2.7)$$

- K_{or} [/] – коефицијент оребрења:

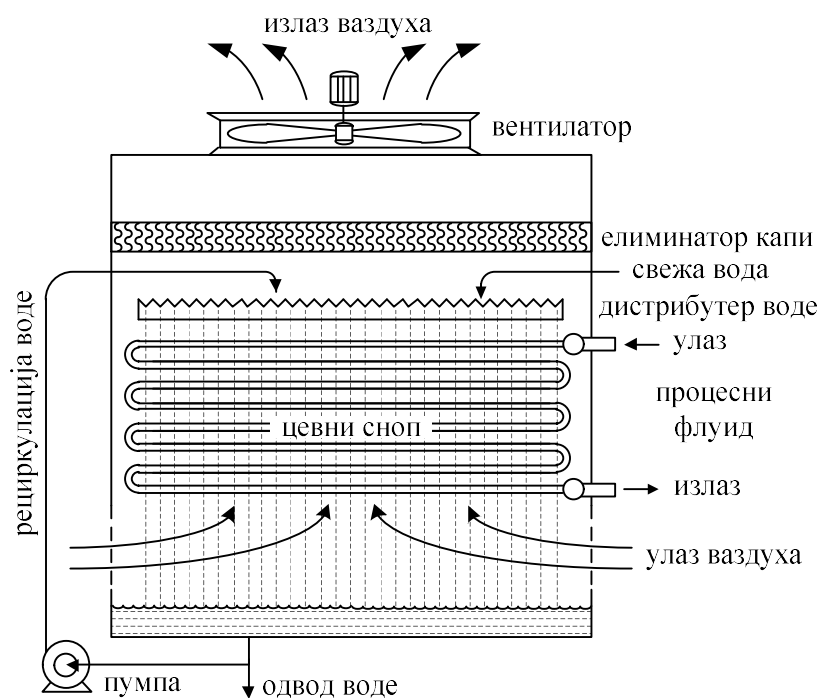
$$K_{or} = \frac{s_v}{s_{mr}} \quad (2.8)$$

2.2. ОРОШАВАЈУЋИ РАЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ

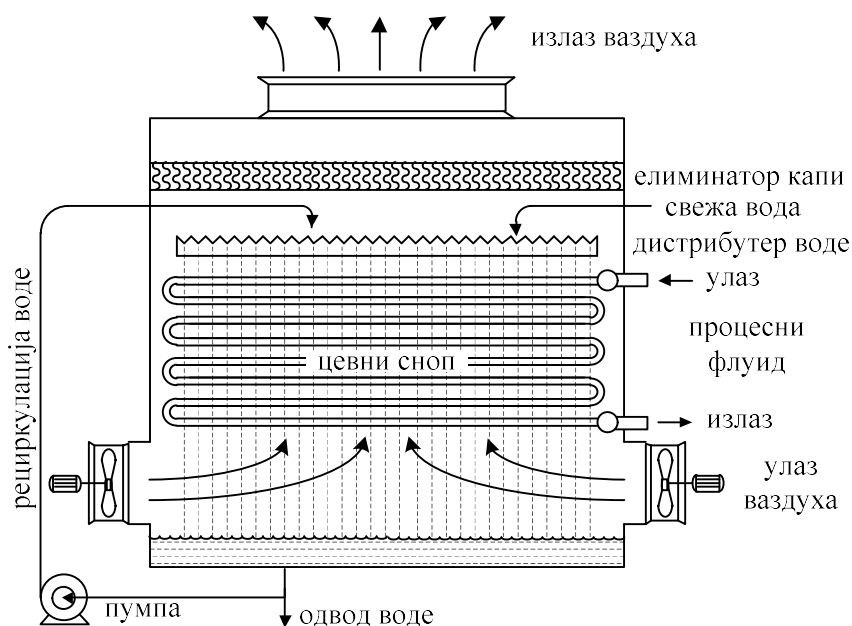
Орошавајући размењивачи топлоте се састоје од цевног снопа кроз који протиче радни флуид који се хлади или кондензује, док расхладна вода, у виду филма или распршена, струји са спољашње стране цеви, а околни ваздух одводи већи део топлоте коју је вода примила. Расхладна вода се може рециркулисати или у потпуности одводити из апарата, а струјање ваздуха може бити природно (атмосферски орошавајући размењивачи) или принудно (евапоративни орошавајући размењивачи) [1].

На сликама 2.14. и 2.15. приказани су евапоративни орошавајући размењивачи топлоте.

Данас се атмосферски размењивачи топлоте користе углавном за велике расхладне капацитете, али све ређе, због економски оправданог коришћења знатно компактнијих евапоративних апарата [5]. Најчешће се постављају на незаклоњеним местима да би се постигло добро опструјавање ваздухом (нпр. на крововима објеката).



Слика 2.14. Евапоративни орошавајући размењивач топлоте са уисним вентилатором



Слика 2.15. Евапоративни орошавајући размењивач топлоте са потисним вентилатором

Орошавајући размењивачи се увек израђују са хоризонтално постављеним цевима, при чему се у односу на правац и смер протицања радног флуида и расхладне воде може остварити [3]:

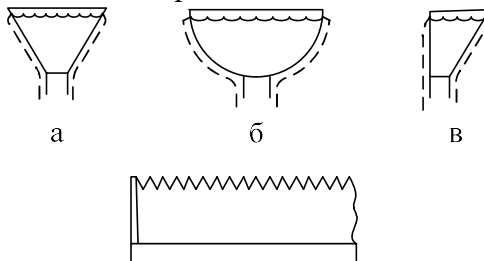
- истосмерни ток, када радни флуид струји одозго надоле,
- супротносмерни ток, када радни флуид струји одоздо нагоре,
- унакрсни ток.

Уколико орошавајући размењивач ради као кондензатор са супротносмерним током, потребно је да се на цевном луку изради хидраулична бртва, да би се обезбедило несметано струјање фаза.

Цевни сноп се код ове врсте апарата састоји од већег броја цевних регистара постављених у вертикалну раван који су међусобно повезани колекторима, док су базен

за сакупљање воде и пумпа за воду заједнички за све цевне регистре. Код атмосферских размењивача препоручује се да растојање између цевних регистара буде најмање 500 mm ради несметаног прилаза цевима приликом чишћења и због равномернијег опструјавања ваздухом.

Дистрибуција воде се код орошавајућих размењивача може извести помоћу преливника (слика 2.16) или система бризгаљки.



Слика 2.16. Дистрибутер воде – преливник:

а – двострани преливник за мање протоке воде, б – двострани преливник за веће протоке воде, в – једнострани преливник за мање протоке воде

За евапоративне размењиваче углавном се препоручује минимална густина орошавања од $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ сведено на пуни попречни пресек апарата. Евапоративни размењивачи око цевног снопа имају оплату од лима која формира канал за струјање ваздуха. Доњи део оплате и постоље апарата се израђују тако да представљају базен за сакупљање воде.

Струјање ваздуха се остварује помоћу аксијалних или центрифугалних вентилатора, при чему се центрифугални вентилатори користе када су захтеви у погледу нивоа буке строги.

Уколико је струјање ваздуха одоздо нагоре, неопходно је да се постави елиминатор капљица воде које ваздушна струја носи са собом, а он се најчешће израђује од танких профилисаних листова површински заштићеног челичног лима.

Струјање ваздуха се може извести и одозго надолу, при чему је допуштена брзина струјања ваздуха знатно већа, а елиминатор капљица није потребан, јер услед инерцијалних сила приликом скретања ваздушне струје капи воде падају у базен (слика 2.17) [5].

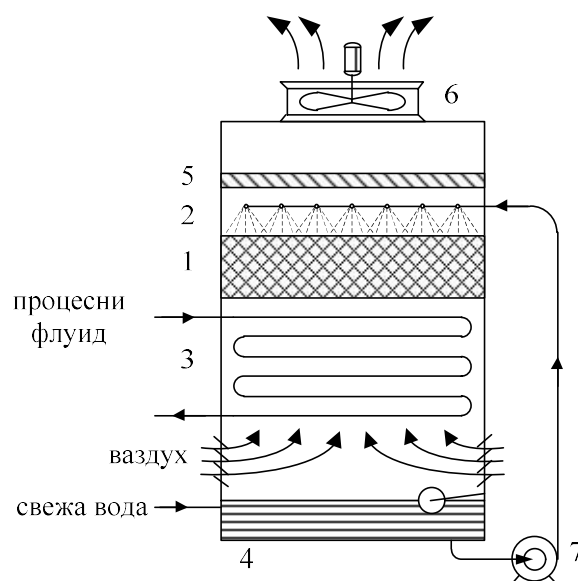
Приликом контакта воде и ваздуха долази до испаравања једног дела воде, па је потребно доводити свежу воду у систем да би се у њему одржавало стационарно стање, а њена потрошња зависи од следећих фактора:

- топлотне снаге апарата,
- стања ваздуха које се мења током експлоатационог периода, тј. од количине воде која испари у контакту са ваздухом,
- брзине струјања ваздуха,
- максимално дозвољене количине соли у води која се временом повећава услед испаравања једног дела воде.

Због великог броја експлоатационих фактора није могуће прецизно одређивање количине свеже воде коју треба додавати, па се углавном поштује препорука да треба доводити два пута више свеже воде од количине која испарава [3].

Пошто се у апарат доводи више воде него што испари и део воде бива однет у виду капљица, потребно је помоћу вентила са пловком омогућити стални ниво воде у базену. Количина воде која отиче из базена при нормалним експлоатационим условима приближно је једнака количини воде која испарава, с тим да се њена потрошња може повећати уколико напојна вода садржи велику количину соли или уколико је садржај непожељних примеса у околном ваздуху велики.

Ако је количина расположиве свеже воде мала, изнад секције евапоративног размењивача може се поставити слој испуне (најчешће од Рашигових прстена) који практично представља кулу за хлађење воде (слика 2.17), када се постиже равномернија дистрибуција воде која се прво слива низ испуну, а затим долази на цевни сноп.



Слика 2.17. Шематски приказ евапоративног кондензатора са кулом за хлађење воде у оквиру једног апарата: 1 – испуна, 2 – дистрибутер воде, 3 – цевни сноп, 4 – базен за воду, 5 – елиминатор капи, 6 – вентилатор, 7 – пумпа за воду

Орошавајући размењивачи топлоте омогућавају низ предности у односу на друга два могућа решења [5], односно комбинацију куле за хлађење воде и рекуперативног размењивача топлоте хлађеног рециркулационом водом, као и рекуперативни размењивач топлоте хлађен само ваздухом или само проточном водом. Коришћењем орошавајућег размењивача могуће је, због рециркулације воде, уштедети 85 ÷ 95 % од потребне количине воде за нормалан рад у поређењу са рекуперативним размењивачем топлоте одговарајућег капацитета који се хлади проточном водом. Потребни проток ваздуха је знатно мањи него код рекуперативних размењивача топлоте хлађених само ваздухом, па су нижи инвестициони и погонски трошкови (мањи вентилатори и електромотори мање снаге). За хлађење неког флуида до нпр. 30°C, при температури ваздуха по влажном термометру од 25°C, комбинација куле за хлађење и рекуперативног размењивача топлоте је неколико пута скупље решење од орошавајућег размењивача. Рекуперативни размењивач топлоте хлађен ваздухом (размењивач са оребреним цевима) би, за хлађење топлијег флуида на температуру од 40°C при температури околног ваздуха од 35°C, захтевао неколико пута већи проток ваздуха, односно знатно већу количину енергије потребну за погон вентилатора.

Орошавајући размењивачи топлоте се, због наведених предности, веома често употребљавају за [5]:

- хлађење течности (вода, алкохоли, уља, разне врсте дестилата),
- хлађење гасова (природни гас),
- кондензацију паре (расхладни флуиди, алкохоли, водена пара).

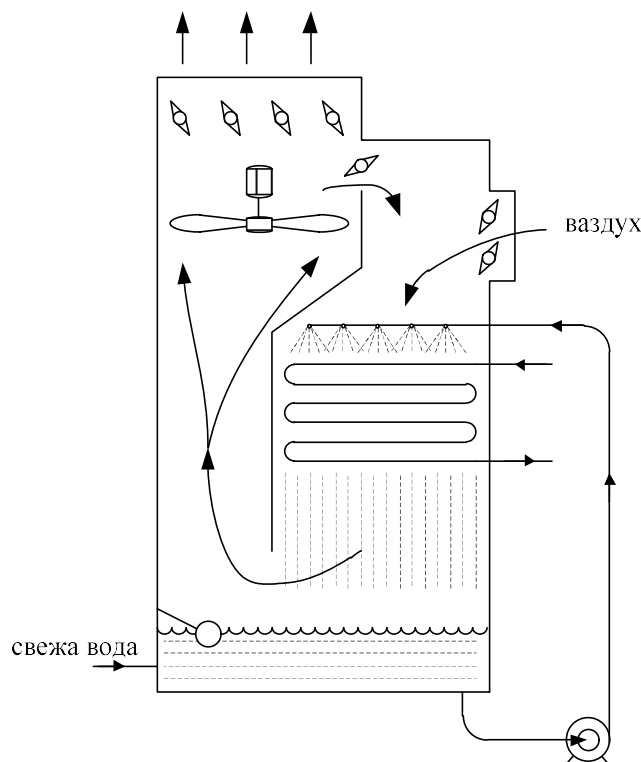
Употреба овог типа апарата је нарочито честа у расхладној техници, када се у оквиру једног орошавајућег размењивача топлоте прегрејана пара расхладног флуида хлади до температуре кондензације, кондензује и кондензат прехлађује.

2.2.1. Експлоатациони проблеми код орошавајућих размењивача топлоте

Није ретка појава да се на површинама које су у контакту са водом и ваздухом развијају алге, па је неопходно да се ове површине заштићују посебним премазима [5].

С обзиром да се евапоративни размењивачи најчешће постављају на отвореном простору, неопходно је заштитити их од замрзавања расхладне воде. То је могуће извести на неколико начина [5]:

- базен за воду и пумпа се смештају у просторије које се греју,
- у базен се могу поставити електрични грејачи или цевна змија у којој се кондензује водена пара, који се по потреби укључују,
- рецикулацијом ваздуха (слика 2.18).



Слика 2.18. Евапоративни размењивач са рецикулацијом ваздуха

У случају рецикулације ваздуха смањује се топлотни учинак апарата, а количина рецикулисаног ваздуха зависи од стања околног ваздуха.

2.2.2. Биланс топлоте и супстанције орошавајућих размењивача топлоте

Шематски приказ токова флуида за евапоративни орошавајући размењивач топлоте дат је на слици 2.19.

Билансне једначине по контури K_1 гласе:

- једначина материјалног биланса воде, односно водене паре:

$$\dot{m}_{Ls} + \dot{m}_G \cdot \tilde{Y}_p = \dot{m}_{Lo} + \dot{m}_G \cdot \tilde{Y}_k \quad (2.9)$$

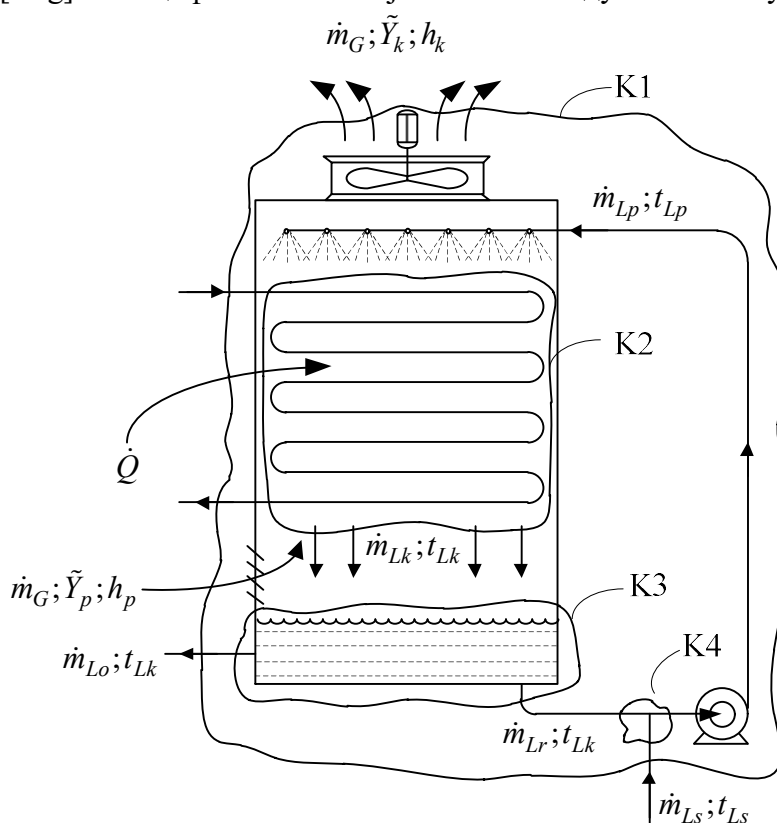
- једначина топлотног биланса:

$$\dot{Q} + \dot{m}_{Ls} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Ls} + \dot{m}_G \cdot h_p = \dot{m}_{Lo} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} + \dot{m}_G \cdot h_k \quad (2.10)$$

при чему је:

- \dot{m}_{Ls} [kg/s] – проток свеже воде која се доводи у систем,
- \dot{m}_G [kg/s] – проток сувог ваздуха,
- \dot{m}_{Lo} [kg/s] – проток воде која се одводи из апарата,
- \tilde{Y}_p [kgA/kgB] – масени однос влаге у ваздуху (апсолутна влажност ваздуха) на улазу у апарат,
- \tilde{Y}_k [kgA/kgB] – масени однос влаге у ваздуху на излазу из апарата,

- \dot{Q} [W] – топлотна снага размењивача,
- \tilde{c}_L [J/(kg·K)] – специфични топлотни капацитет расхладне воде при константном притиску (сматра се да се врло мало мења са температуром воде за уобичајене радне режиме),
- t_{Ls} [°C] – температура свежје воде која се доводи у систем,
- t_{Lk} [°C] – температура воде на излазу из апарата,
- h_p [J/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на улазу у апарат,
- h_k [J/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха на излазу из апарата.



Слика 2.19. Шематски приказ токова радних флуида

Билансне једначине по контури K_2 гласе:

- једначина материјалног биланса воде:

$$\dot{m}_{Lp} + \dot{m}_G \cdot \tilde{Y}_p = \dot{m}_{Lk} + \dot{m}_G \cdot \tilde{Y}_k \quad (2.11)$$

- једначина топлотног биланса:

$$\dot{Q} + \dot{m}_{Lp} \cdot \tilde{c}_{Lp} \cdot t_{Lp} + \dot{m}_G \cdot h_p = \dot{m}_{Lk} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} + \dot{m}_G \cdot h_k \quad (2.12)$$

где су:

- \dot{m}_{Lp} [kg/s] – проток воде на улазу у размењивач,
- \dot{m}_{Lk} [kg/s] – проток воде на излазу из размењивача,
- t_{Lp} [°C] – температура воде која долази на цевни сноп,
- t_{Lk} [°C] – температура воде која пада са цевног снопа у базен.

Једначина материјалног биланса воде по контури K_3 износи

$$\dot{m}_{Lk} = \dot{m}_{Lr} + \dot{m}_{Lo} \quad (2.13)$$

где је:

- \dot{m}_{Lr} [kg/s] – проток воде која се рециркулише.

Билансне једначине по контури K_4 гласе:

- једначина материјалног биланса воде:

$$\dot{m}_{Lp} = \dot{m}_{Lr} + \dot{m}_{Ls} \quad (2.14)$$

- једначина топлотног биланса:

$$\dot{m}_{Lp} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lp} = \dot{m}_{Lr} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} + \dot{m}_{Ls} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Ls} \quad (2.15)$$

Топлотна снага размењивача се на основу једначине (2.10) може изразити у облику

$$\dot{Q} = \dot{m}_G \cdot (h_k - h_p) + \dot{m}_{Lo} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} - \dot{m}_{Ls} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Ls} \quad (2.16)$$

Ако се узме у обзир да се ова снага делом размени са ваздухом, а делом са водом, може се написати:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_G + \dot{Q}_L \quad (2.17)$$

где је:

- \dot{Q}_G [W] – количина топлоте коју радни флуид размени са ваздухом:

$$\dot{Q}_G = \dot{m}_G \cdot (h_k - h_p) \quad (2.18)$$

- \dot{Q}_L [W] – количина топлоте коју радни флуид размени са водом:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{Lo} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} - \dot{m}_{Ls} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Ls} \quad (2.19)$$

Из једначине (2.12) се, аналогно претходном, може добити:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{Lk} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} - \dot{m}_{Lp} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lp} \quad (2.20)$$

Количина воде која испарава \dot{m}_{isp} [kg/s] може се одредити из једначине (2.9) или помоћу једначине (2.11):

$$\dot{m}_{isp} = \dot{m}_G \cdot (\tilde{Y}_k - \tilde{Y}_p) = \dot{m}_{Ls} - \dot{m}_{Lo} = \dot{m}_{Lp} - \dot{m}_{Lk} \quad (2.21)$$

Заменом једначине (2.21) у (2.19) добија се

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{Ls} \cdot \tilde{c}_L \cdot (t_{Lk} - t_{Ls}) - \dot{m}_{isp} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} \quad (2.22)$$

2.2.3. Механизам размене топлоте и супстанције код орошавајућих размењивача топлоте

Размена топлоте је код ових размењивача сложенија него код рекуперативних размењивача и састоји се из следећих елементарних процеса:

- прелаза топлоте између радног флуида и унутрашње површине цеви,
- провођења топлоте кроз зид цеви,
- прелаза топлоте са спољашње површине цеви на водени филм,
- симултаног транспорта топлоте и супстанције између воденог филма и околног ваздуха.

Требало би имати у виду и провођење топлоте кроз слој нечистоћа које се у току експлоатационог периода таложу на спољашњој и унутрашњој површини цеви.

Разматраће се систем који чине радни флуид, вода (компонента А) и влажан ваздух који представља мешавину сувог ваздуха (компонента В) и водене паре.

Елементарна површина контакта између радног флуида, воде и ваздуха приказана је на слици 2.20.

Билансне једначине за контуру K_1 су:

- једначина материјалног биланса за воду

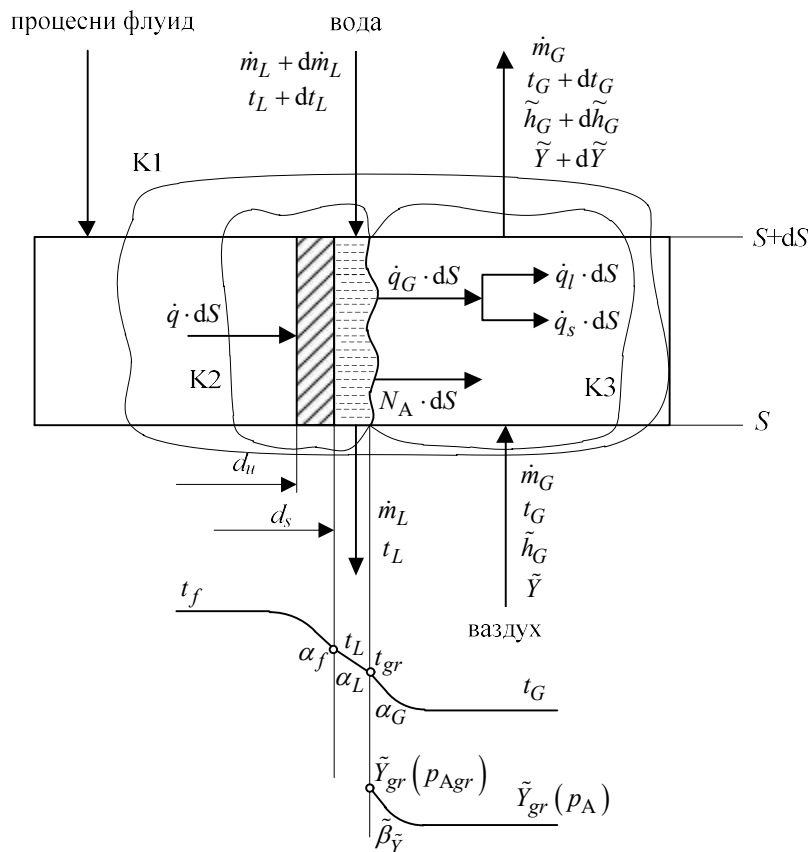
$$\dot{m}_L + d\dot{m}_L + \dot{m}_G \cdot \tilde{Y} = \dot{m}_L + \dot{m}_G \cdot (\tilde{Y} + d\tilde{Y}) \quad (2.23)$$

- једначина топлотног биланса

$$\dot{q} \cdot dS + (\dot{m}_L + d\dot{m}_L) \cdot \tilde{c}_L \cdot (t_L + dt_L) + \dot{m}_G \cdot h = \dot{m}_L \cdot \tilde{c}_L \cdot t_L + \dot{m}_G \cdot (h + dh) \quad (2.24)$$

где су:

- \dot{m}_L [kg/s] – проток расхладне (распршиване) воде преко елементарне површине РТ,
- \tilde{Y} [kgA/kgB] – масени однос воде у основној маси ваздуха на улазу у посматрани део РТ (апсолутна влажност ваздуха),
- \dot{q} [W/m²] – укупна количина топлоте која се размени између радног флуида са једне стране и воде и ваздуха са друге стране елементарне површине РТ,
- t_L [°C] – температура расхладне воде у основној маси на улазу у посматрани део апарата,
- h [J/kg] – специфична енталпија влажног ваздуха у основној маси флуида на улазу у елементарни део РТ.



Слика 2.20. Елементарна површина контакта радног флуида, воде и ваздуха
Билансне једначине за контуру K_2 гласе:

- једначина материјалног биланса за воду

$$\dot{m}_L + d\dot{m}_L = \dot{m}_L + N_A \cdot dS \quad (2.25)$$

- једначина топлотног биланса

$$\dot{q} \cdot dS + (\dot{m}_L + d\dot{m}_L) \cdot \tilde{c}_L \cdot (t_L + dt_L) = \dot{m}_L \cdot \tilde{c}_L \cdot t_L + \dot{q}_G \cdot dS \quad (2.26)$$

Билансне једначине за контуру K_3 су:

- једначина материјалног биланса за воду

$$\dot{m}_G \cdot \tilde{Y} + N_A \cdot dS = \dot{m}_G \cdot (\tilde{Y} + d\tilde{Y}) \quad (2.27)$$

- једначина топлотног биланса

$$\dot{q}_G \cdot dS + \dot{m}_G \cdot h = \dot{m}_G \cdot (h + dh) \quad (2.28)$$

Специфични масени проток водене паре у околни влажни ваздух, тј. воде која испари са границе између фаза, N_A [kgA/(m²·s)], при конвективном транспорту супстанције (компоненте А у стагнант Б) износи:

$$N_A = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \quad (2.29)$$

где су:

- $\tilde{\beta}_Y$ [kgA/(m²·s·(kgA/ kgB))] – коефицијент транспорта супстанције (коефицијент испаравања),
- \tilde{Y}_{gr} [kgA/ kgB] – масени однос водене паре у ваздуху на граници фаза.

Такође, аналогно претходном специфични масени проток паре се може одредити и помоћу израза:

$$N_A = \tilde{\beta}_p \cdot (p_{Agr} - p_A) \quad (2.30)$$

при чему $\tilde{\beta}_p$ [kgA/(m²·s·Pa)] представља коефицијент прелаза супстанције у гасу (водене паре у ваздуху), а p_A и p_{Agr} [Pa] су парцијални притисак водене паре у ваздуху и на граници између фаза респективно.

Укупна количина топлоте која се размени између расхладне воде и ваздуха \dot{q}_G [W/m²] састоји се од:

- латентне топлоте \dot{q}_l [W/m²]:

$$\dot{q}_l = N_A \cdot \Delta h_A(t_{gr}) \quad (2.31)$$

- и осетне топлоте \dot{q}_s [W/m²]:

$$\dot{q}_s = \frac{N_A \cdot \tilde{c}_{pA}}{1 - \exp(-N_A \cdot \tilde{c}_{pA} / \alpha_G)} \cdot (t_{gr} - t_G) \cong \alpha_G \cdot (t_{gr} - t_G) \quad (2.32)$$

где су:

- $\Delta h_A(t_{gr})$ [kJ/kg] – топлота испаравања воде на температури на граници између фаза,
- \tilde{c}_{pA} [J/(kg·K)] – специфични топлотни капацитет водене паре (компоненте А) у ваздуху при константном притиску,
- α_G [W/(K·m²)] – коефицијент прелаза топлоте са стране ваздуха,
- t_G [°C] – температура ваздуха,
- t_{gr} [°C] – температура ваздуха на граници између фаза.

Неопходно је имати у виду да у случају када се транспорт супстанције може занемарити следи да је $N_A \cdot \tilde{c}_{pA} \ll \alpha_G$.

На основу једначина (2.25) и (2.27) следи да је

$$N_A \cdot dS = d\dot{m}_L \quad (2.33)$$

$$N_A \cdot dS = \dot{m}_G \cdot d\tilde{Y} \quad (2.34)$$

Према једначини (2.28) биће

$$\dot{q}_G \cdot dS = \dot{m}_G \cdot dh \quad (2.35)$$

односно коришћењем једначина (2.29), (2.31) и (2.32) добија се

$$\dot{m}_G \cdot dh = \alpha_G \cdot (t_{gr} - t_G) \cdot dS + \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \Delta h_A(t_{gr}) \cdot dS \quad (2.36)$$

Према Луисовом правилу за случај турбулентног струјања влажног ваздуха дуж слоја воде може се написати да је

$$\frac{\alpha_G}{\tilde{c}_{pAB} \cdot \tilde{\beta}_Y} \cong 1 \quad (2.37)$$

на основу чега следи

$$\dot{m}_G \cdot dh = \tilde{\beta}_Y \cdot \left[\tilde{c}_{pAB} \cdot (t_{gr} - t_G) + (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \Delta h_A(t_{gr}) \right] \cdot dS \quad (2.38)$$

Сматрајући да је

$$\Delta h_A(t_{gr}) \cong \Delta h_A(0^\circ \text{C}) = \Delta h_o \quad (2.39)$$

уз одговарајуће прегруписавање чланова у загради добиће се израз

$$\dot{m}_G \cdot dh = \tilde{\beta}_Y \cdot \left[\tilde{c}_{pAB} \cdot t_{gr} + \tilde{Y}_{gr} \cdot \Delta h_o \right] - \left(\tilde{c}_{pAB} \cdot t_G + \tilde{Y} \cdot \Delta h_o \right) \cdot dS \quad (2.40)$$

Енталпија влажног гаса h [J/kgВ] или [J/(1+x) kg(A+B)] на основу својства адитивности екстензивних величина стања износи

$$h = \tilde{c}_{pAB} \cdot t + \tilde{Y} \cdot r_o = \tilde{c}_{pB} \cdot t + \tilde{Y} \cdot (\tilde{c}_{pA} \cdot t + \Delta h_o) \quad (2.41)$$

где су:

- \tilde{c}_{pAB} [J/kg·K] – специфични топлотни капацитет влажног ваздуха при сталном притиску:

$$\tilde{c}_{pAB} = \tilde{c}_{pB} + \tilde{Y} \cdot \tilde{c}_{pA} \quad (2.42)$$
- \tilde{c}_{pB} [J/kg·K] – специфични топлотни капацитет сувог ваздуха (В) при сталном притиску,
- \tilde{c}_{pA} [J/kg·K] – специфични топлотни капацитет водене паре (А) при сталном притиску.

Према претходно реченом коначно се може написати

$$\dot{q}_G \cdot dS = \dot{m}_G \cdot dh = \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr} - h) \cdot dS \quad (2.43)$$

Имајући у виду да је количина воде која испарава у јединици времена мала у односу на њен укупни проток ($\dot{m}_L \approx const$), као и да је промена температуре воде такође занемарљива ($t_L \approx const$), може се сматрати да дуж елементарне површине укупни топлотни флуks износи

$$\dot{q} = k_{fL} \cdot (t_f - t_L) \quad (2.44)$$

где је:

- k_{fL} [W/(m²·K)] – коефицијент пролаза топлоте за спољну површину цеви усвојену као референтну,

$$\frac{1}{k_{fL}} = \left(\frac{1}{\alpha_f} + R_f \right) \cdot \frac{d_s}{d_u} + \frac{d_s}{2 \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{1}{\alpha_L} + R_L \quad (2.45)$$

- α_f [W/(m²·K)] – коефицијент прелаза топлоте између радног флуида и унутрашње површине цеви,
- α_L [W/(m²·K)] – коефицијент прелаза топлоте између расхладне воде и спољашње површине цеви,
- R_f [m²·K/W] – фактор запрљања са унутрашње стране цеви,
- R_L [m²·K/W] – фактор запрљања са спољашње стране цеви.

На основу једначина (2.26), (2.43) и (2.44) следи да је

$$\dot{q} \cdot dS = \dot{q}_G \cdot dS - \tilde{c}_L \cdot d(\dot{m}_L \cdot t_L) \quad (2.46)$$

односно

$$\int_0^S \dot{q} \cdot dS = \int_0^S \dot{q}_G \cdot dS - \int_{t_{Lk}}^{t_{Lp}} \tilde{c}_L \cdot d(\dot{m}_L \cdot t_L) \quad (2.47)$$

одакле следи да је топлотна снага размењивача \dot{Q} [W] једнака

$$\dot{Q} = \dot{Q}_G + \dot{Q}_L \quad (2.48)$$

где су:

$$\dot{Q} = \int_0^S \dot{q} \cdot dS = \int_0^S k_{fL} \cdot (t_f - t_L) \cdot dS = k_{fL} \cdot (t_f - t_L)_{sr} \cdot S \quad (2.49)$$

$$\dot{Q}_G = \int_0^S \dot{q}_G \cdot dS = \int_0^S \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr} - h) \cdot dS = \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr} - h)_{sr} \cdot S \quad (2.50)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{Lk} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lk} - \dot{m}_{Lp} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Lp} \quad (2.51)$$

2.2.4. Прорачун орошавајућег размењивача топлоте

На основу једначина (2.17), (2.19) и (2.22), уз одговарајуће прегруписавање чланова, добија се израз за топлотну снагу орошавајућег размењивача:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{G,mod} + \dot{Q}_{L,mod} \quad (2.52)$$

$$\dot{Q}_{G,mod} = \dot{m}_G \cdot (h_k - h_p) - \dot{m}_{isp} \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Ls} \quad (2.53)$$

$$\dot{Q}_{L,mod} = (\dot{m}_{Ls} - \dot{m}_{isp}) \cdot \tilde{c}_L \cdot (t_{Lk} - t_{Ls}) \quad (2.54)$$

Једначина (2.53) се може трансформисати у облик

$$\dot{Q}_{G,mod} = \psi_G \cdot \dot{Q}_G = \psi_G \cdot \int_{S_{LG}} \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr} - h) \cdot dS_{LG} \quad (2.55)$$

где су:

- ψ_G [/] – корекциони фактор:

$$\psi_G = \frac{\dot{Q}_{G,mod}}{\dot{Q}_G} = 1 - \frac{(\tilde{Y}_k - \tilde{Y}_p) \cdot \tilde{c}_L \cdot t_{Ls}}{h_k - h_p} \quad (2.56)$$

- S_{LG} [m²] – укупна површина контакта воде и ваздуха.

За практичне прорачуне може се сматрати да је

$$\psi_G \cong 1 - \frac{\tilde{c}_L \cdot t_{Ls}}{\Delta h_o} \quad (2.57)$$

односно када се замене бројчане вредности

$$\psi_G \cong 1 - \frac{4,19 \cdot t_{Ls}}{2500} = 1 - 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot t_{Ls} \quad (2.58)$$

Проток воде кроз апарат је скоро константан и код атмосферских и код евапоративних размењивача (количина испарене воде износи 2 ÷ 3 % од протока циркулационе воде), па је могуће са довољном тачношћу применити једначину

$$\dot{Q} = k_{fL} \cdot S_{sp} \cdot \Delta t_{sr} \quad (2.59)$$

Уобичајени распон вредности коефицијента пролаза топлоте је [3]:

- код атмосферских размењивача – $k_{fL} = 250 \div 500$ W/(m²·K),
- код евапоративних размењивача – $k_{fL} = 300 \div 700$ W/(m²·K).

Једначине (2.52) и (2.59) чине систем од две једначине у којима су непознате средња разлика температура и средња разлика енталпија влажног ваздуха.

Симултаним решавањем система билансних једначина (2.9) ÷ (2.15) уз једначине (2.52) и (2.59) одређује се потребна површина за размену топлоте са спољашње стране S_{sp} [m²].

2.2.4.1. Средња температурска разлика код орошавајућих размењивача топлоте

Температура радног флуида на излазу из апарата обично износи 35 ÷ 40°C и према препорукама треба да буде виша од температуре околног ваздуха по влажном термометру и то:

- за атмосферске размењиваче – 8 ÷ 12°C,
- за евапоративне размењиваче – 10 ÷ 20°C.

Такође се препоручује да средња температура воде буде виша од температуре околног ваздуха по влажном термометру и то:

- за атмосферске размењиваче – 4 ÷ 6°C,
- за евапоративне размењиваче – 8 ÷ 10°C.

Значи да је температура радног флуида на излазу виша од средње температуре расхладне воде за:

- за атмосферске размењиваче – 2 ÷ 8°C,
- за евапоративне размењиваче – 2 ÷ 12°C.

Имајући у виду ове препоруке може се сматрати да је средња температурска разлика Δt_{sr} [°C] једнака средњој логаритамској разлици температура (односи се на радни флуид и воду):

- за супротносмерни ток`

$$\Delta t_{sr} = \Delta t_{ln} = \frac{(t_{fp} - t_{Lk}) - (t_{fk} - t_{Lp})}{\ln \frac{t_{fp} - t_{Lk}}{t_{fk} - t_{Lp}}} \quad (2.60)$$

- за истосмерни ток

$$\Delta t_{sr} = \Delta t_{ln} = \frac{(t_{fp} - t_{Lp}) - (t_{fk} - t_{Lk})}{\ln \frac{t_{fp} - t_{Lp}}{t_{fk} - t_{Lk}}} \quad (2.61)$$

Ако се средња разлика температура рачуна помоћу средње температуре воде, онда ће за било коју шему протицања радног флуида и расхладне воде бити:

$$\Delta t_{sr} = \Delta t_{ln} = \frac{t_{fp} - t_{fk}}{\ln \frac{t_{fp} - t_{Lsr}}{t_{fk} - t_{Lsr}}} \quad (2.62)$$

а у случају када се радни флуид кондензује:

$$\Delta t_{sr} = \Delta t_{ln} = t_f - t_{Lsr} \quad (2.63)$$

У специјализованој литератури постоје дијаграми за одређивање корекционог фактора за средњу температурску разлику ε_i (P, R), али када нема „укрштања“ температура, тј. када је температура расхладне воде на излазу из апарата нижа од температуре радног флуида на излазу из апарата (што је увек испуњено код апарата са истосмерним током), практично нема потребе узимати овај фактор у обзир.

2.2.5. Прорачун атмосферског орошавајућег размењивача топлоте

С обзиром да се температура воде код атмосферских размењивача мења у малом интервалу, уколико се уведе средња температура воде

$$t_{L, sr} = \frac{t_{Lp} + t_{Lk}}{2} \quad (2.64)$$

према једначини (2.55) добија се

$$\dot{Q}_{G,\text{mod}} = \psi_G \cdot \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr, sr} - h_p) \cdot S_{LG} \quad (2.65)$$

где је:

- $h_{gr, sr}$ [J/kg] – енталпија ваздуха на граничној површини са водом за средњу температуру воде,
- h_p [J/kg] – енталпија околног ваздуха.

Једначина (2.65) је добијена уз услов да се коефицијент испаравања не мења много од секције до секције и по висини апарата, па се може усредњити за целу површину размењивача.

Површина за размену топлоте између воде и ваздуха износи

$$S_{LG} = \psi_s \cdot S_{sp} \quad (2.66)$$

где су:

- S_{sp} [m²] – спољна површина цевног снопа,
- ψ_s [/] – коефицијент који зависи од конструкције апарата (уобичајено износи $\psi_s \cong 2$).

Према претходно реченом у коначном облику ће бити

$$\dot{Q}_{G,\text{mod}} = \psi_G \cdot \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr, sr} - h_p) \cdot \psi_s \cdot S_{sp} \quad (2.67)$$

На основу билансних једначина (2.14) и (2.15) може се одредити температура воде која се слива са цевног снопа у базен у облику

$$t_{Lk} = \frac{t_{L, sr} - \frac{\xi \cdot t_{Ls}}{2}}{1 - \frac{\xi}{2}} \quad (2.68)$$

где је:

- $\xi = \frac{\dot{m}_{Ls}}{\dot{m}_{Lp}}$ [/] – однос протока свеже воде и воде на улазу у размењивач.

На основу једначина (2.67) и (2.54) добија се

$$\dot{Q}_{L,\text{mod}} = (\dot{m}_{Ls} - \dot{m}_{isp}) \cdot \tilde{c}_L \cdot \frac{t_{L, sr} - t_{Ls}}{1 - \frac{\xi}{2}} \quad (2.69)$$

односно

$$\dot{Q} = \psi_G \cdot \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr, sr} - h_p) \cdot \psi_s \cdot S_{sp} + (\dot{m}_{Ls} - \dot{m}_{isp}) \cdot \frac{t_{L, sr} - t_{Ls}}{1 - \frac{\xi}{2}} \cdot \tilde{c}_L \quad (2.70)$$

Овако изражена топлотна снага атмосферског размењивача зависи од средње температуре и протока расхладне воде и стања околног ваздуха.

Количина испарене воде може се одредити преко израза

$$\dot{m}_{isp} = \int_{S_{LG}} \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr, sr} - \tilde{Y}) \cdot dS_{LG} \quad (2.71)$$

а у коначном облику се добија

$$\dot{m}_{isp} = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr, sr} - \tilde{Y}) \cdot S_{LG} \quad (2.72)$$

Количина свеже воде која се додаје може се мењати у границама од минималне, када се надокнађује испарена вода:

$$\dot{m}_{Ls} = \dot{m}_{isp} \quad (2.73)$$

односно

$$\xi_{\min} = \frac{\dot{m}_{isp}}{\dot{m}_{Lp}} \quad (2.74)$$

до максималне, када се вода не рециркулише:

$$\dot{m}_{Ls} = \dot{m}_{Lp} \quad (2.75)$$

односно

$$\xi_{\max} = 1 \quad (2.76)$$

Код атмосферских размењивача однос протока свеже воде и воде на улазу у апарат уобичајено износи $\xi = 0,15 \div 0,30$. Искуствена је препорука да проток свеже воде износи $25 \div 40 \text{ l/h}$ по 1 kW топлотне снаге апарата.

Потребна површина за размену топлоте за унапред усвојени однос протока свеже воде и воде на улазу у размењивач ξ добија се решавањем система једначина (2.59) и (2.70) уз једначину (2.71) итеративним поступком за усвојену средњу температуру воде. Средња температура воде се варира док се вредности топлотних снага израчунатих према једначинама (2.59) и (2.70) не изједначе.

2.2.6. Прорачун евапоративног орошавајућег размењивача топлоте

Код евапоративних размењивача температура воде се скоро не мења, па се може увести средња температура воде

$$t_{L,sr} = \frac{t_{Lp} + t_{Lk}}{2} \cong t_{Lp} \cong t_{Lk} \quad (2.77)$$

Количина топлоте коју вода преда ваздуху преко елементарне површине за размену топлоте износи

$$d\dot{Q}_G = \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr,sr} - h_p) \cdot \psi_s \cdot dS_{sp} = \dot{m}_G \cdot dh \quad (2.78)$$

па се може формирати интегрална једначина у облику

$$\int_{h_p}^{h_k} \frac{dh}{h_{gr,sr} - h_p} = \int_0^{S_{sp}} \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot \psi_s \cdot dS_{sp}}{\dot{m}_G} \quad (2.79)$$

Уколико се може сматрати да се $\tilde{\beta}_Y$ не мења знатно дуж активне површине размењивача, биће

$$\ln \frac{h_{gr,sr} - h_p}{h_{gr,sr} - h_k} = \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot \psi_s \cdot S_{sp}}{\dot{m}_G} \quad (2.80)$$

Са друге стране количина топлоте коју радни флуид размени са ваздухом једнака је

$$\dot{Q}_G = \dot{m}_G \cdot (h_k - h_p) \quad (2.81)$$

па се елиминацијом \dot{m}_G на основу једначине (2.80) може добити израз

$$\dot{Q}_G = \tilde{\beta}_Y \cdot \Delta h_{sr} \cdot \psi_s \cdot S_{sp} \quad (2.82)$$

где је:

- $\Delta h_{sr} [\text{J/kg}]$ – средња погонска сила процеса:

$$\Delta h_{sr} = \frac{h_k - h_p}{\ln \frac{h_{gr,sr} - h_p}{h_{gr,sr} - h_k}} \quad (2.83)$$

Укупна размењена количина топлоте се може изразити на следећи начин:

$$\dot{Q} = \psi_G \cdot \tilde{\beta}_Y \cdot \Delta h_{sr} \cdot S_{LG} + (\dot{m}_{L_s} - \dot{m}_{isp}) \cdot \frac{t_{L,sr} - t_{L_s}}{1 - \frac{\xi}{2}} \cdot \tilde{c}_L \quad (2.84)$$

Количина испарене воде са елементарне површине контакта воде и ваздуха $d\dot{m}_{isp}$ [kg/s] може се одредити на основу израза (2.33), а имајући у виду једначине (2.29) и (2.34) следи:

$$d\dot{m}_{isp} = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}) \cdot dS_{LG} = \dot{m}_G \cdot d\tilde{Y} \quad (2.85)$$

одакле се добија да је укупна маса воде која испари у размењивачу \dot{m}_{isp} [kg/s] једнака

$$\dot{m}_{isp} = \tilde{\beta}_Y \cdot \Delta \tilde{Y}_{sr} \cdot S_{LG} = \dot{m}_G \cdot (\tilde{Y}_k - \tilde{Y}_p) \quad (2.86)$$

где су:

- $\tilde{Y}_{gr,sr}$ [kgA/kgB] – масени однос водене паре у ваздуху у стању засићења на средњој температури границе фаза, односно расхладне воде,
- $\Delta \tilde{Y}_{sr}$ [kgA/kgB] – средња погонска сила процеса размене супстанције:

$$\Delta \tilde{Y}_{sr} = \frac{\tilde{Y}_k - \tilde{Y}_p}{\ln \frac{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}_p}{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}_k}} \quad (2.87)$$

На основу једначина (2.79) и (2.85) добија се да је

$$\int_{\tilde{Y}_p}^{\tilde{Y}_k} \frac{d\tilde{Y}}{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}} = \int_{h_p}^{h_k} \frac{dh}{h_{gr,sr} - h} \quad (2.88)$$

а после интегралнења следи израз којим се утврђује зависност између карактеристичних енталпија и апсолутних влажности ваздуха који струји кроз апарат:

$$\frac{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}_p}{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}_k} = \frac{h_{gr,sr} - h_p}{h_{gr,sr} - h_k} \quad (2.89)$$

Код евапоративних размењивача однос протока свеже воде и воде на улазу у размењивач уобичајено износи $\xi = 0,05 \div 0,15$, а однос површине контакта воде и ваздуха и површине цевног снопа $\psi_s = 1,5$.

Приликом конструисања евапоративних размењивача топлоте треба поштовати следеће препоруке:

- потрошња свеже воде износи $35 \div 52$ l/h по 1 kW топлотне снаге апарата,
- проток ваздуха се креће у границама $64 \div 138$ m³/h по 1 kW топлотне снаге апарата,
- брзина струјања ваздуха сведена на пуни попречни пресек апарата износи $1,5 \div 3$ m/s за апарате код којих ваздух струји нагоре, а уколико ваздух струји наниже, може ићи чак до 7,5 m/s.

Потребна површина за размену топлоте за унапред усвојени однос протока свеже воде и воде на улазу у размењивач (ξ) добија се решавањем система једначина (2.59) и (2.84) уз једначину (2.86) итеративним поступком за усвојену средњу температуру воде. Средња температура воде се варира док се вредности топлотних снага израчунатих према једначинама (2.59) и (2.84) не изједначе.

2.3. ПРОРАЧУН ОРЕБРЕНИХ РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ СА РАСПРШИВАЊЕМ ВОДЕ

Како је у претходним поглављима речено, често се ради повећања топлотне снаге размењивача топлоте са оребреним цевима, у коме се расхлађује или кондензује радни флуид, његова спољашња површина напрскава водом. Потребно је установити процедуру према којој ће се рачунски одређивати размењена количина топлоте са површине контакта између радног флуида, воде и ваздуха код РТОЦ.

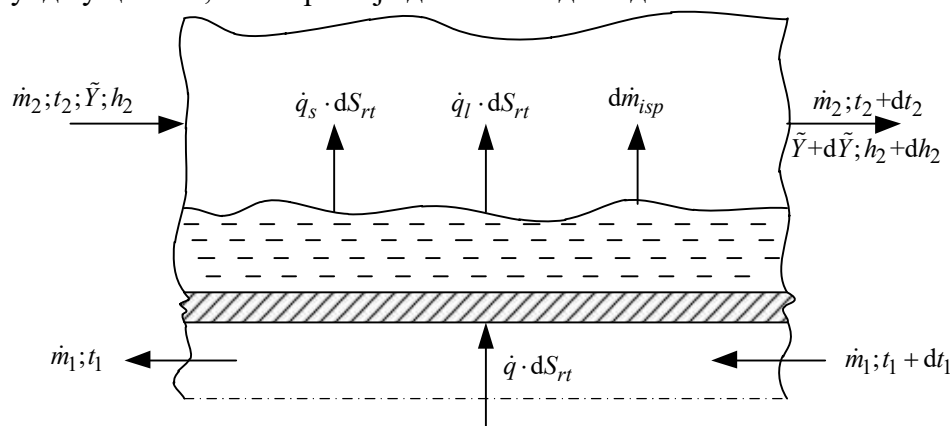
Упоређујући евапоративне орошавајуће размењиваче топлоте и РТОЦ са напрскавањем воде може се приметити да се разликују према:

- површини за размену топлоте – код евапоративних РТ њу чини спољашња површина глатких цеви, а код РТОЦ је то укупна спољашња површина цеви са оребрењима,
- начину наструјавања орошавајуће воде – код евапоративних је то одозго на доле, а код РТОЦ може бити у било ком правцу (хоризонтално или вертикално),
- величини оквашене површине за размену топлоте – код евапоративних РТ је цела спољашња површина цеви оквашена напрскавајућом водом, док код РТОЦ то није случај, већ се проценат оквашености разликује од правца, начина распршивања, брзине и протока наструјавајуће воде, као и брзине ваздуха за хлађење РТ.

На основу тога што су механизми размене топлоте различити на оквашеним и неоквашеним деловима размењивача топлоте, може се закључити да је неопходно РТОЦ са орошавањем ваздуха посматрати као редну везу два размењивача топлоте – оквашеног и неоквашеног, па тако и рачунати одговарајуће размењене количине топлоте и параметре влажног ваздуха.

Имајући у виду да је механизам размене топлоте са елементарне површине контакта између радног флуида, воде и ваздуха код РТОЦ са распршивањем воде исти као код орошавајућих РТ, за оквашени део РТОЦ може се написати следеће (слика 2.20).

За посматрани сегмент РТ познати су параметри ваздуха (масени проток \dot{m}_2 , температура t_2 и апсолутна влажност ваздуха \tilde{Y}), као и масени проток \dot{m}_1 и температура t_1 радног флуида у цевима, а сматрано је да важи модел идеалног мешања.



Слика 2.21. Шематски приказ топлотних и материјалних токова са елементарне површине РТОЦ са напрскавањем воде

Количина испарене воде $d\dot{m}_{isp}$ [kg/s] са елементарне површине контакта воде и ваздуха може се одредити на основу израза (2.85), а имајући у виду да је спољашња

површина РТОЦ приближно једнака површини контакта воде и ваздуха (због мале дебљине слоја расхладне воде која струји преко РТ), следи да је

$$d\dot{m}_{isp} = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot dS_{rt} = \dot{m}_2 \cdot d\tilde{Y} \quad (2.90)$$

одакле се може написати

$$d\dot{m}_{isp} = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot dS_{rt} \quad (2.91)$$

па је промена апсолутне влажности ваздуха на датом сегменту РТ једнака

$$d\tilde{Y} = \frac{d\dot{m}_{isp}}{\dot{m}_2} \quad (2.92)$$

Укупна количина топлоте која се размени између расхладне воде и ваздуха \dot{q} [W/m²] једнака је

$$\dot{q} = \dot{q}_l + \dot{q}_s \quad (2.93)$$

где је латентна топлота \dot{q}_l [W/m²] једнака

$$\dot{q}_l = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \Delta h_A(t_{gr}) \quad (2.94)$$

а осетна топлота \dot{q}_s [W/m²] износи

$$\dot{q}_s = \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA}}{1 - \exp\left[-\frac{\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA}}{\alpha_2}\right]} \cdot (t_{gr} - t_2) \quad (2.95)$$

при чему α_2 [W/m²·K] представља коефицијент прелаза топлоте са спољашње површине РТ на ваздух.

Количина топлоте која се размени на сегменту оквашеног РТОЦ је са друге стране једнака количини топлоте која се размени између топлијег флуида и границе фаза

$$\dot{q} = k_{1gr} \cdot (t_1 - t_{gr}) \quad (2.96)$$

где је k_{1gr} [W/m²·K] коефицијент пролаза топлоте од топлијег флуида ка граници фаза, који ће бити детаљно разматран у одељку 5.2.1.

За сваки сегмент разматраног РТ потребно је одредити температуру на граници фаза t_{gr} [°C], а то је учињено итеративним поступком решавања једначине укупне размењене топлоте по температури t_{gr} , о чему ће у одељку 5.2.1 бити више речи.

Размењена осетна топлота утиче на промену температуре влажног ваздуха на посматраној деоници РТ

$$\dot{m}_2 \cdot \tilde{c}_{p2} \cdot dt_2 = \dot{q}_s \cdot dS_{rt} \quad (2.97)$$

па се може писати да је промена температуре влажног ваздуха за елементарну површину једнака

$$dt_2 = \frac{\dot{q}_s}{\dot{m}_2 \cdot \tilde{c}_{p2}} \cdot dS_{rt} \quad (2.98)$$

где је \tilde{c}_{p2} [J/kg·K] специфични топлотни капацитет влажног ваздуха при сталном притиску.

Укупно размењена количина топлоте утиче на промену енталпије влажног ваздуха

$$\dot{m}_2 \cdot dh_2 = \tilde{\beta}_Y \cdot (h_{gr} - h) \cdot dS_{rt} = \dot{q} \cdot dS_{rt} \quad (2.99)$$

одакле следи да је промена енталпије влажног ваздуха дуж елементарне површине једнака

$$dh_2 = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_2} \cdot dS_{rt} \quad (2.100)$$

Размењене количине топлоте са стране топле воде и ваздуха једнаке су због стационарности процеса размене топлоте, односно може се писати да је

$$\dot{m}_1 \cdot \tilde{c}_{p1} \cdot dt_1 = \dot{q} \cdot dS_{rt} \quad (2.101)$$

стога се промена температуре са стране топлијег (радног) флуида може израчунати преко израза

$$dt_1 = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_1 \cdot \tilde{c}_{p1}} \cdot dS_{rt} \quad (2.102)$$

где је \tilde{c}_{p1} [J/kg·K] специфични топлотни капацитет топле воде при сталном притиску.

Приликом разматрања случаја размене топлоте између ваздуха и радног флуида код неоквашеног (сувог) дела РТОЦ, размена топлоте се своди на пролаз топлоте између унутрашње и спољашње стране оребрених цеви, тј. може се писати да је

$$\dot{q} = k_{sp} \cdot (t_1 - t_2) \quad (2.103)$$

Имајући у виду да је та топлота резултат промене температуре топлијег и хладнијег флуида

$$\dot{m}_1 \cdot \tilde{c}_{p1} \cdot dt_1 = \dot{m}_2 \cdot \tilde{c}_{p2} \cdot dt_2 = \dot{q} \cdot dS_{rt} \quad (2.104)$$

следи да је промена температуре са стране влажног ваздуха једнака

$$dt_2 = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_2 \cdot \tilde{c}_{p2}} \cdot dS_{rt} \quad (2.105)$$

тј. да се промена температуре са стране топлијег флуида може израчунати на основу једначине (2.102), док је промену енталпије влажног ваздуха могуће израчунати према једначини (2.100).

У овом случају не долази до промене апсолутне влажности ваздуха на датој деоници РТ.

Коефицијент пролаза топлоте k_{sp} [W/m²·K] ће бити детаљно анализиран у одељку 5.2.1.

3. РАЗМЕНА ТОПЛОТЕ И СУПСТАНЦИЈЕ И ПАД ПРИТИСКА КОД РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ СА ОРЕБРЕНИМ ЦЕВИМА

При прорачуну коефицијента отпора струјању, као и прелаза топлоте и супстанције код размењивача топлоте са оребреним цевима, коришћена је теорија сличности, која ће овде бити укратко објашњена. Такође, биће наведене и основне теореме аналогија између транспорта количине кретања и преноса топлоте и супстанције на основу литературе [7].

3.1. ТЕОРИЈА СЛИЧНОСТИ

У науци и инжењерству при анализи и систематизацији експерименталних резултата основу чини теорија сличности, која се примењује у циљу решавања конкретних проблема и уопштавања резултата мерења. Заснива се на увођењу бездимензионих параметара карактеристичних за поједине врсте струјања и процеса. Како би се резултати теоријске, експерименталне или нумеричке анализе уопштили, користе се различите комбинације физичких величина које чине тзв. бездимензионе бројеве. Једино бездимензиони бројеви који воде порекло из бездимензионе анализе билансних једначина или неког другог физичког закона имају свој пуни физички значај и незаменљиву улогу у анализама разних струјања.

На пример, добро је позната примена ове теорије на проблем сличности троуглова, када се може користити да би се одредиле карактеристичне димензије објеката без непосредног мерења дужина (нпр. одређивање висине зграда, одређивање ширине реке, итд).

Теорија сличности је нашла широку примену при решавању инжењерских проблема везаних за струјање флуида и транспорт топлоте и супстанције, а основа теорије сличности се састоји у могућности да се за конкретан проблем нађе решење на бази постојећих сазнања проверених у пракси.

3.1.1. Сличност физичких појава

Када се процеси одвијају у физички сличним објектима и имају исту физичку природу, они су слични и припадају истој класи појаве, па се могу описати једначинама (или системима једначина) које су идентичне по форми и садржају. Према томе, може се говорити о сличности кретања, струјања, размене топлоте, размене супстанције, итд. Да би се сличност физичких појава могла разматрати, мора бити испуњено следеће:

1. Геометријска сличност система у којима се ове појаве одвијају.
2. Истородне физичке величине се могу упоређивати у одговарајућим тачкама простора и у одговарајућем временском тренутку.

Истородним физичким величинама се називају оне које имају исти физички смисао и димензије.

Координате тачака простора a и b у два система који се пореде требало би да задовољавају услове геометријске сличности:

$$K_l = \frac{z_1^b}{z_1^a} = \frac{z_2^b}{z_2^a} = \frac{z_3^b}{z_3^a} \quad (3.1)$$

при чему је K_l коефицијент геометријске сличности.

Одвијање физичких појава у времену у два система који се упоређују не мора да буде једнако, али је за њихову сличност потребно да временски интервали τ_a и τ_b мерени од почетка процеса задовољавају једначину

$$K_\tau = \frac{\tau^b}{\tau^a} \quad (3.2)$$

где K_τ представља коефицијент хомохроности. Када је $K_\tau = 1$, појаве се синхронно одигравају.

3. Сличност физичких величина подразумева сличност свих истоимених физичких величина које карактеришу посматране појаве, као и сличност поља тих величина која се једино разликују по размери.

Код сличности физичких појава поред захтева дефинисаних једначинама (3.1) и (3.2) мора бити испуњено и следеће

$$K_u = \frac{u^b}{u^a} \quad (3.3)$$

за било коју физичку величину u . Коефицијент K_u је коефицијент сличности.

За коефицијенте сличности важе следећа својства и правила њиховог формирања:

а) ако је посматрана величина вектор, нпр. брзина \vec{w} , са компонентама w_{z_1} , w_{z_2} и w_{z_3} , онда мора бити испуњено

$$K_w = \frac{\vec{w}^b}{\vec{w}^a} = \frac{w_{z_1}^b}{w_{z_1}^a} = \frac{w_{z_2}^b}{w_{z_2}^a} = \frac{w_{z_3}^b}{w_{z_3}^a} \quad (3.4)$$

За разлике величине u_i у два посматрана система важи

$$K_u = \frac{u^b}{u^a} = \frac{\Delta u^b}{\Delta u^a} = \frac{du^b}{du^a} \quad (3.5)$$

б) у неким процесима уместо физичких величина могу се посматрати и њихове промене у односу на друге величине (време, координата, итд).

За промену $\partial u / \partial z$ за два посматрана система биће $\partial u^a / \partial z^a$ и $\partial u^b / \partial z^b$, па ако постоје коефицијенти сличности

$$K_u = \frac{u^b}{u^a} \quad \text{и} \quad K_l = \frac{z^b}{z^a} \quad (3.6)$$

онда је веза између ова два диференцијала

$$\frac{\partial u^b}{\partial z^b} = \frac{K_u}{K_l} \cdot \frac{\partial u^a}{\partial z^a} \quad (3.7)$$

За други извод се може написати

$$\frac{\partial^2 u^b}{(\partial z^b)^2} = \frac{K_u}{K_l^2} \cdot \frac{\partial^2 u^a}{(\partial z^a)^2} \quad (3.8)$$

Нека се једна класа појава описује једначином општег облика

$$F(u_1, u_2, \dots, u_n) = 0 \quad (3.9)$$

где су u_1, u_2, \dots, u_n физичке величине помоћу којих се описује посматрана класа појава (брзина, време, температура, густина, концентрација...). Тада се за две сличне појаве у оквиру једне класе појава могу формирати два система једначина

$$\begin{aligned} F(u_1^a, u_2^a, \dots, u_n^a) &= 0 \\ F(u_1^b, u_2^b, \dots, u_n^b) &= 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Сличност две физичке величине се дефинише преко коефицијената сличности:

$$K_{u_i} = \frac{u_i^b}{u_i^a} \quad \text{за } i = 1, 2, \dots, n \quad (3.11)$$

што значи да се коефицијенти сличности не могу бирати произвољно, већ између њих мора да постоји једнозначно утврђена веза. Користећи претходни израз систем једначина (3.10) се може записати у облику

$$F(u_1^a, u_2^a, \dots, u_n^a) = 0$$

$$F(K_{u_1} \cdot u_1^a, K_{u_2} \cdot u_2^a, \dots, K_{u_n} \cdot u_n^a) = 0 \quad (3.12)$$

при чему се функционална веза између коефицијената сличности утврђује посебно за сваки постављени систем једначина.

3.1.2. Теореме теорије сличности

Да би се теорија сличности директно применила на резултате експеримената и они уопштили, при њиховом спровођењу потребно је знати које се величине мере, како се обрађују резултати мерења и на које појаве се добијени резултати могу применити.

Ако су појаве сличне, коефицијенти сличности се не могу усвајати произвољно, већ између њих постоје зависности које ограничавају произвољност њиховог избора. Користећи систем једначина (3.12) могу се добити бездимензиони комплекси, тј. бездимензиони бројеви, састављени од величина које карактеришу одређену класу појаве. Ти бездимензиони бројеви се називају критеријуми сличности и имају одређени физички смисао.

Основи теорије сличности се базирају на три теореме:

1. Прва теорема теорије сличности – у сличним појавама истоимени критеријуми сличности су једнаки.

Могућност изналажења критеријума сличности на основу диференцијалних једначина имају посебну важност у случају када се те једначине не могу решити у затвореном облику.

2. Друга теорема теорије сличности – интеграл диференцијалне једначине или система диференцијалних једначина може бити изражен у зависности од критеријума сличности који се на основу њих добијају.

У резултату интегралења диференцијалних једначина не могу се појављивати нови (допунски) критеријуми сличности, нити могу нестати стари.

3. Трећа теорема теорије сличности – сличне су појаве код је испуњено да:
 - имају једнаку физичку природу,
 - одвијају се у геометријски сличним системима,
 - гранични услови, тј. услови на граници система, су једнаки.

Критеријуми сличности који из ових услова произилазе имају једнаке бројчане вредности.

Експериментално испитивање било какве појаве у циљу њеног уопштавања за одређену класу појава мора бити извршено на основу ставова који произилазе из теорема теорије сличности:

1. у складу са првом теоремом у експерименту се одређују све величине које су садржане у критеријумима сличности за посматрану појаву,
2. на основу друге теореме резултати експеримента се приказују преко критеријума сличности, а зависност између њих се даје у облику критеријалних једначина,
3. према трећој теореме могуће је уопштавање добијених критеријалних једначина за све појаве које су сличне испитаним, тј. припадају истој класи.

3.2. КРИТЕРИЈУМИ СЛИЧНОСТИ

У природним наукама и инжењерству веома често се врше испитивања у лабораторијским условима на моделима који су мањих димензија у односу на тела стварних димензија (главни објекат или прототип) на којима некада није могуће извршити мерења. Лабораторијска испитивања на моделима су неупоредиво јефтинија од испитивања прототипа, а како би резултати добијени на моделу били применљиви на прототип, потребно је успоставити неке критеријуме, тзв. критеријуме сличности. Под „сличношћу“ се подразумева идентичност свих релевантних коресподентних бездимензијских величина датог модела и прототипа, или нека два система која се упоређују.

Основни предуслов за сличност два струјања јесте услов геометријске сличности под којом се подразумева да су модел и прототип, или два система, истог геометријског облика и да је модел увећана/смањена верзија прототипа, тј. однос било које две одговарајуће дужине је исти, као и сви углови модела и прототипа. Такође, услови на граници ова два система морају бити слични. Геометријска сличност је значајна не само за транспорт количине кретања, већ и за транспорт топлоте и супстанције.

Поред геометријске сличности неопходан услов да би се две појаве у два система сматрале сличним је кинематска сличност, која подразумева сличност просторне струјне слике модела и прототипа, тј. сличност поља брзине и убрзања.

Да би постојала кинематска сличност, мора постојати и динамичка сличност под којом се подразумева сличност одговарајућих сила у коресподентним тачкама модела и прототипа које узрокују струјање флуида (назива се и флуидодинамичка сличност), а одговарајући критеријуми се добијају из једначина кретања флуида.

Термодинамичка сличност подразумева сличност температурских поља у одговарајућим тачкама модела и прототипа.

3.2.1. Критеријуми сличности и критеријалне једначине при транспорту количине кретања

Једначине количине кретања, тј. Навије-Стоксове једначине, вискозног нестишљивог флуида у пољу конзервативних сила при ламинарном струјању у Декартовом координатном систему (осе z_1, z_2, z_3) гласе

$$\frac{Dw_{z_i}}{Dt} = g_{z_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z_i} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 w_{z_i}}{\partial z_1^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}}{\partial z_2^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}}{\partial z_3^2} \right) \quad \text{за } i = 1, 2, 3 \quad (3.13)$$

при чему су:

- w_{z_i} [m/s] – компоненте вектора брзине у правцу осе z_i ,
- g_{z_i} [m/s²] – компоненте резултујуће конзервативне силе у правцу осе z_i ,
- ρ [kg/m³] – густина флуида,
- p [Pa] – статички притисак,
- ν [m²/s] – кинематска вискозност.

Флуидодинамичко стање система се допуњује једначином континуитета која у општем облику гласи

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho \cdot w_{z_1})}{\partial z_1} + \frac{\partial(\rho \cdot w_{z_2})}{\partial z_2} + \frac{\partial(\rho \cdot w_{z_3})}{\partial z_3} = 0 \quad (3.14)$$

а у случају струјања нестишљивог флуида ($\rho = \text{const}$) има облик

$$\frac{\partial w_{z_1}}{\partial z_1} + \frac{\partial w_{z_2}}{\partial z_2} + \frac{\partial w_{z_3}}{\partial z_3} = 0 \quad (3.15)$$

Једначине струјања флуида (Навије-Стоксове једначине) за појаве a и b гласе

$$\frac{Dw_{z_i}^a}{D\tau^a} = g_{z_i}^a - \frac{1}{\rho^a} \frac{\partial p^a}{\partial z_i^a} + \nu^a \cdot \left(\frac{\partial^2 w_{z_i}^a}{(\partial z_1^a)^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}^a}{(\partial z_2^a)^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}^a}{(\partial z_3^a)^2} \right) \quad (3.16)$$

$$\frac{Dw_{z_i}^b}{D\tau^b} = g_{z_i}^b - \frac{1}{\rho^b} \frac{\partial p^b}{\partial z_i^b} + \nu^b \cdot \left(\frac{\partial^2 w_{z_i}^b}{(\partial z_1^b)^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}^b}{(\partial z_2^b)^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}^b}{(\partial z_3^b)^2} \right) \quad (3.17)$$

Уведећи одговарајуће коефицијенте сличности за појаве a и b у облику

$$K_l = \frac{z_i^b}{z_i^a} \quad (3.18)$$

$$K_w = \frac{\bar{w}^b}{\bar{w}^a} = \frac{w_{z_i}^b}{w_{z_i}^a} \quad (3.19)$$

$$K_\tau = \frac{\tau^b}{\tau^a} \quad (3.20)$$

$$K_\rho = \frac{\rho^b}{\rho^a} \quad (3.21)$$

$$K_p = \frac{p^b}{p^a} \quad (3.22)$$

$$K_g = \frac{g_{z_i}^b}{g_{z_i}^a} \quad (3.23)$$

$$K_\nu = \frac{\nu^b}{\nu^a} \quad (3.24)$$

и користећи дефиницију материјалног извода вектора брзине

$$\frac{D\bar{w}}{D\tau} = \frac{\partial \bar{w}}{\partial \tau} + (\bar{w}, \nabla) \bar{w} \quad (3.25)$$

или записану у индексном облику

$$\frac{Dw_{z_i}}{D\tau} = \frac{\partial w_{z_i}}{\partial \tau} + w_{z_j} \frac{\partial w_{z_i}}{\partial z_j} \quad \text{за } i, j = 1, 2, 3 \quad (3.26)$$

добеће се Навије-Стоксове једначине за појаву b

$$\begin{aligned} & \frac{K_w}{K_\tau} \cdot \frac{\partial w_{z_i}^a}{\partial \tau^a} + \frac{K_w^2}{K_l} \cdot \left[\frac{\partial w_{z_i}^a}{\partial z_1^a} \cdot w_{z_1}^a + \frac{\partial w_{z_i}^a}{\partial z_2^a} \cdot w_{z_2}^a + \frac{\partial w_{z_i}^a}{\partial z_3^a} \cdot w_{z_3}^a \right] = \\ & = K_g \cdot g_{z_i}^a - \frac{K_p}{K_\rho \cdot K_l} \cdot \frac{1}{\rho^a} \cdot \frac{\partial p^a}{\partial z_i^a} + \frac{K_\nu \cdot K_w}{K_l^2} \cdot \nu^a \cdot \left[\frac{\partial^2 w_{z_i}^a}{(\partial z_1^a)^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}^a}{(\partial z_2^a)^2} + \frac{\partial^2 w_{z_i}^a}{(\partial z_3^a)^2} \right] \end{aligned} \quad (3.27)$$

Константе у овој парцијалној диференцијалној једначини морају бити међусобно једнаке да би описане појаве припадале истој класи, тако да је

$$\frac{K_w}{K_\tau} = \frac{K_w^2}{K_l} = K_g = \frac{K_p}{K_\rho \cdot K_l} = \frac{K_\nu \cdot K_w}{K_l^2} \quad (3.28)$$

при чему чланови $\frac{K_w}{K_\tau}$ и $\frac{K_w^2}{K_l}$ представљају локални и конвективни део инерцијалних сила, члан K_ρ описује масене (конзервативне) силе, члан $\frac{K_p}{K_\rho \cdot K_l}$ описује силе притиска, док члан $\frac{K_v \cdot K_w}{K_l^2}$ представља силе вискозног трења, односно тангенцијалне силе.

На основу једначине (3.28) дефинишу се бездимензиони параметри, тј. бездимензиони бројеви:

- Фрудов број, који дефинише однос између инерцијалних и масених сила када оне представљају силу Земљине теже:

$$Fr = \frac{(w^a)^2}{g^a \cdot l^a} = \frac{(w^b)^2}{g^b \cdot l^b} = \frac{w^2}{g \cdot l} = const \quad (3.29)$$

- Ојлеров број, који дефинише однос између промене статичког (тј. отпора струјању флуида у систему) и динамичког притиска:

$$Eu = \frac{\Delta p^a}{\rho^a \cdot (w^a)^2} = \frac{\Delta p^b}{\rho^b \cdot (w^b)^2} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot w^2} = const \quad (3.30)$$

- Рејнолдсов број, који дефинише однос између инерцијалних и сила вискозног трења:

$$Re = \frac{w^a \cdot l^a}{\nu^a} = \frac{w^b \cdot l^b}{\nu^b} = \frac{w \cdot l}{\nu} = const \quad (3.31)$$

На основу овога се закључује да у флуидодинамички сличним системима у свакој тачки система критеријуми сличности имају једнаке бројчане вредности, па се може дефинисати општа критеријална једначина у облику

$$Eu = Eu(Fr, Re) \quad (3.32)$$

Ова општа зависност важи у случају принудног струјања флуида за који се може одредити карактеристична брзина w .

3.2.2. Критеријуми сличности и критеријалне једначине за размену топлоте

Термодинамичка, односно топлотна сличност подразумева слична температурска поља која се јављају само када постоје слични услови размене топлоте у два система, при чему се подразумева да су испуњени и услови геометријске и кинематске сличности.

У случају размене топлоте при струјању флуида температурско поље је функција и брзинског поља, па за хомоген невискозни нестишљив флуид, занемарујући постојање топлотних извора/понора у систему, једначина енергије има облик

$$\frac{DT}{D\tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z_3^2} \right) \quad (3.33)$$

где је:

- T [K] – апсолутна температура,
- a [m^2/s] – топлотна дифузивност (температурна проводљивост):

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot \tilde{c}_p} \quad (3.34)$$

- \tilde{c}_p [J/(kg·K)] – специфични топлотни капацитет,
- λ [W/(m·K)] – топлотна проводљивост.

У анализи процеса размене топлоте при струјању флуида користе се флуидодинамички индикатори сличности, при чему из једначине енергије произилази нови коефицијент сличности (однос коефицијената температурне проводљивости):

$$K_a = \frac{a^b}{a^a} \quad (3.35)$$

док се сличност температурских поља изражава преко коефицијента сличности

$$K_T = \frac{T^b}{T^a} \quad (3.36)$$

На основу једначине енергије (3.33) следи једначина

$$\frac{K_T}{K_\tau} = \frac{K_w \cdot K_T}{K_l} = \frac{K_a \cdot K_T}{K_l^2} \quad (3.37)$$

при чему члан $\frac{K_T}{K_\tau}$ представља локалну промену, тј. нестационарност процеса

транспорта топлоте, а чланови $\frac{K_w \cdot K_T}{K_l}$ и $\frac{K_a \cdot K_T}{K_l^2}$ представљају конвективни и молекуларни транспорт топлоте, респективно.

На основу претходне једначине, дефинишу се следећи бездимензиони критеријуми:

- Пеклеов број, који представља однос између интензитета конвективног и молекуларног транспорта топлоте:

$$Pe = \frac{w \cdot l}{a} = const \quad (3.38)$$

- Прантлов број, који представља количник Пеклеовог и Рејнолдсовог броја:

$$Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot \tilde{c}_p}{\lambda} \quad (3.39)$$

Прантловим бројем се дефинише однос између ефективне дебљине динамичког и температурског филма.

Уколико се посматра размена топлоте са неке површине, или на граници фаза, количине топлоте размењене између флуида и граничне површине \dot{q} [W/m²] преко кондукције и конвекције морају бити исте:

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z=0} = \alpha \cdot \Delta T \quad (3.40)$$

где је:

- α [W/m²·K] – коефицијент прелаза топлоте (конвекције),
- ΔT [K] – разлика температура флуида на граници фаза и у зони непоремећеног струјања, тј. погонска сила размене топлоте.

Ако се уведе коефицијент сличности коефицијената топлотне проводљивости

$$K_\lambda = \frac{\lambda^b}{\lambda^a} \quad (3.41)$$

на основу једначине (3.40) добиће се индикатор сличности

$$\frac{K_\lambda \cdot K_T}{K_l} = K_\alpha \cdot K_T \quad (3.42)$$

одакле следи

- Нуселтов број, који карактерише интензитет преноса топлоте на граници између чврстог тела и флуида:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = const \quad (3.43)$$

Интензитет размењене количине топлоте зависи од струјног и температурског поља у систему, па се може закључити да важи следећа општа критеријална једначина:

$$Nu = Nu[Fr, Re, Pr, (Pe), \dots] \quad (3.44)$$

Често се у литератури уместо Нуселтовог броја користи

- Стентонов број, који представља однос између количине топлоте (топлотног флукса) која се размени између флуида и граничне површине и количине топлоте која би се добила ако би флуид променио температуру од оне коју има у зони непоремећеног струјања до оне на граници између фаза:

$$St = \frac{Nu}{Pe} = \frac{\alpha}{\tilde{c}_p \cdot \rho \cdot w} \quad (3.45)$$

У англосаксонској литератури се уместо Нуселтовог броја користи тзв. j_H фактор:

$$j_H = St \cdot Pr^{2/3} \quad (3.46)$$

одакле следи зависност

$$Nu = j_H \cdot Re \cdot Pr^{1/3} \quad (3.47)$$

3.2.3. Критеријуми сличности и критеријалне једначине за размену супстанције

Дифузиона сличност се огледа у сличним концентрационим пољима која се јављају само када постоје слични услови размене супстанције у два система, при чему се подразумева да су испуњени и услови геометријске и кинематске сличности. Критеријуми сличности и критеријалне једначине за процесе размене супстанције се у овом поглављу такође дефинишу на основу [7] и то за случај транспорта супстанције у једнофазном двокомпонентном систему (А и В). При струјању флуида концентрационо поље је функција и брзинског поља, па се одређени критеријуми сличности добијају анализом једначина кретања и једначине биланса супстанције.

Размена супстанције у систему се описује помоћу једначине биланса по компоненти А и, ако се претпостави да у систему нема извора или понора супстанције, изражава се у облику

$$\frac{Dc_A}{D\tau} = D_{AB} \cdot \left(\frac{\partial^2 c_A}{\partial z_1^2} + \frac{\partial^2 c_A}{\partial z_2^2} + \frac{\partial^2 c_A}{\partial z_3^2} \right) \quad (3.48)$$

где је:

- c_A [kmolA/m³] – молска концентрација компоненте А у мешавини А + В,
- D_{AB} [m²/s] – коефицијент дифузије компоненте А кроз мешавину А + В.

За даљу анализу процеса размене супстанције потребно је увести коефицијент сличности коефицијената дифузије

$$K_D = \frac{D_{AB}^b}{D_{AB}^a} \quad (3.49)$$

Сличност концентрационих поља се изражава преко коефицијента сличности:

$$K_{c_A} = \frac{c_A^b}{c_A^a} \quad (3.50)$$

На основу једначине супстанцијалног биланса (3.48) следи једначина

$$\frac{K_{c_A}}{K_\tau} = \frac{K_w \cdot K_{c_A}}{K_l} = \frac{K_D \cdot K_{c_A}}{K_l^2} \quad (3.51)$$

при чему члан $\frac{K_{c_A}}{K_\tau}$ представља нестационарност процеса размене супстанције, а чланови $\frac{K_w \cdot K_{c_A}}{K_l}$ и $\frac{K_D \cdot K_{c_A}}{K_l^2}$ описују конвективни и молекуларни транспорт супстанције, респективно.

На основу претходног, дефинишу се следећи бездимензиони критеријуми:

- Пеклеов дифузиони број, који представља однос између интензитета конвективног и молекуларног транспорта супстанције:

$$Pe_D = \frac{w \cdot l}{D_{AB}} = const \quad (3.52)$$

- Шмитов број, који представља количник Пеклеовог дифузионог и Рејнолдсовог броја:

$$Sc = \frac{Pe_D}{Re} = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad (3.53)$$

Шмитов број, слично као и Прантлов при размени топлоте, дефинише однос између ефективне дебљине динамичког и концентрационог филма.

Систем диференцијалних једначина кретања и једначине супстанцијалног биланса не даје једнозначна решења без познатих граничних услова. Гранични услов за транспорт супстанције се даје преко специфичног молског протока компоненте А који се обележава са N_A [$\text{kmolA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]:

$$N_A = \beta \cdot \Delta c_A \quad (3.54)$$

где је:

- β [$\text{kmolA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{kmolA}/\text{m}^3))$] – коефицијент транспорта супстанције на граници флуидне струје и зида,
- Δc_A [kmolA/m^3] – разлика запреминских молских концентрација компоненте А на граници фаза и у зони непоремећеног струјања, тј. погонска сила процеса размене супстанције.

Разликују се два карактеристична случаја значајна за техничку праксу – еквимоларни супротносмерни транспорт супстанције и транспорт супстанције кроз стагнант. С обзиром да је у овом раду интересантан случај транспорта супстанције кроз стагнант, у наставку ће се приказати критеријуми сличности дефинисани за овај модел транспорта супстанције.

Транспорт супстанције кроз стагнант се може описати следећом једначином:

$$N_A = \beta^s \cdot \Delta c_A = \frac{D_{AB}}{\delta_c} \cdot \frac{c}{c_{Bln}} \cdot \Delta c_A \quad (3.55)$$

при чему су:

- $\beta^s = \frac{D_{AB}}{\delta_c} \cdot \frac{c}{c_{Bln}}$ [$\text{kmolA}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{kmolA}/\text{m}^3))$] – коефицијент прелаза компоненте А кроз стагнант В,
- δ_c [m] – дебљина филмског слоја флуида,
- c [kmolA/m^3] – молска концентрација мешавине,
- c_{Bln} [kmolA/m^3] – средња логаритамска концентрација стаганта.

Уводећи нове коефицијенте сличности и то:

- коефицијент сличности коефицијената прелаза супстанције

$$K_{\beta} = \frac{(\beta^s)^b}{(\beta^s)^a} \quad (3.56)$$

- коефицијент сличности укупне концентрације

$$K_c = \frac{c^b}{c^a} \quad (3.57)$$

као и

- коефицијент сличности концентрација компоненте В

$$K_{c_B} = \frac{c_B^b}{c_B^a} \quad (3.58)$$

добриће се нови индикатор сличности

$$\frac{K_{\beta} \cdot K_l}{K_D} \cdot \frac{K_{c_B}}{K_c} = 1 \quad (3.59)$$

односно

$$K_{\beta} = \frac{K_D}{K_l} \cdot \frac{K_c}{K_{c_B}} \quad (3.60)$$

Из претходно дефинисаног индикатора сличности следи Шервудов број:

$$\text{Sh} = \frac{\beta^s \cdot l}{D_{AB}} \cdot \frac{c_{B \ln}}{c} \quad (3.61)$$

Уколико је Колбурнов коефицијент прелаза супстанције једнак

$$B^s = \beta^s \cdot c_{B \ln} \quad (3.62)$$

може се написати

$$\text{Sh} = \frac{B^s \cdot l}{D_{AB} \cdot c} \quad (3.63)$$

С обзиром да интензитет транспорта супстанције зависи од струјног и концентрационог поља у систему, може се закључити да важи следећа општа критеријална једначина

$$\text{Sh} = \text{Sh}[\text{Fr}; \text{Re}; \text{Sc}; (\text{Pe}_D); \dots] \quad (3.64)$$

Често се у литератури уместо Шервудовог броја користи Стентонов дифузиони број:

$$\text{St}_D = \frac{\text{Sh}}{\text{Pe}_D} = \frac{B^s}{c \cdot w} \quad (3.65)$$

У англосаксонској литератури се уместо Нуселтовог броја користи тзв. j_D фактор:

$$j_D = \text{St}_D \cdot \text{Sc}^{2/3} \quad (3.66)$$

одакле следи зависност

$$\text{Sh} = j_D \cdot \text{Re} \cdot \text{Sc}^{1/3} \quad (3.67)$$

3.2.4. Аналогија преноса количине кретања, топлоте и супстанције

Могуће је уочити сличности физичких величина и самих појава које су описане карактеристичним једначинама количине кретања, преноса топлоте и супстанције. Уколико се има у виду филмска теорија, сви отпори транспорту (количине кретања, топлоте и супстанције) концентрисани су у слоју флуида одговарајуће дебљине (уобичајено се ефективне дебљине динамичког слоја, температурског и концентрационог слоја обележавају са δ_w , δ_T и δ_c , респективно), при чему се транспорт кроз филм обавља молекуларним путем:

$$\sigma = -\mu \cdot \frac{dw}{dz} \quad (3.68)$$

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dz} \quad (3.69)$$

$$J_A = -D_{AB} \cdot \frac{dc_A}{dz} \quad (3.70)$$

Аналогију између преноса количине кретања и топлоте први је уочио Озборн Рејнолдс 1874. године. Чилтон и Колбурн су у чланку [8] анализирали расположиве експерименталне податке и дошли до закључка да се за случајеве струјања преко равне плоче, кроз цеви, као и код попречног наструјавања цеви Рејнолдсова аналогија може кориговати и уопштити, а у литератури [9] она је изведена и детаљно објашњена.

На основу Чилтон–Колбурнове аналогије може се рећи да Прантлов број дефинише однос између ефективне дебљине динамичког и температурског филма:

$$\frac{\delta_w}{\delta_T} = \text{Pr}^{1/3} \quad (3.71)$$

У раду [10] се на основу аналогије прелаза топлоте и супстанције анализира утицај конвективних топлотних оптерећења са ледене површине. Прорачунавана су сензибилна и латентна топлотна оптерећења, при чему је одређивање коефицијента испаравања било базирано на примени Чилтон–Колбурнове аналогије.

Поред изложених феномена, у скорије време је дато свега још неколико потврда Рејнолдсове, односно Чилтон–Колбурнове аналогије. нпр. у области ламинарног струјања флуида преко цевног снопа једначине објављене у [11] и [12] показују да се може применити Чилтон–Колбурнова аналогија.

4. ПРЕГЛЕД ДОСТУПНЕ ЛИТЕРАТУРЕ

С обзиром да на глобалном нивоу расту како дневне тако и годишње температуре, постизање пројектоване размењене количине топлоте са околином у случају хлађења амбијенталним ваздухом је отежано. Стога ваздушно хлађење са распршивањем воде све више добија на значају и постало је незаменљиво код многих индустријских процеса као што су: заштита од опасних гасова [13] и пожара [14], медицински третмани [15], конзервирање хране [16], чишћење површина [17], производња челика, нпр. шина за пруге [18] и друго.

Распршивање воде се у индустрији производње челика користи при хлађењу слабова и у литератури се могу наћи многобојни радови на ту тему. Говори се о хлађењу водом површина високе температуре када млаз воде нормално удара о њу [19], [20], при промени притиска воденог млаза [21], при промени угла нагиба млазница за што ефикасније одвођење топлоте [22] или растојања млазнице од хлађене површине [23]. Такође, показало се да кретање површине повећава ефикасност хлађења ваљака и трака [24]. Могу се наћи и радови на тему хлађења унутрашње [25] или спољашње површине [26] загрејане цеви. У раду [26] су вршена и испитивања утицаја положаја млазева (настујавање одозго или одоздо), као и распршивања мешавине воде и ваздуха у одређеним односима.

Када се говори о хлађењу са распршивањем воде у области размењивача топлоте примењених у процесној техници, термотехници и термоенергетици, распршивање воде може значајно повећати размену топлоте у комбинацији са релативно малим повећањем пада притиска. Разни модели су развијени и углавном се базирају на РТ одређене геометрије, при чему се код већине њих претпоставља да је површина комплетно овлажена (у случају РТ са оребреним цевима ово је готово немогуће постићи). Аутори су се углавном усредсредили на испитивање и математичко моделирање евапоративних расхладних кула, па се у литератури могу наћи многобројни радови на ову тему, али када се говори о хлађењу са распршивањем воде у области размењивача топлоте са оребреним цевима литературни извори су скромни.

У прегледу доступне литературе разматрани су и анализирани режими рада размењивача топлоте са оребреним цевима са орошавањем ваздуха на улазу у апарат. У наставку је дат хронолошки преглед најзначајнијих радова из отворене литературе у којима су приказана истраживања из области размене топлоте и пада притиска код ових апарата.

4.1. FINLAY И MCMILLAN [27]

Као један од првих доступних радова из отворене литературе који се бави орошавањем ваздуха може се наћи рад [27], чији су аутори најпре разматрали и мерили пад притиска при струјању ваздуха без овлаживања преко снопа неоребрених цеви у шаховском распореду са по 7 редова по дубини и висини РТ, а потом су урађена и мерења при струјању мешавине ваздуха и воде, чији су резултати представљени на слици 4.1.

Аутори уводе фактор ξ који су дефинисали као однос масеног протока напскавајуће воде и збира запреминских протока воде и сувог ваздуха помноженог густином ваздуха:

$$\xi = \frac{\dot{V}_L \cdot \rho_L}{(\dot{V}_G + \dot{V}_L) \cdot \rho_G} = \frac{1}{\frac{\dot{V}_G \cdot \rho_G}{\dot{V}_L \cdot \rho_L} + \frac{\rho_G}{\rho_L}} = \frac{1}{\frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_L} + \frac{\rho_G}{\rho_L}} \quad (4.1)$$

Имајући у виду да је $\frac{\rho_G}{\rho_L} \ll 1$, следи

$$\xi = \frac{1}{\frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_L}} = \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_G} \quad (4.2)$$

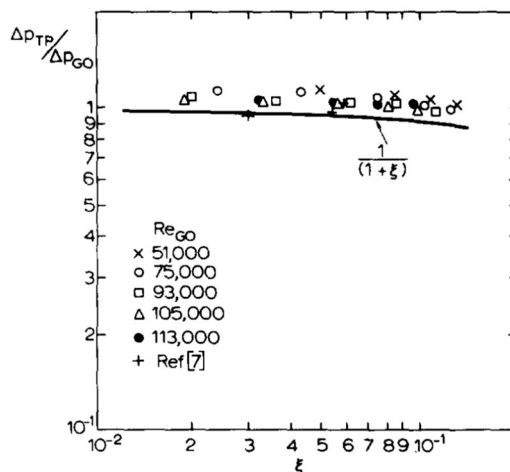


Fig. 3. Correlation of two-phase pressure drop.

Слика 4.1. Репринт из чланка [27]

Коришћењем овог фактора долази се до односа пада притиска када преко РТ струји мешавина воде и ваздуха и само суви ваздух који износи $1/(1+\xi)$:

$$\frac{\Delta p_{LG}}{\Delta p_G} = \frac{1}{1+\xi} \quad (4.3)$$

одакле следи да је

$$\frac{\Delta p_{LG}}{\Delta p_G} = \frac{1}{1 + \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_G}} = \frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_G + \dot{m}_L} \quad (4.4)$$

при чему је масени проток ваздуха већи од масеног протока напрскавајуће воде и на основу чега се не могу извући битнији закључци у вази са падом притиска.

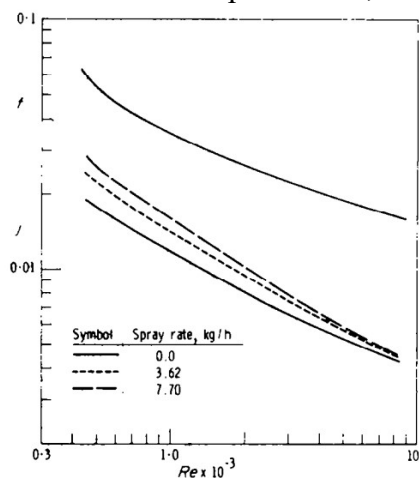
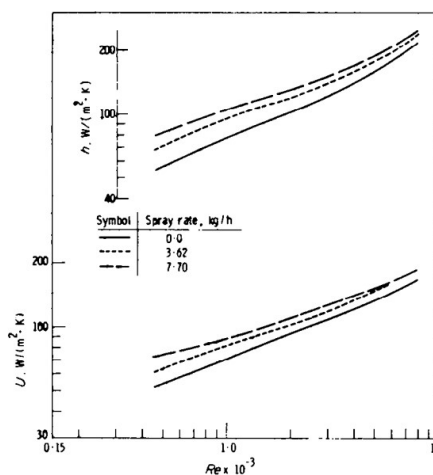
4.2. YANG И CLARK [28]

У раду [28] су тестирана три типа аутомобилских хладњака са спљоштеним цевима са равним (ламеластим), крљушним и перфорираним ребрима у аеродинамичком тунелу, при чему су у табели 4.1. дате геометријске карактеристике испитиваних размењивача топлоте са равним ребрима од бакра. Како се може приметити, димензије као што су дебљина ребра и хидраулички пречник су дискутабилне. За њихово испитивање коришћена је топла вода приближно константне температуре 88°C у затвореном цевном кругу. Извршена су испитивања и упоређивања понашања РТ (размена топлоте и пад притиска са ваздушне стране) при „сувим“ и „влажним“ режимима са протоком распршене течности од $3,62 \div 7,7 \text{ kg/h}$ ($1,26 \div 2,52 \text{ ml/s}$). У влажним режимима вода или етилен-гликол су распршивани у струју ваздуха. Рејнолдсов број (рачунат преко хидрауличког пречника) је у опсегу од 400 до 8000.

Табела 4.1. Геометријске карактеристике испитиваних размењивача топлоте са равним ребрима из чланка [28]

H [mm] – висина размењивача топлоте	305
B [mm] – ширина размењивача топлоте	305
L [mm] – дужина размењивача у смеру струјања ваздуха	70
d_{sl} [cm] – димензије цеви у подужном правцу	1,81
d_{sp} [cm] – димензије цеви у попречном правцу	0,33
s_l [cm] – подужни корак цеви	0,914
N_r [1/cm] – број ребара по јединици дужине	3,94
δ_r [cm] – дебљина ребра	$7,62 \cdot 10^{-3}$
d_h [cm] – хидраулички пречник	0,0976

Код сва три типа РТ аутори су приметили да распршивање воде не утиче на губитке услед трења, али се постиже значајно повећање размене топлоте (на слици 4.2. дати су репринти из [28] за РТ са равним ребрима). Ово повећање је најизраженије код малих Re бројева и то око $40 \div 45\%$ у области $Re = 500 \div 1000$ (слика 4.3). Како Re број расте, тако су ова повећања размене топлоте са ваздушне стране све мања (нпр. повећање је око 13% при $Re = 7000$), што аутори приписују одвајању танког слоја (филма) течности који се формира на површини ребара. Повећање преноса топлоте конвекцијом са ваздушне стране помоћу распршивања течности аутори објашњавају последицом формирања филма течности на површини РТ, док је допринос испаравања скоро занемарљив.

FIG. 5. f and j vs Re for plain-finned tubular heat exchanger.FIG. 6. h and U vs Re for plain-finned tubular heat exchanger.

Слика 4.2. Репринти из чланка [28]

Table 1. Increases in h and U due to liquid spray

Fin surface	Re	h (%)	U (%)
Plain	500	45.0	40.4
	1000	34.0	30.0
	7000	12.7	12.7
Louvered	500	44.4	40.6
	1000	30.3	28.5
	7000	6.2	6.1
Perforated	500	44.5	41.0
	1000	33.0	29.2
	7000	13.5	12.5

Слика 4.3. Репринт из чланка [28]

Иако етилен-гликол има два пута вишу температуру испаравања, интересантно је да даје готово исте резултате као и распршивање воде. Експеримент је показао да је размена топлоте код РТ са перфорираним ребрима мања него код РТ са равним ламеластим, односно крљушним ребрима.

4.3. NAKAYAMA, KUWANARA И HIRASAWA [29]

У раду [29] су добијени подаци о преносу топлоте и паду притиска за цеви са микро оребрењима, као и глатке и оребрене цеви спољног пречника 25,4 mm при хоризонталном струјању ваздуха са распршивањем воде. Испитивани су РТ са 4 реда цеви по дубини у смеру струјања ваздуха и са 8 ÷ 11 редова цеви по висини. Фасадна брзина ваздуха била је у опсегу 1 – 3 m/s, а масени проток воде 50 ÷ 390 kg/(m²·h).

У раду су графички представљене вредности коефицијента прелаза топлоте за сваки од 4 реда цеви РТ са оребреним цевима у зависности од разлике између температуре зида цеви и температуре ваздуха по сувом термометру на улазу у цевни сноп, при брзини ваздуха од 2 m/s и масеним протоком распршиване воде од 220 kg/(m²·h), што је приказано на слици 4.4, а дата је и одговарајућа корелација за Нуселтов број.

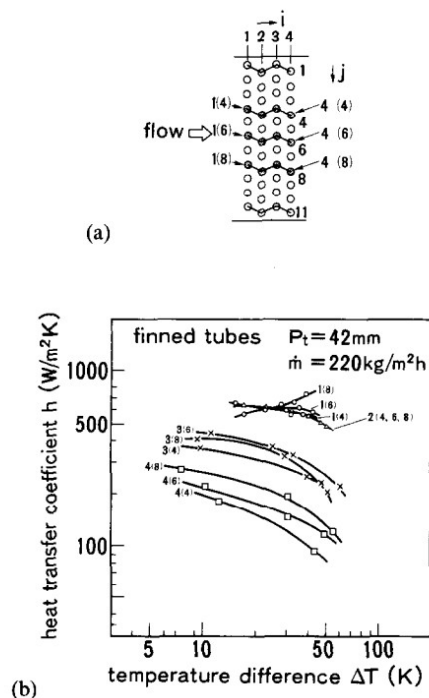


FIG. 8. Heat transfer coefficients on mist cooled finned tubes :
(a) sampled tube locations; (b) h - ΔT at $V_a = 2 \text{ m s}^{-1}$.

Слика 4.4. Репринт из чланка [29]

Такође, представљене су корелације за одређивање ефективне влажне површине цеви под датим условима (слика 4.5).

Аутори су добили повећање преноса топлоте од 300 ÷ 500 % без повећања пада притиска у односу на једнофазно струјање ваздуха, односно без промене брзине струјања ваздуха (слика 4.6).

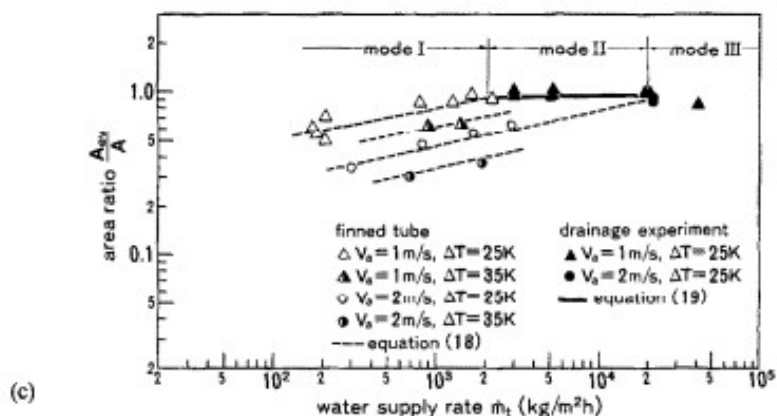


FIG. 9. Relationship between A_{av}/A and \dot{m}_t : (a) smooth tube; (b) microfinned tube; (c) finned tube.

Слика 4.5. Репринт из чланка [29]

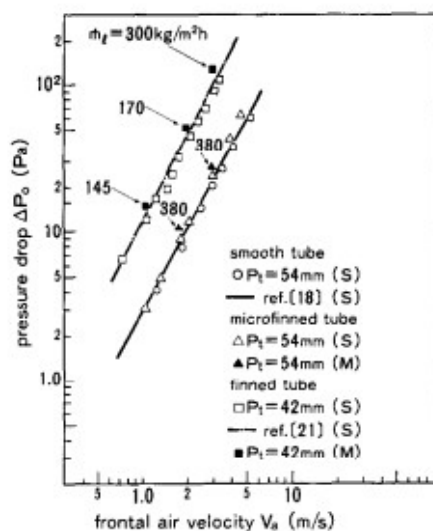


FIG. 10. Pressure drop across the tube bank.

Слика 4.6. Репринт из чланка [29]

4.4. DREYER, KRIEL И ERENS [30]

У раду [30] развијен је математички модел за анализирање рада РТ са распршивањем воде, који је валидиран експериментима. Сprovedена су мерења за 4 реда цеви оребреног РТ са елиптичним цевима и ребрима при вертикалном наструјавању мешавине распршене воде и ваздуха са доње стране РТ. Примећено је значајно побољшање перформанси (и до 3,5 пута у односу на „суви“ режим рада) које се може постићи распршивањем релативно мале количине воде на РТ.

Такође, мерен је и пад притиска услед струјања двофазне мешавине кроз РТ, при чему се показало да масени проток распршене воде има значајног утицаја на пад притиска у РТ.

Разматран је утицај промене односа масених протока воде и ваздуха на побољшање рада РТ са напскавањем воде, као и утицај промене релативне влажности ваздуха на улазу у апарат. Примећује се да је утицај напскавања воде на повећање перформанси РТ бржи при мањим масеним односима, док код већих односа није толико изражен (слика 4.7), а да је са повећањем релативне влажности ваздуха повећање преформанси РТ све мање (слика 4.8).

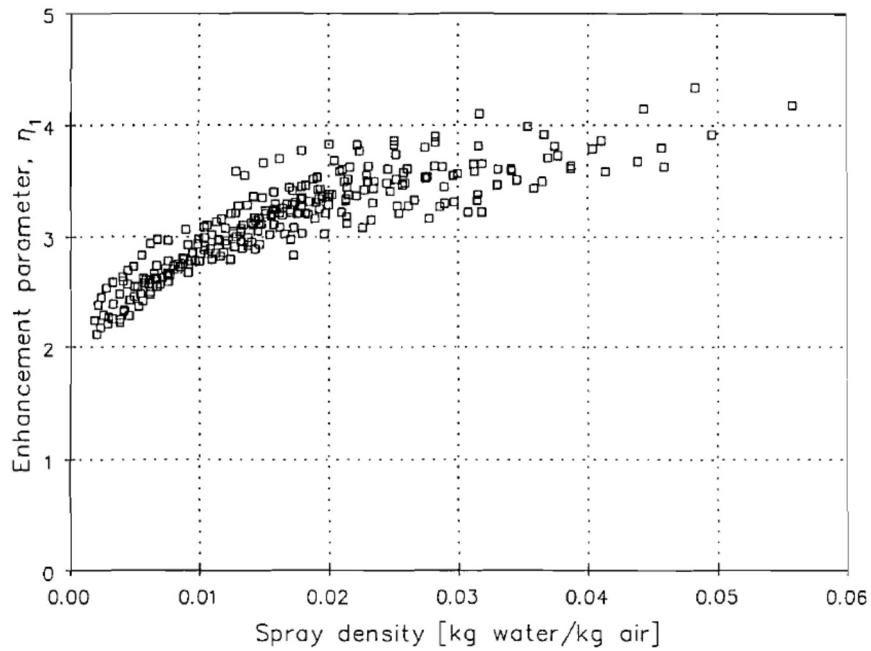


Figure 6 Variation of the enhancement parameter, η_1 , with spray water density.

Слика 4.7. Репринт из чланка [30]

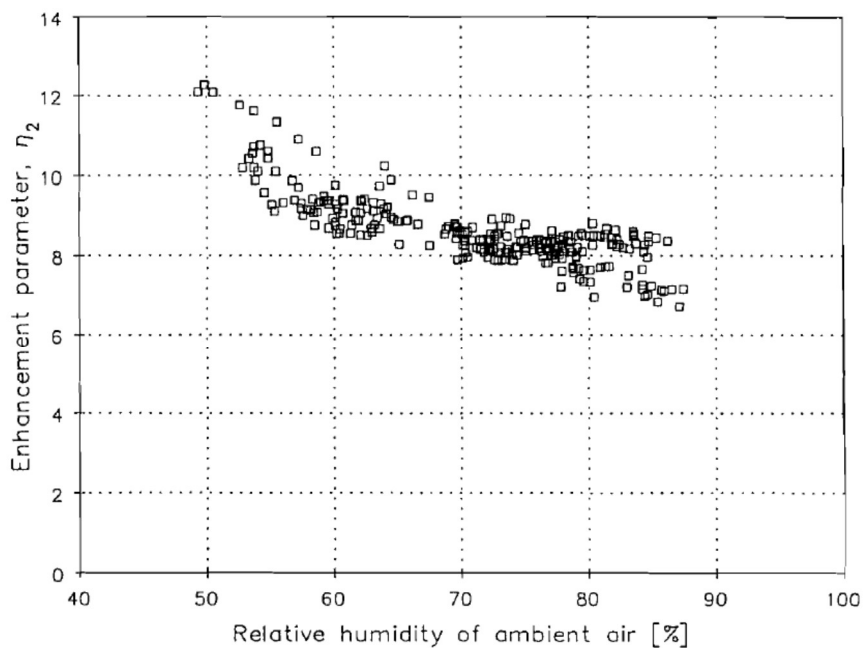


Figure 7 Variation of the enhancement parameter, η_2 , with ambient relative humidity.

Слика 4.8. Репринт из чланка [30]

На слици 4.9. приказан је пад притиска услед струјања двофазне мешавине воде и ваздуха кроз РТ, при чему је повећање пада притиска услед напрскавања воде при протоцима мањим од $250 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ релативно мало.

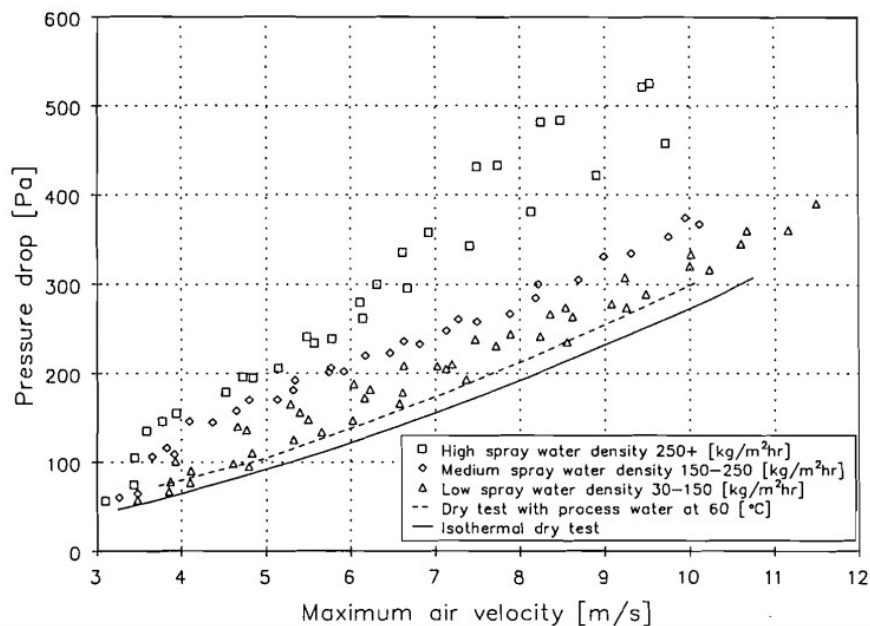


Figure 8 Two-phase pressure drop across the heat exchanger.

Слика 4.9. Репринт из чланка [30]

Аутори су разматрали и утицај промене масеног протока напскаване воде и брзине ваздуха на побољшање перформанси РТ, где се може приметити да се преформансе побољшавају са повећањем масеног протока воде, при чему достижу своју максималну вредност која зависи од максималне брзине ваздуха кроз РТ (слика 4.10). Може се закључити да се мора узети у обзир максимална брзина ваздуха приликом одређивања оптималног масеног протока воде за распршивање.

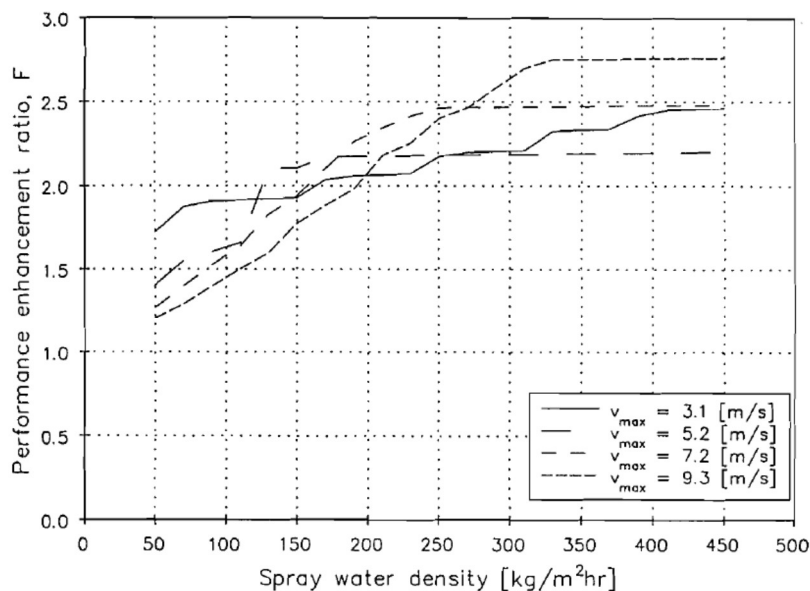


Figure 11 Predicted influence of spray water density and air velocity on the performance enhancement ratio.

Слика 4.10. Репринт из чланка [30]

4.5. HASAN И SIRÉN [31]

Аутори су у раду [31] испитивали перформансе два размењивача топлоте (са неоребреним цевима и цевима са ламеластим ребрима) са распршивањем воде и вертикалним струјањем ваздуха на горе под сличним радним условима и температурама топле воде на улазу у размењиваче. Примећено је значајно повећање размене топлоте од

око $92 \div 140$ % за ламеласте РТ при брзинама ваздуха од 1,66 до 3,57 m/s и масеном протоку воде $1,78 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Развијен је модел за израчунавање перформанси ових типова размењивача. Коефицијенти пролаза топлоте и преноса супстанције су мањи код оребрених РТ, али они имају већу површину за размену топлоте, па је и размењена количина топлоте већа. Оквашене површине имају мању ефикасност ребара због релативно високог коефицијента преноса топлоте у поређењу са сувим површинама. Просечна ефикасност ребара у овом раду је 43 %, при чему се може се приметити грешка у једначинама (15) и (16).

Аутори су графички представили размењену количину топлоте са околином у односу на разлику температура топле воде на улазу у размењиваче и околног ваздуха по влажном термометру (слика 4.11).

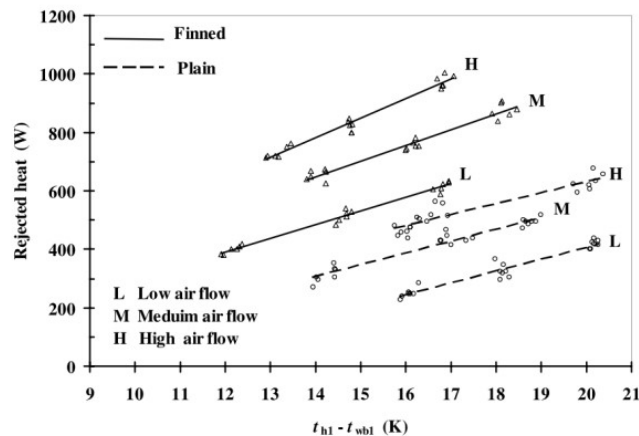


Fig. 4. Measured thermal performance of the plain and finned tubes.

Слика 4.11. Репринт из чланка [31]

У раду су дати и резултати мерења за коефицијенте прелаза топлоте са спољашње површине РТ на напскавану воду α_s и пролаза топлоте U_o (у овом раду је коефицијент пролаза топлоте обележен са k) у односу на температуру топле воде на улазу у размењиваче (слике 4.12. и 4.13).

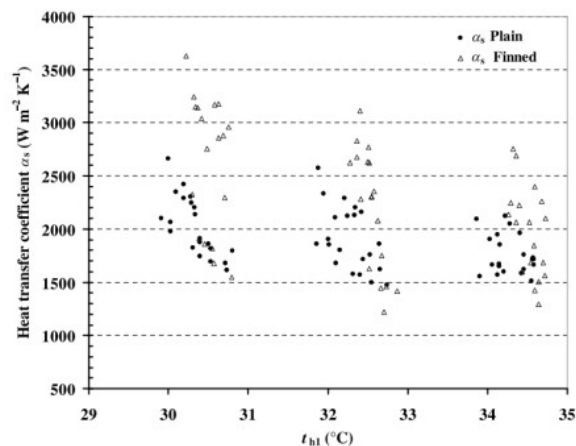


Fig. 5. Heat transfer coefficient α_s for the plain and finned tubes from the measurement data.

Слика 4.12. Репринт из чланка [31]

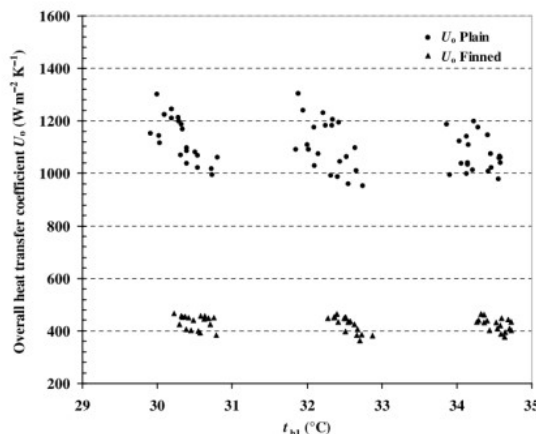


Fig. 6. Overall heat transfer coefficient U_o for the plain and finned tubes from the measurement data.

Слика 4.13. Репринт из чланка [31], $U_o = k$

Аутори у раду за сопствена мерења дају одговарајућу корелацију за коефицијент прелаза супстанције K_m , који се разматра као функција масеног протока ваздуха \dot{m}_a (у овом раду је масени проток ваздуха обележен са \dot{m}_G):

$$K_m = 3,29 \cdot \dot{m}_G^{0,874} \quad (4.5)$$

што је представљено и на одговарајућем дијаграму са корелацијама других аутора (слика 4.14).

Уводећи појам „индекс енергије“ E аутори индиректно дају и пад притиска у размењивачима топлоте у сувом режиму у односу на максималну брзину ваздуха у најужем попречном пресеку (слика 4.15):

$$E = \frac{U_o \cdot A_t / V}{\Delta p / z} \quad (4.6)$$

где су A_t и V укупна површина и запремина размењивача топлоте, а z представља њихову дужину.

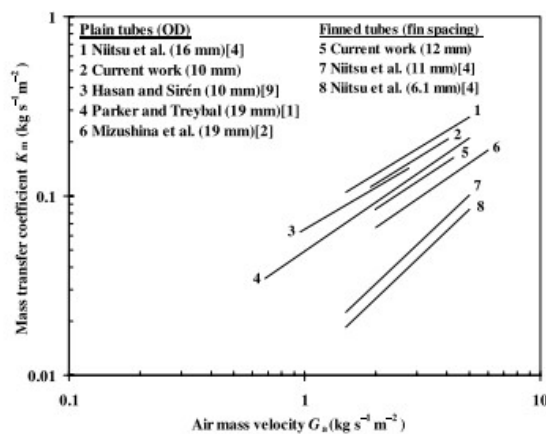


Fig. 8. Mass transfer coefficient K_m for plain and finned tubes for different works.

Слика 4.14. Репринт из чланка [31]

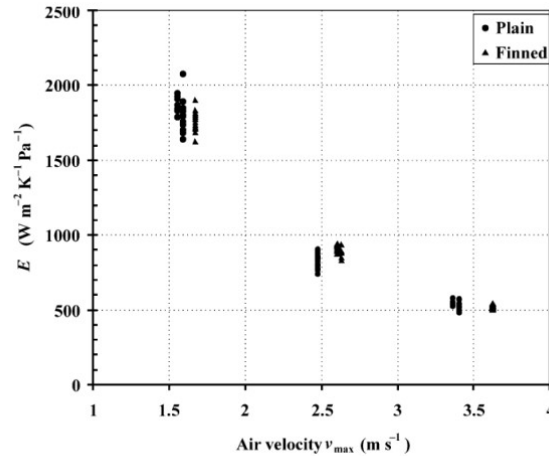


Fig. 9. Energy index for the plain and finned tube heat exchangers.

Слика 4.15. Репринт из чланка [31]

4.6. YOUBI-IDRISSI И ДР. [32]

У раду [32] је предложен нумерички модел који је примењен на расхладни уређај са и без распршивања воде на улазу у ваздухом хлађени кондензатор (РТ са оребреним цевима). У поређењу са кондензатором са ваздухом који се не влажи на улазу у апарат, топлотна снага се повећава за 13 %, а коефицијент хлађења расхладне машине 55 %. Аутори у моделу користе израз за израчунавање средњег коефицијента прелаза топлоте са стране ваздуха који је преузет из рада [33], а односи се на услове одвлаживања ваздуха. Потребно је обратити пажњу да је начињена грешка у једначинама за израчунавање ефикасности ребра.

На слици 4.16. је дат приказ промене температуре и влажности ваздуха, као и температуре кондензације расхладног флуида дуж кондензатора у зависности од протока распршиване воде. Температуре ваздуха на улазу и излазу из РТ опадају са повећањем протока воде за овлаживање, док се може приметити пораст релативне влажности ваздуха. Такође, на слици 4.16.d је приказана и граница потпуног zasiћења ваздуха на улазу у кондензатор изнад које се преостала количина распршене воде налази у облику капљица у ваздуху, које могу бити ношене струјом ваздуха и/или се могу одводити гравитационим ефектом ка дну кондензатора. Аутори закључују да не би требало прекорачити ову границу како би се осигурала ефикасна и рационална употреба распршене воде.

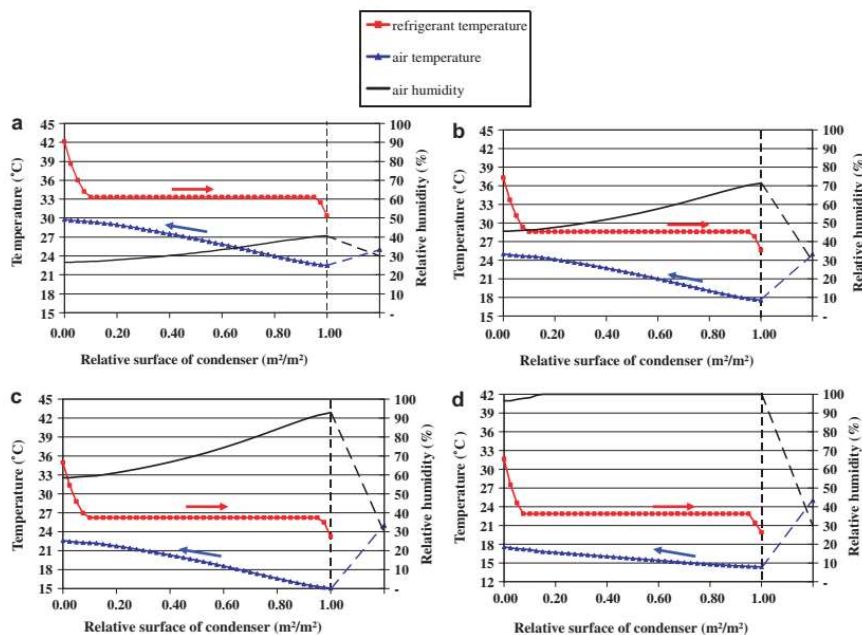


Fig. 7. Temperature and humidity profiles through the studied condenser with spraying: (a) $\dot{m}_{\text{spray},o} = 18 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$, (b) $\dot{m}_{\text{spray},o} = 54 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$, (c) $\dot{m}_{\text{spray},o} = 72 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$ and (d) $\dot{m}_{\text{spray},o} = 79.2 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$.

Слика 4.16. Репринт из чланка [32]

4.7. CHEN, YANG И HU [34]

Аутори у раду [34] експериментално испитују понашање микроканалског РТ са крљушним ребрима при промени протока напскавајуће воде, као и протока и релативне влажности ваздуха. Примећује се да се повећава размена топлоте при повећању протока воде без повећања пада притиска кроз РТ при нижим протоцима воде (слика 4.17). При већим протоцима воде долази до „лепљења“ капљица воде за површину РТ и сужава се пресек за струјање ваздуха, при чему се повећава пад притиска, што постепено нестаје са повећањем протока ваздуха. Велика влажност ваздуха на улазу у апарат резултирала је појавом акумулације воде при нижим протоцима воде, при чему се ефекат размене топлоте испаравањем смањило, а пад притиска повећао.

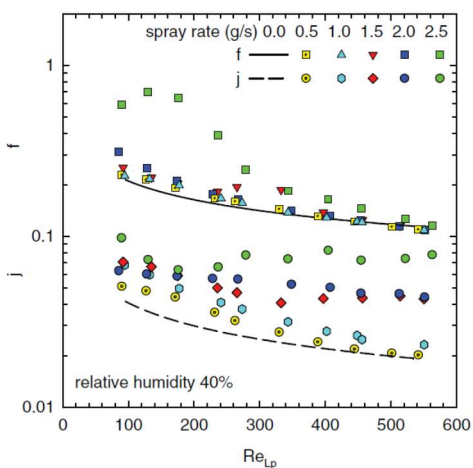


Figure 6 Heat transfer and friction performance at 40% inlet air relative humidity (solid and dashed lines represent friction and heat transfer test results with no water spraying, respectively). (Color figure available online.)

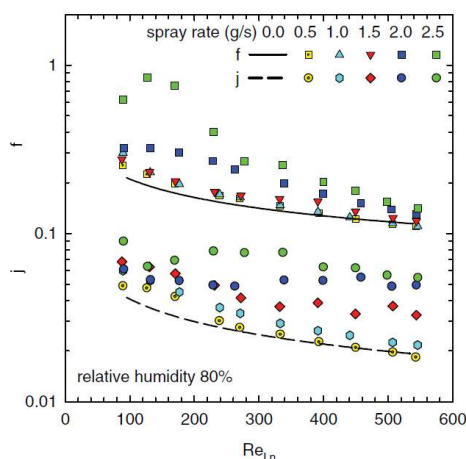


Figure 7 Heat transfer and friction performance at 80% inlet air relative humidity (solid and dashed lines represent friction and heat transfer test results with no water spraying, respectively). (Color figure available online.)

Слика 4.17. Репринти из чланка [34]

4.8. BOULET И ДР. [35]

У раду [35] је представљен модел за израчунавање размене топлоте при наструјавању ваздуха са капљицама воде преко оребреног размењивача топлоте који се напаја топлом водом константне температуре на улазу у РТ од 313,5 К, који је и потврђен коришћењем експерименталних података.

У раду је дат дијаграм промене температуре ваздуха на улазу у РТ са и без влажења ваздуха помоћу три различита масена протока воде за орошавање (слика 4.18), што прати одговарајућу количину размењене топлоте (слика 4.19).

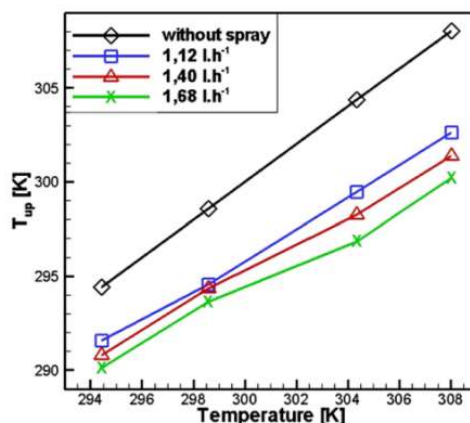


Fig. 6. Air temperature at the inlet of the exchanger as a function of the inlet air temperature upstream to the nozzle, for various water flow rates. Reference data for the case without spray given by the black curve.

Слика 4.18. Репринт из чланка [35]

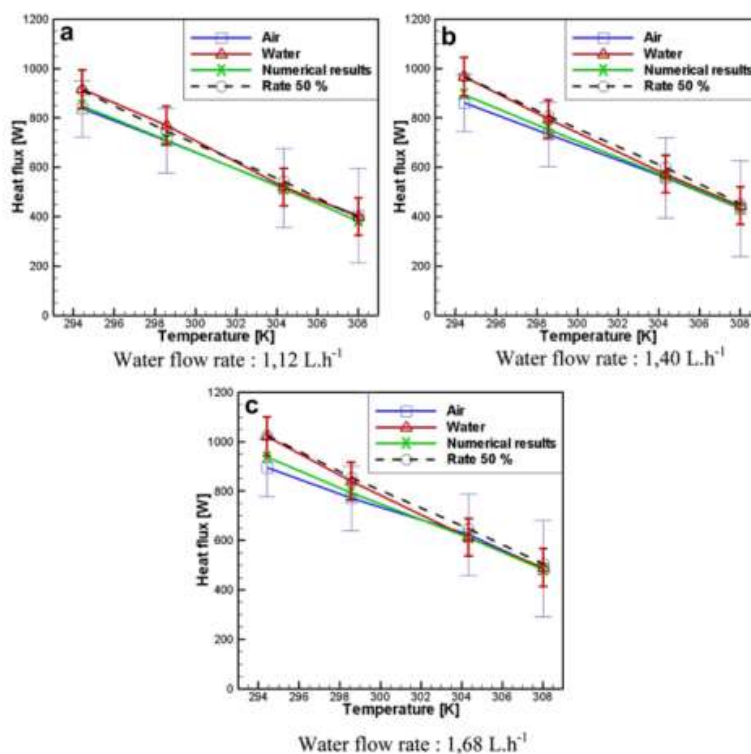


Fig. 7. Exchanged heat flux as a function of inlet air temperature upstream to the nozzle, for three different water flow rates. Experimental data are provided as evaluated from air side and water side. Numerical results are given for an evaporation rate of 30% due to droplet impact and also for a rate of 50% considering a supplementary evaporation while crossing the exchanger (dashed line).

Слика 4.19. Репринт из чланка [35]

Приликом вршења експеримената није уочено сливање воде са површине РТ, а сматрано је да испари сва количина воде која ношена струјом ваздуха доспе на спољашњу површину РТ.

У поређењу са разменом топлоте при струјању ваздуха без овлаживања у најповољнијем случају (када је ваздух на улазу најтоплији и најсувљи: 308 К и 18 % релативне влажности) примећен је пораст до 3,5 пута, док је у осталим случајевима забележен пораст од најмање 1,3 пута (слика 4.20).

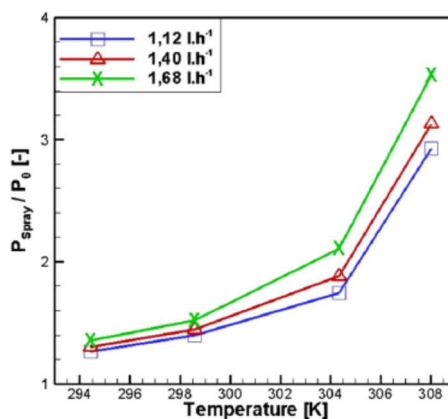


Fig. 9. Ratio between the heat flux exchanged when spraying and without spray as a function of inlet air temperature for three water flow rates.

Слика 4.20. Репринт из чланка [35]

Аутори сматрају да је укупна количина воде која испари једнака збиру количине воде која испари до РТ, воде која испари у контакту са самом површином РТ и воде која испари пролазећи кроз РТ, односно испари 75 ÷ 93 % воде зависно од температуре и влажности ваздуха на улазу у РТ.

4.9. TISSOT И ДР. [36]

У раду [36] је извршено је експериментално и нумеричко испитивање побољшања рада расхладног уређаја код којег се користи распршивање воде на улазу у кондензатор, при чему се показује да се на овај начин може повећати ефикасност система до 28,9 % за релативно топао и сув ваздух (релативна влажност 19,7 % и температура 308 К). У циљу постизања сатурације ваздуха температуре 294 ÷ 308 К и релативне влажности 18 ÷ 41 % вариран је проток напрскавајуће воде од 4,29 до 6,68 l/h, при чему је у појединим случајевима на РТ напрскавана већа количина воде од теоријски потребне за добијање засићења.

Размењена количина топлоте са стране ваздуха разматрана је у „сувим“ и „влажним“ режимима, где се може приметити повећање топлотног флукса при напрскавању водом, али је та промена мала при промени протока воде за распршивање (слика 4.21).

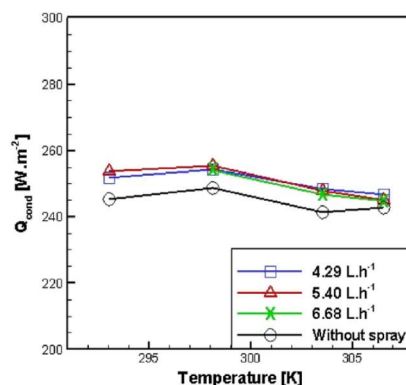


Fig. 6 – Heat flux exchanged on the air side of the condenser versus air inlet temperature and water spray flowrate.

Слика 4.21. Репринт из чланка [36]

4.10. РОПЛИ И ДР. [37]

У раду [37] су испитивани РТ са таласастим ребрима и 6 редова цеви при хлађењу потпуним квашењем површине РТ и распршивањем воде за унапред дефинисане протоке воде и фронталне брзине ваздуха како би се формирао профил квашења у оба случаја. На слици 4.22. дат је профил квашења размењивача топлоте са распршивањем воде.

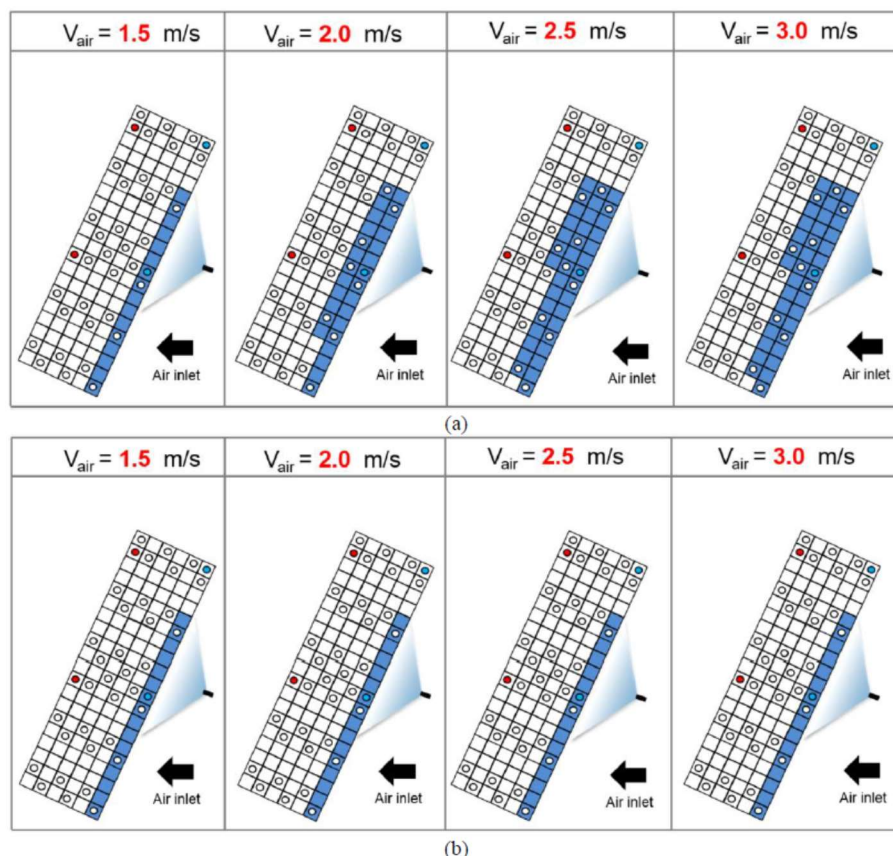


Figure 8: Wetting profile for front spray cooling flow rate (a) 8 g/s; (b) 3.8 g/s.

Слика 4.22. Репринт из чланка [37]

Примећује се да код распршивања водом значајан део РТ (око 87 %) остаје сув. Такође, може се десити да повећање протока воде неће бити ефикасно, с обзиром да су само 1. и 2. ред оквашени. Поред повећања протока распршиване воде 5. и 6. ред РТ остају суви, јер мали размак и таласаста геометрија ламела спречавају квашење РТ у смеру струјања ваздуха. Профил квашења, тј. оквашене површине, приближно прати облик распршивања на фронталном делу РТ.

Показало се да се помоћу 13 % оквашене површине распршивањем може постићи већи капацитет РТ у поређењу са потпуним квашењем површине размењивача протоком од 15 g/s воде (овим је остварено квашење око 45 % површине РТ) – слика 4.23. Како аутори закључују, на капацитет РТ не утиче само величина оквашене површине, већ и однос „површине распршивања“ и „запремине распршивања“.

Table 1: Percentage mass fraction of wetting water in different tray sections and percentage wetted fin area, and HX capacity for deluge and spray cooling at 2.5 m/s air velocity

Case	Tray Section #			Wetted Fin Area (%)	HX Capacity ¹ (kW)
	1	2	3		
Spray 3.8 g/s	72	0	0	13	9.9
Spray 8 g/s	85	0	0	35	10.2
Deluge 15 g/s	85	12	0	45	9.4
Deluge 80 g/s	51	29	19	79	14.5
Deluge 166 g/s	74	24	0	83	16.9

Note: ¹ measurement uncertainty ± 0.25 kW

Слика 4.23. Репринт из чланка [37]

Приликом потпуног квашења површине и распршивања воде може се десити да потрошња енергије за вентилаторе далеко премашује бенефите које овакви начини хлађења доносе.

4.11. BĂLĂNESCU, NOMUTESCU И LUPU [38]

Аутори рада [38] су извели експерименталну студију на два типа оребрених размењивача топлоте, ваздушни кондензатор водене паре и компактни аутомобилски хладњак, са квадратним распоредом цеви. Рејнолдсов број варирао је у опсегу $2082 \div 4432$ (за брзине ваздуха $24,6 \div 52,3$ m/s – дискутабилно како се дошло до ових вредности). За максимални масени проток напрскаване воде од $1,5 \cdot 10^{-3}$ kg воде по kg сувог ваздуха постигнуто је повећање коефицијента пролаза топлоте од 52 до 73 % (слика 4.24), при чему у раду није назначено да ли овај масени проток изазива сливање напрскавајуће воде са површине РТ. Пад притиска у размењивачу топлоте се повећао 2,7 пута у мереном опсегу Re бројева (слика 4.25), али аутори у раду не наводе експлицитно на који режим рада РТ (односно масени проток напрскавајуће воде) се ово повећање односи.

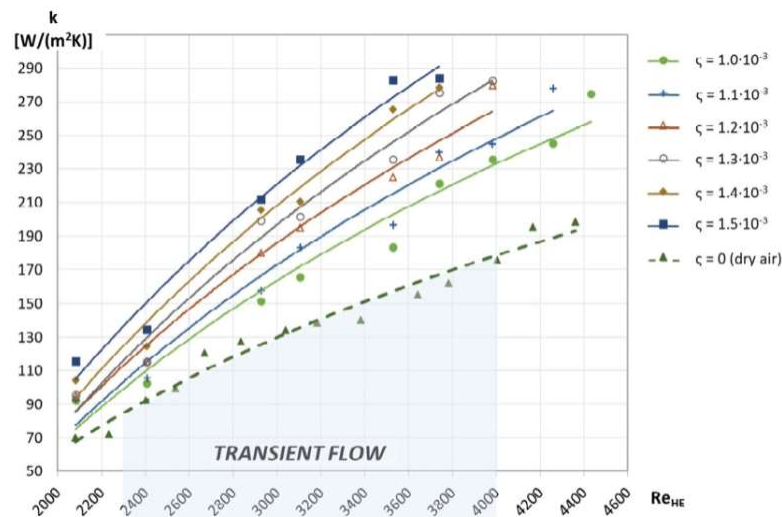


Figure 4. Variation of k with Re_{NE} for several values of ζ .

Слика 4.24. Репринт из чланка [38]

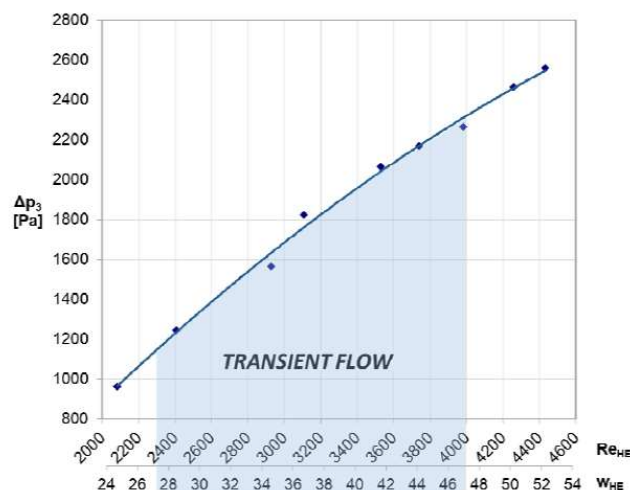


Figure 3. Variation of Δp_3 with Re_{HE} and w_{HE} .

Слика 4.25. Репринт из чланка [38]

4.12. РОЗЕНФЕЛД И ТКАЧЕВ [39]

Аутори у литератури [39] дају скраћени прорачун орошавајућих размењивача топлоте.

Количина топлоте која се размени између радног флуида који се кондензује на температури t_{kd} [°C] и воде температуре t_w [°C] једнака је

$$Q = k' \cdot (t_{kd} - t_w) \cdot A \quad (4.7)$$

где је A [m²] површина размењивача топлоте и ако се занемари топлотни отпор зида

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{kd}} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (4.8)$$

при чему су α_{kd} и α_w [W/m²·K] коефицијенти прелаза топлоте са стране кондензујућег флуида и воде респективно.

Иста количина топлоте се може израчунати посматрајући пренос топлоте са радног флуида на ваздух средње температуре t_m [°C]

$$Q = k \cdot (t_{kd} - t_m) \cdot A \quad (4.9)$$

где је

$$k = \frac{1}{\frac{1}{k'} + \frac{1}{\alpha_j}} \quad (4.10)$$

при чему α_j [W/m²·K] представља условни коефицијент прелаза топлоте са површине воде на ваздух, узимајући у обзир пренос топлоте не само због температурне разлике, већ и током размене влаге (у овом случају током испаравања воде у ваздух). Овај коефицијент се одређује из следећих једначина:

$$Q = \alpha_j \cdot (t_w - t_m) \cdot A \quad (4.11)$$

$$Q = \sigma \cdot (h_w - h_m) \cdot A \quad (4.12)$$

$$\alpha_j = \frac{\sigma \cdot (h_w - h_m)}{t_w - t_m} \quad (4.13)$$

У овим једначинама h_w и h_m [kJ/kg] представљају специфичне енталпије засићеног ваздуха на површини воде (на температури воде) и ваздуха који пролази кроз кондензатор (на средњој температури ваздуха) респективно, чија је разлика једнака

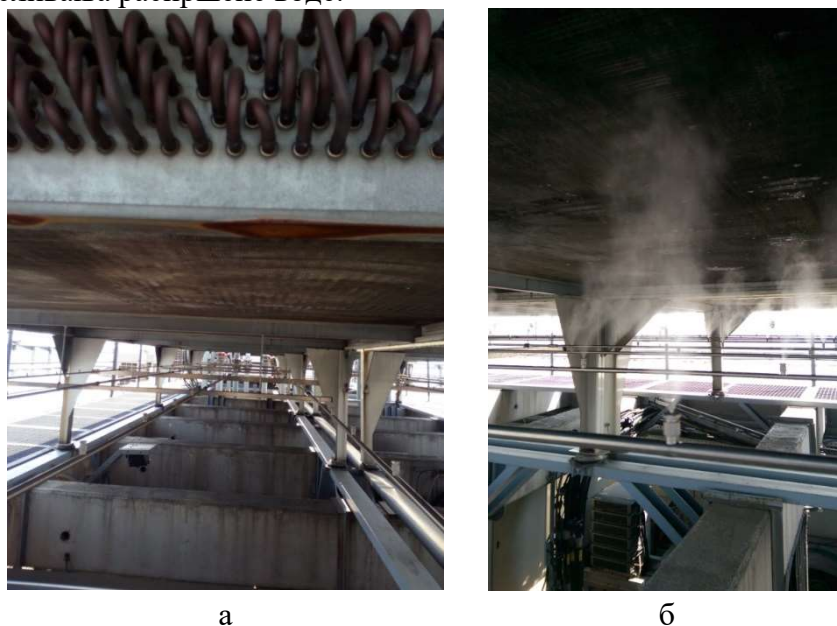
$$h_w - h_m = \frac{h_2 - h_1}{\ln \frac{h_w - h_1}{h_w - h_2}} \quad (4.14)$$

где су h_1 и h_2 [kJ/kg] специфичне енталпије ваздуха на улазу и излазу из кондензатора респективно.

4.13. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ДОБИЈЕНИХ НА ОСНОВУ ТЕСТИРАЊА УТИЦАЈА ТЕ COOLING СИСТЕМА ЗА ПРЕДХЛАЂЕЊЕ ВОДЕНОМ МАГЛОМ НА ЕФИКАСНОСТ РАДА ХЛАДЊАКА

У јуну 2019. године извршена је студија која се бавила тестирањем у оквиру система који производе водену маглу (водене капљице микронске величине) која настаје распршивањем воде под високим притиском кроз отвор млазница/дизни. У оквиру испитивања вршена су мерења потребних параметара рада размењивача топлоте са ламеластим ребрима, који ради у оквиру кондензаторске јединице чилера, смештеног на крову великог пословног центра у Београду, што је објављено у студији 09.01-2019-07-15 (Машински факултет Универзитета у Београду) и раду [40].

Апарат је подељен на два дела, а сваки део у 24 секције, при чему свака од њих има сопствени усисни вентилатор и сет млазница. Експерименти су спроведени у два сета мерења релевантних параметара: прво се приступило мерењима у „сувом“ режиму рада размењивача топлоте (када нема орошавања ваздуха водом на улазу у апарат), а затим и у „влажном“ режиму при размени топлоте са орошавањем ваздуха (слика 4.26), када је ове размењиваче наструјавао пресићени влажан ваздух (засићени влажан ваздух са капљицама које напрскавају размењивач топлоте). Примећено је да са површине РТ није долазило до сливања распршене воде.



Слика 4.26. Размењивач топлоте са млазницама за распршивање воде: а) рад без и б) са орошавањем

Проток воде за хлађење кондензатора мерен је помоћу ултразвучног мерила KROHNE, које је било постављено на цевовод ка размењивачима смештеним на крову зграде. Температуре воде су мерене постојећим сондама постављеним на прикључцима размењивача на улазу t_{lp} [°C] и излазу из апарата t_{lk} [°C].

На одређеном усвојеном узорку вентилатора анемометром су вршена мерења протока ваздуха који струји преко размењивача (индиректно преко брзина). Мерења температуре ваздуха у оба режима вршена су на улазу и излазу из апарата, с тим што је

код „влажног“ режима температура ваздуха мерена пре млазница, тј. пре распршивања воде по току ваздуха.

Мерен је и проток воде за орошавање ваздуха, која захтева посебну припрему уз коришћење уређаја за припрему воде, јер не сме да садржи велику количину соли како би се спречило стварање наслага каменца на самом апарату. У те сврхе је коришћен јонски измењивач двоструког дејства.

Проток топлијег флуида (раствор гликол-вода) на размењивачу топлоте је у целом периоду времена испитивања био стабилан и јако мало осцилирао око вредности од 190 m³/h.

На основу измерених величина приступило се израчунавању топлотне снаге размењивача топлоте \dot{Q} [kW] према изразу

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot \tilde{c}_p \cdot (t_{1p} - t_{1k}) \quad (4.15)$$

где је \dot{m}_1 [kg/s] проток топлијег флуида (раствора гликол-вода), \tilde{c}_p [kJ/(kgK)] представља специфични топлотни капацитет топлијег флуида при константном притиску.

Топлотна снага размењивача се може изразити и помоћу израза

$$\dot{Q} = k \cdot S_{rt} \cdot \Delta t_{sr} \quad (4.16)$$

при чему је k [W/(m²K)] коефицијент пролаза топлоте, S_{rt} [m²] представља површину за размену топлоте, а Δt_{sr} [°C] је средња логаритамска разлика температура дефинисана изразом:

$$\Delta t_{sr} = \frac{(t_{1p} - t_{2k}) - (t_{1k} - t_{2p})}{\ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} \quad (4.17)$$

где су t_{2p} и t_{2k} [°C] температуре хладнијег флуида (ваздуха) на улазу и излазу из апарата респективно.

При условима затеченим у току мерења потрошња расхладне воде за распршивање је износила 44 ml/min, односно 2,64 l/h по млазници, што је око 50 % од пројектованог протока воде.

Приликом анализе топлотне снаге ових размењивача коришћен је упрошћени прорачун који је био довољне тачности за инжењерску праксу.

Резултати мерења (просечни) дати су у табели 4.2, а обрађени резултати су представљени у табели 4.3.

Табела 4.2. Резултати мерења (просечни)

Млазнице у раду	Вентилатор	\dot{m}_1 [kg/s]	t_{1p} [°C]	t_{1k} [°C]	t_{2p} [°C]	t_{2k} [°C]	\dot{Q} [kW]	Δt_{sr} [°C]	$k \cdot S_{rt}$ [kW/°C]
НЕ	1	55,4	46,6	43,3	36,3	44,5	660	4,04	164
	2	55,4	46,1	43,1	36,3	43,9	601	4,07	148
	просечно	55,4	46,4	43,2	36,3	44,2	631	4,05	156
ДА	1	55,5	43,5	40,2	32,8	42,2	666	3,49	191
	2	55,5	42,7	39,3	32,7	41,3	670	3,37	199
	просечно	55,5	43,1	39,7	32,7	41,8	668	3,43	195

Табела 4.3. Обрађени резултати мерења

Вентилатор	„Суви“ режим рада $k \cdot S_{rt}$ [kW/°C]	„Влажни“ режим рада $k \cdot S_{rt}$ [kW/°C]	Увећање $k \cdot S_{rt}$ [kW/°C]	Увећање \dot{Q} [kW]
1	164	191	16,5	5,1
2	148	199	34,5	10,2
просечно	156	195	25,0	7,6

У току рада са укљученим распршивањем воде у виду „водене магле“ установљено је да се коефицијент пролаза топлоте увећао за око 25 % у односу на рад у режиму „сувог“ хлађења, те да је дошло до повећања топлотне снаге разматраног размењивача топлоте за 7,6 %.

У табели 4.4. представљени су резултати прорачуна за случај када би се потрошња расхладне воде подигла на пројектовани ниво. Коефицијент пролаза топлоте и топлотна снага размењивача би се још значајније увећали у односу на „суви“ режим рада – коефицијент пролаза топлоте би се увећао за 35,2 %, а топлотна снага размењивача за 9,9 %.

Табела 4.4. Резултати прорачуна за пројектовани проток распршене воде

Вентилатор	„Суви“ режим рада $k \cdot S_{rt}$ [kW/°C]	„Влажни“ режим рада $k \cdot S_{rt}$ [kW/°C]	Увећање $k \cdot S_{rt}$ [kW/°C]	Увећање \dot{Q} [kW]
1	164	206	26,0	7,5
2	148	215	45,5	12,5
просечно	156	210	35,2	9,9

4.14. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА У ВЕЗИ СА ДОСТУПНОМ ЛИТЕРАТУРОМ

Како се може приметити, аутори се у приказаним радовима баве различитим геометријама РТОЦ са различитим протоцима напрскаване воде. Ниједан од аутора се није бавио испитивањем РТ са цевима кружног попречног пресека у шаховском распореду и ламеластим оребрењима при хоризонталном наструјавању ваздуха са истосмерним струјањем распршиване воде до засићења ваздуха и у случају када долази до сливања воде са површине РТ. Стога подаци који су приказани у прегледу литературе нису применљиви на режиме рада који су у овој дисертацији разматрани, а који ће у наредном поглављу бити детаљно објашњени.

Такође, ниједан аутор није дао нити применио модел истовременог транспорта топлоте и супстанције, што је детаљно дато у наредном одељку овог рада. Утолико су за инжењере подаци из литературе практично неупотребљиви.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИНСТАЛАЦИЈА И РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

За потребе ове докторске дисертације планирано је да се пројектује и изradi експериментална инсталација (физички модел) на којој ће се спровести мерења утицаја промене енталпије ваздушне струје на перформансе РТОЦ који ради као загрејач ваздуха (нпр. кондензатор расхладног уређаја), као последица орошавања ваздуха водом на улазу у апарат.

На Машинском факултету у Београду се дуго година врше испитивања перформанси рада размењивача топлоте са оребреним цевима, како у „сувом“ режиму, тако и у режиму рада са одvlaживањем ваздуха, чији је резултат објављивање докторских дисертација [41], [42] и [43].

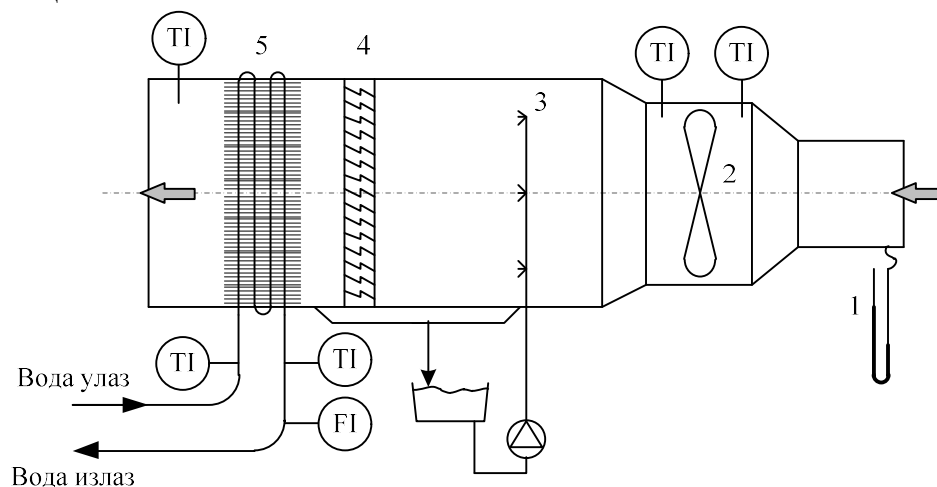
У оквиру ове докторске дисертације су најпре урађена испитивања РТ у нормалном радном режиму, а у каснијој фази израде рада извршена су мерења са воденом маглom. Разматран је РТОЦ у два различита режима: при размени суве топлоте са орошавањем ваздуха до стања адијабатског засићења и при размени суве и латентне топлоте за случај струјања пресићеног ваздуха. Испитивања размењивача топлоте су се вршила према међународним EN нормама за ову област [44], [45] и [46].

Инсталација је била постављена у оквиру топлотне подстанице на Машинском факултету у Београду, где су и спроведени експерименти. Приликом ових експеримената испитан је нови размењивач топлоте [47] који се може производити у више величина у серијској (масовној) производњи.

Циљ истраживања је да се обрадом експерименталних података поставе корелационе једначине за одређивање топлотних и хидродинамичких перформанси РТОЦ (кофицијената трења, прелаза топлоте и влаге са ваздушне стране) при реалним експлоатационим условима, а за горе поменуте режиме рада. Такође, циљ је и да се спроведе оптимизација потрошње воде потребне за орошавање ваздуха.

5.1. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ИНСТАЛАЦИЈЕ

Развој експерименталне инсталације за испитивање струјно-термичких перформанси рада ваздушног хладњака са оребреним цевима у условима орошавања ваздуха на улазу у апарат се састојао у пројектовању инсталације на којој ће се изводити експерименти, као и састављања исте. Шематски приказ експерименталне инсталације дат је на слици 5.1.



Слика 5.1. Шематски приказ експерименталне инсталације

Експериментална инсталација израђена за потребе мерења састоји се из отвореног струјног канала за ваздух попречног пресека који одговара пресеку РТ, круга воде за орошавање ваздуха и круга топле воде за загревање РТ са одговарајућим мерним местима, а њени основни елементи су:

- 1 – усисна цев са манометром за мерење протока ваздуха,
- 2 – вентилатор,
- 3 – маглена секција,
- 4 – елиминатор капи, као и
- 5 – ваздушни хладњак са оребреним цевима димензија 360 x 360 mm.

Експерименти су спроведени на размењивачу топлоте са ламеластим ребрима који се састојао из два РТ истих геометријских карактеристика. Ваздушни хладњаци су били редно спрегнути и по току ваздуха и по току топле воде. Најпре су остварени „суви“ режими рада инсталације (без орошавања ваздуха на улазу у апарат), а затим и „влажни“ режими са орошавањем ваздуха до стања адијабатског засићења и за случај струјања пресићеног ваздуха преко ових РТ.

Сматрано је да је ваздух као хладнији флуид струјао каналисано кроз међуцевни простор без мешања иза сваког реда цеви, а вода као топлији флуид каналисано кроз цеви. Разматрана је шема унакрсно-супротносмерног тока струјања са редном везом са стране топлијег флуида. На основу спроведених прорачуна закључило се да се ове шеме унакрсно-супротносмерног струјања могу сматрати чисто супротносмерним.

Проток ваздуха, остварен помоћу потисног вентилатора, вариран је помоћу фреквентног регулатора и мерен на усису вентилатора косим манометром са водом преко усисне цеви спољног пречника 160 mm и дужине 450 mm израђене према препорукама у [48]. Њено еталонирање је извршено методом испитивања дефинисаном преко [49] помоћу термоанемометра (ALNOR TA 440 A – TA 4400747003).

Да би се одредио проток ваздуха, потребно је измерити разлику атмосферског (укупног, тоталног) и статичког притиска у усисном пресеку мерне цеви Δp_{usis} [Pa] (ова разлика представља динамички притисак) на прецизно дефинисаном одстојању $D/2$ од улазног пресека [48], као и амбијентални притисак p_{amb} [Pa], температуру t_{usis} [°C] и релативну влажност ваздуха RV_{usis} [%] на усису у цев (ради познавања потребних термодинамичких параметара ваздуха, нпр. густине ваздуха ρ_{2usis} [kg/m³]).

Проток хладнијег флуида (ваздуха) на основу измерених потребних вредности може се израчунати помоћу израза према [48]

$$\dot{V}_2 = 0,51 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{usis}}{\rho_{2usis}}} \quad (5.1)$$

где је D [mm] унутрашњи пречник усисне цеви.

Након вентилатора у смеру струјања ваздуха у „сувим“ режимима уграђен је канал дужине 2000 mm квадратног попречног пресека који одговара попречном пресеку размењивача топлоте, како би се умирила ваздушна струја и постигло што равномерније брзинско поље испред размењивача топлоте на месту манометарског прикључка помоћу кога је мерен пад притиска на апарату (Δp_{RT} [Pa]). Овај пад притиска ваздуха при струјању кроз размењивач топлоте мерен је уз помоћ диференцијалног косог манометра са водом повезаног на прикључке на одговарајућој удаљености испред и иза апарата.

Такође, у пресеку канала испред размењивача топлоте у близини манометарског прикључка налазило се и мерно место за одређивање параметара ваздуха на улазу у апарат – температуре по сувом термометру t_{2p} [°C] и релативне влажности RV_{2p} [%]. У пресеку канала на довољној удаљености иза размењивача топлоте налазило се мерно место за одређивање параметара ваздуха на излазу из апарата – температуре по сувом термометру t_{2k} [°C] и релативне влажности RV_{2k} [%].

За мерење битних параметара у „влажним“ режимима инсталација је преправљена и у ваздушни канал након вентилатора уграђена је маглена секција за орошавање ваздуха на улазу у размењивач топлоте. Испред секције, а након вентилатора, мерени су температура и релативна влажност ваздуха пре процеса орошавања. На излазу из маглене коморе, пре уласка ваздуха у размењивач топлоте, постављен је одвајач капи након кога се налазио прикључак за мерење температуре и релативне влажности ваздуха након процеса орошавања до стања адијабатског засићења. У случају струјања пресићеног ваздуха преко ових размењивача топлоте одвајач капи је демонтиран и капаратима је струјао ваздух који је са собом носио капљице воде.

Вода за орошавање ваздуха је до два реда млазница за фино распршивање (са по две унакрсно постављене млазнице произвођача ВЕТЕ, РЈ 20, величина капљица око 50 μm , проток воде око 18 l/h по млазници) допремана помоћу пумпе (произвођач Grunfoss) из мерне каде (резервоара). На усису пумпе постављени су неповратни вентил и одвајач нечистоћа (величине сита 0,3 μm произвођача Herz), којим су фини отвори млазницештићени од задржања. Вишак воде која није исхлупела у ваздух скупљан је у кади маглене секције и враћан у мерни резервоар. Проток воде која је утрошена на орошавање ваздуха међан је помоћу лоптастих вентила и помоћу ваге и штоперице (хронометра) мерен по успостављању стационарног радног режима. Температура воде мерена је у самом мерном резервоару (кади) помоћу РТ100 сонде на уређају Меконтик.

Проток топле воде за загревање размењивача топлоте мерен је помоћу баждареног калориметра, а вариран регулацијом на лоптастим вентилима на разводном и повратном цевоводу. Извршено је и упоредно мерење протока воде помоћу ултразвучног мерила KROHNE, које је било постављено на разводни цевовод топле воде. С обзиром да су добијени резултати били у доброј сагласности, као меродавне су узете вредности измерене калориметром.

На прикључцима размењивача помоћу упарених избждарених сонди РТ 500, повезаних на калориметар, мерене су температуре топле воде на улазу t_{1p} [$^{\circ}\text{C}$] и излазу из апарата t_{1k} [$^{\circ}\text{C}$], а такође је мерена и разлика температура топле воде на њиховом улазу и излазу Δt_1 [$^{\circ}\text{C}$].

У табели 5.1. дате су релевантне геометријске карактеристике испитиваног размењивача топлоте са ламеластим ребрима и шаховским распоредом цеви.

Табела 5.1. Геометријске карактеристике испитиваног размењивача топлоте

H [mm] – висина размењивача топлоте (струјног канала)	360
B [mm] – ширина размењивача топлоте (струјног канала)	360
L [mm] – дужина размењивача у смеру струјања ваздуха	240
d_u [mm] – унутрашњи пречник цеви	11,9
d_s [mm] – спољашњи пречник цеви	12,6
d_{kr} [mm] – пречник у корену ребра	12,9
N_i [/] – број цеви у чеоном реду	12
N_l [/] – број редова цеви у правацу струјања ваздуха	8
N_c [/] – укупан број цеви	96
s_l [mm] – подужни корак цеви	30
s_t [mm] – попречни корак цеви	30
N_{reb} [/] – укупни број ребара по дужини размењивача	63
N_r [1/m] – број ребара по јединици дужине	175
δ_r [mm] – дебљина ребра	0,3
s_r [mm] – корак ребара	5,71
S_{un} [m ²] – површина за размену топлоте са унутрашње стране цеви	1,292
S_{sp} [m ²] – површина за размену топлоте са спољашње стране цеви	10,633
s_v [m ² /m ³] – специфична површина оребрене површине	342
ε [m ³ /m ³] – порозност оребрене површине (цевног снопа)	0,810
d_h [mm] – хидраулички пречник	9,48
λ_r [W/m·K] – топлотна проводљивост материјала ребара (алуминијум)	220
λ_z [W/m·K] – топлотна проводљивост материјала зида цеви (бакар)	380

5.1.1. Услови за извођење експеримената

За сваки радни („суви“ и „влажни“) режим вршена су истовремено мерења пада притиска при струјању ваздуха преко површине размењивача топлоте и мерења њихових топлотних перформанси.

Сва мерења потребних величина (протока ваздуха и воде, температура оба радна флуида на улазу и излазу из размењивача топлоте, као и пада притиска ваздуха при струјању кроз апарат) вршена су након успостављања (привидно) стационарног стања када се стабилизују сви мерени параметри (у оквиру одређених граница прихватљивости), при чему се сматрало да су сви мерни уређаји били довољно дуго под утицајем радних флуида. Поред овога, потребно је да буду испуњени и услови поновљивости мерења радних режима.

Експериментални подаци су прикупљени при реалним експлоатационим условима у зимском периоду током две грејне сезоне 2015/16. и 2016/17. године. У зависности од

временских услова топлотној подстаници на Машинском факултету Унивезитета у Београду, у којој је била смештена мерна инсталација, испоручивана је топла вода чија је температура варирала у току дана, али и од дана до дана, тако да су режими „покривали“ различите протоке и температуре воде за загревање размењивача топлоте. Сва мерења су извршена за делимично контролисане (приближно константне) температуре и релативне влажности ваздуха у топлотној подстаници, при чему је инсталација била заштићена од спољашњих временских утицаја (ветра, кише, мраза ...).

Приликом обраде података занемарени су отпори услед запрљања са водене и ваздушне стране, јер је испитивани размењивач топлоте био нов, односно незапрљан. При томе ни контактни отпори између ребара и цеви нису били узимани у обзир.

5.1.2. Проблеми приликом извођења експеримената

Приликом спровођења мерења са орошавањем ваздуха уочена је појава корозије на деловима мерне сонде РТ 100 мерног уређаја Меконтик који су направљени од угљенични челик, а којом је мерена температура орошавајуће воде, као и на месинганим деловима усисног вода пумпе који су потопљени у мерну каду (резервоар) са водом за орошавање ваздуха у магленој секцији (једносмерни вентил и филтер). Током мерења била је изражена појава талога (у виду песка) на дну мерне каде са водом, који је стварао проблем на млазницама (дизнама) за распршавање воде које су бивале брзо запушене и захтевале су свакодневно чишћење.

Вода за орошавање је допремана из Београдских електрана, тачније из топлане Коњарник, а узимана је након проласка кроз јонске измењиваче. Овако омекшана вода је коришћена у циљу спречавања стварања каменца на оребреним размењивачима топлоте. Накнадним испитивањем ове воде у Лабораторији за погонске материјале на Машинском факултету у Београду (помоћу папира – непрецизно, али поуздано за одређивање да ли је средина базна или кисела) визуално је утврђено да је вода благо базна, тј. са рН вредности око 8 (слика 5.2).



Слика 5.2. Резултат испитивања киселости/базности воде за орошавање

Поставља се питање узрока настанка корозије на деловима мерне сонде Меконтик и месинганим деловима уроњеним у ову омекшану воду. Вода се у овом случају понаша као електролит и у њему су делови од материјала попут угљеничног челика или месинга (легура цинка и бакра) изложени корозији, за разлику од делова од нерђајућег челика (остали делови мерне сонде Меконтик) који је отпоран према корозији због тзв. „јонског потенцијала“.

Стандардни потенцијал процеса јонизације („јонски потенцијал“) користи се за одређивање племенитости метала, а метал је „племенитији“ што је он виши. Неплеменити метали имају тежњу да избацују позитивне металне јоне у електролит са којим су у контакту све док се не достигне вредност потенцијала равнотеже када процес

корозије, односно избацивање позитивних металних јона, потпуно престаје. Међутим, пошто у електролиту постоји нека материја којој се предаје вишак електрона који се при настанку тих позитивних јона ослободи (тзв. деполаризатор), процес корозије се континуирано наставља. Нека места површине метала су погоднија за одвијање анодног процеса, односно ослобађање позитивних металних јона, а друга за катодни процес, тј. ослобађање електрона (деполаризација на катода).

У случају електрохемијске корозије, када је деполаризатор молекуларни кисеоник растворен у води, катодни процес (деполаризација) се одвија на делу површине покривеним слојем оксида или неким племенитијим металом, што практично за извршена мерења значи да се катодни процес одвијао на површинама од нерђајућег челика, док је анодни процес био везан за површине од угљеничног челика и месинга.

Такође, познато је да су за одвијање анодног процеса погодни делови површине који припадају неплеменитијем металу једнофазне легуре (тзв. селективна корозија), па отуда децинкација месинга, као и делови површине неплеменитијег метала у контакту са племенитијим металом (тзв. галванска корозија), што је изазвало корозију елемената од угљеничног челика у контакту са елементима од нерђајућег челика РТ сонде за мерење температуре воде за орошавање.

У литератури [50] наведени су метали по племенитости: злато (1,498 V), жива (0,86 V), сребро (0,799 V), бакар (0,337 V), олово (-0,126 V), калај (-0,136 V), никл (-0,25 V), гвожђе (-0,440 V), цинк (-0,761 V).

5.2. МАТЕМАТИЧКА ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ЕКСПЕРИМЕНАТА

Математичка обрада резултата експеримената врши се помоћу статистичких метода које се користе за процену квалитета резултата мерења и за одређивање одговарајућих функционалних зависности у облику бездимензионих једначина [9].

За дефинисање пада притиска на размењивачу топлоте са ламеластим ребрима мерене су следеће величине:

- Δp_{usis} [Pa] – разлика атмосферског и статичког притиска ваздуха у усисном пресеку мерне цеви,
- Δp_{RT} [Pa] – пад притиска на размењивачу топлоте,
- p_{amb} [Pa] – амбијентални притисак ваздуха,
- t_{usis} [°C] – температура ваздуха на усису у цев.

На основу претходно измерених вредности могао се израчунати запремински проток ваздуха \dot{V}_2 [m³/h], односно масени проток ваздуха \dot{m}_2 [kg/s].

Резултати ових мерења су приказани у прилогу А у табели А.1. за „суве“ режиме и у прилогу Б. табели Б.1. за „влажне“ режиме у области пресићеног влажног ваздуха.

За дефинисање топлотних перформанси размењивача топлоте са цевима са ламеластим ребрењем мерене су следеће величине:

- Δp_{usis} [Pa] – диференцијални притисак ваздуха у усисном пресеку цеви,
- t_{usis} [°C] – температура ваздуха на усису у цев,
- p_{amb} [Pa] – амбијентални притисак ваздуха,
- t_{2p} [°C] – температура ваздуха по сувом термометру на улазном пресеку размењивача топлоте у „сувим“ режимима, односно на излазу из вентилатора (пре улаза у маглену комору) код „влажних“ режима,
- RV_{2p} [%] – релативна влажност ваздуха на улазном пресеку размењивача у „сувим“ режимима, односно на излазу из вентилатора (пре улаза у маглену комору) код „влажних“ режима,
- t_{2k} [°C] – температура ваздуха по сувом термометру на излазном пресеку размењивача топлоте,

- RV_{2k} [%] – релативна влажност ваздуха на излазном пресеку размењивача,
- \dot{V}_1 [l/h] – запремински проток топле воде кроз размењивач,
- t_{1p} [°C] – температура топле воде на улазу у размењивач,
- t_{1k} [°C] – температура топле воде на излазу из размењивача,
- Δt_1 [°C] – разлика температура топле воде на улазу и излазу из РТ,
- \dot{m}_{isp} [kg/s] – масени проток воде која испари,
- t_{oros} [°C] – температура воде за орошавање ваздуха.

Резултати ових мерења су приказани у прилогу А у табели А.2. за „суве“ режимо и у прилогу Б. табели Б.2. за „влажне“ режимо у области пресићеног влажног ваздуха.

5.2.1. Процена квалитета експерименталних резултата

За процену квалитета резултата мерења користи се оцена дисперзије (стандардне девијације), односно грешка мерења, која представља разлику између измерене (случајне) и стварне величине [9].

Да би се одредила дисперзија резултата мерења, потребне су следеће величине добијене на основу спроведених мерења:

- \dot{m}_1 [kg/s] – масени проток топлијег флуида (вода),
- \dot{m}_2 [kg/s] – масени проток хладнијег флуида (сувог ваздуха),
- t_{1p} [°C] – температура топлијег флуида на улазу у размењивач,
- t_{1k} [°C] – температура топлијег флуида на излазу из размењивача,
- Δt_1 [°C] – разлика температура топлијег флуида на улазу и излазу из РТ,
- t_{2p} [°C] – температура хладнијег флуида на улазу у размењивач (или на улазу у маглену комору код „влажних“ режима),
- t_{2k} [°C] – температура хладнијег флуида на излазу из размењивача,
- RV_{2p} [%] – релативна влажност ваздуха на улазном пресеку размењивача (или на улазу у маглену комору код „влажних“ режима),
- RV_{2k} [%] – релативна влажност ваздуха на излазном пресеку размењивача,
- S_{rt} [m²] – површина за размену топлоте.

Грешке мерења појединачних величина су: грешка мерења температуре (оцена дисперзије) $s_t = 0,1$ °C, грешка мерења релативне влажности $s_{RV} = 2,5$ % (при температури ваздуха од 20°C и релативној влажности 30 ÷ 85 %), као и грешка мерења протока $s_m = 0,5$ kg/s.

Топлотна снага размењивача топлоте рачуната је преко података за топлији флуид (воду):

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 \cdot \tilde{c}_{p1} \cdot \Delta t_1 \quad (5.2)$$

при чему \tilde{c}_{p1} [J/(kgK)] представља специфични топлотни капацитет воде.

Топлотна снага орошавајућег размењивача са стране хладнијег флуида (ваздуха) и напскавајуће воде једнака је

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 \cdot (h_{2k} - h_{2p}) - \dot{m}_{isp} \cdot h_w \quad (5.3)$$

где је h_{2p} [kJ/kg] специфична енталпија влажног ваздуха по 1 kg сувог ваздуха на улазу у размењивач код „сувих“ режима, а код „влажних“ на улазу у маглену комору, h_{2k} [kJ/kg] представља специфичну енталпију влажног ваздуха на излазу из размењивача, док је h_w [kJ/kg] специфична енталпија орошавајуће воде чија се температура дуж површине РТ врло мало мења. Потребно је напоменути да при анализи „сувих“ режима струјања члан $\dot{m}_{isp} \cdot h_w$ у претходној једначини не постоји.

Специфична енталпија влажног ваздуха једнака је

$$h_2 = \tilde{c}_{p,sv2} \cdot t_2 + \tilde{Y}_2 \cdot (\Delta h + \tilde{c}_{p,p2} \cdot t_2) \quad (5.4)$$

при чему су $\tilde{c}_{p,sv2}$ и $\tilde{c}_{p,p2}$ [J/(kg·K)] специфични топлотни капацитети сувог ваздуха и водене паре на датој температури, \tilde{Y}_2 [kg_{vlage}/kg_{sv}] је апсолутна влажност ваздуха, а Δh [kJ/kg] представља топлоту испаравања воде на 0°C.

Апсолутна влажност ваздуха се може израчунати на основу израза

$$\tilde{Y}_2 = \frac{18,02}{28,96} \cdot \frac{RV_2 \cdot p_{sat}(t_2)}{p_{amb} - RV_2 \cdot p_{sat}(t_2)} \quad (5.5)$$

где p_{sat} [Pa] представља притисак засићења влажног ваздуха који на основу једначине дате у [51] износи:

$$\begin{aligned} \ln p_{sat}(t) = & \frac{-5800,2206}{t + 273,15} + 1,3914993 - 0,048640239 \cdot (t + 273,15) + \\ & + 4,1764768 \cdot 10^{-5} \cdot (t + 273,15)^2 - 1,4452093 \cdot 10^{-8} \cdot (t + 273,15)^3 + \\ & + 6,5459673 \cdot \ln(t + 273,15) \end{aligned} \quad (5.6)$$

Сва термофизичка својства влажног ваздуха и воде одређивана су према [52].

На основу претходно реченог, средња вредност топлотне снаге за један мерни пролаз (режим) износи

$$\dot{Q}_{sr} = \frac{\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2}{2} \quad (5.7)$$

док је грешка мерења топлотне снаге једнака

$$s_Q = \sqrt{(\dot{Q}_1 - \dot{Q}_{sr})^2 + (\dot{Q}_2 - \dot{Q}_{sr})^2} \quad (5.8)$$

Према овоме, топлотна снага се може изразити у облику $\dot{Q}_{sr} \pm s_Q$, а стационарност радног режима се процењује на основу односа

$$\Delta_{St} = \frac{s_Q}{\dot{Q}_{sr}} \quad (5.9)$$

Коефицијент пролаза топлоте за размењивач топлоте са супротносмерним током може се одредити помоћу израза

$$k = \frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \quad (5.10)$$

где је Δt_{sr} [°C] средња температурска разлика и према [1] износи

$$\Delta t_{sr} = \varepsilon_t \cdot \frac{(t_{1p} - t_{2k}) - (t_{1k} - t_{2p})}{\ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} \quad (5.11)$$

а ε_t представља корекциони фактор за средњу температурску разлику који је у случају размењивача топлоте са супротносмерним током једнак јединици.

С обзиром да је према (5.10) коефицијент пролаза топлоте функција топлотне снаге \dot{Q}_{sr} , средње температурске разлике Δt_{sr} и површине за размену топлоте S_{rt} , дисперзија коефицијента пролаза топлоте за „суве“ режиме рада РТ на основу [9] износи

$$s_k^2 = \left[\frac{\partial}{\partial \dot{Q}_{sr}} \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \right) \right]^2 \cdot s_{\dot{Q}}^2 + \left[\frac{\partial}{\partial S_{rt}} \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \right) \right]^2 \cdot s_{S_{rt}}^2 + \left[\frac{\partial}{\partial \Delta t_{sr}} \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \right) \right]^2 \cdot s_{\Delta t_{sr}}^2 \quad (5.12)$$

Имајући у виду да је средња температурска разлика функција четири мерене температуре, то се њена дисперзија може израчунати на основу једначине

$$s_{\Delta t_{sr}}^2 = \left[\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{1p}} \right]^2 \cdot s_{t_{1p}}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{1k}} \right]^2 \cdot s_{t_{1k}}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{2p}} \right]^2 \cdot s_{t_{2p}}^2 + \left[\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{2k}} \right]^2 \cdot s_{t_{2k}}^2 \quad (5.13)$$

Одговарајући парцијални изводи износе

$$\frac{\partial}{\partial \dot{Q}_{sr}} \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \right) = \frac{1}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \quad (5.14)$$

$$\frac{\partial}{\partial S_{rt}} \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \right) = -\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt}^2 \cdot \Delta t_{sr}} \quad (5.15)$$

$$\frac{\partial}{\partial \Delta t_{sr}} \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot \Delta t_{sr}} \right) = -\frac{\dot{Q}_{sr}}{S_{rt} \cdot (\Delta t_{sr})^2} \quad (5.16)$$

$$\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{1p}} = \frac{1}{\ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} - \frac{\Delta t_{sr}}{(t_{1p} - t_{2k}) \cdot \ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} \quad (5.17)$$

$$\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{1k}} = -\frac{1}{\ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} + \frac{\Delta t_{sr}}{(t_{1k} - t_{2p}) \cdot \ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} \quad (5.18)$$

$$\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{2p}} = \frac{1}{\ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} - \frac{\Delta t_{sr}}{(t_{1k} - t_{2p}) \cdot \ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} \quad (5.19)$$

$$\frac{\partial(\Delta t_{sr})}{\partial t_{2k}} = -\frac{1}{\ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} + \frac{\Delta t_{sr}}{(t_{1p} - t_{2k}) \cdot \ln \frac{t_{1p} - t_{2k}}{t_{1k} - t_{2p}}} \quad (5.20)$$

Коефицијент пролаза топлоте на основу резултата мерења износи $k \pm s_k$, док је прецизност мерења коефицијента пролаза топлоте једнака

$$s_k = \frac{s_k}{k} \quad (5.21)$$

Масени протоци, топлотне снаге, као и дисперзије топлотне снаге приказани су у прилогу А. у табели А.3. за „суве“ режиме и у прилогу Б. у табели Б.3. за „влажне“ режиме у области пресићеног влажног ваздуха.

Приликом прорачуна размењивача топлоте у „сувим“ режимима коефицијент пролаза топлоте сведен на унутрашњу површину износи

$$\frac{1}{k_{un}} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + R_1 \right) + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_r} \cdot \ln \frac{d_{kr}}{d_s} + \left(\frac{1}{\alpha_2} + R_2 \right) \cdot \frac{S_{un}}{S_{sp} \cdot \eta_2} \quad (5.22)$$

док је коефицијент пролаза топлоте сведен на спољашњу површину размењивача једнак

$$\frac{1}{k_{sp}} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + R_1 \right) \cdot \frac{S_{sp}}{S_{un}} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \cdot \ln \frac{d_{kr}}{d_s} + \left(\frac{1}{\alpha_2} + R_2 \right) \cdot \frac{1}{\eta_2} \quad (5.23)$$

где R_1 и R_2 [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] представљају отпоре задрљања са водене и ваздушне стране респективно, η_2 [/] је ефикасност оребрене површине, S_{sp} [m^2/m] је спољашња површина, а S_{un} [m^2/m] представља унутрашњу површину оребрене цеви по јединици дужине.

Спољашња површина оребреног РТ по јединици дужине цеви може се израчунати на основу израза

$$S_{sp} = \pi \cdot d_{kr} \cdot \left(1 - \frac{\delta_r}{s_r} \right) + \frac{2}{s_r} \cdot \left(s_t \cdot s_l - \frac{\pi \cdot d_{kr}^2}{4} \right) \quad (5.24)$$

док се унутрашња површина оребрене цеви по јединици дужине рачуна према

$$S_{un} = \pi \cdot d_u \quad (5.25)$$

Ефикасност оребрене површине се може израчунати на основу следећег израза:

$$\eta_2 = 1 - (1 - \theta) \cdot \frac{S_r}{S_{sp}} \quad (5.26)$$

где су:

- S_r [m^2/m] – површина оребрења по јединици дужине цеви:

$$S_r = 2 \cdot N_r \cdot \left(s_t \cdot s_l - \frac{\pi \cdot d_{kr}^2}{4} \right) \quad (5.27)$$

- θ [/] – ефикасност ребра:

$$\theta = \frac{\tanh \sqrt{\frac{l_r^*}{\left(\frac{1}{\alpha_2} + R_2 \right) \cdot \lambda_r}}}{\sqrt{\frac{l_r^*}{\left(\frac{1}{\alpha_2} + R_2 \right) \cdot \lambda_r}}} \quad (5.28)$$

при чему је l_r^* [m] карактеристична геометријска величина за попречна ребра, а може се израчунати помоћу израза:

$$l_r^* = \frac{2 \cdot l_{ef}}{\delta_r} \quad (5.29)$$

Величина l_{ef} [m] је ефективна дужина ребра и рачуна се према:

$$l_{ef} = h_r \cdot \left(1 + \frac{\delta_r}{2 \cdot h_r} \right) \cdot \left(1 + 0,35 \cdot \ln \frac{d_r}{d_s} \right) \quad (5.30)$$

У претходној једначини h_r [m] представља прорачунску висину ребра:

$$h_r = \frac{d_r - d_{kr}}{2} \quad (5.31)$$

где d_r [m] представља прорачунски пречник ребра:

$$d_r = \sqrt{\frac{4 \cdot s_t \cdot s_l}{\pi}} \quad (5.32)$$

Коефицијент прелаза топлоте са стране топлијег флуида (воде) може се израчунати помоћу једначине

$$\alpha_1 = Nu_1 \cdot \frac{\lambda_1}{d_u} \quad (5.33)$$

где је Nu_1 [/] Нуселтов број за воду, а λ_1 [W/m·K] представља топлотну проводљивост воде.

Нуселтов број за воду при струјању кроз цеви може се израчунати на основу следећих израза [1]:

- за ламинарни режим струјања ($Re_1 < 2000$)

$$Nu_1 = 4,364 + \frac{0,01 \cdot Gz_1^{1,7}}{1 + 0,01 \cdot Gz_1^{1,3}} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_{1z}} \quad (5.34)$$

- за турбулентни режим струјања ($Re_1 > 2000$)

$$Nu_1 = 0,0235 \cdot (Re_1^{0,8} - 230) \cdot (1,8 \cdot Pr_1^{0,3} - 0,8) \quad (5.35)$$

при чему је:

- Re_1 [/] – Рејнолдсов број за топлији флуид:

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_u \cdot \rho_1}{\mu_1} \quad (5.36)$$

- w_1 [m/s] – средња брзина струјања топлијег флуида кроз цеви РТ,
- ρ_1 [kg/m³] – густина топлијег флуида који струји кроз цеви,
- μ_1 [Pa·s] – динамичка вискозност топлијег флуида,
- μ_{1z} [Pa·s] – динамичка вискозност топлијег флуида на средњој температури зида цеви (усваја се да је $\mu_{1z} = \mu_1$),
- Pr_1 [/] – Прантлов број за флуид који струји кроз цеви:

$$Pr_1 = \frac{\tilde{c}_{p1} \cdot \mu_1}{\lambda_1} \quad (5.37)$$

- Gz_1 [/] – Грецов број за топлији флуид који струји кроз цеви:

$$Gz_1 = Pe_1 \cdot \frac{d_u}{L_c} \quad (5.38)$$

- L_c [m] – дужина цеви,
- Pe_1 [/] – Пеклеов број за топлији флуид:

$$Pe_1 = Re_1 \cdot Pr_1 \quad (5.39)$$

Коефицијент прелаза топлоте са стране хладнијег флуида (ваздуха) може се израчунати помоћу једначине

$$\alpha_2 = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{d_h} \quad (5.40)$$

при чему је Nu_2 [/] Нуселтов број за ваздух, λ_2 [W/m·K] представља топлотну проводљивост ваздуха, а d_h [mm] је хидраулички пречник који се може израчунати на основу израза:

$$d_h = \frac{4 \cdot \varepsilon}{s_v} \quad (5.41)$$

где је:

- s_v [m²/m³] – специфична површина оребрене површине:

$$s_v = \pi \cdot \frac{d_s \cdot (s_r - \delta_r) + \frac{d_r^2 - d_s^2}{2} + d_r \cdot \delta_r}{s_t \cdot s_l \cdot s_r} \quad (5.42)$$

- ε [m³/m³] – порозност оребрене површине (цевног снопа):

$$\varepsilon = 1 - \frac{\frac{\pi}{4} \cdot [d_s^2 \cdot (s_r - \delta_r) + d_r^2 \cdot \delta_r]}{s_t \cdot s_l \cdot s_r} \quad (5.43)$$

Нуселтов број за ваздух се може израчунати на основу израза [53]

$$\text{Nu}_2 = 0,41 \cdot \text{Re}_2^{0,64} \cdot \text{Pr}_2^{1/3} \cdot \left(\frac{S_{sp}}{S_{mr}} \right)^{-0,37} \quad (5.44)$$

при чему је:

- S_{mr} [m²/m] – међуребарна површина по јединици дужине цеви:

$$S_{mr} = \pi \cdot d_{kr} \cdot \left(1 - \frac{\delta_r}{s_r} \right) \quad (5.45)$$

- Re_2 [/] – Рејнолдсов број за ваздух:

$$\text{Re}_2 = \frac{w_\varepsilon \cdot d_h \cdot \rho_2}{\mu_2} \quad (5.46)$$

- Pr_2 [/] – Прантлов број за ваздух:

$$\text{Pr}_2 = \frac{\tilde{c}_{p2} \cdot \mu_2}{\lambda_2} \quad (5.47)$$

где је

- w_ε [m/s] – карактеристична брзина струјања ваздуха сведена на порозни пресек РТ:

$$w_\varepsilon = \frac{w_{kan}}{\varepsilon} \quad (5.48)$$

- w_{kan} [m/s] – фасадна брзина:

$$w_{kan} = \frac{\dot{V}_2}{B \cdot H} \quad (5.49)$$

- ρ_2 [kg/m³] – густина ваздуха,
- μ_2 [Pa·s] – динамичка вискозност ваздуха,
- \dot{V}_2 [m³/s] – запремински проток ваздуха кроз размењивач топлоте.

У прорачунима размењивача топлоте код „влажних“ режима за сваки оквашени сегмент разматраног РТ потребно је одредити температуру на граници фаза t_{gr} [°C], а то је учињено итеративним поступком решавања једначине укупне размењене топлоте по температури t_{gr} . Укупна количина топлоте коју топла вода преда ваздуху једнака је количини топлоте која се размени до границе фаза:

$$\dot{q} = k_{1gr} \cdot (t_1 - t_{gr}) \quad (5.50)$$

Са друге стране, може се написати да је та топлота једнака збиру латентне и осетне топлоте:

$$\dot{q} = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \Delta h_A(t_{gr}) + \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA} \cdot (t_{gr} - t_2)}{1 - \exp\left(-\frac{\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA}}{\alpha_2}\right)} \quad (5.51)$$

Изједначавањем претходне две једначине и решавањем новодобијене једначине по температури t_{gr} добија се њена неопходна вредност.

Величина k_{1gr} [W/m²·K] у једначини (5.50) представља коефицијент пролаза топлоте од топлијег флуида ка граници фаза и износи:

$$\frac{1}{k_{1gr}} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + R_1 \right) \cdot \frac{S_{sp}}{S_{un}} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \cdot \ln \frac{d_{kr}}{d_s} + \left(\frac{1}{\alpha_L} + R_2 \right) \cdot \frac{1}{\eta_L} \quad (5.52)$$

где η_L ['] представља ефикасност оребрене површине при наструјавању расхладне воде, који се може израчунати на основу следећег израза:

$$\eta_L = 1 - (1 - \theta_L) \cdot \frac{S_r}{S_{sp}} \quad (5.53)$$

где је θ_L ['] ефикасност ребра при наструјавању расхладне воде:

$$\theta_L = \frac{\tanh \sqrt{\frac{l_r^*}{\left(\frac{1}{\alpha_L} + R_2 \right) \cdot \lambda_r}}}{\sqrt{\frac{l_r^*}{\left(\frac{1}{\alpha_L} + R_2 \right) \cdot \lambda_r}}} \quad (5.54)$$

Према филмској теорији може се усвојити да је коефицијент прелаза топлоте са стране наструјавајуће воде једнак

$$\alpha_L = \frac{\lambda_L}{\delta_L} \quad (5.55)$$

где је λ_L [W/(m·K)] топлотна проводљивост, а δ_L [m] дебљина слоја расхладне воде. На основу израза за израчунавање средње брзине течности при кондензацији једнокомпонентне паре за вертикалну површину аналогно се може написати израз за рачунање дебљине слоја расхладне воде која струји преко спољне површине размењивача [54]:

$$\delta_L = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \dot{m}_L \cdot \mu_L}{\rho_L^2 \cdot B \cdot g}} \quad (5.56)$$

где су

- μ_L [Pa·s] – динамичка вискозност воде,
- ρ_L [kg/m³] – густина расхладне воде,
- B [m] – ширина флуидног тока,
- g [m/s²] – убрзање силе Земљине теже.

Битно је напоменути да су при анализи занемарени контактни отпори између ребара и цеви, а пошто је размењивач почео са радом непосредно пред мерења, сматрало се да су сви отпори провођењу топлоте услед запрљања занемарљиво мали.

6. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

У овом раду је извршена анализа података добијених мерењима пада притиска и топлотне снаге у „сувим“ и „влажним“ режимима размењивача топлоте са орошавањем ваздуха водом.

6.1. ПРОРАЧУН И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ПАДА ПРИТИСКА И ПРЕЛАЗА ТОПЛОТЕ И ВЛАГЕ НА ОРЕБРЕНОЈ ПОВРШИНИ

Пад притиска са ваздушне стране размењивача топлоте рачунат је према следећој једначини

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{L}{d_h} \cdot \frac{\rho \cdot w_\varepsilon^2}{2} \quad (6.1)$$

док су Рејнолдсов и Нуселтов број дефинисани једначинама

$$\text{Re}_2 = \frac{w_\varepsilon \cdot d_h \cdot \rho_2}{\mu_2} \quad (6.2)$$

$$\text{Nu}_2 = \frac{\alpha_2}{\lambda_2} \cdot d_h \quad (6.3)$$

Приликом разматрања размењене топлоте при распршивању воде узет је у обзир истовремени транспорт топлоте и супстанције.

6.2. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ДОБИЈЕНИХ У „СУВИМ“ РЕЖИМИМА РАДА РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ

Резултат анализе података из отворене литературе у вези са падом притиска и размењеном количином топлоте за „суве“ режиме рада РТ са ламеластим ребрима објављен је у раду [55], док је анализа ових података и података добијених сопственим мерењима објављена у радовима [53] и [56].

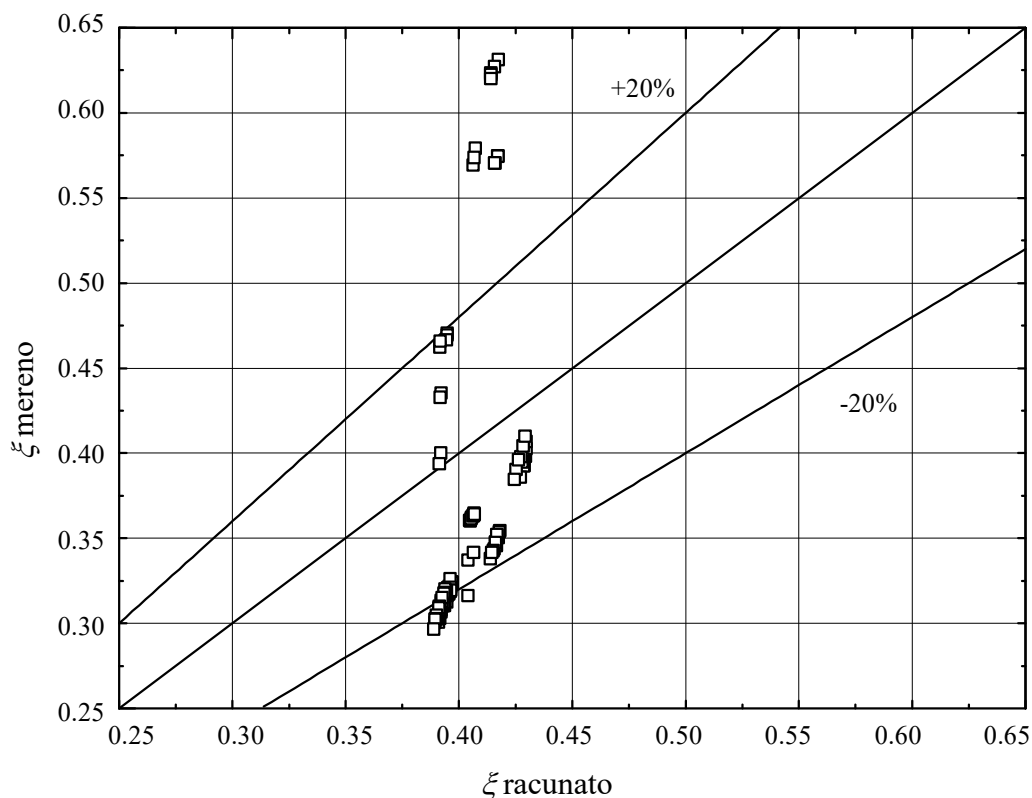
На основу спроведених анализа за прорачун коефицијента трења може се користити једначина [56]

$$\xi = \left(1,20 + 2692 \cdot \text{Re}_2^{-1,27}\right) \cdot \left(\frac{S_{sp}}{S_{mr}}\right)^{-0,61} \quad (6.4)$$

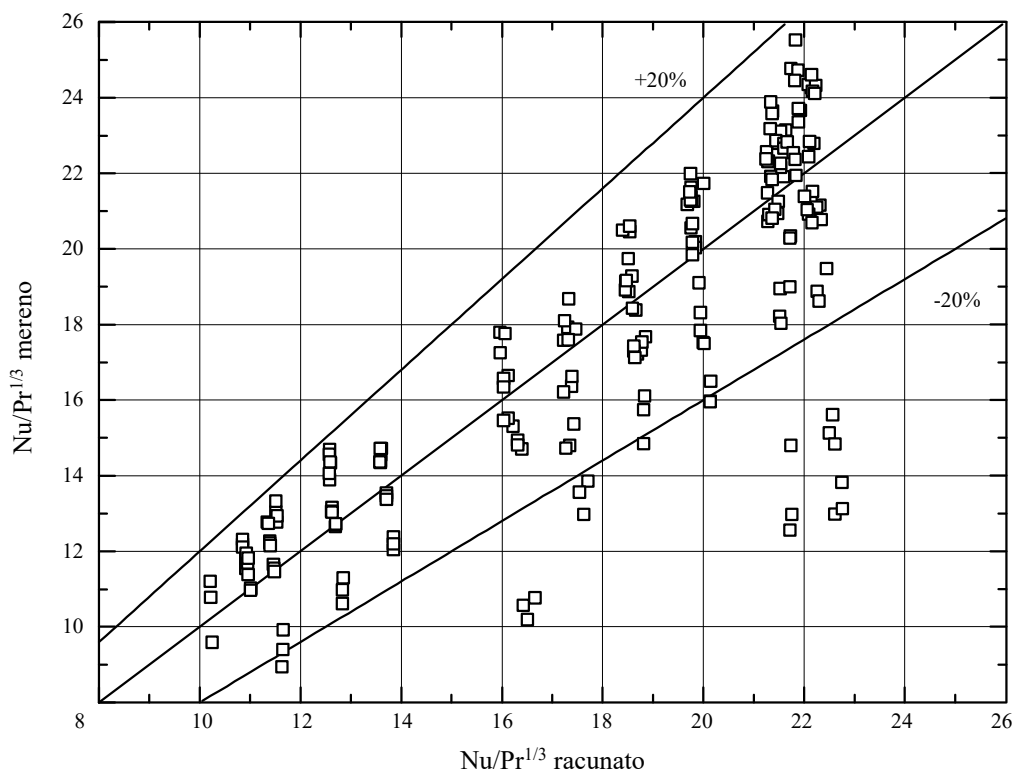
док се за прорачун топлотних перформанси размењивача топлоте може користити израз за Нуселтов број [53]

$$\text{Nu}_2 = 0,41 \cdot \text{Re}_2^{0,64} \cdot \text{Pr}_2^{1/3} \cdot \left(\frac{S_{sp}}{S_{mr}}\right)^{-0,37} \quad (6.5)$$

Паритетни дијаграми коефицијената отпора ступању и прелазу топлоте измерених и добијених на основу корелација представљених једначинама (6.4) и (6.5) при загревању ваздуха на оребреним цевима у „сувим“ режимима дати су на сликама 6.1. и 6.2, при чему су испрекиданим линијама означене грешке $\pm 20\%$. У прилогу А. дати су табеларно резултати мерења и то у табели А.4. за пад притиска, а у табели А.5. за топлотне перформансе.



Слика 6.1. Паритетни дијаграм једначине (6.4) у односу на измерене вредности



Слика 6.2. Паритетни дијаграм једначине (6.5) у односу на измерене вредности

6.3. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ДОБИЈЕНИХ У „ВЛАЖНИМ“ РЕЖИМИМА РАДА РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ

Како у отвореној литератури нема доступних података о РТ са ламеластим ребрима и цевима кружног попречног пресека у шаховском распореду при раду у „влажним“ режимима са и без сливања воде са површине РТ, у овом одељку анализирани су само подаци добијени на основу сопствених мерења.

6.3.1. Провера мерених и вредности добијених прорачуном

Пре спровођења прорачуна размењене топлоте извршена је провера мереног масеног протока испарене воде преко материјалног биланса целокупне инсталације:

$$\dot{m}_{isp,mb} = \dot{m}_2 \cdot (\tilde{Y}_{2k} - \tilde{Y}_{2p}) \quad (6.6)$$

као и провере енталпије и апсолутне влажности ваздуха на улазу у РТ, односно на излазу из маглене секције, при чему се за енталпију са стране измерене испарене воде може писати

$$h'_{2pRT} = h_{2p} + \frac{\dot{m}_{isp}}{\dot{m}_2} \cdot h_w \quad (6.7)$$

односно са стране измерене количине топлоте \dot{Q}_1

$$h''_{2pRT} = h_{2k} - \frac{\dot{Q}_1}{\dot{m}_2} \quad (6.8)$$

док за влажност ваздуха преко измерене испарене воде важи

$$\tilde{Y}'_{2pRT} = \tilde{Y}_{2p} + \frac{\dot{m}_{isp}}{\dot{m}_2} \quad (6.9)$$

односно преко излаза из РТ

$$\tilde{Y}''_{2pRT} = \tilde{Y}_{2k} \quad (6.10)$$

Енталпија ваздуха на излазу из маглене секције је проверавана и на основу специфичне енталпије влажног ваздуха у презасићеном подручју (подручје влажне магле) $h_{2p,az}$ [kJ/kg] која је једнака

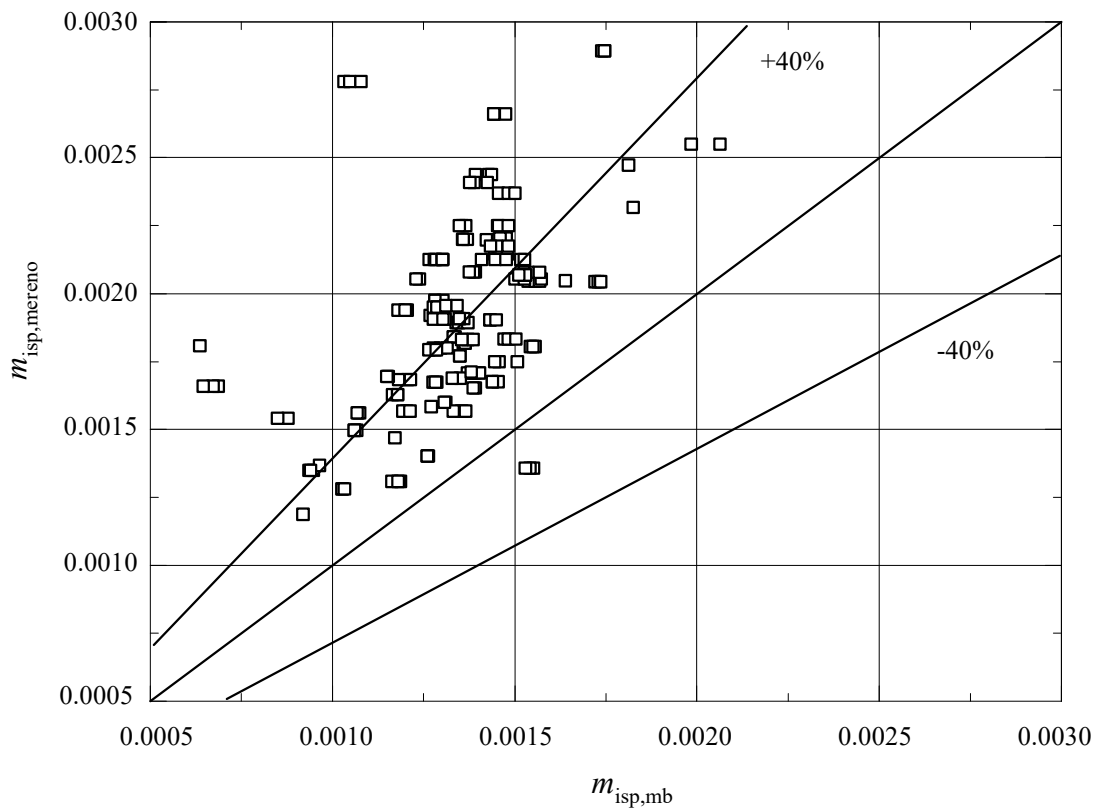
$$h_{2p,az} = \tilde{c}_{p,sv2} \cdot t_{az} + \tilde{Y}_{az} \cdot (\Delta h + \tilde{c}_{p,p2} \cdot t_{az}) + (\tilde{Y}'_{2pRT} - \tilde{Y}_{az}) \cdot \tilde{c}_{p,l2} \cdot t_{az} \quad (6.11)$$

где је t_{az} [°C] температура адијабатског засићења добијена на основу улазних параметара ваздуха у маглену секцију, $\tilde{c}_{p,sv2}$, $\tilde{c}_{p,p2}$ и $\tilde{c}_{p,l2}$ [J/(kg·K)] специфични топлотни капацитети сувог ваздуха, водене паре и воде у течном стању на датој температури респективно, а \tilde{Y}_{az} [kg_{vlage}/kg_{sv}] представља апсолутну влажност при адијабатском засићењу ваздуха.

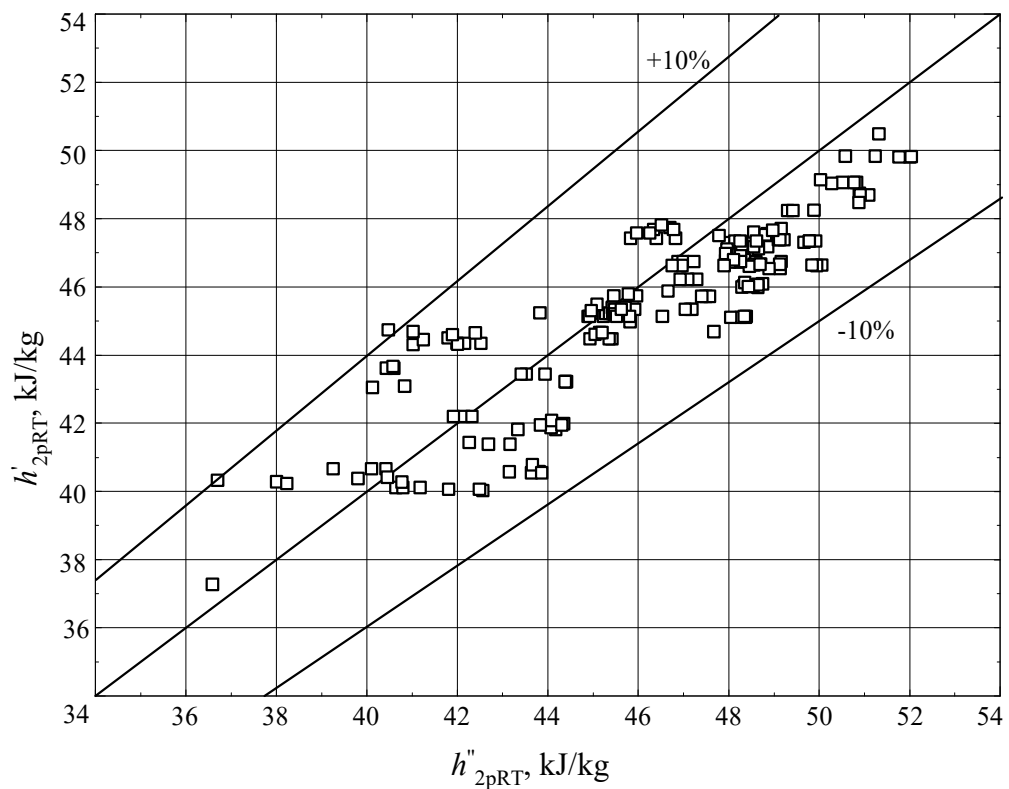
На сликама 6.3 – 6.6. су приказани паритетни дијаграми и то:

- на слици 6.3 – паритетни дијаграм мерених и рачунатих вредности масеног протока испарене воде,
- на слици 6.4 – паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха на улазу у РТ,
- на слици 6.5 – паритетни дијаграм апсолутних влажности ваздуха на улазу у РТ,
- на слици 6.6 – паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха у области влажне магле на улазу у РТ.

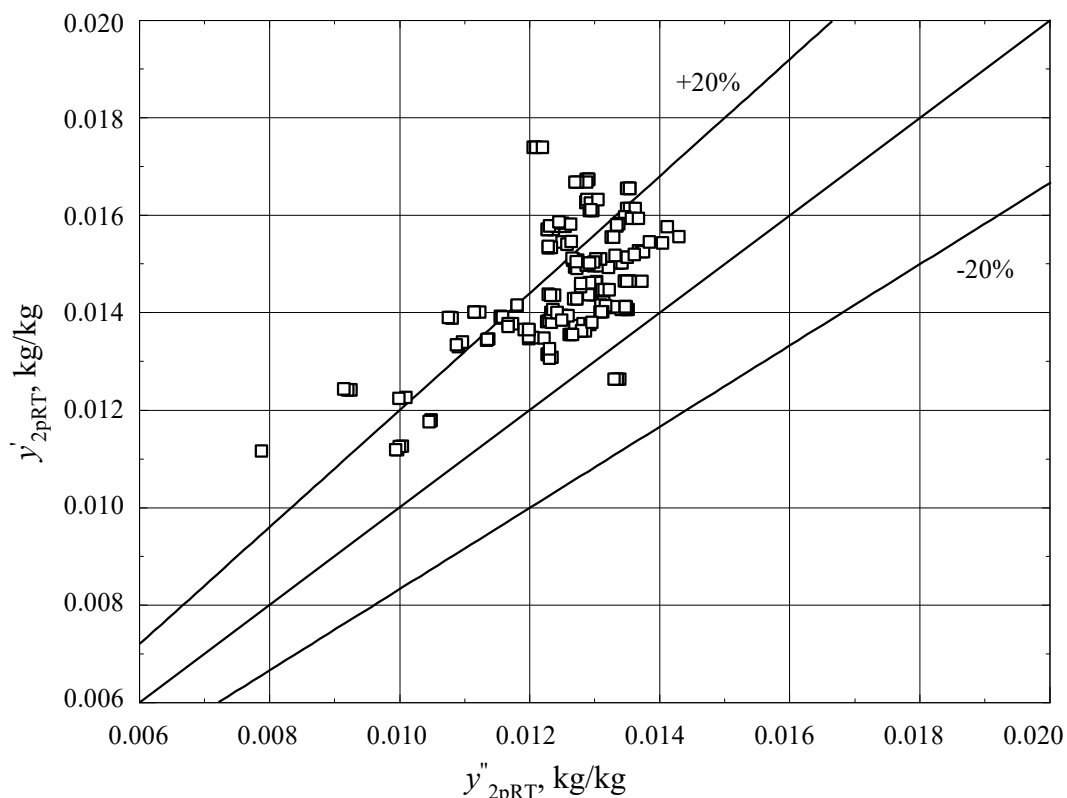
Одговарајуће мерене и рачунате вредности појединих величина дате су у прилогу Б. у табелама Б.4 – Б.7.



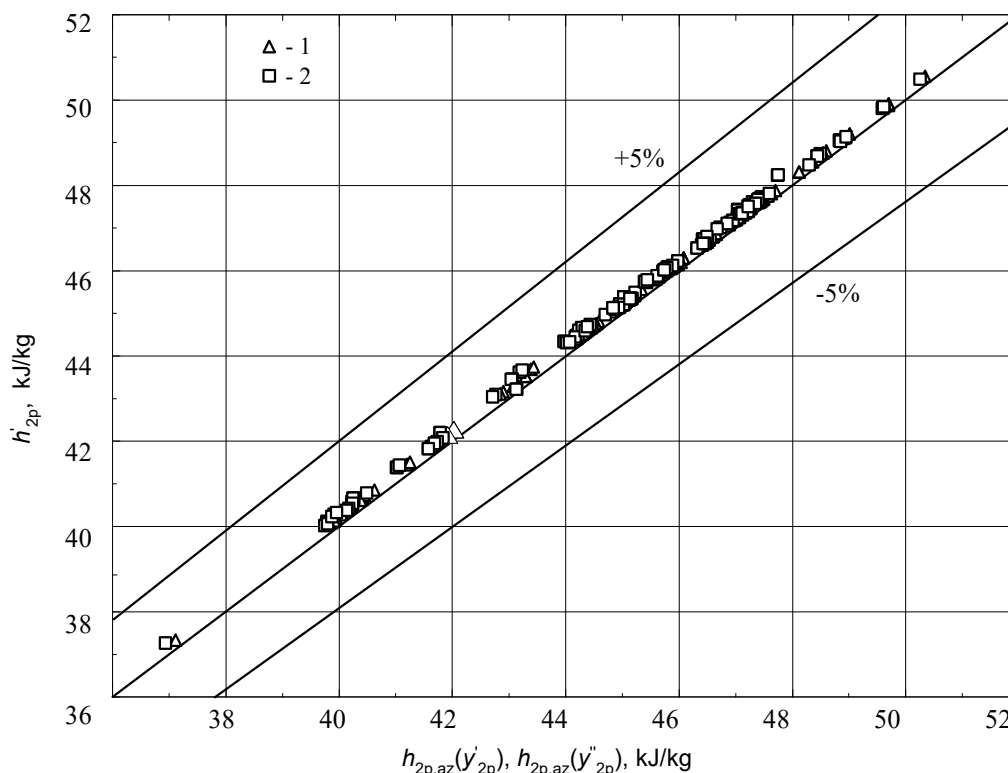
Слика 6.3. Паритетни дијаграм мерених и рачунатих вредности масеног протока испарене воде за област влажне магле



Слика 6.4. Паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха на улазу у РТ према једначинама (6.7) и (6.8) за област влажне магле



Слика 6.5. Паритетни дијаграм апсолутне влажности ваздуха на улазу у РТ према једначинама (6.9) и (6.10) за област влажне магле



Слика 6.6. Паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха за област влажне магле на улазу у РТ према једначинама (6.7) и (6.11)

Као што се са претходних дијаграма може приметити, све провераване вредности су у добром слагању, па су за даљи прорачун усвојене мерене вредности, тј. вредности масеног протока напрскаване воде и апсолутне влажности ваздуха израчунате на основу мерења протока воде која испарава помоћу ваге.

6.3.2. Математички модел симултане размене топлоте и супстанције за елементарну површину РТ

Како је у претходним одељцима већ напоменуто, при прорачунима симултаног транспорта топлоте и супстанције разматра се елементарна површина РТ која се своди на диференцијални пресек dS_{rt} , при чему се прорачун спроводи нумерички, итеративним путем, од пресека до пресека, где излазни податак из претходног круга представља улаз за наредну итерацију, тј. секцију размењивача. Размењивач је подељен у секције на основу броја редова цеви у правцу струјања ваздуха (8 редова цеви – 8 секција).

Приликом спровођења прорачуна у обзир су узети само они експериментални подаци који задовољавају услов стационарности:

$$\Delta_{St} = \frac{s_Q}{\dot{Q}_{sr}} \leq 15\% \quad (6.12)$$

где је s_Q [W] грешка мерења топлотне снаге дефинисана изразом (5.8), док је \dot{Q}_{sr} [W] средња вредност топлотне снаге за један мерни пролаз (режим) одређена једначином (5.7) – погледати табелу Б.3.у прилогу Б.

Прорачун за елементарну површину почиње провером да ли је апсолутна влажност при условима адијабатског засићења за параметре ваздуха на улазу у посматрани сегмент већа или мања у односу на апсолутну влажност ваздуха на улазу у РТ \tilde{Y}'_{2pRT} добијену прорачуном. Ова провера је била неопходна с обзиром на то да је размењивач у „влажним“ режимима са наструјавањем воде посматран као редна веза орошеног и сувог дела РТ, при чему се прорачун размене топлоте за ова два типа РТ разликује, како је објашњено у одељку 2.3 – једначине (2.96) и (2.103). У случају да је $\tilde{Y}'_{2pRT} > \tilde{Y}_{az}$, говори се о оквашеном делу РТ, а уколико је $\tilde{Y}'_{2pRT} \leq \tilde{Y}_{az}$, тада је реч сувом делу РТ.

Одређивањем својстава топле воде и ваздуха на средњим температурама и напрскавајуће воде на температури t_{oros} [°C] могу се одредити коефицијент прелаза топлоте са стране ваздуха за „суве“ режиме рада апарата коришћењем претходно дефинисане корелационе једначине (6.5), односно коефицијенти прелаза топлоте са стране топле воде помоћу једначина (5.34) и (5.35) и са стране напрскавајуће воде преко једначине (5.55). Коефицијент испаравања $\tilde{\beta}_Y$ [kgA/(m²·s·(kgA/ kgB))] рачунат је под претпоставком да Луисов фактор има јединичну вредност:

$$\tilde{\beta}_Y = \frac{\alpha_2}{\tilde{c}_{p2}} \quad (6.13)$$

Даљи кораци прорачуна за суве и оквашене сегменте РТ, као и диференцијалне промене одговарајућих величина, дати су у табели 6.1, а одговарајуће величине на излазу из посматране секције, односно на улазу у следећу, дате су у табели 6.2.

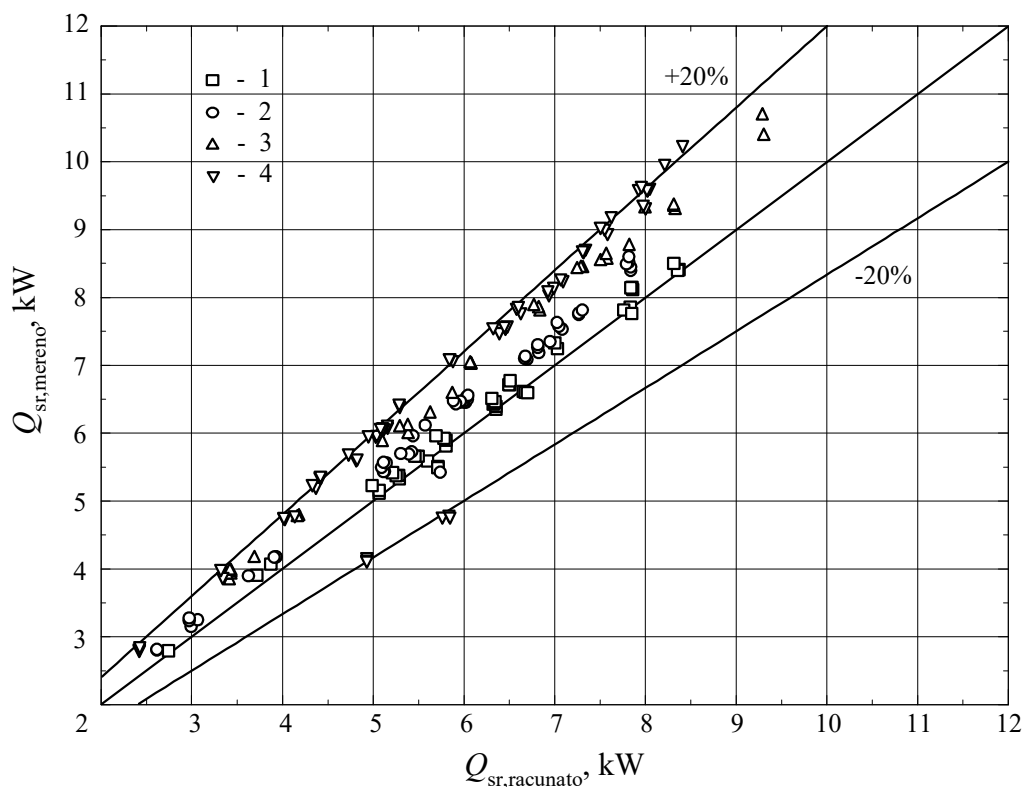
Табела 6.1. Прорачун потребних величина за елементарне површине РТ

Корак	Величина	Оквашени сегмент РТ	Суви сегмент РТ
1	Коефицијент пролаза топлоте	$\frac{1}{k_{igr}} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + R_1 \right) \cdot \frac{S_{sp}}{S_{un}} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \cdot \ln \frac{d_{kr}}{d_s} + \left(\frac{1}{\alpha_L} + R_2 \right) \cdot \frac{1}{\eta_L}$	$\frac{1}{k_{sp}} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + R_1 \right) \cdot \frac{S_{sp}}{S_{un}} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{d_s}{d_u} + \frac{S_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \cdot \ln \frac{d_{kr}}{d_s} + \left(\frac{1}{\alpha_2} + R_2 \right) \cdot \frac{1}{\eta_2}$
2	Испарена вода	$d\dot{m}_{isp} = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot dS_{rt}$	$d\dot{m}_{isp} = 0$
3	Промена апсолутне влажности ваздуха	$d\tilde{Y} = \frac{d\dot{m}_{isp}}{\dot{m}_2}$	$d\tilde{Y} = 0$
4	Размењена сува топлота	$\dot{q}_s = \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA}}{1 - \exp\left[-\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA} / \alpha_2\right]} \cdot (t_{gr} - t_2)$	$\dot{q}_s = k_{sp} \cdot (t_1 - t_2)$
5	Размењена латентна топлота	$\dot{q}_l = \tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \Delta h_A(t_{gr})$	/
6	Укупна размењена топлота	$\dot{q} = \dot{q}_l + \dot{q}_s$	$\dot{q} = \dot{q}_s$
7	Промена температуре влажног ваздуха		$dt_2 = \frac{\dot{q}_s}{\dot{m}_2 \cdot \tilde{c}_{p2}} \cdot dS_{rt}$
8	Промена енталпије ваздуха		$dh_2 = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_2} \cdot dS_{rt}$
9	Промена температуре топле воде		$dt_1 = \frac{\dot{q}}{\dot{m}_1 \cdot \tilde{c}_{p1}} \cdot dS_{rt}$

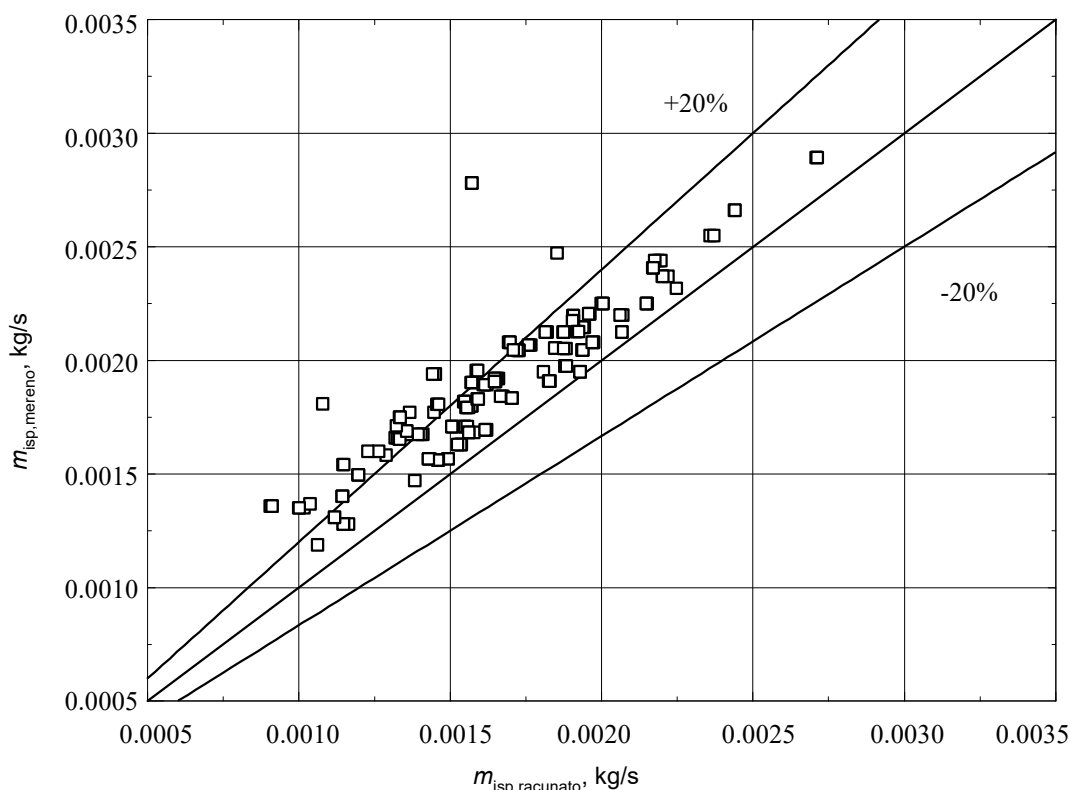
Табела 6.2. Потребне величине на излазу из посматраног сегмента РТ

Величина	Прорачун
Температура ваздуха	$t_2 = t_2 + dt_2$
Апсолутна влажност ваздуха	$\tilde{Y} = \tilde{Y} + d\tilde{Y}$
Енталпија ваздуха	$h_2 = h_2 + dh_2$
Температура топле воде	$t_1 = t_1 + dt_1$
Укупно размењена количина топлоте	$\dot{Q} = \dot{Q} + \dot{q} \cdot dS_{rt}$
Укупна количина испарене воде	$\dot{m}_{isp} = \dot{m}_{isp} + d\dot{m}_{isp}$

На сликама 6.7. и 6.8. приказани су паритетни дијаграми средњих топлотних снага РТ добијених мерењима и помоћу модела, односно измерених масених протока испарене воде и оних добијених из модела, чије су одговарајуће вредности дате у прилогу Б. у табелама Б.8. и Б.9. Примећује се да су измерене вредности нешто веће од оних добијених моделом, што представља позитивну страну модела.



Слика 6.7. Паритетни дијаграм средњих топлотних снага РТ измерених и добијених помоћу модела за област влажне магле (1 – до 5%, 2 – од 5% до 10%, 3 – од 10% до 15%, 4 – од 15% до 20%)



Слика 6.8. Паритетни дијаграм масених протока испарене воде измерених и добијених из модела за област влажне магле

Као што је у одељку 5.2.1. речено, за сваки од оквашених сегмената РТ итеративно се одређује температура на граници фаза t_{gr} , док се њена средња вредност, потребна за одређивање коефицијента прелаза топлоте са стране сливајуће воде, одређује као однос збира ових температура за укупну оквашену површину РТ S_{okv} [m²] и укупног броја оквашених деоница n_{okv} [/]:

$$t_{gr,sr} = \frac{\sum_0^{S_{okv}} t_{gr}}{n_{okv}} \quad (6.14)$$

6.3.3. Провера вредности добијених на основу модела и преко оквашене површине

Након спровођења свих неопходних корака прорачуна за целокупну површину РТ (оквашену и неоквашену), потребно је извршити проверу резултата добијених помоћу модела и преко средњих вредности провераваних величина.

Из једначине (2.85) се добија интегрална једначина

$$\int_{\tilde{Y}_p}^{\tilde{Y}_{k,okv}} \frac{d\tilde{Y}}{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}} = \int_0^{S_{okv}} \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot dS_{okv}}{\dot{m}_2} \quad (6.15)$$

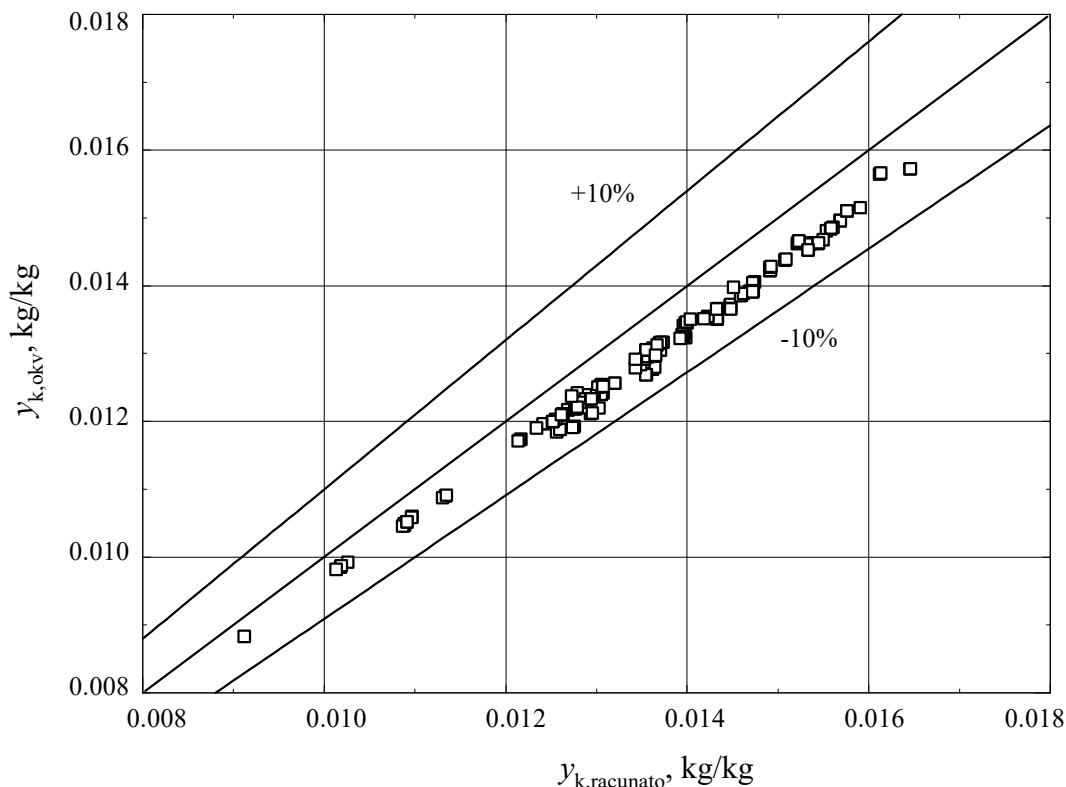
па следи да је

$$\ln \frac{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}_p}{\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}_{k,okv}} = \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot S_{okv}}{\dot{m}_2} \quad (6.16)$$

на основу чега се може добити израз за рачунање масеног односа водене паре према ваздуху на крају процеса влажења, тј. на излазу из оквашеног дела размењивача $\tilde{Y}_{k,okv}$ [kg_{vlage}/kg_{sv}] који је коришћен за проверу:

$$\tilde{Y}_{k,okv} = \tilde{Y}_{gr,sr} - (\tilde{Y}_{gr,sr} - \tilde{Y}_p) \cdot \exp\left(-\frac{\tilde{\beta}_Y \cdot S_{okv}}{\dot{m}_2}\right) \quad (6.17)$$

На слици 6.9. је приказан паритетни дијаграм апсолутних влажности ваздуха на излазу из оквашеног дела РТ према једначини (6.17) и вредности добијених из модела на крају РТ, чије су вредности дате у прилогу Б. у табели Б.10.



Слика 6.9. Паритетни дијаграм апсолутних влажности ваздуха на излазу из модела и оквашеног дела РТ према једначини (6.17) за област влажне магле

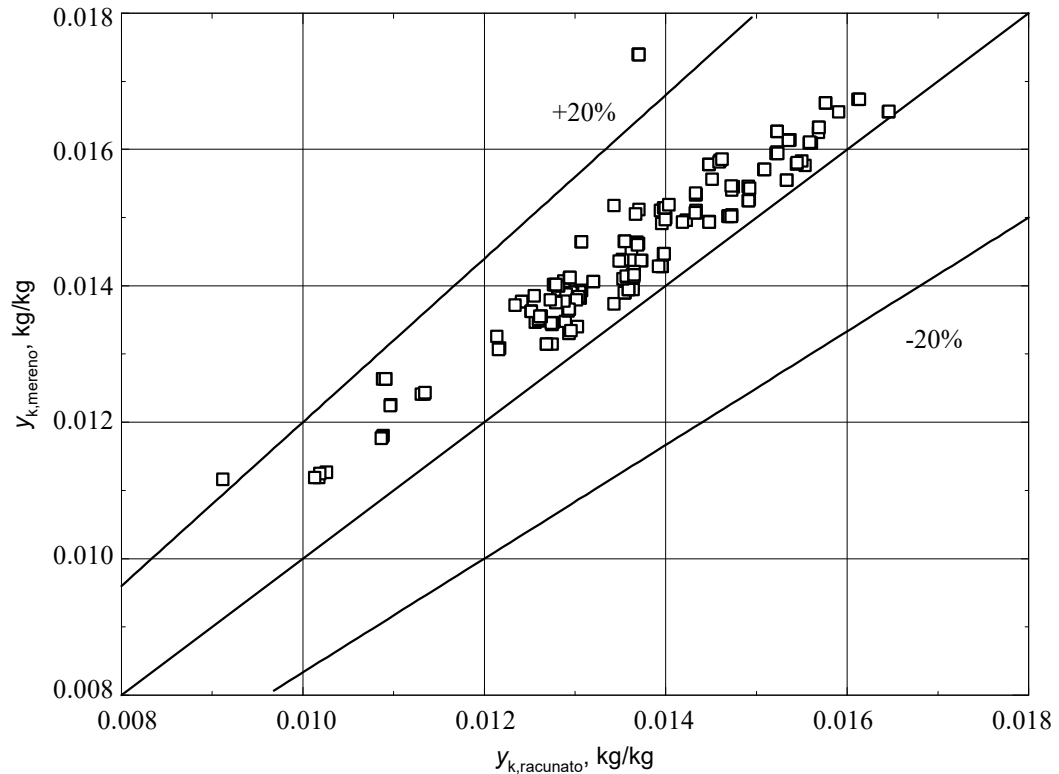
Паритетни дијаграм апсолутних влажности ваздуха на излазу из модела и вредности добијених мерењем приказан је на слици 6.10, чије су вредности дате у прилогу Б. у табели Б.11.

Ако се једначина (2.95) уврсти у једначину за промену температуре влажног ваздуха за елементарну површину РТ из табеле 6.1, добија се интегрална једначина

$$\int_{t_{2p}}^{t_{2k,okv}} \frac{dt_2}{t_{gr,sr} - t_2} = \int_0^{S_{okv}} \frac{\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA}}{\dot{m}_2 \cdot \tilde{c}_{p2} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\tilde{\beta}_Y \cdot (\tilde{Y}_{gr} - \tilde{Y}) \cdot \tilde{c}_{pA}}{\alpha_2}\right)\right]} \cdot dS_{okv} \quad (6.18)$$

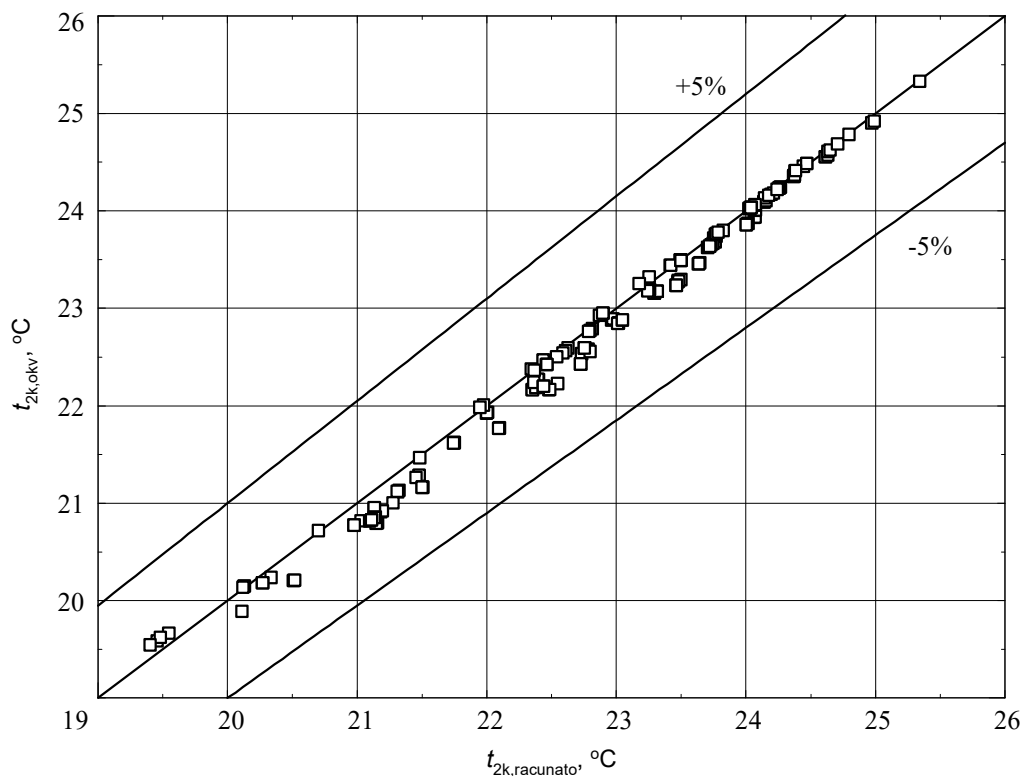
одакле следи израз који се може користити за проверу температуре на излазу из оквашеног дела РТ $t_{2k,okv}$ [°C]:

$$t_{2k,okv} = t_{gr,sr} - (t_{gr,sr} - t_{2p}) \cdot \exp\left[\frac{-\dot{m}_{isp} \cdot \tilde{c}_{pA} / S_{okv}}{\dot{m}_2 \cdot \tilde{c}_{p2} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\dot{m}_{isp} \cdot \tilde{c}_{pA}}{S_{okv} \cdot \alpha_2}\right)\right]} \cdot S_{okv}\right] \quad (6.19)$$



Слика 6.10. Паритетни дијаграм апсолутних влажности ваздуха на излазу из модела и вредности добијених мерењем за област влажне магле

На слици 6.11. је приказан паритетни дијаграм температура влажног ваздуха на излазу из оквашеног дела РТ према једначини (6.19) и вредности које су добијене из модела за цео РТ, што је дато у прилогу Б. у табели Б.12.

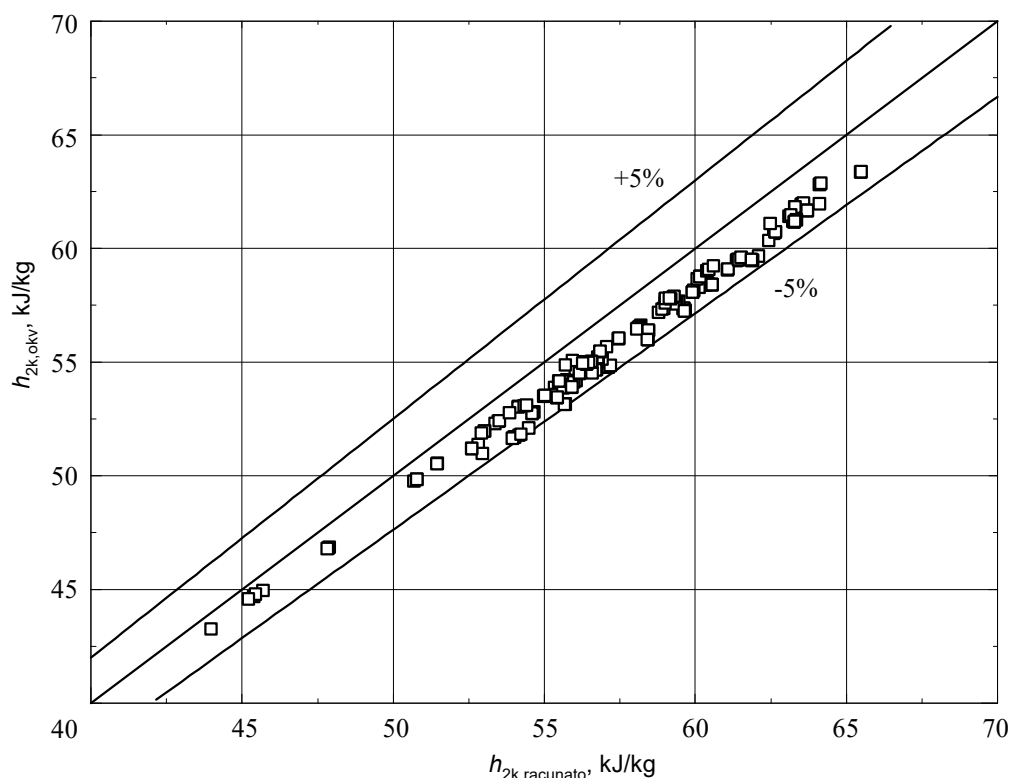


Слика 6.11. Паритетни дијаграм температура влажног ваздуха на излазу из модела и оквашеног дела РТ према једначини (6.19) за област влажне магле

Такође, имајући у виду једначину (2.80) може се добити израз за израчунавање енталпије ваздуха на излазу из последње оквашене секције размењивача $h_{2k,okv}$ [kJ/kg] (за проверу):

$$h_{2k,okv} = h_{gr,sr} - (h_{gr,sr} - h_{2p}) \cdot \exp\left(-\frac{\tilde{\beta}_Y \cdot S_{okv}}{\dot{m}_2}\right) \quad (6.20)$$

Паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха на излазу из оквашеног дела РТ добијених из модела и помоћу једначине (6.20) приказан је на слици 6.12, чије су вредности дате у прилогу Б. у табели Б.13.



Слика 6.12. Паритетни дијаграм енталпија влажног ваздуха на излазу из оквашеног дела РТ из модела и према једначини (6.20) за област влажне магле

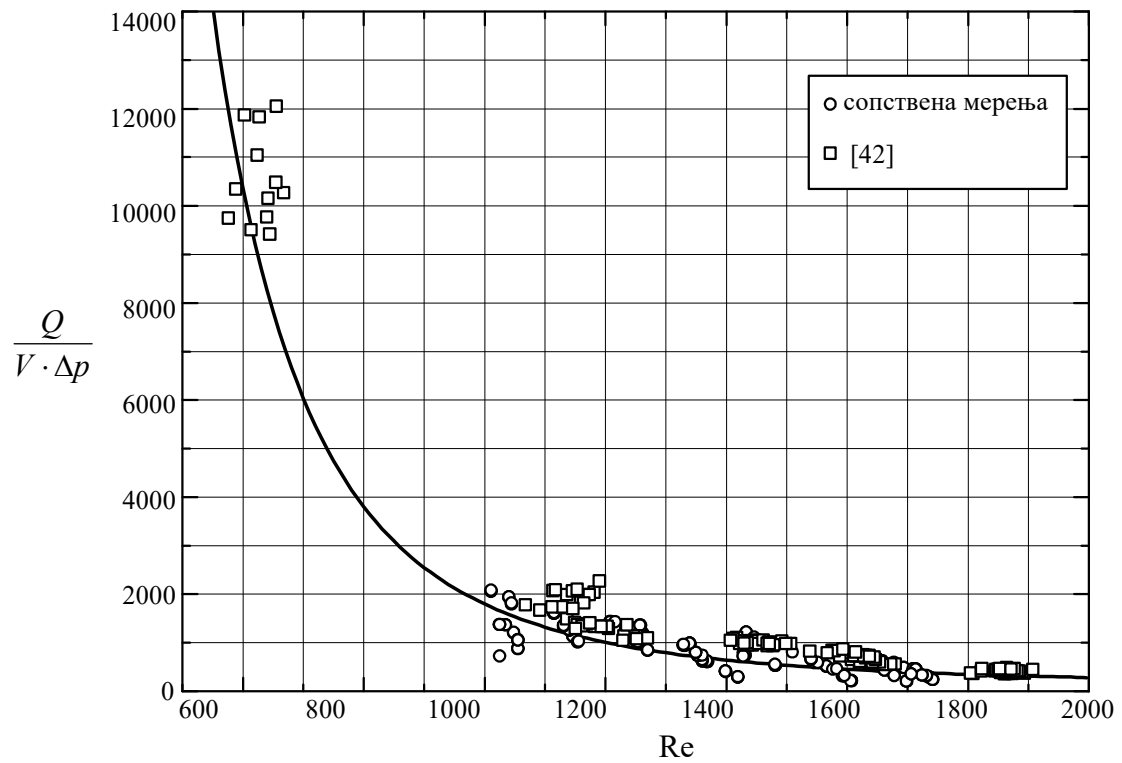
6.3.4. Пад притиска кроз РТ

Имајући у виду једначине (5.1) и (5.7) може се наћи корелација за бездимензијски однос $\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}$ на основу сопствених мерења са орошавањем ваздуха водом на улазу у РТ и истраживања из литературе [42], која су спроведена за услове одvlaживања ваздуха, тј. издвајања кондензата из ваздуха, у зависности од Рејнолдсовог броја:

$$\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} = 145,648 + 81795010896663 \cdot \text{Re}^{-3,565} \quad (6.21)$$

Статистички показатељи квалитета ове једначине су корелациони однос КО = 95,6 % и средње квадратно одступање је SD = 33,9 %, док су минимална и максимална грешка респективно -54,5 % и 126,1 %.

На слици 6.13. представљен је дијаграм који обухвата резултате мерења пада притиска кроз размењивач топлоте и размењене количине топлоте, тј. промену односа представљеног једначином (6.21) са променом Рејнолдсовог броја за сопствена мерења и из [42], а одговарајуће вредности су дате у прилогу Б. у табелама Б.14. и Б.15.



Слика 6.13. Пад притиска кроз РТ у влажним режимима и једначина (6.21)

7. ЗАКЉУЧАК

За размењиваче топлоте са оребреним цевима (РТОЦ) у литератури се може наћи велики број једначина за израчунавање коефицијената отпора струјања ваздуха и прелаза топлоте за различите режиме струјања при експлоатацији. Експериментални и нумерички подаци дефинисани за најразличитије конструкције и услове рада РТОЦ при размени сензибилне (суве) топлоте су бројни, али су литературни извори изразито скромни када су у питању РТОЦ који раде као загрејачи ваздуха (нпр. кондензатор расхладних уређаја) са орошавањем ваздуха водом на улазу у апарат, посебно у погледу тачности и примене доступних података. Анализирајући доступне литературне податке постављен је низ питања везаних за практичне проблеме са којима се инжењери срећу, а на које није нађен одговор у литературним изворима.

Кроз експериментални рад и теоријску анализу у оквиру ове докторске дисертације проучена је феноменологија транспорта топлоте, супстанције и количине кретања у циљу изналажења корелационих односа за израчунавање коефицијената трења, прелаза топлоте и влаге са ваздушне стране размењивача топлоте при реалним експлоатационим условима. Током истраживања испитивани су различити режими рада РТОЦ при орошавању ваздуха водом, а мерења су спроведена на новопроектваној инсталацији која је монтирана на Машинском факултету у Београду.

Полазна хипотеза се базира на теорији сличности и тројној аналогiji што значи да су отпор струјању кроз размењивач (пад притиска), коефицијенти прелаза топлоте и супстанције (транспорт влаге) међусобно повезани и условљени и зависе од:

- флуидодинамичких параметара наструјавајућег ваздуха,
- својстава двокомпонентне двофазне мешавине ваздуха и влаге, односно воде, што укључује температуру и састав орошеног ваздуха,
- температуре на површини размењивача топлоте која је у контакту са орошеним ваздухом,
- конструкционих параметара РТОЦ (димензије и распоред цеви и ребара, величина струјног канала, број редова цеви, итд) који се могу изразити у облику низа односа геометријских величина.

Научни методи који су примењени односе се на математичко моделирање које обухвата:

- прелиминарне прорачуне на бази постојећих прорачунских процедура,
- експериментална истраживања радних параметара РТОЦ на физичком моделу,
- статистичку анализу добијених резултата и њихово уопштавање помоћу теорије сличности.

Експериментални рад је обухватао мерења топлотних и струјних перформанси на физичком моделу (размењивачу топлоте), који ради као загрејач ваздуха помоћу радног флуида који не мења фазу при струјању кроз цеви апарата. Протоци и температуре радних флуида су се мењали у опсегу који омогућава експериментална инсталација, а на основу којих се могу извршити уопштавања експериментално добијених података.

Обрада експерименталних резултата је спроведена методама статистичке анализе (метод најмањих квадрата, итд) да би се одредили релевантни параметари рада РТОЦ, а на основу њих је применом теорије сличности израђен математички модел.

Циљ истраживања је да се обрадом експерименталних података одреде једначине за израчунавање коефицијената отпора струјању и прелаза топлоте и влаге са ваздушне стране на сложеној геометрији РТ који ради као ваздушни хладњак при реалним

експлоатационим условима са орошавањем ваздуха, а у функцији од меродавних критеријума сличности. Под овим се подразумевају следећи резултати:

- развој експерименталне инсталације за испитивање струјно-термичких перформанси рада ваздушног хладњака са оребреним цевима у условима орошавања ваздуха на улазу у апарат,
- дефинисање меродавних бездимензионих параметара неопходних за корелисање пада притиска и коефицијената прелаза топлоте и супстанције,
- одређивање критеријалних једначина за пад притиска и коефицијенте прелаза топлоте и супстанције који ће обезбедити довољну прецизност прорачуна за конкретне инжењерске проблеме,
- дефинисање поуздане прорачунске процедуре за димензионисање и оптимизацију РТОЦ при раду са орошавањем ваздуха водом.

Оригинални научни допринос ове докторске дисертације у оквиру које су разматране перформансе рада РТОЦ при орошавању ваздуха водом на улазу у апарат представља следеће:

- представљен је преглед отворене литературе у вези са падом притиска и размењеном количином топлоте за „суве“ режиме рада РТ са ламеластим ребрима, а резултат анализе података је објављен у раду [55], док је анализа ових података и података добијених сопственим мерењима у оквиру ове дисертације објављена у радовима [53] и [56],
- извршено је експериментално истраживање рада предметних РТ са орошавањем ваздуха, дата је критичка анализа доступне литературе која се бави радом ових апарата и представљен је математички модел са истовременим транспортом топлоте и супстанције,
- одређена је корелација за израчунавање коефицијента отпора струјању у „влажним“ режимима рада РТ.

Поред овога, битно је напоменути да је остварен и инжењерски допринос у дисертацији:

- одређене су оригиналне критеријалне једначине за израчунавање отпора струјању и коефицијента прелаза топлоте при струјању ваздуха преко оребрених цеви у „сувим“ режимима рада које су погодне за инжењерску праксу, што је представљено у радовима [53], [55] и [56],
- финализација прорачунских процедура за прорачун коефицијента прелаза топлоте и отпора струјању извршена је у таквом облику да омогућава да се техно-економска оптимизација РТОЦ, што и јесте циљ од важности за инжењерску праксу, може обавити јасно и једнозначно,
- спроведена је оптимизација (предвиђање) потрошње воде потребне за орошавање ваздуха на бази економских показатеља (трошкова).

На Машинском факултету Универзитета у Београду се преко 30 година врше истраживања топлотних и струјних перформанси рада рекуперативних размењивача топлоте, што је резултирало израдом докторских дисертација [41], [42] и [43], које се баве „сувим“ режимима рада РТ и режимима са одвлаживањем ваздуха, тј. издвајањем кондензата. Са њима ова докторска дисертација, чији је предмет испитивање рада РТ са орошавањем ваздуха, заокружује целокупну проблематику рада РТОЦ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Јаћимовић, Б., Генић, С., Топлотне операције и апарати, Део 1: Рекуперативни размењивачи топлоте, Београд, Машински факултет Универзитета у Београду, 2016.
- [2] Генић, С., Јаћимовић, Б., Митић, С., Колендић, П., Економске анализе за потребе процесног инжењерства, Београд, Савез машинских и електротехничких инжењера и техничара Србије, 2014.
- [3] Вујић, С., Расхладни уређаји, Београд, Машински факултет Универзитета у Београду, 1991.
- [4] Heat Exchanger Design Handbook, Washington, Hemisphere Publishing, 1986.
- [5] Bhatia, M. V., Cheremisinoff, P. N., Heat Transfer Equipment, Lancaster, Technomic Publishing Company Inc., 1980.
- [6] Perry R. H., Green D., Perry's Chemical Engineers' Handbook, New York, McGraw-hill, 1997.
- [7] Јаћимовић, Б., Генић, С., Дифузионе операције и апарати, Део 1: Основи транспорта супстанције, Београд, Машински факултет Универзитета у Београду, 2007.
- [8] Chilton T. H., Colburn A. P., "Mass Transfer (Absorption) Coefficients Prediction from Data on Heat Transfer and Fluid Friction," *Industrial & Engineering Chemistry*, vol. 26, p. 1183, 1934.
- [9] Јаћимовић, Б., Генић, С., Принципи моделирања у процесној техници, Скрипта за докторске студије, Београд, Машински факултет Универзитета у Београду, 2005.
- [10] Милованчевић, У., Коси, Ф., Стојковић, М., Стевановић, С., "Прелаз топлоте и влаге са смрзнуте површине – инжењерски приступ," *Међународни конгрес КГХ*, Београд, 2014.
- [11] Lapple C. E., Shepherd C. B., "Calculation of particle trajectories," *Ind. Eng. Chem.*, vol. 32, p. 605, 1940.
- [12] Genić, S., Jaćimović, B., Janjić, B., "Experimental Research of Highly Viscous Fluid Cooling In Cross-Flow to a Tube Bundle," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, p. 1288–1294, 2007.
- [13] Qi, M., Yue, T., Hua, M., Pan, X.-h., Jiang, J., "Experimental research on water curtain diluting heavy gas dispersion in limited space with no ventilation," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 43, p. 471–478, 2016.
- [14] Collin, A., Boulet, P., Parent, G., Vetrano, M. R., Buchlin, J.-M., "Dynamics and thermal behaviour of water sprays," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 47, pp. 399-407, 2008.
- [15] Basinger, B., Aguilar, G., Nelson, J. S., "Effect of skin indentation on heat transfer during cryogen spray cooling," *Lasers in Surgery and Medicine*, vol. 34, no. 2, pp. 155 - 163, 2004.

- [16] Tirawat, D., Flick, D., Mérendet, V., Derens, E., Laguerre, O., "Combination of fogging and refrigeration for white asparagus preservation on vegetable stalls," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 124, pp. 8-17, 2017.
- [17] Lecoq, L., Flick, D., Laguerre, O., "Study of the water evaporation rate on stainless steel plate in controlled conditions," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 111, pp. 450-462, 2017.
- [18] Hnizdil, M., Kotrbacek, P., "Heat treatment of rails," *Materiali in Tehnologije*, vol. 51, no. 2, p. 329-332, 2017.
- [19] Hnizdil, M., Chabicovsky, M., Rauden, M., Lee, T.-W., "Heat Transfer during Spray Cooling of Flat Surfaces with Water at Large Reynolds Numbers," *Journal of Flow Control, Measurement & Visualization*, vol. 4, no. 3, pp. 104-113, 2016.
- [20] Zhang, Y., Wen, Z., Zhao, Z., Bi, C., Guo, Y., Huang, J., "Laboratory Experimental Setup and Research on Heat Transfer Characteristics during Secondary Cooling in Continuous Casting," *Metals*, vol. 9, p. 61, 2019.
- [21] Mzad, H., Khelif, R., "Effect of Spraying Pressure on Spray Cooling Enhancement of Beryllium-Copper Alloy Plate," *Procedia Engineering*, vol. 157, pp. 106-113, 2016.
- [22] Fu, T.L., Wang, Z.D., Deng, X.T., Liu, G.H., Wang, G.D., "The influence of spray inclination angle on the ultra fast cooling of steel plate in spray cooling condition," *Applied Thermal Engineering*, vol. 78, pp. 500-506, 2015.
- [23] Mudawar, I., Estes, K. A., "Optimizing and Predicting CHF in Spray Cooling of a Square Surface," *Journal of Heat Transfer*, vol. 118, pp. 672-679, 1996.
- [24] Chen, S-J., Tseng, A. A., "Spray and jet cooling in steel rolling," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 13, no. 4, pp. 358-369, 1992.
- [25] Pnueli, D., "Transient cooling by a liquid spray of a surface heated above the boiling temperature: Experimental investigation," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 17, no. 5, pp. 537-544, 1990.
- [26] Issa, R., "Multiphase Spray Cooling Technology in Industry," in *Advanced Technologies*, INTECH Open Access, 2009.
- [27] Finlay, I., McMillan, T., "Pressure loss during air/water mist flow across a staggered bank of tubes," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 1, pp. 601-606, 1974.
- [28] Yang, W-J., Clark, D.W., "Spray cooling of compact heat exchangers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 18, pp. 311-317, 1975.
- [29] Nakayama, W., Kuwahara, H., Hirasawa, S., "Heat transfer from tube banks to air/water mist flow," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 31, no. 2, p. 449-460, 1988.
- [30] Dreyer, A. A., Kriel, D. E., Erens, P. J., "Analysis of spray-cooled finned-tube heat exchangers," *Heat Transferring Engineering*, vol. 13, no. 4, pp. 53-71, 1992.
- [31] Hasan, A. , Sirén, K., "Performance investigation of plain and finned tube evaporatively cooled heat exchangers," *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, no. 3, pp. 325-340, 2003.
- [32] Youbi-Idrissi, M., Macchi-Tejeda, H., Fournaison, L., Guilpart, J., "Numerical model of sprayed air cooled condenser coupled to refrigerating system," *Energy Conversion and Management*, vol. 48, no. 7, pp. 1943-1951, 2007.

- [33] Wang, C.-C., Chang, C.-T., "Heat and mass transfer for plate fin-and-tube heat exchangers, with and without hydrophilic coating," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 41, pp. 3109-3120, 1998.
- [34] Chen, C.-W., Yang, C.-Y., Hu, Y.-T., "Heat Transfer Enhancement of Spray Cooling on Flat Aluminum Tube Heat Exchanger," *Heat Transfer Engineering*, vol. 34, no. 1, p. 29–36, 2013.
- [35] Boulet, P., Tissot, J., Trinquet, F., Fournaison, L., "Enhancement of heat exchanges on a condenser using an air flow containing water droplets," *Applied Thermal Engineering*, vol. 50, pp. 1164-1173, 2013.
- [36] Tissot, J., Boulet, P., Trinquet, F., Fournaison, L., Lejeune, M., Liaudet, F., "Improved energy performance of a refrigerating machine using water spray upstream of the condenser," *International Journal of Refrigeration*, vol. 38, pp. 93-105, 2014.
- [37] Popli, S., Lee, H., Hwang, Y., Radermacher, R., "Visualization of evaporatively cooled heat exchanger wetted fin area," in *15th International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, 2014.
- [38] Bălănescu, D.-T., Homutescu, V.-M., Lupu, A. G., "Experimental study on enhanced heat transfer by water spraying in the cooling air flow," in *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2018.
- [39] Розенфельд, Л., Ткачев, А., Холодильные машины и аппараты, Москва: Государственное издательство торговой литературы, 1955.
- [40] Otović, M., Milovančević, U., Genić, S., Mitrović, N., Černicin, V., Otović, S., Antić, M., "Testiranje uticaja sistema za predhlađenje vodenom maglom na efikasnost rada vazdušnog hladnjaka," in *51. Međunarodni kongres i izložba o KGH*, Beograd, Srbija, 2020.
- [41] Колендић, П., Истраживања параметара транспорта топлоте код оребрених хладњака и загрејача : докторска дисертација, Београд, 2013.
- [42] Милованчевић, У., Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима : докторска дисертација, Београд, 2016.
- [43] Михаиловић, М., Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви : докторска дисертација, Београд, 2019.
- [44] *EN 306: 1997 Heat exchangers – Methods of measuring the parameters for establishing performance.*
- [45] *EN 307: 1997 Heat exchangers – Guidelines for preparing installation, operating and maintenance instructions required to maintain the performance of each type of heat exchanger.*
- [46] *EN 1148: 1997 Heat exchangers – Water to water heat exchangers for district heating – Test procedure for establishing the performance data.*
- [47] *EN 305: 1997 Heat exchangers – Definitions of performance of heat exchangers and the general test procedure for establishing performance of all heat exchangers.*
- [48] Batty, J., Danen, G., Van der Heul, F., Jansen, J., Nanning, P., *Shell flow meter engineering handbook*, McGraw–Hill, McGraw–Hill, 2nd edition, 1985.
- [49] *SRPS ISO 3966: 2013 BSRIA AG 3/89.3.*

- [50] Маркоски, М., Цевни водови, Београд, Машински факултет Универзитета у Београду, 2006.
- [51] ASHRAE Handbook - Fundamentals, 2013.
- [52] Генић, С., Јаћимовић, Б., Јарић, М., Будимир, Н., Својства процесних флуида, Београд: Савез машинских и електротехничких инжењера и техничара Србије, 2014.
- [53] Mihailović, M., Milovančević, U., Genić, S., Jaćimović, B., Otović, M., Kolendić, P., "Air side heat transfer coefficient in plate finned tube heat exchangers," *Experimental Heat Transfer*, vol. 33, no. 4, pp. 388-399, 2019.
- [54] Јаћимовић, Б., Генић, С., Виши курс из процесних феномена, Скрипта за докторске студије, Београд, Машински факултет Универзитета у Београду, 2019.
- [55] Otović, M., Mihailović, M., Genić, S., Jaćimović, B., Milovančević, U., Marković, S., "Reconsideration of data and correlations for plate finned-tube heat exchangers," *Heat and Mass Transfer*, vol. 54, p. 2987–2994, 2018.
- [56] Marković, S., Jaćimović, B., Genić, S., Mihailović, M., Milovančević, U., Otović, M., "Air side pressure drop in plate finned tube heat exchangers," *International Journal of Refrigeration*, vol. 99, pp. 24-29, 2019.

ПРИЛОЗИ

**А. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА ТОПЛОТНИХ И СТРУЈНИХ ПЕРФОРМАНСИ РТОЦ
У „СУВИМ“ РЕЖИМИМА**

Табела А.1. Резултати мерења пада притиска у „сувим“ режимима

Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{PT}	Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{PT}
	[m ³ /h]	[Pa]		[m ³ /h]	[Pa]
1	766	23,93	70	1067	37,86
2	761	23,93	71	1066	37,87
3	766	23,93	72	1066	37,87
4	756	23,93	73	1068	37,86
5	772	23,93	74	1066	37,87
6	761	23,93	75	1071	37,87
7	761	23,93	76	1071	37,86
8	750	23,93	77	1071	37,87
9	761	23,93	78	1071	37,86
10	756	23,92	79	1071	37,86
11	750	23,93	80	1068	37,86
12	745	23,92	81	1071	37,87
13	761	23,93	82	1066	37,87
14	767	23,93	83	1066	37,87
15	756	23,93	84	1071	37,87
16	837	25,94	85	1064	37,86
17	837	25,94	86	1071	37,86
18	842	25,94	87	1078	37,87
19	847	25,94	88	1070	37,87
20	838	25,94	89	1067	37,87
21	848	25,94	90	1062	37,87
22	842	25,94	91	1055	37,87
23	838	25,94	92	1071	37,86
24	837	25,94	93	1067	37,86
25	858	43,31	94	1070	37,87
26	859	47,63	95	1071	37,86
27	858	43,31	96	1066	56,19
28	847	25,94	97	1067	56,18
29	843	25,94	98	1070	56,19
30	848	25,94	99	1101	39,85
31	852	25,94	100	1105	39,85
32	848	25,94	101	1115	39,86
33	847	25,94	102	1104	39,86
34	858	43,31	103	1114	39,87
35	857	43,31	104	1110	39,87
36	858	47,64	105	1114	39,87
37	856	47,66	106	1110	39,87
38	857	47,65	107	1110	39,87
39	859	47,63	108	1124	39,86
40	931	51,88	109	1117	39,86
41	924	51,87	110	1115	39,87
42	927	51,87	111	1094	39,87
43	953	29,90	112	1098	39,88
44	953	31,89	113	1098	39,87

Наставак табеле А.1.

Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}	Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}
	[m ³ /h]	[Pa]		[m ³ /h]	[Pa]
45	953	31,89	114	1126	39,87
46	953	33,88	115	1113	39,86
47	953	33,88	116	1115	39,87
48	953	33,88	117	1113	39,86
49	952	33,88	118	1120	39,86
50	952	33,88	119	1101	39,86
51	952	33,88	120	1111	39,86
52	953	33,88	121	1104	39,86
53	953	33,88	122	1099	39,87
54	954	31,88	123	1116	39,86
55	953	33,88	124	1105	39,86
56	954	33,88	125	1105	39,86
57	953	33,88	126	1110	39,87
58	953	33,88	127	1117	39,87
59	954	33,88	128	1114	39,87
60	954	33,88	129	1113	39,86
61	954	33,88	130	1124	39,86
62	954	33,88	131	1124	39,86
63	1067	37,86	132	1111	51,87
64	1067	37,86	133	1109	56,18
65	1067	37,86	134	1120	51,86
66	1066	37,86	135	1111	56,19
67	1066	37,86	136	1116	60,51
68	1066	37,86	137	1112	60,51
69	1066	37,86			

Табела А.2. Резултати мерења топлотних перформанси у „сувим“ режимима

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]
1	60,69	22,8	34,0	53,6	6,0	312	63,8	51,9	11,9
2	60,69	22,9	34,0	54,7	5,9	315	63,8	51,5	12,3
3	60,69	22,9	33,9	55,5	5,7	319	64,4	51,9	12,6
4	73,69	23,4	33,2	55,5	6,2	337	63,8	52,2	11,6
5	73,69	23,4	33,2	55,6	6,1	336	63,8	52,1	11,7
6	73,69	23,4	33,2	55,3	6,3	332	63,3	52,1	11,3
7	73,69	23,6	32,7	52,2	7,1	264	61,1	48,2	12,9
8	73,69	23,5	32,8	52,2	7,1	263	60,9	47,9	13
9	73,68	23,5	33,3	51,9	7,3	264	60,4	47,6	12,9
10	73,69	23,6	32,8	50,2	7,9	201	60,5	44,2	16,3
11	73,69	23,5	33,1	50,1	7,9	198	60,4	44,3	16,1
12	73,68	23,6	32,8	50,2	7,8	202	60,4	44,1	16,4
13	73,69	23,4	31,8	47,5	8,5	149	59,7	40,1	19,6
14	73,69	23,5	32,2	47,7	8,5	146	59,9	40,1	19,9
15	73,69	23,4	32,5	47,8	8,5	148	60	40,3	19,7
16	90,97	25,1	31,9	55,5	6,4	388	63	53	10
17	90,97	25,1	31,7	55,7	6,4	390	63	53,1	10
18	86,62	25,2	31,4	55,6	6,5	384	63	53,2	9,8
19	90,97	25,3	32,2	54,3	6,8	320	62,2	50,9	11,3
20	90,95	25,3	31,6	54,3	6,9	317	62,3	50,8	11,5
21	86,63	25,2	31,8	54,3	6,9	313	62,2	50,8	11,5
22	86,64	25,3	31,7	52,9	7,3	250	61,9	48,3	13,6
23	86,64	25,2	31,8	52,6	7,4	254	61,6	48,2	13,4
24	86,64	25,1	32,0	52,5	7,4	248	61,4	48	13,4
25	86,64	25,2	31,9	49,2	8,7	170	60,2	42,8	17,5
26	86,64	25	32,0	49,1	8,7	165	60	42,6	17,4
27	86,64	25,2	31,7	48,6	8,9	167	59,4	42,4	17
28	86,64	25,1	32,3	41,6	12,7	77	56,3	34,2	22,1
29	86,65	25	31,8	40,9	13,0	73	55,3	33	22,2
30	86,66	24,8	32,2	40,1	13,5	75	54,1	32,1	22
31	117,02	24,2	33,4	54,2	6,9	301	64,4	49,9	14,5
32	117,02	24,2	33,3	55,1	6,9	303	65,3	50,6	14,7
33	117,02	24,4	32,9	55,2	6,9	305	65,4	50,9	14,5
34	117,01	24,4	32,8	54,5	6,9	246	66	48,5	17,5
35	117,02	24,4	32,8	54,7	6,7	243	66,6	48,9	17,7
36	117,02	24,5	32,6	55,1	6,6	245	66,8	49,2	17,6
37	117,01	24,4	33,1	52,9	7,2	190	66,9	45,7	21,2
38	117,01	24,5	33,8	52,9	7,2	188	66,9	45,6	21,3
39	117,01	24,4	32,9	52,8	7,2	186	66,8	45,6	21,2
40	117,01	24,5	33,0	49,7	8,5	143	65,8	41,1	24,8
41	117,01	24,5	32,9	49,6	8,4	146	65,7	41	24,7
42	117,02	24,5	32,9	49,6	8,4	144	65,6	40,9	24,7
43	117,01	24,4	33,5	44	11,2	85	64,1	34,6	29,5
44	117,02	24,5	33,1	43,7	11,4	87	64	34,2	29,9

Наставак табеле А.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]
45	117,02	24,5	33,1	43,3	11,6	81	63,7	33,1	30,6
46	143,03	23,2	33,8	38,8	13,7	89	58,2	30,2	27,9
47	143,04	23,2	34,3	38,8	13,8	87	58,2	30,3	27,8
48	143,04	23,2	34,0	38,8	13,8	88	58,2	30,3	27,8
49	143,03	23,3	34,1	44,2	10,5	149	59,8	36,9	22,9
50	143,04	23,3	34,0	44,3	10,5	148	59,8	37,1	22,8
51	143,03	23,2	34,3	44,4	10,4	151	60	37,3	22,7
52	143,04	23,6	34,2	47,9	9,1	213	60,8	42	18,8
53	143,04	23,6	34,2	48,2	8,9	217	61,1	42,5	18,6
54	143,03	23,8	33,8	48,5	8,8	219	61,4	42,7	18,7
55	143,04	23,4	34,3	48,9	8,6	235	61,1	44	17,1
56	143,03	23,4	34,6	48,9	8,6	237	61	44	17
57	143,04	23,5	34,2	48,9	8,6	239	61,1	44	16,9
58	242,62	25	25,9	33,3	15,8	45	56,7	27,4	29,2
59	238,28	24,8	26,2	33,1	15,9	47	56,3	27,1	29,2
60	246,97	24,7	26,5	31,8	17,0	44	53,8	26,3	27,5
61	246,96	24,9	26,5	39,7	11,2	116	58	33	25
62	242,63	24,7	26,5	39,8	11,2	121	58,1	33,1	24,9
63	242,62	24,8	26,1	39,8	11,2	117	57,9	33,2	24,9
64	242,63	25	25,8	42,5	9,6	170	57,5	37,5	20
65	238,31	24,7	26,0	42,5	9,6	176	57,5	37,5	20
66	233,98	24,7	26,4	42,6	9,6	175	57,7	37,4	20,2
67	242,63	24,9	26,0	45,5	8,3	250	58,1	41,8	16,2
68	238,32	24,9	25,7	45,4	8,3	251	58,1	41,8	16,3
69	238,31	24,9	25,9	45,4	8,2	248	58	41,8	16,2
70	238,32	25	25,6	47,6	7,5	328	58,6	44,8	13,8
71	238,30	25	25,5	47,5	7,5	325	58,7	45	13,7
72	242,62	24,9	25,7	47,7	7,5	321	58,4	44,9	13,5
73	303,30	25,2	25,2	45,3	8,3	342	56,6	43,8	12,8
74	298,97	25,1	25,4	45,1	8,4	345	56,2	43,5	12,7
75	303,30	25	25,2	45	8,4	341	55,8	43,1	12,7
76	294,63	25,1	25,3	43,1	9,3	260	55,1	40,2	14,8
77	307,66	25	25,5	43	9,3	262	55	40,1	14,8
78	298,96	25	25,3	42,8	9,3	259	54,8	40	14,9
79	298,97	25	25,4	40,4	10,5	187	54,3	36,5	17,8
80	290,30	25	25,4	40,3	10,6	189	54,1	36,5	17,6
81	298,97	24,9	25,4	40,3	10,6	186	54	36,3	17,7
82	294,61	25	24,6	36,8	12,3	122	53,2	31,6	21,5
83	290,30	24,9	24,9	36,8	12,3	118	53,1	31,7	21,4
84	285,96	24,9	24,9	36,7	12,4	119	53	31,7	21,4
85	298,97	24,9	24,7	33,3	14,7	73	51,6	28,2	23,5
86	303,30	24,8	24,7	33,3	14,7	76	51,5	28	23,6
87	294,64	24,9	24,7	33,3	14,7	75	51,6	28	23,6
88	372,54	24,8	28,8	46	9,1	421	56,5	45,1	11,4

Наставак табеле А.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]
89	363,83	25,3	28,1	46	9,1	423	56,5	45	11,5
90	372,52	25	28,4	46,1	9,0	424	56,6	45,2	11,5
91	368,21	24,7	29,2	42,8	10,7	347	53,2	41,6	11,6
92	363,85	25	28,6	42,6	10,8	340	53	41,5	11,5
93	363,86	25,1	28,4	42,7	10,8	337	52,9	41,2	11,8
94	372,46	25,7	27,2	44,2	9,9	312	55,3	42,4	12,9
95	372,39	26,4	25,7	44,2	9,8	303	55,5	42,4	13,1
96	372,46	25,6	27,0	44	9,9	306	55,2	42,1	13,1
97	372,54	24,8	28,9	42,6	10,7	251	56,1	39,9	16,2
98	368,18	25,2	27,9	42,4	10,9	251	55,8	39,8	16
99	372,51	25,1	28,7	41,4	11,4	239	54,5	39,2	15,2
100	376,88	24,7	29,0	39,3	12,7	205	52,3	36,3	15,9
101	372,50	25,5	27,8	39,1	12,9	201	51,9	36,3	15,6
102	372,53	25	28,7	39,2	12,8	199	52,1	36,1	15,9
103	372,48	25,4	27,7	39,8	12,2	177	54,7	35,8	18,8
104	372,49	25,3	27,7	39,7	12,3	179	54,5	35,8	18,7
105	372,48	25,3	27,7	39,4	12,5	173	54,3	35,5	18,7
106	372,58	25,1	28,0	33,8	16,8	85	52,6	28,8	23,9
107	372,52	25,5	27,2	33,8	16,7	82	52,7	28,5	24,2
108	372,40	25,6	27,2	33,9	16,7	83	52,9	28,5	24,4
109	450,52	25,3	24,4	42,9	9,2	390	53,3	42	11,2
110	441,73	26,1	23,4	43	9,3	396	53,5	42,2	11,2
111	446,11	25,4	24,7	43	9,2	388	53,4	42,3	11
112	459,11	25,2	27,8	33,4	17,0	86	53,2	28,3	24,9
113	459,11	25,3	27,9	33,4	17,1	84	53,3	28,4	24,9
114	459,10	25,4	27,7	33,5	17,1	83	53,4	28,5	24,8
115	459,09	25,6	28,4	36,7	14,9	136	54,5	32,2	22,2
116	459,12	25,4	28,9	36,6	15,0	140	50,4	32,2	22,2
117	459,14	25,1	29,7	36,6	15,0	143	54,3	32,2	22,1
118	459,11	25,3	30,1	39,8	13,2	203	55,2	36,3	18,9
119	459,10	25,4	30,1	38,9	13,9	184	54,9	35,6	19,3
120	459,09	25,6	29,9	38,8	14,1	180	55	35,2	19,9
121	459,09	25,5	29,0	41,3	12,0	257	55,2	38,6	16,6
122	459,11	25,4	29,5	41,3	12,0	254	55,5	38,5	17
123	458,98	26,4	26,4	42,3	10,9	258	56,2	39,3	16,9
124	459,07	25,9	28,4	42,4	10,9	257	56,3	39,5	16,8
125	459,04	25,9	28,6	42,4	11,4	261	56,5	39,7	16,9
126	459,15	24,9	29,7	43,4	10,7	303	56,6	41	15,7
127	459,08	25,6	28,0	43,4	10,7	306	56,6	41,1	15,5
128	459,07	25,8	28,0	43,1	10,9	308	56,2	40,7	15,5
129	459,05	25,8	27,9	43,4	10,6	335	56	41,6	14,4
130	459,07	25,7	28,4	43,5	10,6	337	55,9	41,4	14,6
131	459,03	26,1	27,4	43,6	10,5	335	56,2	41,7	14,5
132	575,95	26,1	29,3	42,4	11,9	222	60,9	38,1	22,8

Наставак табеле А.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]
133	575,98	25,8	29,8	42,7	11,7	231	61,3	38,6	22,8
134	575,95	26	29,4	43,4	11,2	241	61,8	39,3	22,5
135	575,92	26,3	28,1	43,2	11,2	221	62,4	39,2	23,1
136	575,92	26,3	28,4	42,9	11,3	216	62,3	39,1	23,2
137	575,95	26,2	28,3	42,6	11,4	218	62,1	38,8	23,3
138	576,00	25,7	29,7	37,2	15,0	114	61,1	31,4	29,7
139	575,92	26,3	28,3	36,8	15,4	116	59,7	31,3	28,4
140	576,01	25,6	29,7	36,6	15,6	113	59,5	31,2	28,3
141	576,07	25,2	30,8	32,3	20,0	54	58	27,7	30,3
142	575,88	25,5	30,0	32	20,3	50	57,5	27,4	30,2
143	576,04	25,4	30,1	31,9	20,4	62	57,6	27,2	30,3
144	589,01	25,6	26,6	38,1	13,0	108	66,6	30,7	36
145	588,98	25,8	26,2	38,2	12,9	112	66,7	31	35,7
146	589,01	25,6	26,6	38,3	12,8	104	66,4	31,2	35,2
147	588,96	26	25,4	43,9	9,5	179	68,6	37,9	30,7
148	588,96	26	25,5	44,1	9,4	181	68,6	38,3	30,2
149	584,60	26,2	25,1	44,1	9,3	188	68,4	38,5	29,9
150	589,02	25,6	22,6	41,5	9,3	261	57,4	38,9	18,6
151	584,70	25,6	22,6	41,5	9,4	258	57,4	38,7	18,7
152	584,70	25,6	22,4	41,6	9,3	260	57,5	38,8	18,7
153	589,01	25,6	26,0	47,7	7,8	286	68	44,7	23,2
154	580,28	26,1	25,1	47,4	7,9	290	66,9	44,3	22,6
155	588,95	26	25,1	46,8	8,1	284	66,1	44	22
156	597,68	25,5	23,3	42,9	8,8	317	57,7	40,8	16,9
157	589,04	25,6	22,9	42,9	8,7	319	57,7	40,8	16,9
158	584,69	25,5	23,0	42,9	8,7	315	57,7	40,8	16,8
159	580,37	25,4	22,9	42,9	8,8	310	57,7	40,8	16,9
160	571,70	25,6	22,8	42	8,7	320	57,7	40,8	16,9
161	588,95	26	25,2	46,6	8,3	331	63,4	44,1	19,2
162	584,63	26	25,5	46,6	8,4	323	63,4	44,2	19,2
163	589,04	25,9	25,7	46,7	8,4	324	63,5	44,1	19,3
164	588,95	26	25,3	47,6	7,9	370	63,5	45,8	17,8
165	589,04	25,5	24,3	42,7	9,4	408	54,1	42,4	11,7
166	588,92	26,5	22,6	42,2	9,6	398	53,4	42	11,6
167	593,34	26,1	23,4	42	9,7	390	53,1	41,5	11,6
168	640,99	26,2	23,4	49,8	6,8	396	66,7	47,9	18,8
169	628,02	26,2	23,4	48,6	7,2	356	66,5	46,3	20,3
170	641,11	25,9	24,0	48,6	7,2	349	66,4	46,2	20,2
171	636,79	26,2	23,6	48,6	7,2	344	66,7	46,2	20,5
172	641,15	26,1	23,8	47,1	7,7	298	66,4	44,1	22,3
173	636,79	26	24,1	47	7,7	303	66,2	44	22,2
174	636,81	26,1	24,0	46,9	7,7	295	65,9	43,9	22
175	649,62	26,1	21,3	43,1	8,4	263	61,3	40,2	21,1
176	640,98	26	21,5	43	8,5	260	60,8	40	20,8

Наставак табеле А.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]
177	641,12	26,1	21,4	42,8	8,6	258	60,7	40	20,7
178	619,55	26,1	24,1	44,4	8,8	230	65,7	40	25,7
179	623,92	26,2	23,8	44,4	8,8	228	65,7	40,1	25,5
180	623,86	26,1	24,1	44,2	8,8	231	65,3	40,2	25,1
181	654,13	25,9	22,0	40,9	9,4	193	61,1	36,9	24,3
182	636,69	25,9	21,7	40,9	9,5	197	61,2	36,9	24,3
183	641,15	26	21,5	40,9	9,5	199	61,3	36,9	24,3
184	636,66	25,8	21,9	38,5	10,7	153	60,4	33,4	27,1
185	645,32	25,7	21,9	38,6	10,7	153	60,5	33,7	26,8
186	623,72	25,7	22,1	38,7	10,7	157	60,6	33,7	26,9
187	636,73	26	24,2	40,7	10,7	152	64,9	35,1	29,9
188	628,05	26	24,4	40,6	10,7	162	64,9	35	29,8
189	623,79	26	24,3	40,6	10,8	166	64,6	35,1	29,5
190	641,03	25,7	22,0	35	12,7	103	58,9	29,5	29,3
191	628,06	26,5	22,4	35,1	12,7	101	59	29,6	29,4
192	628,05	25,5	22,3	35,1	12,8	100	59,1	29,7	29,4
193	636,85	25,6	25,2	32,3	16,7	56	59	27,3	31,7
194	645,53	25,5	25,2	32,1	16,7	58	58,5	27,3	31,3
195	641,20	25,5	25,1	32,1	16,7	60	58,1	27,2	30,8
196	636,69	25,4	22,8	30,2	16,9	51	52,9	26,7	26,2
197	649,72	25,3	23,1	30,3	16,9	53	52,9	26,6	26,2
198	649,72	25,2	23,0	30,3	16,7	49	52,8	26,6	26,2
199	641,03	25,7	24,3	43,8	8,8	449	55,5	43,6	12
200	636,51	26,7	22,8	43,8	8,8	449	55,5	43,5	12
201	649,52	26,6	22,8	43,6	9,0	445	55,3	43,5	11,9
202	641,01	25,7	24,3	43,3	9,0	426	55	42,8	12,2
203	645,24	26,2	23,0	43,2	9,1	421	55	42,8	12,1
204	640,93	26,3	22,8	43,3	9,0	425	54,9	42,7	12,1

Табела А.3. Резултати мерења и дисперзија топлотне снаге у „сувим“ режимима

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
1	0,08531	4,233	0,11160	3,413	3822,828	15,17
2	0,08614	4,418	0,11156	3,576	3996,635	14,89
3	0,08721	4,582	0,11156	3,679	4130,348	15,45
4	0,09214	4,456	0,12291	4,136	4296,192	5,27
5	0,09186	4,482	0,12291	4,125	4303,515	5,85
6	0,09078	4,277	0,12291	4,124	4200,533	2,59
7	0,07229	3,889	0,12284	3,650	3769,200	4,48
8	0,07202	3,904	0,12284	3,668	3786,059	4,42
9	0,07231	3,890	0,12275	3,625	3757,231	4,99
10	0,05510	3,745	0,12289	3,409	3577,207	6,64
11	0,05427	3,644	0,12287	3,393	3518,472	5,05
12	0,05537	3,787	0,12284	3,383	3584,939	7,98
13	0,04089	3,342	0,12287	3,054	3198,024	6,39
14	0,04006	3,325	0,12288	3,052	3188,325	6,07
15	0,04061	3,337	0,12287	3,080	3208,299	5,65
16	0,10608	4,423	0,13428	4,226	4324,533	3,22
17	0,10662	4,446	0,13421	4,288	4366,846	2,56
18	0,10498	4,290	0,13082	4,185	4237,578	1,74
19	0,08755	4,125	0,13426	3,990	4057,733	2,35
20	0,08673	4,159	0,13408	4,063	4110,681	1,65
21	0,08563	4,106	0,13095	3,980	4043,348	2,20
22	0,06844	3,881	0,13099	3,747	3814,082	2,50
23	0,06954	3,886	0,13102	3,725	3805,197	3,00
24	0,06791	3,794	0,13106	3,714	3754,203	1,52
25	0,04662	3,402	0,13107	3,247	3324,761	3,30
26	0,04525	3,284	0,13102	3,268	3275,583	0,35
27	0,04580	3,248	0,13100	3,162	3204,903	1,89
28	0,02117	1,952	0,13111	2,198	2074,869	8,36
29	0,02008	1,860	0,13115	2,135	1997,524	9,72
30	0,02064	1,895	0,13123	2,043	1969,231	5,33
31	0,08233	4,977	0,15465	4,854	4915,739	1,78
32	0,08284	5,078	0,15464	5,123	5100,181	0,62
33	0,08338	5,041	0,15465	5,121	5080,947	1,11
34	0,06728	4,909	0,15457	4,922	4915,679	0,18
35	0,06644	4,904	0,15460	4,902	4902,711	0,03
36	0,06698	4,916	0,15462	4,962	4938,580	0,66
37	0,05199	4,596	0,15454	4,551	4573,436	0,69
38	0,05144	4,569	0,15455	4,467	4517,662	1,60
39	0,05090	4,499	0,15454	4,538	4518,553	0,61
40	0,03918	4,052	0,15450	4,041	4046,333	0,19
41	0,04000	4,120	0,15450	3,989	4054,607	2,29
42	0,03946	4,064	0,15454	3,990	4026,892	1,31
43	0,02333	2,871	0,15448	3,093	2981,986	5,28
44	0,02388	2,978	0,15454	3,052	3015,238	1,73

Наставак табеле А.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
45	0,02224	2,839	0,15454	2,980	2909,325	3,42
46	0,02448	2,850	0,17111	2,696	2773,275	3,92
47	0,02393	2,776	0,17114	2,677	2726,476	2,57
48	0,02420	2,808	0,17120	2,701	2754,739	2,73
49	0,04091	3,908	0,17112	3,637	3772,703	5,08
50	0,04064	3,865	0,17115	3,677	3771,089	3,52
51	0,04146	3,926	0,17112	3,692	3808,943	4,33
52	0,05841	4,580	0,17117	4,306	4442,681	4,36
53	0,05950	4,615	0,17117	4,338	4476,727	4,37
54	0,06004	4,682	0,17114	4,365	4523,600	4,96
55	0,06441	4,593	0,17118	4,524	4558,633	1,07
56	0,06496	4,605	0,17116	4,499	4552,396	1,64
57	0,06551	4,617	0,17118	4,498	4557,401	1,84
58	0,01239	1,510	0,22126	1,833	1671,682	13,69
59	0,01294	1,577	0,21928	1,804	1690,674	9,48
60	0,01212	1,392	0,22333	1,529	1460,226	6,62
61	0,03189	3,327	0,22324	3,301	3313,858	0,54
62	0,03326	3,456	0,22131	3,392	3423,935	1,32
63	0,03216	3,342	0,22124	3,396	3368,607	1,13
64	0,04669	3,896	0,22130	3,928	3912,238	0,58
65	0,04834	4,034	0,21939	3,991	4012,402	0,75
66	0,04807	4,051	0,21738	3,948	3999,440	1,81
67	0,06860	4,635	0,22130	4,655	4645,299	0,31
68	0,06887	4,682	0,21943	4,612	4647,396	1,07
69	0,06805	4,598	0,21938	4,553	4575,749	0,70
70	0,08993	5,176	0,21936	5,109	5142,273	0,93
71	0,08910	5,091	0,21926	5,080	5085,503	0,15
72	0,08802	4,955	0,22112	5,216	5085,655	3,62
73	0,09383	5,010	0,24729	5,086	5047,569	1,07
74	0,09467	5,015	0,24552	5,023	5018,994	0,12
75	0,09359	4,958	0,24729	5,087	5022,453	1,82
76	0,07141	4,409	0,24362	4,492	4450,603	1,32
77	0,07196	4,443	0,24912	4,570	4506,525	1,99
78	0,07114	4,422	0,24540	4,443	4432,657	0,33
79	0,05141	3,818	0,24541	3,811	3814,614	0,14
80	0,05196	3,816	0,24179	3,743	3779,534	1,36
81	0,05114	3,777	0,24537	3,843	3809,858	1,22
82	0,03358	3,014	0,24341	2,873	2943,123	3,38
83	0,03248	2,901	0,24180	2,859	2880,267	1,03
84	0,03275	2,926	0,23989	2,820	2873,025	2,60
85	0,02011	1,973	0,24542	2,003	1988,142	1,04
86	0,02094	2,063	0,24714	2,061	2062,099	0,09
87	0,02066	2,036	0,24365	1,988	2012,300	1,68
88	0,11548	5,491	0,27473	6,039	5764,924	6,73

Наставак табеле А.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
89	0,11603	5,565	0,27128	5,804	5684,711	2,97
90	0,11630	5,578	0,27459	5,992	5784,982	5,06
91	0,09532	4,613	0,27314	5,091	4851,817	6,97
92	0,09340	4,481	0,27139	4,926	4703,558	6,69
93	0,09258	4,558	0,27146	4,953	4755,416	5,88
94	0,08565	4,609	0,27132	5,197	4902,816	8,48
95	0,08318	4,545	0,27099	5,016	4780,615	6,97
96	0,08401	4,591	0,27131	5,179	4885,132	8,52
97	0,06893	4,658	0,27474	5,011	4834,681	5,16
98	0,06893	4,601	0,27296	4,889	4744,997	4,28
99	0,06566	4,164	0,27455	4,543	4353,427	6,15
100	0,05638	3,741	0,27635	4,130	3935,742	6,99
101	0,05528	3,599	0,27451	3,820	3709,805	4,21
102	0,05473	3,632	0,27464	3,972	3802,174	6,33
103	0,04866	3,817	0,27136	3,964	3890,582	2,66
104	0,04921	3,840	0,27140	4,000	3919,944	2,87
105	0,04757	3,712	0,27134	3,916	3813,811	3,77
106	0,02341	2,336	0,27184	2,382	2358,994	1,38
107	0,02258	2,282	0,27148	2,265	2273,372	0,54
108	0,02286	2,329	0,27086	2,258	2293,432	2,18
109	0,10712	5,005	0,30234	5,461	5233,042	6,16
110	0,10875	5,081	0,29881	5,225	5153,271	1,97
111	0,10656	4,890	0,30050	5,378	5134,183	6,73
112	0,02368	2,462	0,30109	2,443	2452,795	0,55
113	0,02313	2,405	0,30108	2,396	2400,226	0,28
114	0,02286	2,367	0,30101	2,425	2396,021	1,73
115	0,03742	3,467	0,30084	3,357	3412,178	2,27
116	0,03855	3,573	0,30101	3,370	3471,202	4,14
117	0,03934	3,629	0,30105	3,418	3523,612	4,24
118	0,05580	4,400	0,30141	4,442	4421,128	0,66
119	0,05059	4,074	0,30139	4,120	4097,227	0,80
120	0,04949	4,110	0,30132	4,045	4077,352	1,12
121	0,07061	4,890	0,30090	4,881	4885,798	0,13
122	0,06978	4,949	0,30107	4,862	4905,571	1,26
123	0,07086	4,996	0,30046	4,890	4942,943	1,51
124	0,07058	4,947	0,30082	4,903	4924,918	0,62
125	0,07167	5,053	0,30068	5,079	5065,977	0,36
126	0,08318	5,448	0,30115	5,753	5600,225	3,85
127	0,08400	5,431	0,30081	5,611	5521,204	2,30
128	0,08457	5,468	0,30073	5,415	5441,264	0,69
129	0,09197	5,524	0,30062	5,463	5493,816	0,78
130	0,09252	5,635	0,30066	5,495	5565,037	1,77
131	0,09196	5,562	0,30048	5,436	5499,168	1,62
132	0,06093	5,794	0,33717	5,667	5730,622	1,57

Наставак табеле А.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
133	0,06338	6,028	0,33730	5,874	5951,040	1,82
134	0,06611	6,204	0,33721	6,015	6109,522	2,19
135	0,06062	5,840	0,33747	5,938	5889,273	1,18
136	0,05925	5,733	0,33750	5,740	5736,754	0,09
137	0,05980	5,812	0,33765	5,687	5749,411	1,54
138	0,03133	3,882	0,33761	3,814	3848,256	1,25
139	0,03189	3,779	0,33733	3,559	3669,194	4,23
140	0,03106	3,668	0,33767	3,709	3688,870	0,78
141	0,01486	1,879	0,33777	2,344	2111,643	15,56
142	0,01376	1,735	0,33698	2,167	1950,791	15,66
143	0,01706	2,158	0,33771	2,182	2170,016	0,76
144	0,02965	4,453	0,34360	4,354	4403,552	1,58
145	0,03075	4,579	0,34348	4,323	4450,632	4,07
146	0,02855	4,192	0,34364	4,402	4297,229	3,46
147	0,04905	6,279	0,34343	6,329	6303,917	0,56
148	0,04959	6,245	0,34343	6,379	6312,254	1,50
149	0,05151	6,422	0,34205	6,251	6336,748	1,91
150	0,07167	5,561	0,34375	5,591	5576,279	0,39
151	0,07085	5,527	0,34259	5,617	5572,234	1,15
152	0,07140	5,570	0,34254	5,666	5617,563	1,21
153	0,07825	7,570	0,34366	7,801	7685,291	2,12
154	0,07938	7,480	0,34087	7,473	7476,608	0,07
155	0,07775	7,133	0,34343	7,355	7243,820	2,17
156	0,08701	6,134	0,34628	6,138	6135,798	0,05
157	0,08756	6,172	0,34383	6,059	6115,590	1,31
158	0,08646	6,059	0,34249	6,077	6067,870	0,21
159	0,08509	5,998	0,34128	6,181	6089,667	2,13
160	0,08783	6,192	0,33869	5,483	5837,109	8,59
161	0,09067	7,260	0,34345	7,335	7297,432	0,73
162	0,08848	7,084	0,34226	7,312	7198,178	2,24
163	0,08875	7,143	0,34382	7,432	7287,647	2,81
164	0,10132	7,520	0,34347	7,675	7597,723	1,44
165	0,11203	5,468	0,34532	6,112	5789,839	7,86
166	0,10931	5,290	0,34483	5,610	5449,851	4,15
167	0,10713	5,185	0,34648	5,657	5421,039	6,17
168	0,10830	8,490	0,35900	8,878	8683,773	3,16
169	0,09740	8,245	0,35541	8,338	8291,351	0,80
170	0,09549	8,043	0,35947	8,508	8275,588	3,97
171	0,09412	8,045	0,35832	8,367	8205,840	2,77
172	0,08158	7,586	0,35965	7,828	7706,767	2,22
173	0,08295	7,679	0,35830	7,743	7710,797	0,58
174	0,08077	7,410	0,35836	7,638	7523,775	2,15
175	0,07214	6,349	0,36093	6,327	6337,711	0,24
176	0,07133	6,188	0,35859	6,300	6243,889	1,26

Наставак табеле А.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sf}	Δ_{sf}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
177	0,07078	6,111	0,35917	6,200	6155,475	1,02
178	0,06303	6,755	0,35375	6,640	6697,732	1,22
179	0,06248	6,644	0,35512	6,661	6652,427	0,17
180	0,06331	6,627	0,35484	6,539	6582,717	0,94
181	0,05298	5,370	0,36283	5,516	5442,861	1,89
182	0,05408	5,481	0,35754	5,539	5510,068	0,74
183	0,05462	5,537	0,35926	5,543	5539,937	0,08
184	0,04204	4,753	0,35741	4,642	4697,522	1,66
185	0,04203	4,700	0,35982	4,795	4747,528	1,43
186	0,04313	4,840	0,35393	4,738	4789,255	1,51
187	0,04171	5,201	0,35796	5,416	5308,709	2,86
188	0,04445	5,525	0,35547	5,278	5401,546	3,24
189	0,04555	5,605	0,35460	5,329	5466,732	3,57
190	0,02833	3,464	0,35874	3,335	3399,464	2,69
191	0,02778	3,408	0,35521	2,788	3098,142	14,15
192	0,02750	3,374	0,35514	3,459	3416,655	1,75
193	0,01541	2,039	0,35847	2,341	2189,671	9,75
194	0,01596	2,085	0,36097	2,295	2190,243	6,79
195	0,01651	2,123	0,35976	2,307	2214,782	5,87
196	0,01405	1,537	0,35753	1,669	1603,182	5,82
197	0,01460	1,598	0,36129	1,754	1675,741	6,60
198	0,01350	1,477	0,36128	1,785	1630,837	13,34
199	0,12331	6,172	0,36042	6,616	6393,825	4,91
200	0,12317	6,165	0,35852	6,236	6200,743	0,81
201	0,12222	6,066	0,36221	6,348	6207,020	3,20
202	0,11694	5,951	0,36033	6,413	6182,217	5,28
203	0,11557	5,833	0,36116	6,351	6092,100	6,01
204	0,11667	5,889	0,36000	6,316	6102,642	4,95

Табела А.4. Резултати измерених и рачунатих вредности пада притиска у „сувим“ режимима

Р. бр.	$\Delta p_{RT,ra\check{c}unato}$	$\Delta p_{RT,mereno}$	$\xi_{ra\check{c}unato}$	ξ_{mereno}	$\Delta(\Delta p_{RT})$
	[Pa]	[Pa]	[/]	[/]	[%]
1	23,9	26,4	0,3928	0,4333	10,3
2	23,9	26,1	0,3983	0,4341	9,0
3	23,9	26,4	0,3924	0,4332	10,4
4	23,9	25,8	0,4026	0,4343	7,9
5	23,9	26,8	0,3860	0,4317	11,8
6	23,9	26,1	0,3965	0,4333	9,3
7	23,9	26,2	0,3952	0,4325	9,4
8	23,9	25,5	0,4068	0,4342	6,7
9	23,9	26,2	0,3949	0,4324	9,5
10	23,9	26,0	0,3979	0,4320	8,6
11	23,9	25,6	0,4043	0,4329	7,1
12	23,9	25,3	0,4101	0,4338	5,8
13	23,9	26,3	0,3904	0,4299	10,1
14	23,9	26,7	0,3846	0,4290	11,5
15	23,9	26,0	0,3962	0,4308	8,7
16	25,9	30,9	0,3545	0,4225	19,2
17	25,9	30,9	0,3545	0,4226	19,2
18	25,9	31,2	0,3503	0,4220	20,5
19	25,9	31,6	0,3458	0,4211	21,8
20	25,9	31,0	0,3537	0,4224	19,4
21	25,9	31,6	0,3457	0,4211	21,8
22	25,9	31,4	0,3480	0,4207	20,9
23	25,9	31,1	0,3518	0,4213	19,7
24	25,9	31,0	0,3521	0,4214	19,7
25	43,3	31,8	0,5748	0,4218	-26,6
26	47,6	31,8	0,6315	0,4219	-33,2
27	43,3	31,8	0,5746	0,4217	-26,6
28	25,9	31,7	0,3438	0,4200	22,2
29	25,9	31,4	0,3475	0,4206	21,0
30	25,9	31,7	0,3429	0,4197	22,4
31	25,9	32,1	0,3379	0,4184	23,8
32	25,9	31,8	0,3417	0,4191	22,7
33	25,9	31,8	0,3418	0,4190	22,6
34	43,3	31,9	0,5707	0,4204	-26,3
35	43,3	31,9	0,5707	0,4203	-26,3
36	47,6	31,9	0,6273	0,4202	-33,0
37	47,7	32,0	0,6235	0,4186	-32,9
38	47,6	32,1	0,6224	0,4187	-32,7
39	47,6	32,2	0,6201	0,4185	-32,5
40	51,9	37,4	0,5693	0,4107	-27,9
41	51,9	36,9	0,5792	0,4117	-28,9
42	51,9	37,2	0,5738	0,4111	-28,3
43	29,9	38,6	0,3162	0,4083	29,1

Наставак табеле А.4.

Р. бр.	$\Delta p_{RT, \text{рачунато}}$	$\Delta p_{RT, \text{мерено}}$	$\xi_{\text{рачунато}}$	$\xi_{\text{мерено}}$	$\Delta(\Delta p_{RT})$
	[Pa]	[Pa]	[/]	[/]	[%]
44	31,9	38,6	0,3373	0,4084	21,1
45	31,9	38,6	0,3373	0,4084	21,1
46	33,9	38,5	0,3603	0,4093	13,6
47	33,9	38,5	0,3605	0,4093	13,5
48	33,9	38,5	0,3604	0,4092	13,5
49	33,9	38,3	0,3623	0,4100	13,2
50	33,9	38,4	0,3617	0,4097	13,3
51	33,9	38,4	0,3616	0,4098	13,3
52	33,9	38,3	0,3631	0,4105	13,1
53	33,9	38,3	0,3633	0,4105	13,0
54	31,9	38,3	0,3417	0,4109	20,2
55	33,9	38,3	0,3637	0,4109	13,0
56	33,9	38,3	0,3635	0,4109	13,0
57	33,9	38,2	0,3646	0,4110	12,7
58	33,9	38,2	0,3643	0,4111	12,9
59	33,9	38,3	0,3641	0,4111	12,9
60	33,9	38,3	0,3642	0,4112	12,9
61	33,9	38,2	0,3643	0,4112	12,9
62	33,9	38,3	0,3642	0,4113	12,9
63	37,9	46,9	0,3238	0,4009	23,8
64	37,9	46,9	0,3240	0,4009	23,7
65	37,9	46,8	0,3243	0,4011	23,7
66	37,9	46,8	0,3241	0,4010	23,7
67	37,9	46,9	0,3240	0,4010	23,8
68	37,9	46,9	0,3239	0,4009	23,7
69	37,9	47,1	0,3211	0,3996	24,5
70	37,9	47,2	0,3206	0,3996	24,6
71	37,9	47,1	0,3208	0,3994	24,5
72	37,9	47,3	0,3187	0,3984	25,0
73	37,9	47,5	0,3173	0,3982	25,5
74	37,9	47,4	0,3184	0,3983	25,1
75	37,9	48,0	0,3145	0,3984	26,7
76	37,9	48,0	0,3144	0,3984	26,7
77	37,9	48,0	0,3146	0,3984	26,7
78	37,9	47,7	0,3174	0,3998	25,9
79	37,9	47,7	0,3176	0,3998	25,9
80	37,9	47,4	0,3198	0,4002	25,1
81	37,9	47,8	0,3164	0,3992	26,2
82	37,9	47,4	0,3189	0,3995	25,3
83	37,9	47,4	0,3189	0,3995	25,3
84	37,9	47,5	0,3196	0,4006	25,3
85	37,9	46,9	0,3240	0,4012	23,8
86	37,9	47,5	0,3189	0,4004	25,6
87	37,9	48,3	0,3125	0,3989	27,6

Наставак табеле А.4.

Р. бр.	$\Delta p_{RT, \text{рачунато}}$	$\Delta p_{RT, \text{мерено}}$	$\xi_{\text{рачунато}}$	$\xi_{\text{мерено}}$	$\Delta(\Delta p_{RT})$
	[Pa]	[Pa]	[/]	[/]	[%]
88	37,9	47,7	0,3173	0,3995	25,9
89	37,9	47,4	0,3194	0,3998	25,1
90	37,9	47,1	0,3219	0,4001	24,3
91	37,9	46,5	0,3262	0,4005	22,8
92	37,9	47,6	0,3188	0,4004	25,6
93	37,9	47,2	0,3213	0,4007	24,7
94	37,9	47,5	0,3194	0,4005	25,4
95	37,9	47,5	0,3193	0,4006	25,5
96	56,2	47,7	0,4705	0,3991	-15,2
97	56,2	47,7	0,4696	0,3991	-15,0
98	56,2	48,0	0,4667	0,3988	-14,6
99	39,9	49,9	0,3187	0,3988	25,1
100	39,9	50,2	0,3163	0,3985	26,0
101	39,9	51,0	0,3106	0,3978	28,1
102	39,9	50,2	0,3165	0,3983	25,9
103	39,9	51,0	0,3106	0,3976	28,0
104	39,9	50,7	0,3130	0,3979	27,1
105	39,9	51,1	0,3102	0,3973	28,1
106	39,9	50,8	0,3120	0,3975	27,4
107	39,9	50,8	0,3121	0,3975	27,3
108	39,9	52,1	0,3028	0,3958	30,7
109	39,9	51,5	0,3069	0,3963	29,1
110	39,9	51,3	0,3078	0,3964	28,8
111	39,9	49,6	0,3201	0,3981	24,4
112	39,9	49,9	0,3181	0,3979	25,1
113	39,9	49,9	0,3175	0,3977	25,3
114	39,9	52,4	0,3007	0,3952	31,4
115	39,9	51,2	0,3082	0,3961	28,5
116	39,9	51,4	0,3070	0,3960	29,0
117	39,9	51,4	0,3067	0,3956	29,0
118	39,9	52,0	0,3025	0,3951	30,6
119	39,9	50,4	0,3134	0,3964	26,5
120	39,9	51,2	0,3083	0,3961	28,5
121	39,9	50,6	0,3124	0,3965	26,9
122	39,9	50,2	0,3152	0,3969	25,9
123	39,9	51,9	0,3030	0,3946	30,2
124	39,9	50,9	0,3100	0,3955	27,6
125	39,9	50,9	0,3093	0,3953	27,8
126	39,9	51,6	0,3047	0,3943	29,4
127	39,9	52,2	0,3005	0,3937	31,0
128	39,9	51,9	0,3026	0,3940	30,2
129	39,9	51,9	0,3025	0,3937	30,2
130	39,9	52,8	0,2966	0,3930	32,5
131	39,9	52,8	0,2965	0,3930	32,5

Наставак табеле А.4.

Р. бр.	$\Delta p_{RT,ra\check{c}unato}$	$\Delta p_{RT,mereno}$	$\check{\zeta}_{ra\check{c}unato}$	$\check{\zeta}_{mereno}$	$\Delta(\Delta p_{RT})$
	[Pa]	[Pa]	[/]	[/]	[%]
132	51,9	51,4	0,4001	0,3961	-1,0
133	56,2	51,1	0,4355	0,3965	-9,0
134	51,9	52,1	0,3939	0,3957	0,4
135	56,2	51,4	0,4330	0,3960	-8,5
136	60,5	51,8	0,4625	0,3958	-14,4
137	60,5	51,4	0,4659	0,3961	-15,0

Табела А.5. Резултати измерених и рачунатих вредности топлотних перформанси у „сувим“ режимима

Р. бр.	$Nu/Pr^{1/3}$ <i>mereno</i>	$Nu/Pr^{1/3}$ <i>računato</i>
	/	/
1	9,587	10,240
2	10,785	10,219
3	11,204	10,204
4	12,183	10,846
5	12,313	10,844
6	12,117	10,850
7	11,542	10,912
8	11,816	10,914
9	11,952	10,924
10	11,684	10,953
11	11,389	10,958
12	11,814	10,955
13	11,011	11,016
14	11,032	11,008
15	10,970	11,009
16	13,043	11,509
17	13,325	11,508
18	12,773	11,337
19	12,769	11,532
20	12,943	11,540
21	12,733	11,359
22	12,262	11,384
23	12,215	11,391
24	12,152	11,393
25	11,660	11,461
26	11,546	11,470
27	11,462	11,478
28	8,946	11,628
29	9,397	11,644
30	9,916	11,662
31	14,338	12,597
32	14,699	12,575
33	14,572	12,568
34	14,369	12,586
35	13,896	12,581
36	14,055	12,568
37	13,161	12,623
38	13,052	12,620
39	13,035	12,626
40	12,659	12,695
41	12,712	12,697
42	12,723	12,696
43	10,614	12,833

Наставак табеле А.5.

Р. бр.	$Nu/Pr^{1/3}_{\text{mereno}}$	$Nu/Pr^{1/3}_{\text{raĉunato}}$
	/	/
44	10,982	12,835
45	11,305	12,845
46	12,387	13,848
47	12,046	13,847
48	12,196	13,844
49	13,542	13,705
50	13,475	13,701
51	13,371	13,702
52	14,716	13,602
53	14,550	13,594
54	14,721	13,583
55	14,356	13,582
56	14,386	13,583
57	14,370	13,579
58	10,193	16,509
59	10,572	16,426
60	10,775	16,653
61	14,702	16,399
62	14,947	16,308
63	14,816	16,308
64	15,305	16,215
65	15,516	16,128
66	15,461	16,030
67	16,655	16,127
68	16,571	16,033
69	16,341	16,035
70	17,800	15,962
71	17,256	15,969
72	17,757	16,063
73	17,925	17,308
74	18,106	17,239
75	18,679	17,325
76	17,585	17,222
77	17,882	17,461
78	17,596	17,316
79	16,371	17,386
80	16,219	17,228
81	16,624	17,394
82	15,373	17,433
83	14,804	17,346
84	14,731	17,270
85	12,972	17,625
86	13,860	17,712
87	13,559	17,542

Наставак табеле А.5.

Р. бр.	$Nu/Pr^{1/3}$ <i>mereno</i>	$Nu/Pr^{1/3}$ <i>računato</i>
	/	/
88	20,464	18,540
89	20,499	18,393
90	20,605	18,535
91	19,280	18,586
92	18,868	18,518
93	19,735	18,509
94	19,137	18,461
95	18,920	18,451
96	19,161	18,470
97	18,389	18,659
98	18,432	18,590
99	17,217	18,698
100	17,679	18,849
101	17,324	18,767
102	17,531	18,775
103	17,300	18,618
104	17,433	18,622
105	17,118	18,634
106	14,854	18,816
107	15,741	18,815
108	16,107	18,829
109	21,257	19,811
110	21,175	19,676
111	20,549	19,754
112	16,494	20,144
113	15,968	20,139
114	15,958	20,134
115	17,521	20,001
116	21,733	20,007
117	17,498	20,016
118	19,102	19,911
119	17,843	19,944
120	18,314	19,942
121	20,188	19,835
122	20,038	19,836
123	20,667	19,785
124	19,849	19,784
125	20,180	19,787
126	21,261	19,767
127	21,368	19,754
128	21,629	19,758
129	21,301	19,746
130	21,987	19,743
131	21,507	19,731

Наставак табеле А.5.

Р. бр.	$Nu/Pr^{1/3}_{\text{mereno}}$	$Nu/Pr^{1/3}_{\text{raĉunato}}$
	/	/
132	22,323	21,287
133	22,314	21,283
134	22,565	21,254
135	21,481	21,270
136	20,728	21,282
137	20,909	21,295
138	18,223	21,518
139	18,952	21,522
140	18,032	21,544
141	12,564	21,722
142	12,972	21,753
143	14,801	21,736
144	20,337	21,725
145	20,278	21,719
146	18,996	21,718
147	21,267	21,482
148	20,948	21,473
149	21,051	21,418
150	21,912	21,589
151	22,156	21,535
152	22,263	21,530
153	21,917	21,339
154	22,376	21,240
155	21,835	21,369
156	23,142	21,635
157	23,108	21,529
158	22,797	21,484
159	22,864	21,435
160	20,814	21,364
161	23,642	21,378
162	23,188	21,325
163	23,584	21,365
164	23,888	21,338
165	22,795	21,602
166	22,670	21,600
167	22,832	21,661
168	25,533	21,831
169	24,778	21,734
170	24,732	21,875
171	24,461	21,814
172	23,671	21,922
173	23,714	21,886
174	23,363	21,884
175	22,798	22,196

Наставак табеле А.5.

Р. бр.	$Nu/Pr^{1/3}_{\text{mereno}}$	$Nu/Pr^{1/3}_{\text{raĉunato}}$
	/	/
176	22,846	22,106
177	22,435	22,091
178	22,550	21,781
179	22,366	21,822
180	21,940	21,843
181	21,150	22,316
182	21,352	22,141
183	21,523	22,168
184	21,107	22,249
185	20,780	22,346
186	20,924	22,092
187	20,694	22,155
188	21,037	22,064
189	21,389	22,003
190	19,483	22,444
191	18,884	22,254
192	18,626	22,299
193	15,128	22,503
194	14,832	22,611
195	15,619	22,563
196	12,982	22,613
197	13,825	22,754
198	13,125	22,759
199	24,270	22,145
200	24,344	22,080
201	24,323	22,232
202	24,173	22,165
203	24,110	22,209
204	24,608	22,151

**Б. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА ТОПЛОТНИХ И СТРУЈНИХ ПЕРФОРМАНСИ РТОЦ
У „ВЛАЖНИМ“ РЕЖИМИМА**

Табела Б.1. Резултати мерења пада притиска у „влажним“ режимима

Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}	Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}
	[m ³ /h]	[Pa]		[m ³ /h]	[Pa]
1	1007	43,86	98	885	37,89
2	952	39,88	99	811	27,91
3	952	39,88	100	881	35,90
4	944	39,89	101	744	27,92
5	1106	55,82	102	1009	45,86
6	1106	55,82	103	744	27,92
7	745	27,92	104	1006	45,85
8	1007	43,86	105	1095	55,83
9	944	39,89	106	1006	45,86
10	875	35,90	107	1004	43,89
11	1107	57,84	108	745	27,92
12	944	39,89	109	1006	45,86
13	745	27,92	110	679	23,93
14	890	37,89	111	679	23,93
15	745	27,92	112	1108	57,83
16	745	27,92	113	673	23,93
17	1097	45,87	114	745	27,92
18	1108	57,84	115	952	39,88
19	1008	43,86	116	952	39,88
20	1101	45,87	117	1093	55,82
21	874	35,90	118	885	37,89
22	875	35,90	119	875	35,89
23	1106	55,82	120	815	27,92
24	745	27,92	121	875	35,90
25	745	27,92	122	673	23,93
26	952	39,88	123	875	35,90
27	688	21,94	124	815	27,92
28	909	21,95	125	673	23,93
29	1097	45,87	126	815	27,92
30	909	21,95	127	745	27,92
31	952	39,88	128	744	27,92
32	688	21,94	129	810	27,92
33	875	35,90	130	679	23,93
34	688	21,94	131	1008	45,87
35	1107	55,84	132	938	39,90
36	909	21,95	133	885	37,89
37	870	35,90	134	744	27,92
38	745	27,92	135	815	27,92
39	745	27,92	136	1004	43,90
40	1107	57,84	137	1004	43,90
41	1004	43,89	138	810	27,92
42	1005	43,89	139	810	27,92
43	1002	43,87	140	810	27,92
44	648	23,93	141	1008	45,87

Наставак табеле Б.1.

Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}	Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}
	[m ³ /h]	[Pa]		[m ³ /h]	[Pa]
45	875	35,90	142	938	39,90
46	875	35,90	143	937	39,88
47	745	27,92	144	744	27,92
48	870	35,90	145	791	15,95
49	811	27,92	146	868	33,89
50	1070	51,84	147	810	27,92
51	679	23,93	148	1066	51,84
52	679	23,93	149	679	23,93
53	688	21,93	150	672	23,93
54	1104	55,83	151	1008	45,87
55	1104	55,83	152	791	15,95
56	811	27,92	153	881	35,90
57	1006	43,87	154	1065	45,87
58	868	33,89	155	1069	45,87
59	1104	55,83	156	679	23,93
60	811	27,92	157	679	23,93
61	868	33,89	158	881	35,90
62	868	33,89	159	666	23,93
63	669	21,94	160	672	23,93
64	1006	43,87	161	667	23,93
65	875	35,90	162	791	15,96
66	1101	45,87	163	881	35,90
67	890	37,89	164	868	33,89
68	875	35,90	165	1065	51,84
69	688	21,93	166	666	23,93
70	886	37,89	167	868	33,89
71	885	37,89	168	803	29,92
72	875	35,90	169	1069	53,85
73	890	37,89	170	803	29,92
74	669	21,94	171	937	39,88
75	875	35,90	172	803	29,92
76	679	23,93	173	1095	55,83
77	875	35,90	174	791	15,96
78	1107	55,84	175	1066	51,84
79	875	35,90	176	811	27,92
80	880	35,90	177	1087	57,85
81	1101	45,87	178	1065	45,87
82	1101	45,87	179	1008	43,89
83	688	21,93	180	1004	43,89
84	811	27,91	181	791	15,96
85	881	35,89	182	803	29,92
86	1070	51,84	183	811	27,92
87	1107	55,84	184	808	29,92
88	669	21,94	185	816	27,92

Наставак табеле Б.1.

Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}	Р. бр.	\dot{V}_2	Δp_{RT}
	[m ³ /h]	[Pa]		[m ³ /h]	[Pa]
89	1109	57,83	186	1069	53,86
90	672	23,93	187	1003	43,87
91	881	35,90	188	816	27,92
92	811	27,92	189	811	27,92
93	1070	51,84	190	811	27,92
94	1109	57,83	191	816	27,92
95	744	27,92	192	811	27,92
96	920	21,93	193	1105	55,82
97	1093	55,82	194	791	15,96

Табела Б.2. Резултати мерења топлотних перформанси у „влажним“ режимима

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1	\dot{m}_{isp}	t_{oros}
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]	[kg/h]	[°C]
1	519,96	25,5	42,5	34,4	39,0	215	52,1	28	24,3	7,364	18
2	476,66	25,3	40,7	34	37,1	135	58,1	24,6	33,6	6,912	17,2
3	476,68	25,2	40,8	34,3	36,8	140	58,3	25,7	33,6	6,373	17,1
4	468,09	25,1	35,2	43,5	16,6	316	61,4	38,4	23	5,975	21,1
5	632,52	25,8	39,1	38,8	28,1	257	60,9	31,9	28,9	9,578	18
6	632,52	25,8	39,1	38,8	27,9	259	60,8	31,9	28,9	9,578	18
7	290,36	24,5	30,4	38,8	25,5	172	61,6	28,3	33,2	7,110	16,4
8	519,96	25,5	42,4	34,5	38,9	216	52,2	28	24,2	7,364	18
9	468,10	25,1	35,2	43,4	16,6	314	61,4	38,2	23,1	5,975	21,1
10	403,03	24,5	31,6	33	34,2	129	56,1	23,3	32,8	8,100	16,8
11	645,84	25	40,7	31,8	39,1	97	62,8	21,3	41,6	7,650	16,9
12	468,10	25,1	35,3	43,5	16,4	313	61,4	38,4	23	5,975	21,1
13	290,35	24,5	30,4	38,8	25,7	170	61,6	28,3	33,2	7,110	16,4
14	416,03	24,7	44,8	26,5	56,3	69	50,6	18,9	31,7	4,609	17,2
15	290,35	24,5	30,4	38,8	25,5	171	61,6	28,4	33,2	7,110	16,4
16	290,38	24,5	30,3	36,3	29,7	134	60,9	24,7	36,3	6,630	16,2
17	628,46	25,1	42,8	33,9	37,3	195	54,6	26,7	27,9	8,780	16,7
18	645,82	25	40,5	31,8	39,1	98	62,8	21,3	41,5	7,650	16,9
19	519,93	25,5	42,4	34,5	39,0	219	52,1	28	24,2	7,364	18
20	632,78	25,1	42,7	33,9	37,5	195	54,5	26,7	27,8	8,780	16,6
21	403,04	24,5	31,6	33,1	34,1	130	56,2	23,3	32,9	8,100	16,8
22	403,03	24,5	31,6	32,9	34,3	133	56	23,3	32,7	8,100	16,8
23	632,51	25,8	39,1	38,8	27,9	266	60,7	31,9	28,8	9,578	17,9
24	290,36	24,5	30,4	36,3	29,8	135	61	24,7	36,3	6,630	16,2
25	290,38	24,7	32,0	40,3	25,9	194	62,2	30,6	31,6	7,936	17,1
26	476,68	25,3	40,8	34,1	36,6	140	58,2	24,6	33,7	6,912	17,2
27	247,01	24,7	30,4	44,4	21,1	277	63	37,2	25,8	7,909	17,2
28	437,90	23,4	39,4	31,5	44,3	221	64,1	37,6	26,6	10,416	17,1
29	628,43	25	43,1	33,9	37,7	196	54,6	26,7	27,9	8,780	16,7
30	437,89	23,4	39,4	31,5	44,4	220	64,1	37,5	26,6	10,416	17
31	476,67	25,3	40,7	34,1	36,7	139	58,2	24,5	33,6	6,912	17,2
32	247,01	24,7	30,4	44,4	21,3	278	63	37,2	25,7	7,909	17,3
33	403,03	24,5	31,6	33,2	34,2	133	56,6	23,4	33,1	7,488	17
34	247,01	24,7	30,4	44,4	20,9	281	63	37,2	25,8	7,909	17,2
35	645,72	25,3	41,7	32,3	39,3	127	58,1	23,1	35	6,864	16,9
36	437,89	23,4	39,4	31,5	44,4	224	64,1	37,6	26,6	10,416	17,1
37	398,70	24,6	31,7	33,2	34,4	133	56,5	23,5	33,2	7,488	17
38	290,37	24,5	30,4	36,2	29,9	138	60,9	24,6	36,3	6,630	16,2
39	290,38	24,7	32,0	40,3	26,0	198	62,2	30,6	31,6	7,936	17,1
40	645,84	25	40,6	31,8	39,2	101	62,8	21,3	41,5	7,650	17
41	533,29	23,3	39,7	29,2	39,2	70	62,1	18,5	43,7	4,860	19,7
42	533,23	23,3	39,8	29,5	38,8	73	62,9	18,8	44,2	4,925	19,7
43	528,73	25,4	40,7	36,8	32,5	199	59,1	28,5	30,6	8,100	17,1
44	221,04	24,1	42,0	29,7	46,6	67	56	19,2	36,8	4,275	17,6

Наставак табеле Б.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1	\dot{m}_{isp}	t_{oros}
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]	[kg/h]	[°C]
45	403,04	25	40,7	34,9	35,7	161	55,3	26,2	29,1	6,027	17
46	403,03	25	40,7	34,9	35,6	160	55,3	26,1	29,1	6,027	17,1
47	290,38	24,7	32,1	40,3	25,9	200	62,2	30,5	31,6	7,936	17
48	398,71	24,5	31,6	33,2	34,1	130	56,6	23,4	33,1	7,488	17
49	346,68	25,5	39,6	38,6	31,4	236	57,2	31,1	26,1	7,725	17,5
50	597,99	25,4	44,6	27,1	55,5	80	51,6	19,7	31,9	6,060	17,5
51	242,67	25,3	39,6	36,7	34,5	158	56,3	27	29,3	5,640	17,3
52	242,67	25,3	39,6	36,7	34,4	159	56,3	27	29,2	5,640	17,3
53	247,00	24,8	29,6	43,1	21,8	234	62,7	34,8	27,9	6,150	16,8
54	636,95	25,5	45,6	29,3	50,4	105	52,6	21,4	31,3	6,480	17,6
55	636,93	25,5	45,6	29,2	50,9	105	52,7	21,4	31,3	6,480	17,7
56	346,68	25,5	39,6	38,6	31,5	236	57,2	31	26,1	7,725	17,5
57	533,07	25,4	40,7	36,9	32,3	202	59,2	28,5	30,6	8,100	17,1
58	389,95	25,1	37,7	39,2	28,8	261	58,4	32,4	26	7,392	17,5
59	636,95	25,5	45,6	29,3	50,2	106	52,7	21,4	31,3	6,480	17,6
60	346,69	25,5	39,6	38,6	31,7	235	57,2	31	26,2	7,725	17,5
61	389,95	25,1	37,7	39,2	29,0	261	58,4	32,4	25,9	7,392	17,5
62	389,96	25	37,8	39,2	29,3	260	58,3	32,5	25,8	7,392	17,7
63	234,01	24,6	30,1	45,2	20,4	306	63,3	38,6	24,7	7,827	16,3
64	533,07	25,4	40,7	36,9	32,5	202	59,1	28,5	30,6	8,100	17,1
65	403,04	25,1	41,5	36,4	34,1	201	55,7	28,7	27	6,545	17,1
66	632,75	25,1	42,4	34,1	36,2	196	54,9	26,9	28,1	6,816	16,7
67	416,04	24,7	44,8	26,5	56,3	70	50,6	18,8	31,7	4,609	17,2
68	403,04	25	40,6	34,8	35,8	160	55,2	25,9	29,2	6,027	17
69	246,99	24,9	29,5	43,1	21,9	238	62,6	34,8	27,8	6,150	16,9
70	411,70	24,8	44,1	29,4	49,2	99	52	20,8	31,2	5,291	17,4
71	411,71	24,8	44,1	29,4	49,2	99	52	20,8	31,2	5,291	17,4
72	403,05	25,1	41,4	36,5	34,1	200	55,8	28,7	27,1	6,150	17,3
73	416,03	24,7	44,8	26,5	56,4	70	50,6	18,8	31,8	4,609	17,2
74	234,01	24,6	30,0	45,2	20,6	308	63,3	38,6	24,6	7,827	16,3
75	403,03	25,1	41,6	36,3	34,3	203	55,7	28,7	27	6,545	17,1
76	242,66	25,3	39,6	36,7	34,6	161	56,3	27	29,3	5,640	17,3
77	403,04	25,1	41,5	36,4	34,1	203	55,7	28,7	27	6,545	17,1
78	645,72	25,3	41,6	32,4	39,3	131	58,2	23,1	35,1	6,864	16,9
79	403,05	25,1	41,4	36,5	34,2	201	55,8	28,7	27,1	6,150	17,3
80	407,38	25,1	41,3	36,5	34,1	202	55,8	28,7	27,1	6,150	17,3
81	632,76	25,1	42,5	34,1	36,3	196	54,9	26,8	28	6,816	16,7
82	632,76	25,1	42,3	34,1	36,4	196	54,8	26,8	27,9	6,816	16,8
83	247,00	24,8	29,8	43,1	21,8	240	62,8	34,8	28	6,150	16,7
84	346,65	25,2	37,9	37,1	33,1	155	60,4	26,7	33,7	6,600	17,3
85	407,36	25,3	42,3	42	26,0	309	60,4	35,9	24,5	7,653	16,6
86	597,98	25,4	44,6	27,1	55,2	81	51,6	19,6	32	6,060	17,5
87	645,72	25,3	41,7	32,4	39,3	132	58,2	23,1	35,1	6,864	16,9
88	234,01	24,6	30,2	45,2	20,3	316	63,2	38,6	24,6	7,827	16,3

Наставак табеле Б.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1	\dot{m}_{isp}	t_{oros}
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]	[kg/h]	[°C]
89	645,70	25,4	41,4	34,2	34,7	136	61,3	24,6	36,7	6,982	17,3
90	238,35	25	39,0	38,3	31,9	201	56,4	29,9	26,5	7,020	17,7
91	407,37	25,3	42,2	42	26,2	311	60,4	35,9	24,5	7,653	16,6
92	346,66	25,2	37,9	37,1	33,2	157	60,3	26,7	33,6	6,600	17,3
93	597,99	25,4	44,6	27,1	55,6	81	51,6	19,6	31,9	6,060	17,5
94	645,72	25,4	41,4	34,2	34,5	138	61,1	24,6	36,6	6,982	17,3
95	290,42	24,5	38,8	48,1	18,1	309	68,1	41,2	26,9	7,650	17
96	441,99	24,8	40,7	31	49,6	276	57,1	27,7	19,4	8,340	17,7
97	619,57	26,1	38,4	42	26,5	332	62,8	36,2	26,6	9,180	18,4
98	411,72	24,8	44,1	29,3	49,4	96	51,9	20,8	31,1	5,864	17,3
99	346,65	25,2	37,9	37,1	33,4	158	60,7	26,7	34	6,600	17,4
100	407,37	25,3	42,2	42	26,4	317	60,5	36	24,6	7,653	16,6
101	290,42	24,5	38,8	48,1	18,1	313	68	41,2	26,8	7,650	17
102	532,99	25,2	44,5	29,4	49,6	104	52,5	21,2	31,3	5,700	17,3
103	290,42	24,5	38,8	48,1	18,1	312	68,1	41,2	27	7,650	17
104	524,24	25,3	37,2	39,7	26,7	306	58,3	34	24,3	7,484	17,8
105	615,33	25,2	44,7	33,8	38,2	219	51,6	28,5	23,3	5,760	18,1
106	524,25	25,4	37,3	39,6	26,9	308	58,2	33,9	24,3	7,484	17,8
107	533,29	23,4	39,8	29,2	39,3	71	62,1	18,4	43,7	4,860	19,7
108	290,38	25,1	38,1	42,8	24,4	239	63,1	34,6	28,5	5,640	17,1
109	524,25	25,3	37,2	39,7	26,9	308	58,2	34	24,3	7,484	17,8
110	242,67	25,3	40,6	34,5	39,3	129	54,6	24,5	30,2	4,713	17,4
111	242,68	25,3	40,6	34,5	39,0	130	54,7	24,5	30,2	4,713	17,5
112	645,75	25,3	41,4	34,2	34,5	141	61,1	24,5	36,5	6,982	17,3
113	238,34	25,1	39,4	31,8	43,0	106	52,7	22	30,6	5,618	17,7
114	290,39	25,2	38,0	42,9	24,4	240	63,2	34,6	28,6	5,640	17,1
115	476,69	25,2	40,8	34,3	36,8	142	58,3	24,7	33,6	6,373	17,1
116	476,69	25,2	40,8	34,3	36,8	142	58,3	24,7	33,6	6,373	17,1
117	619,57	26,1	38,3	42,2	26,6	344	62,8	36,3	26,5	9,180	18,6
118	411,72	24,8	44,1	29,4	49,3	99	51,9	20,8	31,1	5,864	17,3
119	403,02	25	39,3	37,6	31,4	230	56,1	30,6	25,5	6,030	17,2
120	351,07	25	37,4	42,4	24,9	222	65,2	32,6	32,6	7,445	17,5
121	403,04	25	39,3	37,5	31,7	230	56	30,6	25,5	6,030	17,2
122	238,35	25,1	39,4	31,9	42,8	106	52,6	22	30,7	5,618	17,7
123	403,03	25	39,3	37,6	31,4	231	56,1	30,6	25,5	6,030	17,2
124	351,06	25	37,4	42,4	24,9	221	65,2	32,5	32,8	7,445	17,5
125	238,35	25,1	39,4	31,9	42,7	107	52,6	22	30,6	5,618	17,7
126	351,06	25	37,4	42,3	24,9	222	65,2	32,4	32,8	7,445	17,5
127	290,38	25,1	38,3	42,8	24,3	246	63,1	34,6	28,5	5,640	17,1
128	290,41	24,5	39,3	47,9	18,3	312	67,9	41	27	6,453	17,1
129	346,74	25	37,6	41,8	25,3	213	64,6	31,8	32,8	8,531	17,3
130	242,68	25,3	40,6	34,6	39,0	132	54,7	24,5	30,2	4,713	17,5
131	533,04	24,8	45,4	26,5	55,3	72	51,1	19,1	31,9	10,009	17,3
132	463,86	24,1	38,6	42,6	19,0	266	63,8	35,5	28,3	5,550	20

Наставак табеле Б.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1	\dot{m}_{isp}	t_{oros}
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]	[kg/h]	[°C]
133	411,72	24,8	44,1	29,4	49,3	99	51,9	20,7	31,1	5,864	17,3
134	290,42	24,5	38,9	48	18,0	316	68	41	27	6,453	17,2
135	351,07	25	37,5	41,8	25,4	216	64,8	31,9	32,8	8,531	17,3
136	533,33	23	41,4	33,2	32,8	106	64,5	21,3	43,1	5,387	19,6
137	533,34	23	41,3	33,2	32,8	106	64,5	21,3	43,2	5,387	19,6
138	346,73	25,1	39,4	40,7	27,0	188	64,9	29,9	35	7,920	17,1
139	346,75	25	37,6	41,6	25,9	215	64,5	31,8	32,7	8,531	17,4
140	346,74	25,1	39,4	40,7	26,9	190	65	30	35,1	7,920	17,1
141	533,04	24,8	45,4	26,5	55,5	72	51	19,1	31,9	10,009	17,3
142	463,84	24,1	38,5	42,6	18,8	270	63,8	35,5	28,3	5,550	20
143	455,03	26,2	41,9	40,4	28,1	189	64,6	30,9	33,7	6,080	18,4
144	290,41	24,5	39,2	48	18,2	317	68	41	27	6,453	17,1
145	329,38	23,9	39,8	26,9	57,7	149	53,6	29,5	24,1	8,670	16,7
146	389,95	25,3	37,0	39,8	28,2	228	60,8	31,7	29,1	6,500	17,4
147	346,74	25,1	39,5	40,8	26,8	189	65,1	29,9	35,1	7,920	17,1
148	589,30	25,4	37,1	39,1	28,2	308	58,5	33,4	25,1	7,360	17,7
149	242,68	25,3	40,5	34,6	38,6	132	54,9	24,6	30,3	6,100	17,5
150	238,35	25	39,0	38,3	32,0	199	56,4	29,8	26,6	7,020	17,7
151	533,04	24,8	45,4	26,6	55,6	71	51	19,1	31,9	10,009	17,4
152	329,38	23,9	39,8	26,9	57,1	149	53,6	29,5	24,2	8,670	16,7
153	407,37	25,3	42,1	42,2	25,8	318	60,4	36	24,4	6,850	16,8
154	598,06	24,9	42,5	33,7	37,6	126	60,9	23,7	37,2	5,950	17,1
155	602,41	24,9	42,5	33,7	37,5	126	61	23,7	37,4	5,950	17,1
156	242,68	25,4	40,5	34,5	38,9	134	54,9	24,6	30,3	6,100	17,6
157	242,68	25,3	40,6	34,6	38,6	133	54,9	24,6	30,3	6,100	17,5
158	407,37	25,3	42,1	42,2	25,8	321	60,5	36,1	24,4	6,850	16,8
159	234,01	25	39,0	38,5	31,5	198	56,6	30	26,6	5,045	17,5
160	238,34	25	39,0	38,3	32,0	201	56,5	29,8	26,6	7,020	17,7
161	234,00	25	39,0	38,4	31,7	198	56,7	30	26,7	5,045	17,6
162	329,39	23,9	39,8	26,9	56,9	149	53,6	29,5	24,2	8,670	16,7
163	407,38	25,4	42,1	42,2	26,0	317	60,4	36	24,5	6,850	16,7
164	389,94	25,3	37,0	39,8	28,1	233	60,9	31,7	29,1	6,500	17,4
165	589,33	25,4	37,1	39	28,4	313	58,5	33,4	25,1	7,360	17,8
166	234,00	25	39,0	38,5	31,5	199	56,7	30	26,6	5,045	17,6
167	389,93	25,3	37,0	39,7	28,3	235	60,8	31,8	29,1	6,500	17,4
168	338,08	24,5	39,0	46,7	19,3	302	67,9	39,1	28,8	6,589	17,1
169	602,51	24,5	43,0	31,9	39,7	100	62,9	21,3	41,6	7,391	15,3
170	338,11	24,6	39,2	46,6	19,6	300	67,9	39	28,9	6,589	17,1
171	455,02	26,2	41,9	40,5	27,8	194	64,6	30,9	33,6	6,080	18,4
172	338,10	24,6	39,1	46,7	19,3	302	67,9	39	28,9	6,589	17,1
173	615,34	25,2	44,9	33,7	38,5	220	51,5	28	23,5	5,760	18
174	329,39	23,9	39,9	28	56,2	187	53,8	32,1	21,6	4,890	17,1
175	589,28	25,4	37,1	39,1	28,3	313	58,5	33,3	25,1	7,360	17,7
176	346,68	25,5	39,6	38,5	32,1	234	57	31,2	25,8	6,300	17,4

Наставак табеле Б.2.

Р. бр.	Δp_{usis}	t_{2p}	RV_{2p}	t_{2k}	RV_{2k}	\dot{V}_1	t_{1p}	t_{1k}	Δt_1	\dot{m}_{isp}	t_{oros}
	[Pa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[l/h]	[°C]	[°C]	[°C]	[kg/h]	[°C]
177	624,29	21,3	38,6	42,2	15,2	228	68,1	32,5	35,8	6,510	16,9
178	598,08	24,9	42,5	33,7	37,5	126	61,1	23,6	37,5	6,164	17,1
179	537,66	23	41,3	33,2	32,7	109	64,5	21,3	43,2	5,387	19,6
180	533,29	23,3	39,7	29,2	39,1	75	62,1	18,4	43,7	4,860	19,7
181	329,39	23,9	39,9	28,2	55,4	188	53,9	32,3	21,6	4,890	17,1
182	338,10	24,6	39,3	46,4	19,4	307	67,8	38,8	29	7,040	17,3
183	346,66	25,2	37,8	36,7	34,2	158	59,6	26,6	33	7,650	17,3
184	342,44	24,6	39,2	46,4	19,5	305	67,8	38,7	29,1	7,040	17,3
185	351,02	25,3	39,2	34,1	38,5	126	58,3	23,6	34,8	6,870	17,3
186	602,55	24,5	43,1	31,9	39,7	102	62,9	21,3	41,6	7,391	15,3
187	520,01	26,4	42,0	44,8	23,5	271	68	36,3	31,8	7,368	18,4
188	351,00	25,3	39,3	34	38,9	126	58,3	23,6	34,7	6,870	17,3
189	346,68	25,5	39,6	38,6	31,5	238	57,1	31,2	25,9	6,300	17,4
190	346,69	25,5	39,6	38,6	31,4	239	57,1	31,2	25,9	6,300	17,4
191	351,00	25,3	39,2	34,1	38,5	127	58,3	23,6	34,7	6,870	17,3
192	346,65	25,2	37,8	36,7	34,3	159	59,6	26,6	33	7,650	17,3
193	632,55	25,9	38,9	42	25,5	333	62,7	35,9	26,8	8,902	18,4
194	329,39	23,9	39,9	28,2	55,2	187	53,9	32,3	21,6	4,890	17,1

Табела Б.3. Резултати мерења и дисперзија топлотне снаге у „влажним“ режимима

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
1	0,05922	6,010	0,31974	6,696	6,353	7,64
2	0,03717	5,214	0,31037	5,966	5,590	9,51
3	0,03854	5,405	0,31050	6,218	5,812	9,88
4	0,08671	8,318	0,30758	7,392	7,855	8,34
5	0,07062	8,516	0,35456	8,300	8,408	1,81
6	0,07117	8,582	0,35455	8,218	8,400	3,06
7	0,04729	6,552	0,24203	6,679	6,616	1,36
8	0,05950	6,013	0,31974	6,780	6,396	8,49
9	0,08616	8,302	0,30764	7,324	7,813	8,86
10	0,03554	4,868	0,28620	5,791	5,329	12,24
11	0,02670	4,637	0,36166	5,598	5,118	13,29
12	0,08589	8,239	0,30766	7,288	7,764	8,66
13	0,04674	6,476	0,24199	6,733	6,605	2,76
14	0,01904	2,523	0,28939	3,055	2,789	13,50
15	0,04702	6,514	0,24198	6,678	6,596	1,76
16	0,03687	5,587	0,24222	6,204	5,896	7,40
17	0,05370	6,256	0,35527	6,592	6,424	3,70
18	0,02698	4,673	0,36155	5,633	5,153	13,17
19	0,06033	6,096	0,31960	6,807	6,452	7,79
20	0,05370	6,234	0,35638	6,695	6,465	5,05
21	0,03581	4,921	0,28627	5,843	5,382	12,12
22	0,03664	5,004	0,28620	5,740	5,372	9,69
23	0,07310	8,784	0,35446	8,217	8,501	4,71
24	0,03715	5,629	0,24211	6,214	5,921	6,99
25	0,05331	7,029	0,24223	7,460	7,244	4,20
26	0,03855	5,423	0,31051	5,905	5,664	6,01
27	0,07600	8,179	0,22309	8,054	8,116	1,09
28	0,06062	6,725	0,29904	6,709	6,717	0,17
29	0,05398	6,288	0,35507	6,741	6,515	4,92
30	0,06034	6,695	0,29897	6,731	6,713	0,39
31	0,03827	5,369	0,31044	5,947	5,658	7,22
32	0,07628	8,176	0,22308	8,122	8,149	0,47
33	0,03664	5,064	0,28621	5,951	5,507	11,38
34	0,07710	8,297	0,22303	7,983	8,140	2,73
35	0,03498	5,112	0,36144	5,721	5,416	7,95
36	0,06144	6,816	0,29898	6,730	6,773	0,90
37	0,03664	5,079	0,28467	5,896	5,488	10,52
38	0,03798	5,754	0,24215	6,175	5,964	4,98
39	0,05441	7,174	0,24222	7,489	7,332	3,04
40	0,02780	4,816	0,36166	5,644	5,230	11,18
41	0,01928	3,518	0,32963	4,292	3,905	14,02
42	0,02010	3,710	0,32927	4,432	4,071	12,55
43	0,05474	6,991	0,32731	7,382	7,186	3,84
44	0,01847	2,840	0,21145	3,471	3,155	14,14

Наставак табеле Б.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
45	0,04434	5,387	0,28561	6,068	5,727	8,40
46	0,04406	5,354	0,28554	6,039	5,697	8,51
47	0,05496	7,246	0,24223	7,448	7,347	1,94
48	0,03581	4,950	0,28473	5,896	5,423	12,33
49	0,06491	7,070	0,26504	7,105	7,088	0,34
50	0,02207	2,942	0,34628	3,555	3,249	13,34
51	0,04350	5,321	0,22164	5,557	5,439	3,08
52	0,04377	5,336	0,22142	5,529	5,433	2,51
53	0,06424	7,476	0,22295	7,586	7,531	1,03
54	0,02895	3,786	0,35728	4,568	4,177	13,23
55	0,02895	3,786	0,35719	4,579	4,183	13,40
56	0,06491	7,071	0,26503	7,134	7,102	0,64
57	0,05556	7,096	0,32864	7,438	7,267	3,33
58	0,07175	7,784	0,27852	7,716	7,750	0,62
59	0,02923	3,822	0,35728	4,520	4,171	11,83
60	0,06464	7,068	0,26509	7,196	7,132	1,27
61	0,07175	7,754	0,27851	7,782	7,768	0,25
62	0,07148	7,695	0,27872	7,932	7,813	2,14
63	0,08393	8,646	0,21720	8,151	8,398	4,17
64	0,05557	7,096	0,32865	7,506	7,301	3,97
65	0,05532	6,236	0,28560	6,667	6,451	4,73
66	0,05397	6,333	0,35619	6,578	6,455	2,69
67	0,01932	2,560	0,28947	3,056	2,808	12,50
68	0,04407	5,373	0,28560	6,027	5,700	8,11
69	0,06534	7,577	0,22290	7,585	7,581	0,07
70	0,02730	3,560	0,28807	4,239	3,899	12,32
71	0,02730	3,560	0,28813	4,240	3,900	12,33
72	0,05505	6,227	0,28567	6,773	6,500	5,93
73	0,01932	2,568	0,28939	3,072	2,820	12,64
74	0,08448	8,667	0,21720	8,232	8,449	3,65
75	0,05587	6,298	0,28553	6,625	6,461	3,58
76	0,04432	5,422	0,22159	5,578	5,500	2,01
77	0,05587	6,298	0,28560	6,667	6,482	4,03
78	0,03608	5,287	0,36146	5,840	5,564	7,03
79	0,05532	6,259	0,28567	6,802	6,530	5,88
80	0,05560	6,290	0,28713	6,823	6,556	5,75
81	0,05397	6,310	0,35628	6,593	6,451	3,10
82	0,05398	6,288	0,35630	6,661	6,474	4,07
83	0,06589	7,695	0,22300	7,566	7,631	1,20
84	0,04264	5,998	0,26502	6,865	6,431	9,54
85	0,08485	8,672	0,28647	8,375	8,524	2,46
86	0,02235	2,988	0,34619	3,493	3,241	11,01
87	0,03635	5,328	0,36146	5,822	5,575	6,26
88	0,08667	8,893	0,21720	8,104	8,499	6,56

Наставак табеле Б.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
89	0,03742	5,733	0,36084	6,193	5,963	5,46
90	0,05530	6,117	0,21992	6,125	6,121	0,08
91	0,08540	8,728	0,28653	8,470	8,599	2,12
92	0,04319	6,057	0,26516	6,896	6,477	9,16
93	0,02235	2,979	0,34628	3,576	3,277	12,87
94	0,03797	5,801	0,36094	6,131	5,966	3,91
95	0,08461	9,491	0,24215	9,049	9,270	3,37
96	0,07596	6,152	0,29790	6,383	6,267	2,61
97	0,09112	10,110	0,35114	10,620	10,365	3,48
98	0,02648	3,441	0,28821	4,184	3,812	13,78
99	0,04346	6,168	0,26500	6,946	6,557	8,40
100	0,08704	8,933	0,28652	8,548	8,740	3,11
101	0,08571	9,578	0,24216	9,050	9,314	4,01
102	0,02868	3,751	0,32728	4,538	4,144	13,43
103	0,08543	9,619	0,24215	9,049	9,334	4,32
104	0,08410	8,527	0,32302	8,547	8,537	0,17
105	0,06033	5,870	0,34794	6,300	6,085	5,00
106	0,08465	8,583	0,32313	8,451	8,517	1,09
107	0,01956	3,569	0,32960	4,228	3,899	11,97
108	0,06561	7,800	0,24176	7,747	7,773	0,48
109	0,08465	8,583	0,32316	8,629	8,606	0,38
110	0,03554	4,482	0,22154	5,028	4,755	8,11
111	0,03582	4,517	0,22159	4,969	4,743	6,73
112	0,03880	5,912	0,36115	6,218	6,065	3,58
113	0,02923	3,736	0,21947	4,126	3,931	7,00
114	0,06588	7,860	0,24183	7,777	7,819	0,75
115	0,03909	5,484	0,31055	6,219	5,851	8,88
116	0,03909	5,484	0,31057	6,219	5,852	8,88
117	0,09441	10,435	0,35120	10,896	10,666	3,05
118	0,02731	3,548	0,28821	4,249	3,899	12,71
119	0,06328	6,735	0,28548	7,247	6,991	5,18
120	0,06094	8,287	0,26734	8,537	8,412	2,10
121	0,06328	6,735	0,28562	7,261	6,998	5,31
122	0,02923	3,749	0,21951	4,156	3,952	7,29
123	0,06355	6,764	0,28554	7,249	7,007	4,89
124	0,06067	8,301	0,26729	8,536	8,418	1,97
125	0,02950	3,772	0,21952	4,139	3,956	6,58
126	0,06094	8,339	0,26729	8,460	8,399	1,02
127	0,06753	8,028	0,24175	7,687	7,858	3,07
128	0,08544	9,620	0,24206	8,966	9,293	4,97
129	0,05849	8,003	0,26572	8,132	8,067	1,13
130	0,03637	4,587	0,22159	5,035	4,811	6,59
131	0,01987	2,649	0,32739	2,999	2,824	8,76
132	0,07300	8,617	0,30704	7,925	8,271	5,92

Наставак табеле Б.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sr}	Δ_{Sr}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
133	0,02731	3,549	0,28821	4,249	3,899	12,71
134	0,08654	9,743	0,24213	8,948	9,345	6,02
135	0,05931	8,115	0,26734	8,232	8,173	1,01
136	0,02917	5,247	0,32979	6,024	5,636	9,74
137	0,02917	5,260	0,32986	6,040	5,650	9,77
138	0,05164	7,540	0,26554	7,600	7,570	0,55
139	0,05904	8,054	0,26579	8,195	8,124	1,23
140	0,05219	7,642	0,26560	7,568	7,605	0,69
141	0,01987	2,649	0,32740	3,036	2,842	9,62
142	0,07410	8,746	0,30688	7,850	8,298	7,64
143	0,05191	7,298	0,30076	7,718	7,508	3,96
144	0,08681	9,774	0,24206	9,000	9,387	5,83
145	0,04102	4,127	0,25849	4,254	4,191	2,15
146	0,06266	7,608	0,27866	7,998	7,803	3,53
147	0,05191	7,602	0,26565	7,597	7,600	0,04
148	0,08465	8,866	0,34278	9,066	8,966	1,58
149	0,03636	4,601	0,22157	4,937	4,769	4,98
150	0,05475	6,079	0,21992	6,149	6,114	0,81
151	0,01959	2,612	0,32740	3,148	2,880	13,15
152	0,04102	4,144	0,25846	4,164	4,154	0,33
153	0,08732	8,888	0,28652	8,508	8,698	3,09
154	0,03468	5,385	0,34789	6,576	5,981	14,07
155	0,03468	5,414	0,34925	6,572	5,993	13,66
156	0,03692	4,671	0,22162	4,881	4,776	3,11
157	0,03664	4,636	0,22158	4,926	4,781	4,28
158	0,08814	8,972	0,28653	8,508	8,740	3,75
159	0,05448	6,048	0,21786	6,139	6,093	1,05
160	0,05530	6,140	0,21986	6,147	6,144	0,08
161	0,05447	6,071	0,21778	6,120	6,096	0,58
162	0,04102	4,144	0,25851	4,135	4,140	0,17
163	0,08705	8,897	0,28660	8,523	8,710	3,03
164	0,06403	7,774	0,27862	7,962	7,868	1,69
165	0,08603	9,010	0,34296	9,054	9,032	0,35
166	0,05475	6,079	0,21782	6,137	6,108	0,68
167	0,06458	7,841	0,27857	7,949	7,895	0,97
168	0,08274	9,937	0,26109	9,330	9,633	4,46
169	0,02753	4,780	0,34976	5,681	5,230	12,18
170	0,08219	9,906	0,26130	9,319	9,612	4,32
171	0,05328	7,469	0,30070	7,690	7,579	2,06
172	0,08274	9,972	0,26123	9,265	9,618	5,20
173	0,06061	5,948	0,34805	6,256	6,102	3,57
174	0,05146	4,639	0,25853	4,943	4,791	4,49
175	0,08603	9,010	0,34278	9,107	9,058	0,76
176	0,06436	6,930	0,26503	7,266	7,098	3,34

Наставак табеле Б.3.

Р. бр.	\dot{m}_1	\dot{Q}_1	\dot{m}_2	\dot{Q}_2	\dot{Q}_{sf}	Δ_{sf}
	[kg/s]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[%]
177	0,06255	9,340	0,35670	9,097	9,219	1,87
178	0,03468	5,429	0,34798	6,543	5,986	13,17
179	0,02999	5,409	0,33103	6,034	5,721	7,74
180	0,02066	3,770	0,32963	4,271	4,020	8,81
181	0,05173	4,664	0,25853	4,972	4,818	4,53
182	0,08412	10,173	0,26123	9,059	9,616	8,19
183	0,04347	5,988	0,26514	6,851	6,420	9,51
184	0,08357	10,141	0,26297	9,179	9,660	7,05
185	0,03470	5,041	0,26679	5,717	5,379	8,88
186	0,02808	4,876	0,34925	5,655	5,265	10,47
187	0,07429	9,852	0,32107	10,121	9,986	1,90
188	0,03470	5,027	0,26666	5,715	5,371	9,06
189	0,06546	7,076	0,26503	7,165	7,120	0,89
190	0,06573	7,105	0,26510	7,137	7,121	0,31
191	0,03497	5,067	0,26666	5,714	5,390	8,49
192	0,04375	6,026	0,26508	6,877	6,451	9,32
193	0,09140	10,217	0,35479	10,315	10,266	0,67
194	0,05145	4,639	0,25853	4,940	4,789	4,44

Табела Б.4. Резултати масених протока испарене воде добијених на основу мерења и материјалног биланса целокупне инсталације

Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,mb}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$	Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,mb}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$
	[kg/s]	[kg/s]	[%]		[kg/s]	[kg/s]	[%]
1	0,0020	0,0015	24,9	98	0,0016	0,0012	28,5
2	0,0019	0,0013	32,0	99	0,0018	0,0015	18,0
3	0,0018	0,0013	23,8	100	0,0021	0,0015	30,6
4	0,0017	0,0007	58,7	101	0,0021	0,0013	38,7
5	0,0027	0,0015	44,6	102	0,0016	0,0013	19,8
6	0,0027	0,0014	45,8	103	0,0021	0,0013	38,7
7	0,0020	0,0013	35,2	104	0,0021	0,0015	26,1
8	0,0020	0,0016	23,9	105	0,0016	0,0013	18,1
9	0,0017	0,0007	59,5	106	0,0021	0,0015	26,7
10	0,0023	0,0014	39,7	107	0,0014	0,0009	30,7
11	0,0021	0,0013	40,5	108	0,0016	0,0014	13,6
12	0,0017	0,0006	61,1	109	0,0021	0,0016	24,6
13	0,0020	0,0013	34,1	110	0,0013	0,0012	9,4
14	0,0013	0,0010	19,9	111	0,0013	0,0012	11,2
15	0,0020	0,0013	35,2	112	0,0019	0,0012	38,2
16	0,0018	0,0013	27,6	113	0,0016	0,0011	31,4
17	0,0024	0,0014	42,9	114	0,0016	0,0014	12,9
18	0,0021	0,0013	39,8	115	0,0018	0,0013	23,8
19	0,0020	0,0016	23,4	116	0,0018	0,0013	23,8
20	0,0024	0,0014	41,5	117	0,0026	0,0021	19,1
21	0,0023	0,0014	39,3	118	0,0016	0,0012	27,6
22	0,0023	0,0013	40,1	119	0,0017	0,0014	14,1
23	0,0027	0,0014	45,8	120	0,0021	0,0015	26,0
24	0,0018	0,0013	27,4	121	0,0017	0,0015	13,2
25	0,0022	0,0015	33,6	122	0,0016	0,0011	31,2
26	0,0019	0,0013	33,9	123	0,0017	0,0014	14,1
27	0,0022	0,0014	34,1	124	0,0021	0,0015	26,1
28	0,0029	0,0017	39,9	125	0,0016	0,0011	31,6
29	0,0024	0,0014	41,1	126	0,0021	0,0015	27,0
30	0,0029	0,0017	39,6	127	0,0016	0,0013	15,1
31	0,0019	0,0013	33,1	128	0,0018	0,0013	28,6
32	0,0022	0,0015	32,8	129	0,0024	0,0015	38,6
33	0,0021	0,0014	33,1	130	0,0013	0,0012	9,9
34	0,0022	0,0014	35,3	131	0,0028	0,0010	62,9
35	0,0019	0,0013	33,0	132	0,0015	0,0009	43,1
36	0,0029	0,0017	39,6	133	0,0016	0,0012	27,6
37	0,0021	0,0014	33,3	134	0,0018	0,0013	29,5
38	0,0018	0,0013	27,7	135	0,0024	0,0015	37,4
39	0,0022	0,0015	33,0	136	0,0015	0,0011	29,1
40	0,0021	0,0013	39,6	137	0,0015	0,0011	28,7
41	0,0014	0,0009	29,8	138	0,0022	0,0014	37,7
42	0,0014	0,0010	29,5	139	0,0024	0,0015	36,7
43	0,0023	0,0015	35,4	140	0,0022	0,0014	38,3

Наставак табеле Б.4.

Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,mb}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$	Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,mb}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$
	[kg/s]	[kg/s]	[%]		[kg/s]	[kg/s]	[%]
44	0,0012	0,0009	22,6	141	0,0028	0,0010	62,4
45	0,0017	0,0013	23,2	142	0,0015	0,0008	44,9
46	0,0017	0,0013	23,8	143	0,0017	0,0014	20,0
47	0,0022	0,0015	33,8	144	0,0018	0,0013	28,4
48	0,0021	0,0014	33,9	145	0,0024	0,0014	40,9
49	0,0021	0,0014	32,7	146	0,0018	0,0016	13,8
50	0,0017	0,0012	28,4	147	0,0022	0,0014	38,3
51	0,0016	0,0012	23,2	148	0,0020	0,0017	15,9
52	0,0016	0,0012	23,8	149	0,0017	0,0012	32,0
53	0,0017	0,0014	19,3	150	0,0020	0,0013	34,0
54	0,0018	0,0013	28,0	151	0,0028	0,0011	61,2
55	0,0018	0,0013	26,9	152	0,0024	0,0014	42,3
56	0,0021	0,0015	32,1	153	0,0019	0,0014	24,7
57	0,0023	0,0015	35,3	154	0,0017	0,0014	15,8
58	0,0021	0,0015	26,9	155	0,0017	0,0014	16,2
59	0,0018	0,0013	29,0	156	0,0017	0,0011	32,2
60	0,0021	0,0015	31,0	157	0,0017	0,0011	32,2
61	0,0021	0,0015	25,7	158	0,0019	0,0014	24,7
62	0,0021	0,0016	23,4	159	0,0014	0,0013	10,1
63	0,0022	0,0015	33,3	160	0,0020	0,0013	34,0
64	0,0023	0,0015	34,1	161	0,0014	0,0013	9,9
65	0,0018	0,0014	25,0	162	0,0024	0,0014	42,8
66	0,0019	0,0013	29,2	163	0,0019	0,0014	23,9
67	0,0013	0,0010	19,9	164	0,0018	0,0015	14,5
68	0,0017	0,0013	23,4	165	0,0020	0,0017	15,4
69	0,0017	0,0014	18,8	166	0,0014	0,0013	10,1
70	0,0015	0,0012	20,3	167	0,0018	0,0015	14,2
71	0,0015	0,0012	20,3	168	0,0018	0,0014	25,1
72	0,0017	0,0014	18,6	169	0,0021	0,0012	39,7
73	0,0013	0,0010	19,4	170	0,0018	0,0014	24,3
74	0,0022	0,0015	31,8	171	0,0017	0,0013	21,4
75	0,0018	0,0014	25,3	172	0,0018	0,0014	26,0
76	0,0016	0,0012	22,6	173	0,0016	0,0013	18,3
77	0,0018	0,0014	25,0	174	0,0014	0,0016	-14,2
78	0,0019	0,0013	31,3	175	0,0020	0,0017	15,1
79	0,0017	0,0014	18,0	176	0,0018	0,0015	13,9
80	0,0017	0,0014	17,9	177	0,0018	0,0006	64,8
81	0,0019	0,0013	29,0	178	0,0017	0,0014	19,4
82	0,0019	0,0014	27,5	179	0,0015	0,0011	29,2
83	0,0017	0,0014	19,8	180	0,0014	0,0009	30,4
84	0,0018	0,0015	19,7	181	0,0014	0,0015	-13,5
85	0,0021	0,0014	33,7	182	0,0020	0,0013	33,0
86	0,0017	0,0012	29,8	183	0,0021	0,0015	28,6
87	0,0019	0,0013	31,7	184	0,0020	0,0013	31,4

Наставак табеле Б.4.

Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,mb}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$	Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,mb}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$
	[kg/s]	[kg/s]	[%]		[kg/s]	[kg/s]	[%]
88	0,0022	0,0014	34,1	185	0,0019	0,0013	29,3
89	0,0019	0,0012	37,9	186	0,0021	0,0012	40,1
90	0,0020	0,0013	34,5	187	0,0020	0,0016	19,9
91	0,0021	0,0014	32,0	188	0,0019	0,0014	28,8
92	0,0018	0,0015	19,1	189	0,0018	0,0015	16,8
93	0,0017	0,0012	27,9	190	0,0018	0,0014	17,4
94	0,0019	0,0012	39,1	191	0,0019	0,0013	29,4
95	0,0021	0,0013	38,7	192	0,0021	0,0015	28,2
96	0,0023	0,0018	21,2	193	0,0025	0,0018	26,7
97	0,0026	0,0020	22,2	194	0,0014	0,0015	-12,6

Табела Б.5. Резултати прорачуна енталпија влажног ваздуха на улазу у РТ

Р. бр.	h'_{2pRT}	h''_{2pRT}	$\Delta(\Delta h_{2pRT})$	Р. бр.	h'_{2pRT}	h''_{2pRT}	$\Delta(\Delta h_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[%]		[J/kg]	[J/kg]	[%]
1	48743,0	50889,1	4,4	98	47347,1	49924,7	5,4
2	46739,7	49162,4	5,2	99	45105,5	48044,1	6,5
3	46528,6	49144,2	5,6	100	47682,3	46339,9	-2,8
4	43613,8	40602,1	-6,9	101	44344,1	42160,3	-4,9
5	47427,8	46820,4	-1,3	102	48476,8	50882,0	5,0
6	47427,8	46401,5	-2,2	103	44344,1	41991,7	-5,3
7	40115,2	40639,8	1,3	104	45218,5	45282,1	0,1
8	48689,1	51090,3	4,9	105	49039,0	50276,3	2,5
9	43613,7	40432,8	-7,3	106	45489,6	45082,9	-0,9
10	40579,7	43803,9	7,9	107	42081,8	44083,7	4,8
11	46089,4	48747,9	5,8	108	45136,1	44916,0	-0,5
12	43665,0	40573,7	-7,1	109	45218,3	45362,4	0,3
13	40115,3	41179,3	2,7	110	46668,6	49130,9	5,3
14	47386,3	49225,9	3,9	111	46670,9	48709,2	4,4
15	40115,3	40792,4	1,7	112	47110,1	47959,2	1,8
16	40019,5	42567,4	6,4	113	45725,4	47499,6	3,9
17	47607,5	48553,4	2,0	114	45303,5	44962,2	-0,8
18	45987,4	48642,6	5,8	115	46528,5	48894,1	5,1
19	48689,3	50913,0	4,6	116	46528,5	48894,9	5,1
20	47551,3	48846,2	2,7	117	47659,6	48970,9	2,8
21	40579,6	43802,6	7,9	118	47347,1	49778,5	5,1
22	40579,7	43151,7	6,3	119	45347,7	47142,8	4,0
23	47424,8	45826,6	-3,4	120	44480,0	45415,6	2,1
24	40069,2	42485,2	6,0	121	45347,5	47187,9	4,1
25	41386,8	43165,2	4,3	122	45725,3	47582,2	4,1
26	46791,4	48341,7	3,3	123	45347,6	47045,4	3,7
27	40661,0	40101,5	-1,4	124	44480,1	45358,6	2,0
28	42202,6	42149,5	-0,1	125	45725,3	47400,8	3,7
29	47528,3	48804,0	2,7	126	44480,1	44934,0	1,0
30	42198,8	42321,4	0,3	127	45239,4	43826,8	-3,1
31	46739,6	48601,0	4,0	128	44500,1	41800,9	-6,1
32	40665,2	40421,3	-0,6	129	44661,0	45146,2	1,1
33	40543,8	43641,9	7,6	130	46671,0	48693,8	4,3
34	40661,2	39252,6	-3,5	131	48240,6	49308,8	2,2
35	47179,8	48865,0	3,6	132	43093,3	40838,6	-5,2
36	42202,8	41915,3	-0,7	133	47347,1	49778,2	5,1
37	40791,0	43658,9	7,0	134	44304,0	41019,3	-7,4
38	40069,2	41805,1	4,3	135	44606,3	45043,0	1,0
39	41386,9	42690,1	3,1	136	41993,2	44347,4	5,6
40	46040,8	48328,1	5,0	137	41948,0	44313,9	5,6
41	41823,1	44171,3	5,6	138	45740,1	45962,8	0,5
42	41873,9	44068,0	5,2	139	44664,5	45197,5	1,2
43	47014,6	48207,7	2,5	140	45740,0	45460,6	-0,6
44	44690,5	47674,1	6,7	141	48240,6	49422,2	2,4

Наставак табеле Б.5.

Р. бр.	h'_{2pRT}	h''_{2pRT}	$\Delta(\Delta h_{2pRT})$	Р. бр.	h'_{2pRT}	h''_{2pRT}	$\Delta(\Delta h_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[%]		[J/kg]	[J/kg]	[%]
45	46051,9	48434,0	5,2	142	43045,2	40122,8	-6,8
46	46054,4	48454,1	5,2	143	49839,1	51237,2	2,8
47	41433,2	42266,3	2,0	144	44450,3	41253,8	-7,2
48	40546,5	43868,1	8,2	145	43447,2	43939,1	1,1
49	46742,5	46872,6	0,3	146	45133,3	46532,6	3,1
50	49055,7	50825,6	3,6	147	45791,0	45774,2	0,0
51	46223,8	47291,1	2,3	148	45342,5	45927,8	1,3
52	46224,3	47095,7	1,9	149	46747,0	48263,1	3,2
53	40279,8	40772,3	1,2	150	45390,9	45707,5	0,7
54	49814,3	52002,1	4,4	151	48244,1	49880,3	3,4
55	49816,5	52035,5	4,5	152	43447,3	43522,5	0,2
56	46742,5	46983,7	0,5	153	47581,4	46254,2	-2,8
57	47012,6	48053,3	2,2	154	46633,8	50055,6	7,3
58	45131,0	44886,7	-0,5	155	46632,5	49947,6	7,1
59	49814,3	51767,2	3,9	156	46977,4	47926,7	2,0
60	46742,4	47227,3	1,0	157	46798,8	48106,2	2,8
61	45131,0	45230,4	0,2	158	47581,4	45963,8	-3,4
62	44970,1	45820,3	1,9	159	45204,6	45620,0	0,9
63	40282,6	38001,6	-5,7	160	45391,1	45423,1	0,1
64	47012,6	48259,2	2,7	161	45207,5	45435,8	0,5
65	46729,2	48240,3	3,2	162	43447,2	43409,7	-0,1
66	47289,4	47978,3	1,5	163	47811,6	46509,8	-2,7
67	47386,2	49101,5	3,6	164	45133,4	45808,4	1,5
68	46000,9	48291,1	5,0	165	45344,8	45474,6	0,3
69	40423,5	40456,7	0,1	166	45207,4	45475,2	0,6
70	47311,5	49669,0	5,0	167	45133,4	45521,5	0,9
71	47311,4	49671,5	5,0	168	44326,3	42001,1	-5,2
72	46655,1	48564,8	4,1	169	46072,1	48647,0	5,6
73	47386,3	49128,1	3,7	170	44644,5	42399,0	-5,0
74	40232,8	38227,1	-5,0	171	49839,2	50574,2	1,5
75	46780,6	47927,4	2,5	172	44594,5	41888,5	-6,1
76	46223,9	46930,6	1,5	173	49142,9	50029,1	1,8
77	46729,2	48023,1	2,8	174	43216,8	44392,3	2,7
78	47127,9	48657,7	3,2	175	45342,5	45624,7	0,6
79	46655,1	48556,5	4,1	176	46632,0	47897,8	2,7
80	46601,6	48458,4	4,0	177	37268,3	36586,2	-1,8
81	47341,1	48134,5	1,7	178	46643,8	49846,5	6,9
82	47239,7	48286,7	2,2	179	41946,7	43837,3	4,5
83	40377,4	39797,1	-1,4	180	41823,1	43342,6	3,6
84	45102,6	48375,6	7,3	181	43216,8	44410,1	2,8
85	47734,6	46697,6	-2,2	182	44737,3	40474,7	-9,5
86	49055,8	50513,3	3,0	183	45130,9	48386,2	7,2
87	47179,8	48546,0	2,9	184	44683,6	41023,4	-8,2
88	40332,4	36703,5	-9,0	185	46012,7	48543,3	5,5

Наставак табеле Б.5.

Р. бр.	h'_{2pRT}	h''_{2pRT}	$\Delta(\Delta h_{2pRT})$	Р. бр.	h'_{2pRT}	h''_{2pRT}	$\Delta(\Delta h_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[%]		[J/kg]	[J/kg]	[%]
89	47341,1	48617,4	2,7	186	46122,2	48353,5	4,8
90	45390,9	45424,1	0,1	187	50489,2	51324,7	1,7
91	47682,3	46781,3	-1,9	188	46064,7	48646,7	5,6
92	45102,3	48266,8	7,0	189	46632,0	46968,4	0,7
93	49055,7	50778,1	3,5	190	46631,9	46750,4	0,3
94	47341,0	48254,4	1,9	191	46012,9	48438,9	5,3
95	44344,1	42519,4	-4,1	192	45131,0	48339,5	7,1
96	45881,4	46657,3	1,7	193	47509,5	47785,7	0,6
97	47708,7	49162,4	3,0	194	43216,8	44380,8	2,7

Табела Б.6. Резултати прорачуна апсолутних влажности ваздуха на улазу у РТ

Р. бр.	\tilde{Y}_{2pRT}	\tilde{Y}_{2pRT}''	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_{2pRT})$	Р. бр.	\tilde{Y}_{2pRT}	\tilde{Y}_{2pRT}''	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_{2pRT})$
	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]		[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]
1	0,0153	0,0137	10,4	98	0,0143	0,0127	11,3
2	0,0144	0,0124	13,8	99	0,0145	0,0132	8,6
3	0,0139	0,0125	9,8	100	0,0159	0,0137	14,2
4	0,0124	0,0093	25,5	101	0,0163	0,0129	20,9
5	0,0157	0,0124	21,3	102	0,0138	0,0128	6,9
6	0,0157	0,0123	21,9	103	0,0163	0,0129	20,9
7	0,0140	0,0111	20,5	104	0,0140	0,0123	12,0
8	0,0152	0,0137	10,0	105	0,0138	0,0129	6,0
9	0,0124	0,0092	25,9	106	0,0141	0,0124	12,2
10	0,0139	0,0108	22,5	107	0,0112	0,0100	11,2
11	0,0139	0,0116	17,1	108	0,0141	0,0132	6,2
12	0,0124	0,0091	26,5	109	0,0140	0,0124	11,3
13	0,0140	0,0112	19,8	110	0,0141	0,0135	3,9
14	0,0131	0,0123	6,7	111	0,0141	0,0134	4,7
15	0,0140	0,0111	20,5	112	0,0137	0,0117	14,9
16	0,0134	0,0113	15,6	113	0,0149	0,0127	14,9
17	0,0155	0,0125	19,1	114	0,0141	0,0133	5,9
18	0,0139	0,0116	16,8	115	0,0139	0,0125	9,8
19	0,0152	0,0138	9,8	116	0,0139	0,0125	9,8
20	0,0154	0,0126	18,4	117	0,0154	0,0140	9,0
21	0,0139	0,0108	22,2	118	0,0143	0,0127	10,9
22	0,0139	0,0107	22,7	119	0,0136	0,0128	6,1
23	0,0157	0,0123	21,9	120	0,0151	0,0131	13,3
24	0,0135	0,0114	15,5	121	0,0136	0,0129	5,7
25	0,0153	0,0123	19,9	122	0,0149	0,0127	14,9
26	0,0144	0,0123	14,6	123	0,0136	0,0128	6,1
27	0,0158	0,0124	21,3	124	0,0151	0,0131	13,4
28	0,0167	0,0129	23,1	125	0,0149	0,0127	15,1
29	0,0155	0,0126	18,3	126	0,0151	0,0130	13,8
30	0,0167	0,0129	22,9	127	0,0141	0,0132	6,9
31	0,0144	0,0123	14,2	128	0,0150	0,0129	14,1
32	0,0158	0,0125	20,5	129	0,0163	0,0129	21,1
33	0,0133	0,0109	18,1	130	0,0141	0,0135	4,1
34	0,0158	0,0123	22,0	131	0,0174	0,0121	30,7
35	0,0137	0,0119	12,8	132	0,0123	0,0101	17,7
36	0,0167	0,0129	22,9	133	0,0143	0,0127	10,9
37	0,0134	0,0110	18,2	134	0,0149	0,0127	14,6
38	0,0135	0,0114	15,7	135	0,0162	0,0129	20,4
39	0,0153	0,0123	19,6	136	0,0118	0,0105	11,2
40	0,0139	0,0116	16,7	137	0,0118	0,0105	11,1
41	0,0112	0,0100	10,9	138	0,0161	0,0130	19,4
42	0,0113	0,0100	10,9	139	0,0163	0,0131	20,0
43	0,0151	0,0127	16,1	140	0,0161	0,0129	19,7
44	0,0135	0,0122	9,4	141	0,0174	0,0121	30,4

Наставак табеле Б.6.

Р. бр.	\tilde{Y}_{2pRT}	\tilde{Y}_{2pRT}''	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_{2pRT})$	Р. бр.	\tilde{Y}_{2pRT}	\tilde{Y}_{2pRT}''	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_{2pRT})$
	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]		[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]
45	0,0139	0,0125	9,8	142	0,0122	0,0100	18,4
46	0,0139	0,0125	10,0	143	0,0147	0,0135	7,7
47	0,0154	0,0123	20,0	144	0,0150	0,0129	14,0
48	0,0133	0,0109	18,6	145	0,0167	0,0129	22,8
49	0,0161	0,0135	16,4	146	0,0140	0,0131	6,4
50	0,0139	0,0126	9,9	147	0,0161	0,0129	19,7
51	0,0150	0,0134	10,9	148	0,0136	0,0126	7,0
52	0,0150	0,0133	11,2	149	0,0158	0,0133	15,5
53	0,0135	0,0120	11,0	150	0,0166	0,0135	18,2
54	0,0144	0,0130	9,8	151	0,0174	0,0122	29,9
55	0,0144	0,0130	9,4	152	0,0167	0,0127	23,6
56	0,0161	0,0135	16,1	153	0,0151	0,0135	10,8
57	0,0151	0,0127	16,0	154	0,0131	0,0123	5,7
58	0,0150	0,0130	13,3	155	0,0131	0,0123	5,9
59	0,0144	0,0129	10,2	156	0,0158	0,0134	15,5
60	0,0161	0,0136	15,6	157	0,0158	0,0133	15,6
61	0,0150	0,0131	12,7	158	0,0151	0,0135	10,8
62	0,0149	0,0132	11,6	159	0,0141	0,0135	4,6
63	0,0158	0,0125	21,0	160	0,0166	0,0135	18,2
64	0,0151	0,0127	15,5	161	0,0141	0,0135	4,5
65	0,0146	0,0130	10,9	162	0,0167	0,0127	23,9
66	0,0138	0,0123	11,3	163	0,0152	0,0136	10,4
67	0,0131	0,0123	6,7	164	0,0140	0,0131	6,7
68	0,0139	0,0125	9,9	165	0,0136	0,0126	6,8
69	0,0135	0,0120	10,7	166	0,0141	0,0135	4,6
70	0,0137	0,0127	7,6	167	0,0140	0,0131	6,6
71	0,0137	0,0127	7,5	168	0,0145	0,0128	12,1
72	0,0142	0,0131	7,8	169	0,0141	0,0118	16,5
73	0,0131	0,0123	6,5	170	0,0146	0,0129	11,6
74	0,0158	0,0126	20,1	171	0,0147	0,0135	8,2
75	0,0146	0,0130	11,0	172	0,0146	0,0128	12,5
76	0,0150	0,0134	10,7	173	0,0138	0,0130	6,1
77	0,0146	0,0130	10,9	174	0,0126	0,0134	-5,9
78	0,0136	0,0120	12,1	175	0,0136	0,0127	6,6
79	0,0142	0,0131	7,6	176	0,0146	0,0137	6,3
80	0,0142	0,0131	7,5	177	0,0112	0,0079	29,4
81	0,0138	0,0123	11,1	178	0,0133	0,0123	7,2
82	0,0138	0,0123	10,6	179	0,0118	0,0104	11,2
83	0,0135	0,0120	11,2	180	0,0112	0,0099	11,1
84	0,0145	0,0131	9,4	181	0,0126	0,0133	-5,6
85	0,0160	0,0135	15,7	182	0,0151	0,0127	16,3
86	0,0139	0,0125	10,4	183	0,0155	0,0133	14,8
87	0,0137	0,0120	12,2	184	0,0151	0,0127	15,5
88	0,0159	0,0124	21,5	185	0,0150	0,0129	14,0

Наставак табеле Б.6.

Р. бр.	\tilde{Y}'_{2pRT}	\tilde{Y}''_{2pRT}	$\Delta(\Delta\tilde{Y}'_{2pRT})$	Р. бр.	\tilde{Y}'_{2pRT}	\tilde{Y}''_{2pRT}	$\Delta(\Delta\tilde{Y}'_{2pRT})$
	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]		[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]
89	0,0138	0,0117	14,8	186	0,0142	0,0118	16,7
90	0,0166	0,0135	18,5	187	0,0156	0,0143	8,2
91	0,0159	0,0136	14,9	188	0,0150	0,0130	13,7
92	0,0145	0,0131	9,1	189	0,0146	0,0135	7,6
93	0,0139	0,0126	9,7	190	0,0146	0,0135	7,8
94	0,0138	0,0117	15,3	191	0,0150	0,0129	14,0
95	0,0163	0,0129	20,9	192	0,0156	0,0133	14,5
96	0,0158	0,0141	10,5	193	0,0152	0,0133	12,3
97	0,0155	0,0138	10,4	194	0,0126	0,0133	-5,2

Табела Б.7. Резултати прорачуна енталпија влажног ваздуха у области влажне магле на улазу у РТ

Р. бр.	h'_{2pRT}	$h_{2p,az}(\tilde{Y}'_{2pRT})$	$h_{2p,az}(\tilde{Y}''_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h'_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h''_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[J/kg]	[%]	[%]
1	48743,0	48490,2	48603,0	0,5	0,3
2	46739,7	46480,7	46617,7	0,6	0,3
3	46528,6	46314,9	46408,5	0,5	0,3
4	43613,8	43185,4	43389,2	1,0	0,5
5	47427,8	47041,9	47274,1	0,8	0,3
6	47427,8	47035,6	47274,1	0,8	0,3
7	40115,2	39787,6	39956,5	0,8	0,4
8	48689,1	48437,8	48545,9	0,5	0,3
9	43613,7	43182,3	43389,1	1,0	0,5
10	40579,7	40228,2	40415,4	0,9	0,4
11	46089,4	45806,6	45968,6	0,6	0,3
12	43665,0	43227,8	43440,3	1,0	0,5
13	40115,3	39792,8	39956,6	0,8	0,4
14	47386,3	47206,0	47267,7	0,4	0,3
15	40115,3	39787,6	39956,6	0,8	0,4
16	40019,5	39745,6	39869,1	0,7	0,4
17	47607,5	47290,9	47496,9	0,7	0,2
18	45987,4	45709,7	45868,9	0,6	0,3
19	48689,3	48440,3	48546,1	0,5	0,3
20	47551,3	47244,5	47442,6	0,6	0,2
21	40579,6	40230,0	40415,3	0,9	0,4
22	40579,7	40226,5	40415,4	0,9	0,4
23	47424,8	47035,6	47274,2	0,8	0,3
24	40069,2	39797,1	39919,8	0,7	0,4
25	41386,8	41017,4	41202,9	0,9	0,4
26	46791,4	46520,9	46666,2	0,6	0,3
27	40661,0	40253,6	40453,1	1,0	0,5
28	42202,6	41784,0	42023,9	1,0	0,4
29	47528,3	47219,0	47416,1	0,7	0,2
30	42198,8	41785,8	42024,1	1,0	0,4
31	46739,6	46476,1	46617,6	0,6	0,3
32	40665,2	40260,8	40453,1	1,0	0,5
33	40543,8	40235,6	40379,8	0,8	0,4
34	40661,2	40246,5	40453,2	1,0	0,5
35	47179,8	46947,9	47069,6	0,5	0,2
36	42202,8	41785,8	42024,1	1,0	0,4
37	40791,0	40481,1	40628,0	0,8	0,4
38	40069,2	39795,6	39919,8	0,7	0,4
39	41386,9	41020,4	41202,9	0,9	0,4
40	46040,8	45762,9	45921,4	0,6	0,3
41	41823,1	41577,1	41652,7	0,6	0,4
42	41873,9	41623,7	41699,8	0,6	0,4
43	47014,6	46721,2	46890,5	0,6	0,3

Наставак табеле Б.7.

Р. бр.	h'_{2pRT}	$h_{2p,az}(\tilde{Y}'_{2pRT})$	$h_{2p,az}(\tilde{Y}''_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h'_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h''_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[J/kg]	[%]	[%]
44	44690,5	44467,2	44551,2	0,5	0,3
45	46051,9	45835,7	45928,4	0,5	0,3
46	46054,4	45833,3	45928,5	0,5	0,3
47	41433,2	41067,0	41253,9	0,9	0,4
48	40546,5	40233,7	40382,0	0,8	0,4
49	46742,5	46417,5	46600,0	0,7	0,3
50	49055,7	48837,3	48936,9	0,4	0,2
51	46223,8	45976,0	46088,1	0,5	0,3
52	46224,3	45973,3	46088,6	0,5	0,3
53	40279,8	40023,9	40111,4	0,6	0,4
54	49814,3	49592,9	49696,3	0,4	0,2
55	49816,5	49596,8	49696,4	0,4	0,2
56	46742,5	46420,5	46600,0	0,7	0,3
57	47012,6	46720,6	46888,5	0,6	0,3
58	45131,0	44848,7	44980,0	0,6	0,3
59	49814,3	49589,0	49696,3	0,5	0,2
60	46742,4	46426,6	46599,9	0,7	0,3
61	45131,0	44854,8	44980,0	0,6	0,3
62	44970,1	44698,7	44812,3	0,6	0,4
63	40282,6	39909,8	40106,2	0,9	0,4
64	47012,6	46726,1	46888,5	0,6	0,3
65	46729,2	46498,7	46608,7	0,5	0,3
66	47289,4	47068,9	47177,1	0,5	0,2
67	47386,2	47206,0	47267,6	0,4	0,3
68	46000,9	45787,7	45881,3	0,5	0,3
69	40423,5	40168,2	40253,7	0,6	0,4
70	47311,5	47117,8	47190,4	0,4	0,3
71	47311,4	47117,8	47190,3	0,4	0,3
72	46655,1	46452,6	46529,5	0,4	0,3
73	47386,3	47207,5	47267,7	0,4	0,3
74	40232,8	39871,5	40059,2	0,9	0,4
75	46780,6	46544,7	46656,0	0,5	0,3
76	46223,9	45978,7	46088,2	0,5	0,3
77	46729,2	46498,7	46608,7	0,5	0,3
78	47127,9	46900,7	47016,1	0,5	0,2
79	46655,1	46455,3	46529,5	0,4	0,3
80	46601,6	46401,4	46474,7	0,4	0,3
81	47341,1	47122,6	47229,8	0,5	0,2
82	47239,7	47027,8	47129,6	0,4	0,2
83	40377,4	40126,7	40216,7	0,6	0,4
84	45102,6	44871,9	44963,2	0,5	0,3
85	47734,6	47455,1	47630,9	0,6	0,2
86	49055,8	48832,3	48937,0	0,5	0,2
87	47179,8	46952,7	47069,6	0,5	0,2

Наставак табеле Б.7.

Р. бр.	h'_{2pRT}	$h_{2p,az}(\tilde{Y}'_{2pRT})$	$h_{2p,az}(\tilde{Y}''_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h'_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h''_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[J/kg]	[%]	[%]
88	40332,4	39956,1	40157,6	0,9	0,4
89	47341,1	47077,8	47220,2	0,6	0,3
90	45390,9	45022,6	45227,5	0,8	0,4
91	47682,3	47410,4	47577,0	0,6	0,2
92	45102,3	44874,6	44963,0	0,5	0,3
93	49055,7	48839,0	48936,9	0,4	0,2
94	47341,0	47073,0	47220,1	0,6	0,3
95	44344,1	43973,3	44194,7	0,8	0,3
96	45881,4	45614,5	45725,9	0,6	0,3
97	47708,7	47433,7	47546,5	0,6	0,3
98	47347,1	47110,1	47222,7	0,5	0,3
99	45105,5	44880,0	44963,2	0,5	0,3
100	47682,3	47417,8	47577,0	0,6	0,2
101	44344,1	43973,3	44194,6	0,8	0,3
102	48476,8	48293,6	48361,9	0,4	0,2
103	44344,1	43973,3	44194,7	0,8	0,3
104	45218,5	44954,1	45065,5	0,6	0,3
105	49039,0	48845,3	48904,7	0,4	0,3
106	45489,6	45224,5	45339,1	0,6	0,3
107	42081,8	41834,4	41912,7	0,6	0,4
108	45136,1	44947,0	45005,5	0,4	0,3
109	45218,3	44960,4	45065,3	0,6	0,3
110	46668,6	46499,8	46538,2	0,4	0,3
111	46670,9	46492,5	46538,1	0,4	0,3
112	47110,1	46842,3	46985,0	0,6	0,3
113	45725,4	45424,2	45575,0	0,7	0,3
114	45303,5	45113,6	45169,2	0,4	0,3
115	46528,5	46314,9	46408,4	0,5	0,3
116	46528,5	46314,9	46408,4	0,5	0,3
117	47659,6	47393,0	47489,8	0,6	0,4
118	47347,1	47113,5	47222,7	0,5	0,3
119	45347,7	45161,8	45217,5	0,4	0,3
120	44480,0	44191,8	44324,3	0,6	0,4
121	45347,5	45165,4	45217,3	0,4	0,3
122	45725,3	45425,1	45574,9	0,7	0,3
123	45347,6	45161,8	45217,4	0,4	0,3
124	44480,1	44191,8	44324,4	0,6	0,4
125	45725,3	45423,0	45574,9	0,7	0,3
126	44480,1	44187,2	44324,4	0,7	0,4
127	45239,4	45040,2	45105,2	0,4	0,3
128	44500,1	44217,3	44355,7	0,6	0,3
129	44661,0	44278,0	44505,0	0,9	0,3
130	46671,0	46497,8	46538,1	0,4	0,3
131	48240,6	47738,4	48116,6	1,0	0,3

Наставак табеле Б.7.

Р. бр.	h'_{2pRT}	$h_{2p,az}(\tilde{Y}'_{2pRT})$	$h_{2p,az}(\tilde{Y}''_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h'_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h''_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[J/kg]	[%]	[%]
132	43093,3	42764,3	42902,3	0,8	0,4
133	47347,1	47113,5	47222,7	0,5	0,3
134	44304,0	44014,3	44156,7	0,7	0,3
135	44606,3	44229,0	44447,5	0,8	0,4
136	41993,2	41732,1	41814,3	0,6	0,4
137	41948,0	41687,5	41768,4	0,6	0,4
138	45740,1	45393,4	45604,7	0,8	0,3
139	44664,5	44289,2	44504,9	0,8	0,4
140	45740,0	45390,1	45604,6	0,8	0,3
141	48240,6	47741,5	48116,6	1,0	0,3
142	43045,2	42710,5	42854,1	0,8	0,4
143	49839,1	49615,0	49696,8	0,4	0,3
144	44450,3	44167,4	44304,8	0,6	0,3
145	43447,2	43053,6	43297,2	0,9	0,3
146	45133,3	44932,8	44992,0	0,4	0,3
147	45791,0	45443,5	45658,0	0,8	0,3
148	45342,5	45133,8	45196,8	0,5	0,3
149	46747,0	46440,7	46609,4	0,7	0,3
150	45390,9	45025,5	45227,5	0,8	0,4
151	48244,1	47748,3	48116,6	1,0	0,3
152	43447,3	43044,9	43297,3	0,9	0,3
153	47581,4	47353,4	47468,5	0,5	0,2
154	46633,8	46466,6	46518,6	0,4	0,2
155	46632,5	46464,3	46517,3	0,4	0,2
156	46977,4	46668,2	46838,9	0,7	0,3
157	46798,8	46488,0	46658,3	0,7	0,3
158	47581,4	47353,4	47468,5	0,5	0,2
159	45204,6	45020,9	45064,5	0,4	0,3
160	45391,1	45025,5	45227,7	0,8	0,4
161	45207,5	45021,8	45064,7	0,4	0,3
162	43447,2	43042,0	43297,2	0,9	0,3
163	47811,6	47591,1	47702,7	0,5	0,2
164	45133,4	44929,7	44992,1	0,5	0,3
165	45344,8	45135,3	45196,6	0,5	0,3
166	45207,4	45020,9	45064,6	0,4	0,3
167	45133,4	44931,2	44992,2	0,4	0,3
168	44326,3	44068,0	44182,7	0,6	0,3
169	46072,1	45835,3	45994,2	0,5	0,2
170	44644,5	44394,9	44506,7	0,6	0,3
171	49839,2	49609,6	49696,9	0,5	0,3
172	44594,5	44335,9	44455,3	0,6	0,3
173	49142,9	48951,3	49011,6	0,4	0,3
174	43216,8	43131,2	43083,5	0,2	0,3
175	45342,5	45136,8	45196,8	0,5	0,3

Наставак табеле Б.7.

Р. бр.	h'_{2pRT}	$h_{2p,az}(\tilde{Y}'_{2pRT})$	$h_{2p,az}(\tilde{Y}''_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h'_{2pRT})$	$\Delta(\Delta h''_{2pRT})$
	[J/kg]	[J/kg]	[J/kg]	[%]	с
176	46632,0	46439,2	46502,6	0,4	0,3
177	37268,3	36937,5	37117,7	0,9	0,4
178	46643,8	46458,4	46524,4	0,4	0,3
179	41946,7	41685,5	41767,4	0,6	0,4
180	41823,1	41575,5	41652,7	0,6	0,4
181	43216,8	43128,8	43083,5	0,2	0,3
182	44737,3	44427,8	44590,2	0,7	0,3
183	45130,9	44833,4	44986,6	0,7	0,3
184	44683,6	44382,1	44535,4	0,7	0,3
185	46012,7	45735,6	45878,4	0,6	0,3
186	46122,2	45882,2	46043,1	0,5	0,2
187	50489,2	50253,1	50346,5	0,5	0,3
188	46064,7	45788,0	45928,2	0,6	0,3
189	46632,0	46426,2	46502,6	0,4	0,3
190	46631,9	46423,2	46502,5	0,4	0,3
191	46012,9	45735,6	45878,6	0,6	0,3
192	45131,0	44836,0	44986,7	0,7	0,3
193	47509,5	47216,7	47346,3	0,6	0,3
194	43216,8	43125,7	43083,5	0,2	0,3

Табела Б.8. Резултати прорачуна средњих топлотних снага РТ измерених и добијених помоћу модела за област влажне магле

Р. бр.	$\dot{Q}_{sr,mereno}$	$\dot{Q}_{sr,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{Q}_{sr})$	Р. бр.	$\dot{Q}_{sr,mereno}$	$\dot{Q}_{sr,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{Q}_{sr})$
	[kW]	[kW]	[%]		[kW]	[kW]	[%]
1	6,353	6,354	0,0	98	3,812	3,418	10,9
2	5,590	5,597	0,1	99	6,557	5,872	11,0
3	5,812	5,798	0,2	100	8,740	7,823	11,1
4	7,855	7,833	0,3	101	9,314	8,312	11,4
5	8,408	8,370	0,4	102	4,144	3,692	11,5
6	8,400	8,357	0,5	103	9,334	8,316	11,5
7	6,616	6,655	0,6	104	8,537	7,579	11,9
8	6,396	6,356	0,6	105	6,085	5,383	12,2
9	7,813	7,761	0,7	106	8,517	7,508	12,6
10	5,329	5,286	0,8	107	3,899	3,432	12,7
11	5,118	5,065	1,0	108	7,773	6,838	12,8
12	7,764	7,846	1,1	109	8,606	7,567	12,8
13	6,605	6,677	1,1	110	4,755	4,180	12,9
14	2,789	2,746	1,5	111	4,743	4,165	13,0
15	6,596	6,702	1,6	112	6,065	5,295	13,5
16	5,896	5,802	1,6	113	3,931	3,431	13,6
17	6,424	6,321	1,6	114	7,819	6,822	13,6
18	5,153	5,067	1,7	115	5,851	5,100	13,7
19	6,452	6,333	1,9	116	5,852	5,100	13,7
20	6,465	6,343	1,9	117	10,666	9,290	13,8
21	5,382	5,279	1,9	118	3,899	3,392	13,9
22	5,372	5,254	2,2	119	6,991	6,080	13,9
23	8,501	8,311	2,3	120	8,412	7,312	14,0
24	5,921	5,777	2,5	121	6,998	6,080	14,0
25	7,244	7,029	3,0	122	3,952	3,431	14,1
26	5,664	5,493	3,1	123	7,007	6,071	14,3
27	8,116	7,859	3,2	124	8,418	7,289	14,4
28	6,717	6,503	3,2	125	3,956	3,423	14,4
29	6,515	6,305	3,3	126	8,399	7,249	14,7
30	6,713	6,495	3,3	127	7,858	6,775	14,8
31	5,658	5,461	3,5	128	9,293	7,997	15,0
32	8,149	7,854	3,7	129	8,067	6,937	15,1
33	5,507	5,715	3,7	130	4,811	4,134	15,1
34	8,140	7,837	3,8	131	2,824	2,422	15,3
35	5,416	5,213	3,8	132	8,271	7,093	15,3
36	6,773	6,507	4,0	133	3,899	3,342	15,4
37	5,488	5,713	4,0	134	9,345	8,004	15,5
38	5,964	5,693	4,7	135	8,173	6,988	15,6
39	7,332	6,997	4,7	136	5,636	4,811	15,8
40	5,230	4,989	4,7	137	5,650	4,822	15,8
41	3,905	3,715	5,0	138	7,570	6,458	15,9
42	4,071	3,873	5,0	139	8,124	6,930	15,9
43	7,186	6,823	5,2	140	7,605	6,479	16,0

Наставак табеле Б.8.

Р. бр.	$\dot{Q}_{sr,mereno}$	$\dot{Q}_{sr,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{Q}_{sr})$	Р. бр.	$\dot{Q}_{sr,mereno}$	$\dot{Q}_{sr,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{Q}_{sr})$
	[kW]	[kW]	[%]		[kW]	[kW]	[%]
44	3,155	2,992	5,3	141	2,842	2,421	16,0
45	5,727	5,425	5,4	142	8,298	7,067	16,0
46	5,697	5,392	5,5	143	7,508	6,391	16,1
47	7,347	6,948	5,6	144	9,387	7,979	16,2
48	5,423	5,739	5,7	145	4,191	4,931	16,2
49	7,088	6,694	5,7	146	7,803	6,626	16,3
50	3,249	3,063	5,9	147	7,600	6,445	16,4
51	5,439	5,123	6,0	148	8,966	7,586	16,7
52	5,433	5,112	6,1	149	4,769	4,029	16,8
53	7,531	7,083	6,1	150	6,114	5,162	16,9
54	4,177	3,927	6,2	151	2,880	2,429	17,0
55	4,183	3,928	6,3	152	4,154	4,931	17,1
56	7,102	6,667	6,3	153	8,698	7,320	17,2
57	7,267	6,814	6,4	154	5,981	5,032	17,2
58	7,750	7,266	6,4	155	5,993	5,041	17,2
59	4,171	3,907	6,5	156	4,776	4,018	17,3
60	7,132	6,673	6,7	157	4,781	4,018	17,3
61	7,768	7,266	6,7	158	8,740	7,342	17,4
62	7,813	7,303	6,8	159	6,093	5,117	17,4
63	8,398	7,839	6,9	160	6,144	5,159	17,4
64	7,301	6,814	6,9	161	6,096	5,118	17,4
65	6,451	6,017	7,0	162	4,140	4,931	17,5
66	6,455	6,020	7,0	163	8,710	7,309	17,5
67	2,808	2,617	7,0	164	7,868	6,582	17,8
68	5,700	5,304	7,2	165	9,032	7,556	17,8
69	7,581	7,045	7,3	166	6,108	5,109	17,8
70	3,899	3,622	7,4	167	7,895	6,602	17,8
71	3,900	3,623	7,4	168	9,633	8,049	17,9
72	6,500	6,038	7,4	169	5,230	4,368	18,0
73	2,820	2,617	7,5	170	9,612	8,023	18,0
74	8,449	7,837	7,5	171	7,579	6,322	18,1
75	6,461	5,991	7,6	172	9,618	8,018	18,1
76	5,500	5,094	7,7	173	6,102	5,081	18,3
77	6,482	5,998	7,8	174	4,791	5,763	18,4
78	5,564	5,144	7,8	175	9,058	7,505	18,8
79	6,530	6,028	8,0	176	7,098	5,876	18,8
80	6,556	6,046	8,1	177	9,219	7,625	18,9
81	6,451	5,944	8,2	178	5,986	4,950	18,9
82	6,474	5,962	8,2	179	5,721	4,731	19,0
83	7,631	7,025	8,3	180	4,020	3,323	19,0
84	6,431	5,907	8,5	181	4,818	5,835	19,1
85	8,524	7,818	8,6	182	9,616	7,927	19,3
86	3,241	2,972	8,6	183	6,420	5,292	19,3
87	5,575	5,112	8,7	184	9,660	7,957	19,3

Наставак табеле Б.8.

Р. бр.	$\dot{Q}_{sr,mereno}$	$\dot{Q}_{sr,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{Q}_{sr})$	Р. бр.	$\dot{Q}_{sr,mereno}$	$\dot{Q}_{sr,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{Q}_{sr})$
	[kW]	[kW]	[%]		[kW]	[kW]	[%]
88	8,499	7,791	8,7	185	5,379	4,427	19,4
89	5,963	5,439	9,2	186	5,265	4,331	19,5
90	6,121	5,570	9,4	187	9,986	8,213	19,5
91	8,599	7,817	9,5	188	5,371	4,417	19,5
92	6,477	5,883	9,6	189	7,120	5,847	19,6
93	3,277	2,973	9,7	190	7,121	5,840	19,8
94	5,966	5,389	10,2	191	5,390	4,418	19,8
95	9,270	8,329	10,7	192	6,451	5,288	19,8
96	6,267	5,631	10,7	193	10,266	8,412	19,9
97	10,365	9,305	10,8	194	4,789	5,848	19,9

Табела Б.9. Резултати масених протока испарене воде добијених на основу мерења и модела

Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$	Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$
	[kg/s]	[kg/s]	[%]		[kg/s]	[kg/s]	[%]
1	0,0020	0,0019	5,4	98	0,0016	0,0015	5,7
2	0,0019	0,0017	13,6	99	0,0018	0,0017	7,1
3	0,0018	0,0014	18,3	100	0,0021	0,0019	9,5
4	0,0017	0,0013	20,0	101	0,0021	0,0019	11,8
5	0,0027	0,0024	8,3	102	0,0016	0,0013	18,6
6	0,0027	0,0024	8,3	103	0,0021	0,0019	11,8
7	0,0020	0,0019	4,9	104	0,0021	0,0017	18,4
8	0,0020	0,0019	5,3	105	0,0016	0,0013	21,1
9	0,0017	0,0013	20,6	106	0,0021	0,0017	18,5
10	0,0023	0,0021	4,5	107	0,0014	0,0010	26,0
11	0,0021	0,0018	14,7	108	0,0016	0,0014	8,9
12	0,0017	0,0013	20,2	109	0,0021	0,0017	18,4
13	0,0020	0,0019	4,9	110	0,0013	0,0011	14,6
14	0,0013	0,0012	9,1	111	0,0013	0,0011	14,6
15	0,0020	0,0019	4,6	112	0,0019	0,0014	25,7
16	0,0018	0,0017	9,1	113	0,0016	0,0015	6,5
17	0,0024	0,0022	10,3	114	0,0016	0,0014	8,6
18	0,0021	0,0018	14,4	115	0,0018	0,0014	22,9
19	0,0020	0,0019	5,3	116	0,0018	0,0014	22,9
20	0,0024	0,0022	10,0	117	0,0026	0,0024	7,0
21	0,0023	0,0021	4,5	118	0,0016	0,0015	5,8
22	0,0023	0,0021	4,6	119	0,0017	0,0014	18,9
23	0,0027	0,0024	8,3	120	0,0021	0,0018	14,6
24	0,0018	0,0017	9,2	121	0,0017	0,0014	18,9
25	0,0022	0,0020	11,1	122	0,0016	0,0015	6,5
26	0,0019	0,0017	13,9	123	0,0017	0,0014	18,9
27	0,0022	0,0019	13,3	124	0,0021	0,0018	14,8
28	0,0029	0,0027	6,3	125	0,0016	0,0015	6,5
29	0,0024	0,0022	10,8	126	0,0021	0,0018	15,0
30	0,0029	0,0027	6,4	127	0,0016	0,0014	8,9
31	0,0019	0,0016	14,2	128	0,0018	0,0016	13,4
32	0,0022	0,0019	13,2	129	0,0024	0,0022	7,2
33	0,0021	0,0020	5,1	130	0,0013	0,0011	14,6
34	0,0022	0,0019	13,2	131	0,0028	0,0016	43,5
35	0,0019	0,0016	13,6	132	0,0015	0,0011	25,7
36	0,0029	0,0027	6,3	133	0,0016	0,0015	6,5
37	0,0021	0,0020	5,2	134	0,0018	0,0016	12,9
38	0,0018	0,0017	9,5	135	0,0024	0,0022	6,4
39	0,0022	0,0020	11,0	136	0,0015	0,0012	20,2
40	0,0021	0,0018	14,6	137	0,0015	0,0012	20,0
41	0,0014	0,0010	24,7	138	0,0022	0,0021	6,2
42	0,0014	0,0010	24,2	139	0,0024	0,0022	7,1
43	0,0023	0,0020	11,2	140	0,0022	0,0021	5,9

Наставак табеле Б.9.

Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$	Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$
	[kg/s]	[kg/s]	[%]		[kg/s]	[kg/s]	[%]
44	0,0012	0,0011	10,6	141	0,0028	0,0016	43,5
45	0,0017	0,0014	15,8	142	0,0015	0,0011	25,5
46	0,0017	0,0014	16,2	143	0,0017	0,0014	19,8
47	0,0022	0,0020	11,3	144	0,0018	0,0016	13,2
48	0,0021	0,0020	5,4	145	0,0024	0,0022	9,9
49	0,0021	0,0019	9,5	146	0,0018	0,0015	19,4
50	0,0017	0,0016	6,3	147	0,0022	0,0021	6,3
51	0,0016	0,0015	4,7	148	0,0020	0,0017	15,6
52	0,0016	0,0015	4,7	149	0,0017	0,0016	4,5
53	0,0017	0,0015	11,9	150	0,0020	0,0019	1,1
54	0,0018	0,0016	12,7	151	0,0028	0,0016	43,5
55	0,0018	0,0016	12,7	152	0,0024	0,0022	9,9
56	0,0021	0,0019	9,7	153	0,0019	0,0016	17,5
57	0,0023	0,0020	10,9	154	0,0017	0,0013	19,5
58	0,0021	0,0018	10,0	155	0,0017	0,0013	19,3
59	0,0018	0,0016	12,8	156	0,0017	0,0016	4,4
60	0,0021	0,0019	9,7	157	0,0017	0,0016	4,7
61	0,0021	0,0018	10,0	158	0,0019	0,0016	17,3
62	0,0021	0,0018	10,2	159	0,0014	0,0011	18,4
63	0,0022	0,0019	12,4	160	0,0020	0,0019	1,1
64	0,0023	0,0020	10,9	161	0,0014	0,0011	18,4
65	0,0018	0,0015	14,9	162	0,0024	0,0022	9,9
66	0,0019	0,0016	14,4	163	0,0019	0,0016	17,5
67	0,0013	0,0011	10,4	164	0,0018	0,0015	19,3
68	0,0017	0,0014	16,7	165	0,0020	0,0017	15,5
69	0,0017	0,0015	11,5	166	0,0014	0,0011	18,3
70	0,0015	0,0014	6,0	167	0,0018	0,0015	19,0
71	0,0015	0,0014	6,0	168	0,0018	0,0016	13,1
72	0,0017	0,0015	9,3	169	0,0021	0,0019	8,3
73	0,0013	0,0011	10,4	170	0,0018	0,0016	13,2
74	0,0022	0,0019	12,3	171	0,0017	0,0014	19,7
75	0,0018	0,0015	15,1	172	0,0018	0,0016	13,0
76	0,0016	0,0015	4,7	173	0,0016	0,0012	23,3
77	0,0018	0,0015	14,9	174	0,0014	0,0009	33,4
78	0,0019	0,0016	13,5	175	0,0020	0,0017	15,8
79	0,0017	0,0015	9,3	176	0,0018	0,0013	23,9
80	0,0017	0,0016	8,9	177	0,0018	0,0011	40,4
81	0,0019	0,0016	15,0	178	0,0017	0,0013	22,8
82	0,0019	0,0016	14,7	179	0,0015	0,0012	20,0
83	0,0017	0,0015	11,9	180	0,0014	0,0010	25,8
84	0,0018	0,0017	7,1	181	0,0014	0,0009	32,9
85	0,0021	0,0019	10,0	182	0,0020	0,0016	18,9
86	0,0017	0,0016	7,3	183	0,0021	0,0021	2,7
87	0,0019	0,0016	13,7	184	0,0020	0,0016	18,6

Наставак табеле Б.9.

Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$	Р. бр.	$\dot{m}_{isp,mereno}$	$\dot{m}_{isp,računato}$	$\Delta(\Delta\dot{m}_{isp})$
	[kg/s]	[kg/s]	[%]		[kg/s]	[kg/s]	[%]
88	0,0022	0,0019	12,4	185	0,0019	0,0018	4,2
89	0,0019	0,0015	25,2	186	0,0021	0,0019	8,7
90	0,0020	0,0018	7,3	187	0,0020	0,0017	16,5
91	0,0021	0,0019	9,8	188	0,0019	0,0018	4,4
92	0,0018	0,0017	7,1	189	0,0018	0,0013	23,8
93	0,0017	0,0016	7,3	190	0,0018	0,0013	23,8
94	0,0019	0,0014	25,3	191	0,0019	0,0018	4,2
95	0,0021	0,0019	11,8	192	0,0021	0,0021	2,7
96	0,0023	0,0022	3,0	193	0,0025	0,0019	25,1
97	0,0026	0,0024	7,5	194	0,0014	0,0009	32,9

Табела Б.10. Резултати прорачуна апсолутних влажности ваздуха добијених из модела на излазу из оквашеног дела РТ и на крају РТ

Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,okv}$	$\tilde{Y}_{k,ra\check{c}unato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$	Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,okv}$	$\tilde{Y}_{k,ra\check{c}unato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$
	[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]		[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]
1	0,0142	0,0149	4,6	98	98	0,0133	0,0140
2	0,0129	0,0135	4,8	99	99	0,0132	0,0140
3	0,0123	0,0128	4,4	100	100	0,0146	0,0152
4	0,0109	0,0113	3,8	101	101	0,0147	0,0152
5	0,0144	0,0151	4,6	102	102	0,0124	0,0129
6	0,0144	0,0151	4,6	103	103	0,0147	0,0152
7	0,0128	0,0136	6,2	104	104	0,0123	0,0128
8	0,0142	0,0149	4,6	105	105	0,0124	0,0128
9	0,0109	0,0113	3,8	106	106	0,0123	0,0129
10	0,0127	0,0135	6,3	107	107	0,0099	0,0102
11	0,0124	0,0131	5,0	108	108	0,0129	0,0135
12	0,0109	0,0113	3,8	109	109	0,0123	0,0128
13	0,0128	0,0136	6,2	110	110	0,0126	0,0132
14	0,0122	0,0127	4,1	111	111	0,0126	0,0132
15	0,0128	0,0136	6,2	112	112	0,0119	0,0123
16	0,0119	0,0127	6,5	113	113	0,0137	0,0145
17	0,0141	0,0147	4,6	114	114	0,0130	0,0136
18	0,0124	0,0130	5,0	115	115	0,0120	0,0125
19	0,0142	0,0149	4,6	116	116	0,0120	0,0125
20	0,0140	0,0147	4,6	117	117	0,0143	0,0149
21	0,0127	0,0135	6,3	118	118	0,0133	0,0140
22	0,0127	0,0135	6,3	119	119	0,0120	0,0125
23	0,0144	0,0151	4,6	120	120	0,0133	0,0140
24	0,0119	0,0128	6,5	121	121	0,0120	0,0125
25	0,0135	0,0143	5,7	122	122	0,0137	0,0145
26	0,0129	0,0135	4,8	123	123	0,0120	0,0125
27	0,0137	0,0145	5,2	124	124	0,0133	0,0140
28	0,0157	0,0161	2,9	125	125	0,0137	0,0145
29	0,0140	0,0147	4,6	126	126	0,0133	0,0139
30	0,0156	0,0161	2,9	127	127	0,0130	0,0136
31	0,0128	0,0135	4,8	128	128	0,0135	0,0140
32	0,0137	0,0145	5,2	129	129	0,0150	0,0157
33	0,0121	0,0129	6,4	130	130	0,0126	0,0132
34	0,0137	0,0145	5,2	131	131	0,0130	0,0137
35	0,0124	0,0129	4,3	132	132	0,0106	0,0110
36	0,0157	0,0161	2,9	133	133	0,0132	0,0139
37	0,0122	0,0130	6,4	134	134	0,0134	0,0140
38	0,0119	0,0127	6,5	135	135	0,0150	0,0157
39	0,0135	0,0143	5,7	136	136	0,0105	0,0109
40	0,0124	0,0131	5,0	137	137	0,0105	0,0109
41	0,0099	0,0102	3,2	138	138	0,0148	0,0156
42	0,0099	0,0103	3,3	139	139	0,0150	0,0157
43	0,0137	0,0143	4,7	140	140	0,0149	0,0156

Наставак табеле Б.10.

Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,okv}$	$\tilde{Y}_{k,ra\check{c}unato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$	Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,okv}$	$\tilde{Y}_{k,ra\check{c}unato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$
	[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]		[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]
44	0,0122	0,0129	5,3	141	0,0130	0,0137	4,7
45	0,0124	0,0130	4,5	142	0,0106	0,0110	3,4
46	0,0124	0,0130	4,5	143	0,0130	0,0135	3,7
47	0,0135	0,0143	5,7	144	0,0135	0,0140	3,9
48	0,0121	0,0130	6,4	145	0,0151	0,0158	4,2
49	0,0146	0,0154	4,8	146	0,0122	0,0128	4,5
50	0,0130	0,0136	4,5	147	0,0148	0,0156	4,7
51	0,0139	0,0147	5,3	148	0,0121	0,0126	4,1
52	0,0139	0,0147	5,3	149	0,0146	0,0154	5,3
53	0,0118	0,0126	5,7	150	0,0157	0,0165	4,5
54	0,0132	0,0137	4,1	151	0,0131	0,0137	4,7
55	0,0132	0,0137	4,1	152	0,0151	0,0158	4,2
56	0,0146	0,0154	4,8	153	0,0135	0,0140	3,8
57	0,0137	0,0143	4,6	154	0,0117	0,0122	3,5
58	0,0135	0,0142	4,8	155	0,0117	0,0122	3,5
59	0,0132	0,0137	4,1	156	0,0147	0,0155	5,3
60	0,0146	0,0154	4,8	157	0,0146	0,0154	5,3
61	0,0135	0,0142	4,8	158	0,0135	0,0140	3,8
62	0,0135	0,0142	4,7	159	0,0123	0,0129	4,7
63	0,0139	0,0146	5,0	160	0,0157	0,0165	4,5
64	0,0137	0,0143	4,6	161	0,0123	0,0129	4,7
65	0,0131	0,0137	4,4	162	0,0151	0,0158	4,2
66	0,0125	0,0131	3,9	163	0,0135	0,0140	3,8
67	0,0122	0,0127	4,1	164	0,0122	0,0128	4,5
68	0,0123	0,0129	4,5	165	0,0121	0,0126	4,1
69	0,0119	0,0126	5,7	166	0,0123	0,0129	4,7
70	0,0128	0,0134	4,7	167	0,0122	0,0128	4,5
71	0,0128	0,0134	4,7	168	0,0131	0,0136	3,9
72	0,0131	0,0137	4,4	169	0,0130	0,0136	5,0
73	0,0122	0,0127	4,1	170	0,0132	0,0137	3,9
74	0,0139	0,0146	5,0	171	0,0131	0,0135	3,6
75	0,0131	0,0137	4,4	172	0,0131	0,0137	3,9
76	0,0139	0,0147	5,3	173	0,0124	0,0127	2,8
77	0,0131	0,0137	4,4	174	0,0105	0,0109	3,6
78	0,0124	0,0129	4,3	175	0,0121	0,0126	4,1
79	0,0131	0,0137	4,4	176	0,0125	0,0131	4,3
80	0,0130	0,0136	4,4	177	0,0088	0,0091	3,1
81	0,0125	0,0130	3,9	178	0,0117	0,0121	3,5
82	0,0125	0,0130	3,9	179	0,0105	0,0109	3,7
83	0,0119	0,0126	5,7	180	0,0098	0,0101	3,1
84	0,0132	0,0140	5,3	181	0,0105	0,0109	3,6
85	0,0146	0,0152	3,9	182	0,0132	0,0137	3,9
86	0,0130	0,0136	4,5	183	0,0145	0,0153	5,2
87	0,0124	0,0129	4,2	184	0,0131	0,0137	3,9

Наставак табеле Б.10.

Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,okv}$	$\tilde{Y}_{k,ra\check{c}unato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$	Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,okv}$	$\tilde{Y}_{k,ra\check{c}unato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$
	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]		[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]
88	88	0,0139	0,0146	185	0,0139	0,0147	5,5
89	89	0,0120	0,0124	186	0,0130	0,0137	5,0
90	90	0,0151	0,0159	187	0,0140	0,0145	3,7
91	91	0,0146	0,0152	188	0,0139	0,0147	5,5
92	92	0,0132	0,0140	189	0,0125	0,0131	4,3
93	93	0,0130	0,0136	190	0,0125	0,0131	4,2
94	94	0,0120	0,0124	191	0,0139	0,0147	5,5
95	95	0,0147	0,0152	192	0,0145	0,0153	5,2
96	96	0,0148	0,0155	193	0,0129	0,0134	3,8
97	97	0,0143	0,0149	194	0,0105	0,0109	3,6

Табела Б.11. Резултати прорачуна апсолутних влажности ваздуха на излазу из модела и вредности добијених мерењем за област влажне магле

Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,mereno}$	$\tilde{Y}_{k,računato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$	Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,mereno}$	$\tilde{Y}_{k,računato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$
	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]		[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[kg _{vlage} /kg _{sv}]	[%]
1	0,0149	0,0153	2,3	98	0,0140	0,0143	2,2
2	0,0135	0,0144	5,9	99	0,0140	0,0145	3,4
3	0,0128	0,0139	7,5	100	0,0152	0,0159	4,4
4	0,0113	0,0124	8,7	101	0,0152	0,0163	6,4
5	0,0151	0,0157	4,0	102	0,0129	0,0138	6,5
6	0,0151	0,0157	4,0	103	0,0152	0,0163	6,4
7	0,0136	0,0140	2,8	104	0,0128	0,0140	8,5
8	0,0149	0,0152	2,2	105	0,0128	0,0138	7,0
9	0,0113	0,0124	8,9	106	0,0129	0,0141	8,5
10	0,0135	0,0139	2,5	107	0,0102	0,0112	9,5
11	0,0131	0,0139	6,2	108	0,0135	0,0141	4,1
12	0,0113	0,0124	8,8	109	0,0128	0,0140	8,4
13	0,0136	0,0140	2,8	110	0,0132	0,0141	6,1
14	0,0127	0,0131	3,1	111	0,0132	0,0141	6,1
15	0,0136	0,0140	2,7	112	0,0123	0,0137	10,0
16	0,0127	0,0134	5,1	113	0,0145	0,0149	3,1
17	0,0147	0,0155	4,6	114	0,0136	0,0141	4,0
18	0,0130	0,0139	6,1	115	0,0125	0,0139	9,4
19	0,0149	0,0152	2,2	116	0,0125	0,0139	9,4
20	0,0147	0,0154	4,4	117	0,0149	0,0154	3,3
21	0,0135	0,0139	2,5	118	0,0140	0,0143	2,3
22	0,0135	0,0139	2,6	119	0,0125	0,0136	8,2
23	0,0151	0,0157	3,9	120	0,0140	0,0151	7,5
24	0,0128	0,0135	5,2	121	0,0125	0,0136	8,2
25	0,0143	0,0153	6,6	122	0,0145	0,0149	3,1
26	0,0135	0,0144	6,0	123	0,0125	0,0136	8,1
27	0,0145	0,0158	8,3	124	0,0140	0,0151	7,6
28	0,0161	0,0167	3,6	125	0,0145	0,0149	3,1
29	0,0147	0,0155	4,8	126	0,0139	0,0151	7,7
30	0,0161	0,0167	3,7	127	0,0136	0,0141	4,1
31	0,0135	0,0144	6,1	128	0,0140	0,0150	6,6
32	0,0145	0,0158	8,3	129	0,0157	0,0163	3,9
33	0,0129	0,0133	2,8	130	0,0132	0,0141	6,1
34	0,0145	0,0158	8,2	131	0,0137	0,0174	21,3
35	0,0129	0,0137	5,2	132	0,0110	0,0123	10,5
36	0,0161	0,0167	3,6	133	0,0139	0,0143	2,6
37	0,0130	0,0134	2,8	134	0,0140	0,0149	6,4
38	0,0127	0,0135	5,4	135	0,0157	0,0162	3,5
39	0,0143	0,0153	6,5	136	0,0109	0,0118	7,8
40	0,0131	0,0139	6,2	137	0,0109	0,0118	7,7
41	0,0102	0,0112	9,1	138	0,0156	0,0161	3,2
42	0,0103	0,0113	8,9	139	0,0157	0,0163	3,9
43	0,0143	0,0151	5,1	140	0,0156	0,0161	3,0

Наставак табеле Б.11.

Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,mereno}$	$\tilde{Y}_{k,računato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$	Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,mereno}$	$\tilde{Y}_{k,računato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$
	[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]		[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]
44	0,0129	0,0135	4,4	141	0,0137	0,0174	21,3
45	0,0130	0,0139	6,7	142	0,0110	0,0122	10,5
46	0,0130	0,0139	6,8	143	0,0135	0,0147	7,6
47	0,0143	0,0154	6,7	144	0,0140	0,0150	6,5
48	0,0130	0,0133	2,9	145	0,0158	0,0167	5,5
49	0,0154	0,0161	4,8	146	0,0128	0,0140	9,0
50	0,0136	0,0139	2,2	147	0,0156	0,0161	3,2
51	0,0147	0,0150	2,2	148	0,0126	0,0136	6,9
52	0,0147	0,0150	2,2	149	0,0154	0,0158	2,2
53	0,0126	0,0135	6,7	150	0,0165	0,0166	0,6
54	0,0137	0,0144	4,4	151	0,0137	0,0174	21,2
55	0,0137	0,0144	4,4	152	0,0158	0,0167	5,5
56	0,0154	0,0161	4,9	153	0,0140	0,0151	7,7
57	0,0143	0,0151	5,0	154	0,0122	0,0131	7,1
58	0,0142	0,0150	4,9	155	0,0122	0,0131	7,0
59	0,0137	0,0144	4,5	156	0,0155	0,0158	2,1
60	0,0154	0,0161	4,9	157	0,0154	0,0158	2,3
61	0,0142	0,0150	4,9	158	0,0140	0,0151	7,6
62	0,0142	0,0149	5,0	159	0,0129	0,0141	8,4
63	0,0146	0,0158	7,9	160	0,0165	0,0166	0,6
64	0,0143	0,0151	5,0	161	0,0129	0,0141	8,4
65	0,0137	0,0146	6,5	162	0,0158	0,0167	5,5
66	0,0131	0,0138	5,5	163	0,0140	0,0152	7,6
67	0,0127	0,0131	3,5	164	0,0128	0,0140	8,9
68	0,0129	0,0139	7,1	165	0,0126	0,0136	6,8
69	0,0126	0,0135	6,5	166	0,0129	0,0141	8,4
70	0,0134	0,0137	2,2	167	0,0128	0,0140	8,8
71	0,0134	0,0137	2,2	168	0,0136	0,0145	6,3
72	0,0137	0,0142	3,9	169	0,0136	0,0141	3,5
73	0,0127	0,0131	3,5	170	0,0137	0,0146	6,3
74	0,0146	0,0158	7,8	171	0,0135	0,0147	7,6
75	0,0137	0,0146	6,5	172	0,0137	0,0146	6,2
76	0,0147	0,0150	2,2	173	0,0127	0,0138	7,8
77	0,0137	0,0146	6,5	174	0,0109	0,0126	13,9
78	0,0129	0,0136	5,2	175	0,0126	0,0136	7,0
79	0,0137	0,0142	3,9	176	0,0131	0,0146	10,8
80	0,0136	0,0142	3,7	177	0,0091	0,0112	18,3
81	0,0130	0,0138	5,8	178	0,0121	0,0133	8,5
82	0,0130	0,0138	5,7	179	0,0109	0,0118	7,7
83	0,0126	0,0135	6,7	180	0,0101	0,0112	9,5
84	0,0140	0,0145	3,4	181	0,0109	0,0126	13,7
85	0,0152	0,0160	4,6	182	0,0137	0,0151	9,4
86	0,0136	0,0139	2,5	183	0,0153	0,0155	1,4
87	0,0129	0,0137	5,3	184	0,0137	0,0151	9,2

Наставак табеле Б.11.

Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,mereno}$	$\tilde{Y}_{k,računato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$	Р. бр.	$\tilde{Y}_{k,mereno}$	$\tilde{Y}_{k,računato}$	$\Delta(\Delta\tilde{Y}_k)$
	[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]		[kgvlage/kgsv]	[kgvlage/kgsv]	[%]
88	0,0146	0,0159	7,8	185	0,0147	0,0150	2,0
89	0,0124	0,0138	9,8	186	0,0137	0,0142	3,6
90	0,0159	0,0166	3,9	187	0,0145	0,0156	6,8
91	0,0152	0,0159	4,6	188	0,0147	0,0150	2,1
92	0,0140	0,0145	3,4	189	0,0131	0,0146	10,7
93	0,0136	0,0139	2,5	190	0,0131	0,0146	10,7
94	0,0124	0,0138	9,9	191	0,0147	0,0150	2,0
95	0,0152	0,0163	6,4	192	0,0153	0,0156	1,4
96	0,0155	0,0158	1,5	193	0,0134	0,0152	11,5
97	0,0149	0,0155	3,5	194	0,0109	0,0126	13,7

Табела Б.12. Резултати прорачуна температура влажног ваздуха добијених из модела на излазу из оквашеног дела РТ и на крају РТ

Р. бр.	$t_{2k,рачунато}$	$t_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta t_{2k})$	Р. бр.	$t_{2k,рачунато}$	$t_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta t_{2k})$
	[°C]	[°C]	[%]		[°C]	[°C]	[%]
1	23,30	23,16	0,6	98	21,14	20,86	1,3
2	22,40	22,27	0,6	99	22,75	22,59	0,7
3	22,63	22,59	0,1	100	24,63	24,58	0,2
4	24,47	24,49	-0,1	101	24,37	24,36	0,1
5	24,06	23,93	0,6	102	21,48	21,47	0,1
6	24,07	23,93	0,6	103	24,37	24,36	0,1
7	22,35	22,17	0,8	104	24,07	24,06	0,0
8	23,29	23,16	0,6	105	23,25	23,32	-0,3
9	24,44	24,46	-0,1	106	24,14	24,13	0,0
10	21,16	20,80	1,7	107	19,48	19,62	-0,7
11	21,32	21,13	0,9	108	24,19	24,17	0,1
12	24,47	24,49	-0,1	109	24,07	24,06	0,0
13	22,35	22,16	0,8	110	22,46	22,42	0,2
14	20,33	20,24	0,5	111	22,46	22,42	0,2
15	22,38	22,19	0,8	112	22,34	22,38	-0,2
16	21,47	21,28	0,9	113	21,50	21,16	1,6
17	22,78	22,58	0,9	114	24,27	24,24	0,1
18	21,31	21,12	0,9	115	22,36	22,36	0,0
19	23,29	23,16	0,6	116	22,36	22,36	0,0
20	22,77	22,57	0,9	117	24,99	24,92	0,3
21	21,15	20,80	1,7	118	21,13	20,85	1,3
22	21,15	20,79	1,7	119	23,50	23,50	0,0
23	24,07	23,94	0,5	120	23,75	23,67	0,3
24	21,48	21,29	0,9	121	23,50	23,50	0,0
25	23,01	22,85	0,7	122	21,50	21,16	1,6
26	22,40	22,27	0,6	123	23,50	23,50	0,0
27	24,07	24,01	0,3	124	23,73	23,65	0,3
28	22,97	22,89	0,4	125	21,50	21,16	1,6
29	22,73	22,53	0,9	126	23,72	23,64	0,3
30	22,96	22,88	0,4	127	24,21	24,19	0,1
31	22,36	22,24	0,5	128	24,37	24,36	0,0
32	24,07	24,01	0,3	129	23,63	23,46	0,8
33	21,18	20,91	1,3	130	22,46	22,43	0,2
34	24,08	24,01	0,3	131	20,51	20,21	1,5
35	22,01	21,93	0,3	132	23,42	23,44	-0,1
36	22,97	22,89	0,4	133	21,09	20,81	1,3
37	21,28	21,01	1,3	134	24,37	24,36	0,0
38	21,46	21,27	0,9	135	23,64	23,47	0,7
39	23,02	22,85	0,7	136	20,13	20,15	-0,1
40	21,31	21,12	0,9	137	20,13	20,15	-0,1
41	19,46	19,59	-0,7	138	23,47	23,27	0,9
42	19,55	19,66	-0,6	139	23,64	23,46	0,8
43	23,31	23,18	0,6	140	23,50	23,30	0,9

Наставак табеле Б.12.

Р. бр.	$t_{2k,рачунато}$	$t_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta t_{2k})$	Р. бр.	$t_{2k,рачунато}$	$t_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta t_{2k})$
	[°C]	[°C]	[%]		[°C]	[°C]	[%]
44	20,11	19,89	1,1	141	20,51	20,21	1,5
45	22,61	22,57	0,2	142	23,42	23,44	-0,1
46	22,59	22,55	0,2	143	24,38	24,41	-0,1
47	23,01	22,84	0,7	144	24,37	24,37	0,0
48	21,19	20,92	1,3	145	22,44	22,20	1,0
49	24,02	23,87	0,6	146	23,76	23,76	0,0
50	21,03	20,82	1,0	147	23,48	23,28	0,9
51	23,05	22,88	0,7	148	24,04	24,03	0,0
52	23,05	22,88	0,7	149	22,48	22,16	1,4
53	23,75	23,72	0,1	150	23,46	23,23	1,0
54	21,75	21,62	0,6	151	20,52	20,21	1,5
55	21,75	21,62	0,6	152	22,44	22,20	1,0
56	24,00	23,86	0,6	153	24,63	24,61	0,1
57	23,31	23,18	0,6	154	21,97	22,01	-0,1
58	23,76	23,68	0,3	155	21,97	22,01	-0,2
59	21,74	21,62	0,6	156	22,55	22,23	1,4
60	24,00	23,86	0,6	157	22,48	22,17	1,4
61	23,76	23,68	0,3	158	24,65	24,63	0,1
62	23,71	23,63	0,3	159	23,50	23,49	0,0
63	24,14	24,09	0,2	160	23,46	23,24	1,0
64	23,31	23,18	0,6	161	23,50	23,49	0,0
65	23,25	23,19	0,3	162	22,44	22,20	1,0
66	22,82	22,79	0,1	163	24,71	24,69	0,1
67	20,27	20,18	0,4	164	23,77	23,77	0,0
68	22,54	22,50	0,2	165	24,04	24,04	0,0
69	23,83	23,80	0,1	166	23,50	23,49	0,0
70	21,13	20,95	0,9	167	23,79	23,78	0,0
71	21,13	20,95	0,9	168	24,18	24,16	0,1
72	23,25	23,19	0,3	169	21,11	20,83	1,3
73	20,27	20,18	0,4	170	24,26	24,24	0,1
74	24,14	24,09	0,2	171	24,38	24,41	-0,1
75	23,26	23,20	0,3	172	24,26	24,24	0,1
76	23,05	22,88	0,7	173	23,18	23,26	-0,3
77	23,25	23,19	0,3	174	22,87	22,93	-0,3
78	22,00	21,93	0,3	175	24,02	24,02	0,0
79	23,25	23,19	0,3	176	24,03	24,03	0,0
80	23,24	23,18	0,3	177	20,70	20,72	-0,1
81	22,80	22,77	0,1	178	21,95	21,98	-0,2
82	22,79	22,76	0,1	179	20,12	20,14	-0,1
83	23,77	23,74	0,1	180	19,40	19,54	-0,7
84	22,75	22,59	0,7	181	22,90	22,95	-0,2
85	24,61	24,56	0,2	182	24,25	24,24	0,1
86	20,98	20,77	1,0	183	22,73	22,43	1,3
87	22,00	21,93	0,3	184	24,24	24,22	0,1

Наставак табеле Б.12.

Р. бр.	$t_{2k,рачунато}$	$t_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta t_{2k})$	Р. бр.	$t_{2k,рачунато}$	$t_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta t_{2k})$
	[°C]	[°C]	[%]		[°C]	[°C]	[%]
88	24,15	24,11	0,2	185	22,09	21,77	1,5
89	22,44	22,47	-0,1	186	21,11	20,83	1,3
90	23,48	23,28	0,8	187	25,34	25,33	0,1
91	24,61	24,56	0,2	188	22,10	21,77	1,5
92	22,76	22,59	0,7	189	24,04	24,03	0,0
93	20,98	20,77	1,0	190	24,04	24,03	0,0
94	22,44	22,47	-0,1	191	22,09	21,77	1,5
95	24,37	24,35	0,1	192	22,72	22,43	1,3
96	22,80	22,56	1,1	193	24,79	24,78	0,0
97	24,97	24,90	0,3	194	22,89	22,95	-0,2

Табела Б.13. Резултати прорачуна енталпија влажног ваздуха добијених из модела на излазу из оквашеног дела РТ и на крају РТ

Р. бр.	$h_{2k,ра\check{c}унато}$	$h_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta h_{2k})$	Р. бр.	$h_{2k,ра\check{c}унато}$	$h_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta h_{2k})$
	[°C]	[°C]	[%]		[°C]	[°C]	[%]
1	61396,9	59510,4	3,1	98	56736,4	54666,2	3,6
2	56911,9	55113,1	3,2	99	58450,0	56395,9	3,5
3	55341,3	53884,2	2,6	100	63579,7	62010,9	2,5
4	53483,1	52392,6	2,0	101	63301,7	61831,6	2,3
5	62596,5	60677,1	3,1	102	54328,8	53088,2	2,3
6	62602,3	60683,6	3,1	103	63297,7	61827,0	2,3
7	57107,4	54772,1	4,1	104	56849,8	55468,4	2,4
8	61364,8	59476,6	3,1	105	55934,7	55060,2	1,6
9	53376,1	52297,0	2,0	106	57067,3	55682,8	2,4
10	55704,6	53156,3	4,6	107	45438,2	44787,2	1,4
11	54658,7	52800,9	3,4	108	58778,1	57197,0	2,7
12	53510,4	52421,2	2,0	109	56852,5	55473,2	2,4
13	57104,1	54765,9	4,1	110	56169,7	54503,4	3,0
14	52814,1	51370,3	2,7	111	56169,4	54504,4	3,0
15	57192,2	54852,1	4,1	112	53850,7	52765,2	2,0
16	53989,8	51680,7	4,3	113	58427,0	55998,9	4,2
17	60417,4	58468,3	3,2	114	58958,5	57370,0	2,7
18	54593,4	52730,4	3,4	115	54405,6	53096,9	2,4
19	61374,6	59487,3	3,1	116	54405,2	53096,7	2,4
20	60365,6	58415,7	3,2	117	63155,9	61466,2	2,7
21	55695,3	53150,7	4,6	118	56712,7	54648,7	3,6
22	55672,7	53134,3	4,6	119	55492,5	54167,3	2,4
23	62624,0	60709,0	3,1	120	59444,4	57674,2	3,0
24	54023,8	51718,5	4,3	121	55486,5	54162,8	2,4
25	59595,1	57343,0	3,8	122	58425,9	55998,4	4,2
26	56911,6	55131,9	3,1	123	55492,7	54168,9	2,4
27	61058,6	59062,9	3,3	124	59391,4	57618,8	3,0
28	64128,9	62841,0	2,0	125	58414,5	55990,1	4,2
29	60314,4	58383,0	3,2	126	59346,9	57572,8	3,0
30	64104,1	62810,8	2,0	127	58894,8	57319,8	2,7
31	56782,4	55008,2	3,1	128	60160,5	58778,3	2,3
32	61063,3	59069,4	3,3	129	63693,3	61660,8	3,2
33	54167,9	51795,0	4,4	130	56170,5	54509,0	3,0
34	61083,0	59088,3	3,3	131	55411,8	53445,7	3,5
35	55033,0	53545,6	2,7	132	51466,4	50543,3	1,8
36	64146,0	62860,9	2,0	133	56577,6	54524,7	3,6
37	54493,4	52104,8	4,4	134	60051,5	58660,7	2,3
38	53942,7	51644,5	4,3	135	63697,4	61669,6	3,2
39	59619,2	57370,8	3,8	136	47887,1	46857,7	2,1
40	54598,6	52746,7	3,4	137	47854,9	46823,5	2,2
41	45389,1	44695,1	1,5	138	63260,7	61163,9	3,3
42	45694,8	44958,4	1,6	139	63701,3	61671,1	3,2
43	59924,2	58080,7	3,1	140	63345,6	61252,5	3,3

Наставак табеле Б.13.

Р. бр.	$h_{2k,рачунато}$	$h_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta h_{2k})$	Р. бр.	$h_{2k,рачунато}$	$h_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta h_{2k})$
	[°C]	[°C]	[%]		[°C]	[°C]	[%]
44	52952,6	50985,9	3,7	141	55411,2	53445,4	3,5
45	55739,8	54219,0	2,7	142	51449,3	50523,2	1,8
46	55666,9	54149,8	2,7	143	59008,1	57776,2	2,1
47	59604,4	57357,7	3,8	144	60152,2	58770,0	2,3
48	54223,2	51836,2	4,4	145	62646,8	60730,4	3,1
49	63286,0	61264,4	3,2	146	56391,0	54910,4	2,6
50	55800,4	54017,8	3,2	147	63288,0	61197,2	3,3
51	60545,4	58402,4	3,5	148	56324,9	55001,6	2,3
52	60555,7	58411,6	3,5	149	61870,5	59467,5	3,9
53	55861,1	54008,0	3,3	150	65475,2	63367,2	3,2
54	56784,3	55214,3	2,8	151	55434,9	53464,9	3,6
55	56786,3	55215,6	2,8	152	62647,7	60730,4	3,1
56	63234,4	61209,7	3,2	153	60375,4	59014,9	2,3
57	59906,4	58068,2	3,1	154	53027,8	51973,4	2,0
58	60114,3	58294,5	3,0	155	53008,7	51958,5	2,0
59	56769,2	55204,0	2,8	156	62091,4	59670,9	3,9
60	63227,0	61203,1	3,2	157	61896,1	59497,8	3,9
61	60114,2	58295,0	3,0	158	60439,3	59077,5	2,3
62	59948,2	58150,2	3,0	159	56563,6	55018,5	2,7
63	61442,7	59518,0	3,1	160	65488,0	63381,4	3,2
64	59905,4	58067,9	3,1	161	56568,5	55021,7	2,7
65	58160,2	56565,2	2,7	162	62646,9	60729,5	3,1
66	56159,6	54823,6	2,4	163	60595,9	59230,2	2,3
67	52596,4	51196,6	2,7	164	56416,9	54936,8	2,6
68	55482,7	53974,1	2,7	165	56334,1	55013,7	2,3
69	56047,9	54184,8	3,3	166	56571,5	55026,1	2,7
70	55378,1	53572,4	3,3	167	56476,8	54994,6	2,6
71	55377,5	53572,1	3,3	168	58998,6	57612,8	2,3
72	58125,5	56528,4	2,7	169	55902,0	53882,4	3,6
73	52597,1	51197,0	2,7	170	59279,6	57887,0	2,3
74	61426,5	59501,0	3,1	171	59023,6	57795,7	2,1
75	58203,1	56611,1	2,7	172	59260,3	57864,8	2,4
76	60553,0	58413,4	3,5	173	55697,6	54869,0	1,5
77	58164,9	56571,6	2,7	174	50682,2	49756,9	1,8
78	54980,2	53499,3	2,7	175	56271,2	54958,8	2,3
79	58127,8	56531,7	2,7	176	57446,3	56022,2	2,5
80	58061,2	56467,5	2,7	177	43974,2	43265,5	1,6
81	56102,4	54784,3	2,3	178	52926,7	51889,6	2,0
82	56025,5	54703,7	2,4	179	47814,7	46798,4	2,1
83	55970,3	54124,9	3,3	180	45218,3	44569,7	1,4
84	58443,1	56385,0	3,5	181	50785,5	49847,8	1,8
85	63529,2	61957,0	2,5	182	59294,4	57900,1	2,4
86	55620,6	53862,7	3,2	183	61853,2	59499,9	3,8
87	55009,3	53533,5	2,7	184	59182,8	57788,7	2,4

Наставак табеле Б.13.

Р. бр.	$h_{2k,рачунато}$	$h_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta h_{2k})$	Р. бр.	$h_{2k,рачунато}$	$h_{2k,окв}$	$\Delta(\Delta h_{2k})$
	[°C]	[°C]	[%]		[°C]	[°C]	[%]
88	61515,8	59600,8	3,1	185	59646,1	57257,6	4,0
89	54143,4	53035,9	2,0	186	55917,1	53903,2	3,6
90	64099,6	61966,0	3,3	187	62472,3	61093,1	2,2
91	63501,4	61928,6	2,5	188	59673,4	57288,0	4,0
92	58441,7	56387,6	3,5	189	57464,7	56040,8	2,5
93	55619,7	53862,7	3,2	190	57466,5	56043,3	2,5
94	54130,6	53029,5	2,0	191	59640,9	57254,0	4,0
95	63283,6	61811,0	2,3	192	61856,2	59503,7	3,8
96	62435,5	60357,0	3,3	193	59145,3	57825,9	2,2
97	63104,8	61409,1	2,7	194	50779,3	49841,5	1,8

Табела Б.14. Резултати сопствених мерења пада притиска

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
1	1565	517,5	479,6	-0,1
2	1481	530,1	551,7	0,0
3	1480	551,2	553,0	0,0
4	1431	750,6	605,5	-0,2
5	1694	490,5	397,4	-0,2
6	1694	490,0	397,3	-0,2
7	1146	1144,7	1159,0	0,0
8	1565	521,1	479,9	-0,1
9	1431	746,7	605,3	-0,2
10	1368	611,1	684,7	0,1
11	1736	287,6	376,4	0,3
12	1430	742,0	605,8	-0,2
13	1146	1142,7	1158,5	0,0
14	1419	297,6	618,8	1,1
15	1146	1141,1	1158,5	0,0
16	1154	1020,7	1135,1	0,1
17	1708	459,8	390,1	-0,2
18	1736	289,6	376,3	0,3
19	1565	525,5	479,5	-0,1
20	1714	461,0	387,0	-0,2
21	1368	617,2	685,6	0,1
22	1369	616,0	684,2	0,1
23	1694	495,8	397,2	-0,2
24	1154	1024,8	1133,9	0,1
25	1140	1254,4	1180,0	-0,1
26	1481	537,2	552,6	0,0
27	1040	1936,8	1577,8	-0,2
28	1433	1212,3	603,0	-0,5
29	1709	466,1	389,5	-0,2
30	1433	1211,4	602,7	-0,5
31	1481	536,6	552,4	0,0
32	1040	1944,6	1577,8	-0,2
33	1367	631,5	685,9	0,1
34	1040	1942,1	1577,0	-0,2
35	1732	315,4	378,5	0,2
36	1433	1222,3	602,7	-0,5
37	1360	632,7	697,0	0,1
38	1155	1032,4	1133,4	0,1
39	1140	1269,5	1180,0	-0,1
40	1736	294,0	376,4	0,3
41	1595	318,9	458,0	0,4
42	1595	332,2	458,1	0,4

Наставак табеле Б.14.

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
43	1545	588,8	494,9	-0,2
44	1025	732,5	1656,4	1,3
45	1359	656,5	697,6	0,1
46	1360	652,8	697,2	0,1
47	1140	1272,2	1180,0	-0,1
48	1360	625,3	696,7	0,1
49	1245	1126,9	901,4	-0,2
50	1698	210,9	395,1	0,9
51	1048	1205,4	1539,8	0,3
52	1048	1203,7	1538,7	0,3
53	1044	1796,4	1557,8	-0,1
54	1741	244,0	374,1	0,5
55	1742	244,3	373,7	0,5
56	1245	1129,3	901,3	-0,2
57	1551	593,0	490,2	-0,2
58	1331	948,3	740,0	-0,2
59	1741	243,7	374,1	0,5
60	1244	1134,1	901,8	-0,2
61	1331	950,5	740,0	-0,2
62	1331	956,3	739,9	-0,2
63	1010	2059,5	1735,4	-0,2
64	1551	595,7	490,2	-0,2
65	1353	739,4	706,7	0,0
66	1714	460,2	387,2	-0,2
67	1419	299,7	619,1	1,1
68	1360	653,3	697,0	0,1
69	1044	1808,0	1558,4	-0,1
70	1399	418,4	643,8	0,5
71	1399	418,5	644,1	0,5
72	1352	745,1	707,7	-0,1
73	1419	300,9	618,8	1,1
74	1010	2072,0	1735,4	-0,2
75	1354	740,5	705,8	0,0
76	1048	1218,7	1538,9	0,3
77	1353	743,0	706,7	0,0
78	1731	324,0	378,7	0,2
79	1352	748,6	707,7	-0,1
80	1360	747,4	696,7	-0,1
81	1714	460,0	387,4	-0,2
82	1713	461,6	387,4	-0,2
83	1044	1820,4	1558,7	-0,1
84	1252	1022,2	886,1	-0,1

Наставак табеле Б.14.

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
85	1340	969,8	726,1	-0,3
86	1699	210,3	395,0	0,9
87	1731	324,6	378,7	0,2
88	1010	2084,1	1735,3	-0,2
89	1724	334,7	381,9	0,1
90	1034	1369,5	1607,9	0,2
91	1340	978,6	726,4	-0,3
92	1251	1029,7	887,0	-0,1
93	1698	212,8	395,1	0,9
94	1724	334,9	382,1	0,1
95	1115	1605,7	1265,6	-0,2
96	1446	1118,3	588,1	-0,5
97	1659	611,3	417,2	-0,3
98	1399	409,2	644,0	0,6
99	1252	1042,2	886,1	-0,1
100	1340	994,6	726,4	-0,3
101	1115	1613,3	1265,7	-0,2
102	1592	322,4	459,8	0,4
103	1115	1616,7	1265,6	-0,2
104	1540	666,1	499,3	-0,3
105	1706	358,3	391,4	0,1
106	1540	664,7	499,6	-0,2
107	1594	318,4	458,3	0,4
108	1131	1345,4	1209,6	-0,1
109	1540	671,6	499,6	-0,3
110	1055	1053,6	1507,0	0,4
111	1055	1051,0	1507,8	0,4
112	1724	340,6	382,1	0,1
113	1055	878,4	1507,0	0,7
114	1130	1353,4	1212,4	-0,1
115	1480	555,1	553,2	0,0
116	1480	555,1	553,2	0,0
117	1658	629,1	417,7	-0,3
118	1398	418,5	644,5	0,5
119	1349	801,0	712,5	-0,1
120	1239	1330,9	914,2	-0,3
121	1349	802,0	712,6	-0,1
122	1055	883,3	1509,1	0,7
123	1349	802,9	712,8	-0,1
124	1239	1331,6	913,7	-0,3
125	1055	884,0	1509,2	0,7
126	1239	1328,6	912,9	-0,3

Наставак табеле Б.14.

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
127	1131	1359,9	1209,5	-0,1
128	1115	1609,3	1262,4	-0,2
129	1233	1284,4	926,9	-0,3
130	1055	1066,0	1509,2	0,4
131	1607	219,8	449,7	1,0
132	1428	796,0	608,5	-0,2
133	1398	418,5	644,5	0,5
134	1115	1618,6	1264,3	-0,2
135	1241	1293,1	909,4	-0,3
136	1576	460,5	471,1	0,0
137	1576	461,7	471,2	0,0
138	1237	1204,9	918,1	-0,2
139	1234	1293,7	925,8	-0,3
140	1237	1210,6	918,5	-0,2
141	1607	221,3	449,7	1,0
142	1429	798,3	608,0	-0,2
143	1428	723,0	608,5	-0,2
144	1115	1625,5	1263,5	-0,2
145	1262	1195,4	864,0	-0,3
146	1328	954,8	745,2	-0,2
147	1236	1210,0	919,8	-0,2
148	1634	584,2	432,2	-0,3
149	1055	1056,8	1509,1	0,4
150	1034	1368,0	1607,9	0,2
151	1606	224,2	450,0	1,0
152	1262	1184,9	863,9	-0,3
153	1339	989,8	727,6	-0,3
154	1661	440,6	415,5	-0,1
155	1667	440,0	412,3	-0,1
156	1055	1058,5	1509,9	0,4
157	1055	1059,4	1509,1	0,4
158	1339	994,6	727,6	-0,3
159	1024	1375,7	1658,8	0,2
160	1034	1374,4	1607,0	0,2
161	1025	1375,9	1655,5	0,2
162	1262	1180,9	864,4	-0,3
163	1339	991,3	728,6	-0,3
164	1328	962,7	744,8	-0,2
165	1634	588,7	432,3	-0,3
166	1025	1378,8	1657,9	0,2
167	1329	965,9	743,9	-0,2
168	1208	1442,7	986,2	-0,3

Наставак табеле Б.14.

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
169	1678	327,0	406,0	0,2
170	1207	1440,2	987,7	-0,3
171	1428	729,7	608,7	-0,2
172	1207	1440,9	988,1	-0,3
173	1706	359,4	391,3	0,1
174	1258	1366,8	872,9	-0,4
175	1634	590,2	432,1	-0,3
177	1245	1128,5	900,4	-0,2
178	1671	527,8	410,1	-0,2
179	1661	441,1	415,7	-0,1
180	1583	465,5	466,2	0,0
181	1595	328,3	458,0	0,4
182	1257	1374,4	874,5	-0,4
183	1208	1440,5	985,4	-0,3
184	1253	1020,6	883,9	-0,1
185	1216	1438,1	967,1	-0,3
186	1269	850,1	850,0	0,0
187	1678	329,2	406,1	0,2
188	1509	816,7	526,2	-0,4
189	1270	848,6	848,4	0,0
190	1245	1132,1	901,2	-0,2
191	1244	1132,4	901,7	-0,2
192	1270	851,6	849,1	0,0
193	1253	1025,5	883,5	-0,1
194	1677	599,2	406,6	-0,3

Табела Б.15. Резултати мерења пада притиска из литературе [42]

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
1	1808	368,1	345,1	-0,1
2	1860	358,5	326,0	-0,1
3	1804	378,3	347,0	-0,1
4	1865	371,6	324,5	-0,1
5	1854	383,0	328,0	-0,1
6	1893	375,0	315,2	-0,2
7	1873	371,9	321,6	-0,1
8	1890	399,8	316,1	-0,2
9	1875	398,8	320,8	-0,2
10	1861	399,4	325,6	-0,2
11	1822	420,6	340,0	-0,2
12	1851	418,2	329,0	-0,2
13	1868	410,8	323,4	-0,2
14	1844	419,2	331,8	-0,2
15	1865	435,8	324,5	-0,3
16	1858	417,8	326,6	-0,2
17	1885	419,1	317,6	-0,2
18	1858	425,3	326,7	-0,2
19	1846	453,0	330,9	-0,3
20	1859	458,3	326,5	-0,3
21	1881	425,1	319,1	-0,2
22	1864	492,8	324,7	-0,3
23	1849	460,7	330,1	-0,3
24	1876	471,3	320,8	-0,3
25	1907	452,0	310,8	-0,3
26	1852	468,9	328,7	-0,3
27	1871	460,5	322,4	-0,3
28	1823	467,5	339,6	-0,3
29	1679	564,0	405,5	-0,3
30	1672	568,4	409,4	-0,3
31	1658	551,6	417,5	-0,2
32	1646	605,8	424,7	-0,3
33	1642	598,3	427,3	-0,3
34	1631	583,2	434,1	-0,3
35	1642	582,8	427,0	-0,3
36	1620	571,9	440,7	-0,2
37	1618	659,1	442,1	-0,3
38	1653	608,3	420,3	-0,3
39	1642	610,9	427,1	-0,3
40	1607	656,2	449,3	-0,3
41	1621	616,5	440,4	-0,3
42	1630	687,3	434,5	-0,4

Наставак табеле Б.15.

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
43	1647	653,6	424,1	-0,4
44	1605	734,5	450,6	-0,4
45	1636	738,2	430,5	-0,4
46	1622	727,4	439,4	-0,4
47	1615	734,5	444,0	-0,4
48	1626	754,1	437,1	-0,4
49	1645	710,2	425,1	-0,4
50	1631	740,9	433,9	-0,4
51	1593	797,7	459,3	-0,4
52	1575	843,4	471,8	-0,4
53	1587	814,7	463,7	-0,4
54	1611	742,3	446,9	-0,4
55	1627	734,6	436,3	-0,4
56	1637	721,9	430,0	-0,4
57	1588	730,6	462,7	-0,4
58	1578	836,8	469,6	-0,4
59	1567	796,2	478,0	-0,4
60	1538	826,1	501,3	-0,4
61	1593	870,6	459,0	-0,5
62	1614	810,6	445,0	-0,5
63	1440	995,6	595,4	-0,4
64	1417	1105,3	621,7	-0,4
65	1447	1058,9	587,7	-0,4
66	1472	985,8	561,2	-0,4
67	1452	1021,8	581,6	-0,4
68	1422	982,6	615,8	-0,4
69	1411	1092,6	629,0	-0,4
70	1435	948,9	600,3	-0,4
71	1443	955,1	591,5	-0,4
72	1492	1034,0	541,7	-0,5
73	1429	1045,6	606,9	-0,4
74	1407	1049,2	634,0	-0,4
75	1445	1045,7	589,5	-0,4
76	1467	941,8	565,8	-0,4
77	1453	988,2	581,3	-0,4
78	1434	1005,4	601,8	-0,4
79	1461	1056,6	572,8	-0,5
80	1429	997,4	607,9	-0,4
81	1470	1018,9	562,7	-0,4
82	1506	986,4	528,9	-0,5
83	1477	942,4	555,7	-0,4
84	1467	992,7	566,6	-0,4

Наставак табеле Б.15.

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
85	1478	958,1	554,8	-0,4
86	1471	984,2	562,1	-0,4
87	1498	981,8	535,7	-0,5
88	1238	1108,4	915,3	-0,2
89	1257	1138,3	874,3	-0,2
90	1247	1135,9	895,8	-0,2
91	1230	1144,0	934,6	-0,2
92	1269	1100,3	850,8	-0,2
93	1251	1086,1	887,7	-0,2
94	1229	1047,6	935,7	-0,1
95	1196	1336,9	1017,1	-0,2
96	1136	1490,8	1193,0	-0,2
97	1155	1392,0	1132,3	-0,2
98	1205	1298,0	992,9	-0,2
99	1235	1374,3	922,6	-0,3
100	1149	1424,1	1151,6	-0,2
101	1153	1371,0	1139,6	-0,2
102	1203	1339,3	998,6	-0,3
103	1182	1341,9	1053,9	-0,2
104	1169	1385,5	1090,1	-0,2
105	1193	1337,7	1025,4	-0,2
106	1161	1347,1	1114,5	-0,2
107	1174	1412,6	1075,2	-0,2
108	1150	1298,0	1148,2	-0,1
109	1128	1741,0	1219,3	-0,3
110	1161	1867,5	1112,9	-0,4
111	1159	1909,8	1120,7	-0,4
112	1113	2074,4	1272,4	-0,4
113	1181	2044,9	1055,7	-0,5
114	1190	2271,4	1033,2	-0,5
115	1136	1997,0	1192,5	-0,4
116	1168	1994,5	1094,6	-0,5
117	1173	1996,3	1078,8	-0,5
118	1145	2068,9	1164,3	-0,4
119	1117	2093,6	1258,6	-0,4
120	1153	2104,6	1138,8	-0,5
121	1111	1740,8	1278,2	-0,3
122	1067	1778,2	1455,1	-0,2
123	1091	1677,5	1352,6	-0,2
124	1164	1822,5	1105,9	-0,4
125	1146	1709,1	1159,9	-0,3
126	655	12052,5	7600,6	-0,4

Наставак табеле Б.15.

Р. бр.	Re	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{mereno}$	$\left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}}\right)_{racunato}$	$\Delta \left[\Delta \left(\frac{\dot{Q}_{sr}}{\Delta p_{RT} \cdot \dot{V}} \right) \right]$
	[/]	[/]	[/]	[%]
127	644	9420,6	8054,1	-0,1
128	639	9770,9	8283,6	-0,2
129	627	11832,5	8861,1	-0,3
130	613	9511,8	9594,5	0,0
131	667	10269,5	7118,9	-0,3
132	654	10485,6	7618,7	-0,3
133	641	10157,4	8178,5	-0,2
134	602	11872,0	10241,8	-0,1
135	576	9749,3	11938,8	0,2
136	623	11046,7	9079,7	-0,2
137	588	10349,1	11108,6	0,1

БИОГРАФИЈА

Милена Отовић (девојачко Стојковић) рођена је 11.05.1985. у Смедереву. Основну школу „Доситеј Обрадовић“ у Смедереву завршила је са изузетним успехом за који је награђена Вуковом дипломом, а Гимназију у Смедереву природно-математичког смера са одличним успехом.

Машински факултет Универзитета у Београду уписала је 2004. године и у току студија награђивана је свих пет школских година као један од најбољих студената генерације. У току студија је на такмичењу свих Машинских факултета на територији бивше Југославије („Машинијада 2006“ у Охриду) освојила прва места из предмета Математика 1 и Машински елементи. Била је студент-демонстратор на предмету Машински елементи 1. Дипломски рад на смеру Термотехника одбранила је 05.06.2009. године као први дипломирани студент из генерације уписане школске 2004/05. године.

Школских 2007/08. и 2008/09. година била је стипендиста Фонда за младе таленте града Смедерева, а током школске 2008/09. године и стипендиста Фонда за младе таленте Републике Србије – најбољих 1000 студената. Била је учесник пројекта „Путујемо у Европу“ у периоду јул-август 2009. године као један од 200 најбољих студената у Републици Србији.

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2010/11. године.

Запослена је на Машинском факултету Универзитета у Београду од 16.11.2009. године као сарадник на пројектима Министарства науке и технолошког развоја, а од 04.09.2014. до данас ради у звању асистента на Катедри за термотехнику, где активно учествује у настави на више предмета на Основним и Мастер академским студијама. Њен наставни и педагошки рад високо је вреднован у анонимним анкетама спроведеним међу студентима.

До сада као аутор и коаутор има више објављених радова у међународним и националним часописима и техничких решења.

Успешно је положила теоријски и практични део обуке тренера о исправном поступању са супстанцијама које оштећују озонски омотач у организацији Министарства енергетике, развоја и заштите животне средине у августу 2012. године, као и стручни испит за енергетског менаџера за област индустријске енергетике.

Служи се програмским пакетом Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), AutoCAD, MathCAD, LabView, CorelDraw, као и Microsoft Visual Studio 2010.

Одлично се користи енглеским језиком, а поседује и основна знања из француског језика.

Члан је Комитета за расхладну технику, топлотне пумпе и енергетску ефикасност Друштва за КГХ у оквиру Савеза машинских и електро инжењера Србије.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Милена Отовић

Број индекса D46/10

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Перформансе ваздушних хладњака са распршивањем воде

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 01.09.2021.

Милена Отовић

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Милена Отовић
Број индекса: D46/10
Студијски програм: Докторске академске студије – машинско
инжењерство
Наслов рада: Перформансе ваздушних хладњака са
распршивањем воде
Ментор: проф. др Србислав Генић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 01.09.2021.



Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Перформансе ваздушних хладњака са распршивањем воде

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

Потпис аутора

У Београду, 01.09.2021.


Milica Petrović