

**Србислав Генић¹, Бранислав Јаћимовић¹,
Никола Будимир², Марко Јарић²**

¹ Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд, Србија

² Иновациони центар Машинског факултета, Универзитет у Београду, Београд, Србија

Гаранцијска испитивања топлотних перформанси и пада притиска размењивача топлоте

Стручни рад

UDC: 66.045.1:531.787

BIBLID: 350-218X, 35 (2009), 1, 81–86

У оквиру рада приказана је методологија испитивања размењивача топлоте у зависности од циља испитивања. Циљ испитивања приказаног размењивача топлоте је одређивање топлотних перформанси и пада притиска размењивача топлоте у раду. Приказани захтеви у погледу мерних метода, мерења величина и опреме за мерење тих величина према европским стандардима, као и поређење дајих перформанси са декларисаним перформансама према европским нормама.

Кључне речи: перформансе размењивача, гаранцијско испитивање, критеријуми прихватљивости

Увод

У инжењерској пракси животни век одређеног уређаја (апарата, машине) подразумева следеће фазе: развој, димензионисање и израду техничке документације, израду уређаја, проверу функционалности по изради, уградњу у одговарајући сложени систем, проверу функционалности по уградњи, одржавање, итд. У развијеним земљама за сваку од ових фаза постоји развијена техничка регулатива, као и стручне службе које их надгледају. За земље са недовољно развијеним системом за праћење свих ових фаза, карактеристично је да се изостављају или се не спроводе у довољном обиму провере функционалности уређаја, мада је важност ових провера веома велика, јер се уочене грешке могу исправити (отклонити), чиме се обезбеђује поуздан рад целог система, односно остваривање добити. Код размењивача топлоте провера функционалности се одвија на три међусобно повезана начина:

- (1) провера на испитни притисак, којом се утврђује квалитет израде апарата са гледишта безбедности, односно опасности по околину,
- (2) провера топлотне функције апарата, односно утврђивање стварних параметара размене топлоте између радних флуида, и
- (3) провера пада притиска за оба радна флуида, чиме се дефинише утрошак енергије за рад апарата.

Ако се провера обавља по изради апарата, могу да се утврде евентуалне грешке настале у фазама димензионисања и израде размењивача, које се у одређеном броју случајева могу исправити (нпр. проблеми везани за заваривање, обилазне струје услед превеликих зазора, лоше заптивање, итд.). Провером по уградњи апарата може да се утврди утицај рада апарата на рад целокупног система (нпр. утицај на протоке и перформансе осталих апарата и машина). По окончању оваквих испитивања могу се утврдити „уска грла” система, и предузети одговарајуће мере за побољшање рада апарата.

Процедура испитивања перформанси размењивача топлоте

На Машинском факултету у Београду (Иновациони центар Машинског факултета) радна јединица Лабораторија за процесну технику, се више од две деценије посветила испитивањима функционалности везаним за размењиваче топлоте. Лабораторија, која је тренутно у поступку акредитације код надлежних државних органа, користи за ове потребе групу европских норми (ЕН) које су на снази од средине прошле деценије.

Ова група европских стандарда даје препоруке за припрему и презентацију поступака испитивања перформанси размењивача топлоте, а које су од важности за произвођача, продавца, купца, корисника и стручну институцију која обавља испитивања. Поред тога у овим стандардима су дефинисани општи термини и поступци прорачуна који се користе при утврђивању перформанси размењивача топлоте, укључујући и одговарајуће теоријске основе. Примена ових стандарда је могућа за нове (некористишћене), али и за апарате који су у експлоатацији. Одредбе стандарда пружају произвођачу односно продавцу апарата информације о начину презентације перформанси размењивача топлоте, а купцу односно кориснику информације неопходне за избор апарата.

Методи испитивања размењивача топлоте зависе од циља испитивања и могу се разврстати у три категорије:

- *типско испитивање новог размењивача топлоте* представља испитивање једног апарата који се може производити у више величина. Типско испитивање се обавља лабораторијски за апарат из серијске или масовне производње,
- *испитивање прихватљивости новог размењивача топлоте* је испитивање једног апарата, израђеног за специфичну намену. Ово испитивање се врши за серијски или појединачно произведене размењиваче и може се обавити у лабораторији или на месту уградње, и
- *испитивање перформанси размењивача топлоте у раду* које се обавља на месту уградње апарата. Може бити слично испитивању прихватљивости када су потребни детаљни подаци о топлотним и струјним перформансама.

У сваком од ових случајева заинтересоване стране морају да постигну договор о томе каква испитивања, којих перформанси и у ком обиму задовољавају њихове потребе. Извршење испитивања и анализа резултата може да се повери само институцији која може да обезбеди одговарајућу стручност.

Основни услов испитивања перформанси је да се постигну радни параметри (протоци, температуре, притисци) блиски декларисаним односно договореним између продавца и купца апарата. Овај услов не може увек да се задовољи, како при испитивањима у лабораторији, тако и при испитивањима на месту уградње. У таквим

случајевима дозвољава се испитивање при радним условима што приближнијим декларисаним, а затим се процењују перформансе апарата за декларисане услове коришћењем одговарајућих прорачунских процедура.

Ради испитивања перформанси размењивача топлоте потребно је мерење следећих (није обавезно свих) величина:

- температуре радних флуида на улазу и на излазу из апарата,
- протока радних флуида,
- притисака радних флуида, и
- падова притисака радних флуида.

Да би се при испитивањима добили релевантни подаци, потребно је спровести припрему мерних места према захтевима за методе мерења температура, протока, притисака и падова притисака.

За мерење температура предвиђени су следеће врсте термометара: дилатациони термометри са течностима, термоелементи и електрични отпорни термометри. Мерења протока је могуће помоћу више уређаја односно принципа: волуметријско мерење, мерење разлике статичких притисака, мерење динамичког притиска, помоћу турбинског мерача, трасера за течност/гас, мерача вртложног трага, ротаметара, мерењем силе отпора, анемометара, Доплеровог мерача фреквенције, топлотног мерача масеног протока, мерача протока на бази кинетичког момента или помоћу Кориолисовог мерача. За мерења притиска односно разлике притисака користе се: манометар са U-цеви и различити типови претварача притиска, на бази еластичних својстава материјала претварача. У стандардима су дефинисане статичке и динамичке грешке, које се могу јавити при мерењима, као и начини за њихово отклањање.

Сва мерења треба обављати при стационарним радним режимима, што значи:

- да су сви мерни параметри стабилизирани (у оквиру одређених граница прихватљивости),
- да је извршено сопствено загревање (хлађење) мерне и помоћне опреме, и
- да је размена топлоте између размењивача топлоте и околине стабилизирани.

Поред ових услова прописано је да је потребно мерити протоке оба радна флуида као и њихове температуре на улазу и излазу из апарата. На бази ових шест величина могуће је утврдити топлотне снаге са стране топлијег и хладнијег флуида. Услед грешака мерења и нестационарности ове две топлотне снаге нису једнаке, тако да се као релевантна прихватају мерења када је ова разлика у прихватљивим границама. Поред услова стационарности, морају бити испуњени и услови поновљивости и репродуктивности мерења. Време потребно за постизање стационарног стања зависи од величине мерног објекта и помоћне опреме, топлотних капацитета објекта мерења и медијума, перформанси помоћне опреме и регулационог система (ако постоји).

Мерења се обављају док се не добију статистички задовољавајући резултати. Перформансе размењивача топлоте се исказују помоћу величина које се могу одредити мерењем или израчунавањем на основу измерених вредности топлотне снаге, протока флуида, температуре, температурске разлике, притисака, падова притисака, и коефицијената прелаза/пролаза топлоте.

У оквиру ових испитивања могуће је утврђивање стања површине за размену топлоте по питању корозије и запрљања. У случају испитивања нових (некоришћених

**Пример коначног извештаја за добошати размењивач
топлоте номиналне топлотне снаге 58 MW**

Подносилац захтева: _____

Назив и адреса произвођача: _____

Тип размењивача топлоте: _____

Фабрички број и година производње: _____

Радна запремина са стране топлијег/хладнијег флуида: 3,6/4,2 m³

Радни притисак са стране топлијег/хладнијег флуида: 25/25 bar

Површина за размену топлоте: 754 m²

Декларисани радни услови

Топлотна снага: 58 MW

Пад притиска са стране топлијег/хладнијег флуида: 80/80 kPa

Температура топлијег флуида на улазу/излазу: 150/100 °C

Температура хладнијег флуида на улазу/излазу: 120/65 °C

Проток топлијег/хладнијег флуида: 991/905 t/h

Отпори провођењу топлоте услед запрљања: нису дефинисани.

Испитивање на месту уградње је спроведено дана _____ у складу са упутством за испитивање топлотних перформанси и пада притиска размењивача топлоте ЛПТ-174.018 и стандардом ЕН 305. Детаљна анализа резултата испитивања размењивача топлоте је дата у елаборату број _____ израђеном од стране Иновационог центра Машинског факултета Београд д. о. о.

На основу резултата испитивања, у елаборату _____, израчунато је да предметни размењивач топлоте:

- има топлотну снагу 57,5 MW која је мања од декларисане топлотне снаге за 0,52%, при прорачуну са измереним вредностима отпора провођењу топлоте услед запрљања;
- има пад притиска са стране топлијег флуида 0,81 bar, што је више од декларисаног пада притиска за 1,25%;
- има пад притиска са стране хладнијег флуида 0,78 bar, што је мање од декларисаног пада притиска за 2,5%

На основу спроведених испитивања у складу са ЕН 305, а према критеријумима прихватљивости датим у ЕН 1148, размењивач топлоте _____ има топлотне перформансе и пад притиска у складу са декларисаним.

односно незапрљаних) апарата заинтересоване стране се морају договорити о величинама фактора везаних за корозију и запрљање, ради адекватне презентације резултата испитивања.

Закључци који произилазе из испитивања и препоруке

Лабораторија за процесну технику је у последњих двадесет година извршила испитивања преко сто размењивача топлоте, од којих је највећи број био уграђен у системима даљинског грејања у нашој земљи. Гледано по типовима апарата (19

произвођача/испоручилаца) испитано је преко 10 типова плочастих размењивача, док су остали били добошасте (са правим и са завојним цевима).

На основу анализе резултата испитивања могу се донети закључци о:

- прихватљивости апарата за конкретну инсталацију по питању топлотне снаге и пада притисака,
- величини отпора провођењу топлоте услед запрљања за конкретну инсталацију,
- квалитету израде размењивача, пре свега по питању обилазних струја унутар апарата, и
- квалитету односно функционалности друге опреме везане за рад размењивача (пумпе, запорни органи, итд.).

Узимајући у обзир своја искуства на основу спроведених испитивања аутори су припремили опште препоруке за произвођаче размењивача:

- користити супротносмерно струјање у апарату, када год је могуће,
- производити апарате са што мањим број пролаза флуида кроз размењивач, због могућих проблема са обилазним струјама, што је поготово изражено код добошастих размењивача топлоте,
- при димензионисању апарата обавезно треба узети у обзир отпоре провођењу топлоте услед запрљања утврђене за сличне услове рада, а ако оваквих података нема, онда се препоручују светски признати литературни извори или подаци домаћих аутора*.
- за веће топлотне снаге повољније је користити редну везу размењивача уместо паралелне.

Закључак

Проблеми везани за испитивање перформанси размењивача топлоте изазивају велико интересовање стручне јавности, тако да су у развијеним земљама стандардима прописане процедуре испитивања. У нашој земљи испитивања се врше дужи низ година, упркос недостацима техничке регулативе у овој области. На основу анализе резултата ових спроведених испитивања, може се констатовати да је већи број испитиваних размењивача поддимензионисан у односу на декларисане податке и да је мањак у топлотној снази обично до 10%, али има случајева када је мањак износио и преко 30%. Позитиван тренд је свакако да је већи број произвођача апарата прихватио сугестије и да ради на отклањању утврђених недостатака.

На основу изнетих података јасно је да се размењивачима топлоте мора посветити посебна пажња, с обзиром да је добро функционисање целокупног технолошког/енергетског система условљено и добрим радом размењивача топлоте.

На Машинском факултету у Београду у оквиру Иновационог центра регистрована је Лабораторија за процесну технику (тренутно у поступку акредитације), која се више од две деценије бавила испитивањима функционалности везаним за размењиваче топлоте.

* На пример, за размењиваче топлоте у систему даљинског грејања аутори чланка препоручују следеће, мерењем утврђене, вредности: за добошасте размењиваче са правим цевима $0,5 \text{ m}^2\text{K/kW}$, код добошастих са завојним цевима $0,4 \text{ m}^2\text{K/kW}$, и код плочастих размењивача $0,1 \text{ m}^2\text{K/kW}$ (просечне вредности дате збирно за оба радна флуида).

Литература

- Јаћимовић, Б., Генић С., Топлотне операције и апарати, Машински факултет, Универзитет у Београду, 2004.
- Milanović, P., Jaćimović, B., Genić, S., The Influence of Heat Exchanger Performances on the Design of Indirect Geothermal Heating System, *Energy and Buildings*, 36 (2004), 1, 9-14
- Milanović, P., Jaćimović, B., Genić, S., Experimental Measurement of Fouling Resistance in the Heat Exchanger of a Geothermal Heating System, *Geothermics*, 35 (2006), 1, 79-86
- Jaćimović, B., Živković, B., Genić, S., Zekonja, P., Supply Water Temperature Regulation Problems in District Heating Network with Both Direct and Indirect Connection, *Energy and Buildings*, 28 (1998), 3, 317-322
- Jaćimović, B., Genić, S., Lelea, D., Qualitative Regulation in District Heating System and Heat Exchanger Performances Prediction, *Proceedings*, International Symposium of Termotehnics, Termal Machines and Road Vehicles, Timisoara, Romania, 1996, 70-77
- Jaćimović, B., Genić, S., Nagi, M., Thermal Parameters Evaluation of Shell-and-Tube Heat Exchangers with Multiple Counter Flow, *Proceedings*, 4th Conference of New Technologies and Designing Methods in Mechanical Engineering - INGMEC '98, 1998, Vol. II, Craiova, Romania, 231-236
- Јаћимовић, Б., Генић, С., Одређивање радних перформанси добошастих размењивача топлоте у систему даљинског грејања, *Зборник радова*, 22. конгрес КГХ, Београд, 1991, 93–101
- Jaćimović, B., Genić, S., Heat Exchangers in District Heating – Selection, Arrangement and Performance Prediction – Experiences from Belgrade, *Proceedings*, 4th National Conference on Thermotehnics, 1994, Timisoara, Romania, Vol. II, 11–16
- Јаћимовић, Б., Генић, С., Танасић, Д., Никодијевић, С., Аврамовић, Н., Критички осврт на стање у области размењивачких станица за систем даљинског грејања, *Зборник радова*, ТОРПУ 95, Нови Сад, Србија, 1995, 193–199

Abstract

Acceptance Test of Thermal Performances and Pressure Drop of Heat Exchangers

by

*Srbislav GENIĆ¹, Branislav JAĆIMOVIĆ¹,
Nikola BUDIMIR², and Marko JARIĆ²*

¹ Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia

² Innovation Center, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Belgrade, Belgrade, Serbia

This paper deals with the mode of research of heat exchangers depending of cause of research. The aim of the research is determination of thermal performances and pressure drop of heat exchanger in operation work. Here is shown requirements of measuring places, measured values, and equipments for measuring as well as comparison of performances with the declared performances according to European standards.

Key words: *performances of heat exchangers, acceptance test, criteria of acceptability*

Одговорни аутор / Corresponding author (S. Genić)
E-mail: sgenic@mas.bg.ac.rs