

# АДАПТАЦИЈА МЕРЕЊА ПРОТОКА У ЦИКЛУСУ НАПОЈНА ВОДА – СВЕЖА ПАРА НА ТЕРМО БЛОКУ

Далибор Филимоновић<sup>1</sup>, Иван Ристић, Богољуб Радојчић

Термоелектрана “Никола Тесла Б” Обреновац

Богосав Миленковић

“ЗБ инжењеринг” Београд

**Абстракт** – *Континуално праћење биланса мерења протока воде и паре у једном од најважнијих циклуса за термо блок, даје могућност оптимизације процеса и детектовања губитака у систему, нерегуларног рада појединих уређаја, одступања мерења од захтеваних тачности.*

*Адаптацијом мерења протока у циклусу напојна вода - свежа пара обухваћен је прорачун постојећих примарних уређаја за мерења протока, уградња додатних мерења температуре и компензација мерења протока по температури за мерења која такву компензацију нису имала.*

*У циљу повећања тачности биланса, извршено је конструисање и замена примарних уређаја на мерењима протока убризгавања напојне воде у прегрејаче и међупрегрејач, као и конструисање и уградња нових примарних уређаја на збирним мерењима протока убризгавања. Сва новоуграђена мерења протока прате нова мерења температуре и компензација мерења протока по њима.*

*Сврха рада је да представи пројекат, његов допринос раду и одржавању постројења, објасни принцип компензације протока флуида по притиску, температури и код вертикалне уградње примарних уређаја, као и да објасни утицај нелинеарних компоненти на непоузданост мерења протока.*

**Кључне речи** – *мерење протока, напојна вода, свежа пара, биланс, компензација.*

## ADAPTATION OF FLOW MEASUREMENTS IN CYCLE FEEDWATER-FRESH STEAM ON THERMAL POWER PLANT

**Abstract** – *Continuously monitoring of balance of flow measurements water and steam in one of the most important cycles for thermal power plant, gives the possibility of process optimization and detection of losses in the system, an irregular operation of some devices, deviation from the required measurement accuracy.*

*The adaptation of flow measurements in cycle feedwater-fresh steam includes calculation of existing primary devices, installation of additional temperature measurements and compensation flow measurements by temperature, for measurements without compensation.*

*In order to increase the accuracy of the balance, the design and replacement of primary devices of measurements flow injection feedwater to superheaters and reheater was performed, as well as designing and installation of new primary devices on summary measurements of flow injection. All newly built-in measurements follow new temperature measurements and compensation flow measurements by them.*

*The purpose of this paper is to present the project, its contribution to the operation and maintenance of plant, explain the principle of compensation of fluid flow by pressure and temperature, at vertical mounting of the primary devices, as well as explain the impact of non-linear components of the uncertainty of flow measurements.*

**Key words** – *flow measurement, feedwater, fresh steam, balance, compensation.*

---

1 e-mail: [dalibor.filimonovic@tent.rs](mailto:dalibor.filimonovic@tent.rs)

## 1. УВОД

Увођењем дигиталних система управљања отвара се низ могућности за побољшање како управљања процесом и регулације, тако и квалитета мерења која су кључни фактор у добром вођењу процеса. У аналогним системима управљања, свака комплекснија промена захтева пуно новог ожичења, пуно хардверских преправки, од којих се најчешће одустаје због преправке пројекта и очувања поузданости система. Такав случај је био и са мерењима протока у циклусу напојна вода-свежа пара на блоковима ТЕНТ-Б.

Неретко се дешавало да у билансу мерења напојне воде коју даје турбо-напојна пумпа (у даљем тексту ТНП) према котлу и паре која излази из котла имамо више паре него воде. Такође се дешавало да на мерењима протока убризгавања имамо појаву протока тек од 30% отворености вентила.

Као редовну ремонтну активност смо имали проверу подешења коефицијената на аналогним картицама за компензацију мерења протока по притиску, односно температури, према пројекту мерења швајцарске фирме „Sulzer“, за мерења која су такве компензације имала. А нису сва мерења у кругу вода-пара имала компензације, већ само проток паре по притиску и температури, односно проток напојне воде иза напојне главе по температури.

Са планирањем увођења дигиталног система управљања, почело је и планирање унапређења мерења, пре свих мерења протока у циклусу напојна вода-свежа пара. Требало је урадити техничку документацију мерења у циклусу напојна вода-свежа пара тако да буде урађен прорачун постојећих примарних уређаја за мерење протока по у том тренутку важећим стандардима за мерења протока принципом пригушења. Требало је уградити додатна мерења температуре и урадити компензацију мерења протока по температури за мерења која такву компензацију нису имала. У циљу повећања тачности биланса напојне воде и свеже паре, планирано је конструисање и замена примарних уређаја на мерењима протока убризгавања напојне воде у прегрејаче и међупрегрејач, као и конструисање, израда и уградња нових примарних уређаја на збирним мерењима протока убризгавања. Такође је требало да сва новоуведена мерења протока прате и нова мерења температуре и компензација мерења протока по њима.

Посао адаптације поменутих мерења протока је поверен фирми „3Б инжењеринг“ из Београда, чија је делатност инжењеринг мерно-регулационе опреме. Урађена је техничка документација за оба термо блока ТЕНТ-Б. Уградња опреме, подешавање мерења, подешавање рачунских блокова за компензације на DCS-у и пуштање опреме у рад је за блок Б1 спроведено у току капиталног ремонта-увођења DCS SPPA T3000 система управљања фирме „Siemens“ током 2012. године, док ће за блок Б2 бити спроведено током увођења идентичног система управљања 2015. године.

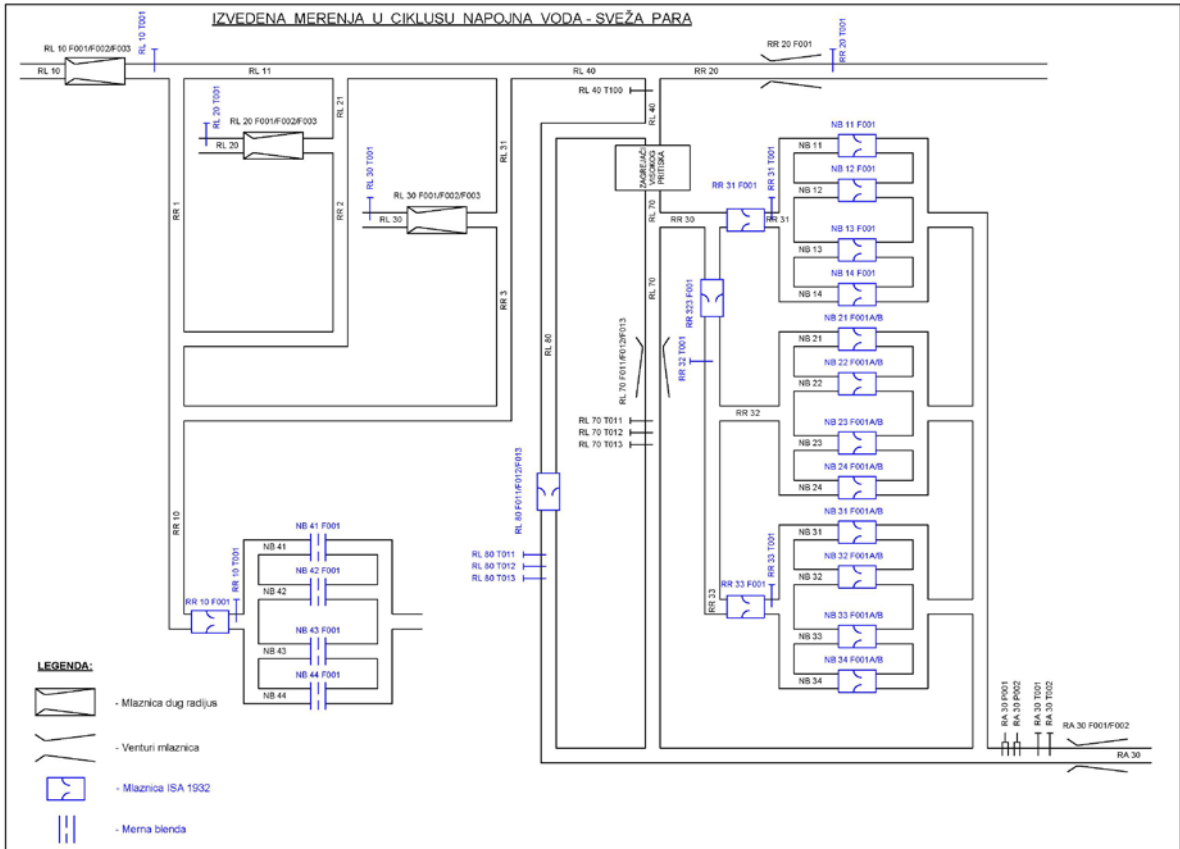
## 2. МЕРНА МЕСТА

Шематски приказ мерних места након адаптације се може видети на слици бр. 1 (плаво су означена нова мерна места, као и нови примарни уређаји на постојећим мерним местима).

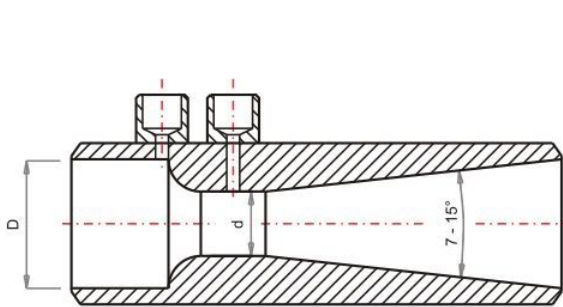
### 2.2 МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

#### 2.2.1 МЕРЕЊА ПРОТОКА

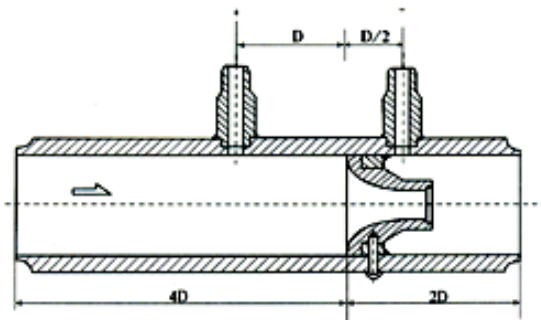
За један број мерења протока воде и паре су задржани примарни елементи онакви и на оним местима како је предвиђено првобитним пројектом термо блока. То су *Вентури млазнице* (слика бр. 2) на свежој пари, напојној води иза напојне главе и убризгавању у бу-расс високог притиска, као и *млазнице дуг радијус* (слика бр. 3) на турбо и електро напојним пумпама (у даљем тексту ЕНП).



**Слика бр. 1:** Мерења протока након адаптације у циклусу напојна вода-свежа пара

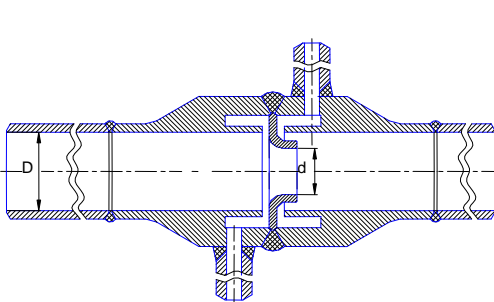


**Слика бр. 2:** Вентури млазница

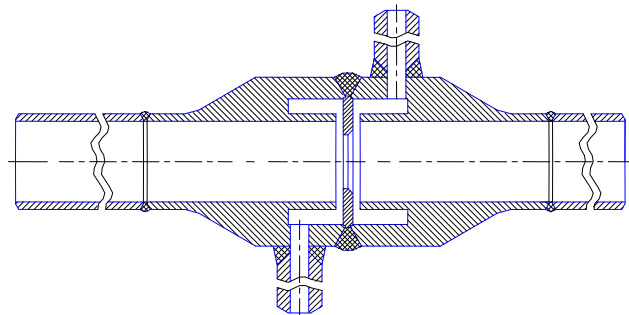


**Слика бр. 3:** Млазница дуг радијус

На појединачним мерењима протока убризгавања су замењени примарни елементи, али су позиције њихове уградње остале исте. За убризгавања 1, 2 и 3 су уграђене млазнице *ISA 1932* (слика бр. 4), док су за убризгавање 4 уграђене мерне бленде са прикључцима у углу (слика бр. 5).



**Слика бр. 4:** Млазница *ISA 1932*



**Слика бр. 5:** Мерна бленда са прикључцима у углу

На новим збирним мерењима протока убризгавања 1, 2, 3 и 4 су уграђене млазнице ISA 1932. На мерењу протока кроз нову напојну линију, такође је уграђена млазница ISA 1932 (део пројекта уградње додатног економајзера).

Као претварачи диференцијалног притиска у електричну величину користе се трансмитери *Siemens Sitrans P DSIII 7MF4533* и *Foxboro IDP10*.

## 2.2.2 МЕРЕЊА ТЕМПЕРАТУРЕ

За мерења протока која су имала компензацију по температури, задржана су мерења температуре онаква и на оним местима како је предвиђено првобитним пројектом термо блока. То је *термопар тип-K (NiCr-Ni)* за температуру свеже паре, односно *отпорни термометар типа Pt-100* за температуру напојне воде иза напојне главе 1.

За нова збирна мерења протока убризгавања 1, 2, 3 и 4 су уграђена мерења температуре за компензацију мерења протока убризгавања по температури. Уграђена су нова мерења температуре за компензацију мерења протока ТНП, ЕНП 1 и 2, као и убризгавања у by-pass високог притиска. Коришћен је *отпорни термометар типа Pt-100*.

За мерење протока кроз нову напојну линију, уграђена су нова мерења температуре за компензацију по температури (део пројекта уградње додатног економајзера). Коришћен је *отпорни термометар типа Pt-100*.

Као претварачи температуре у електричну величину користе се трансмитери *Datexel 4035HT*.

## 2.2.3 МЕРЕЊА ПРИТИСКА

За мерења протока која су имала компензацију по притиску (свежа пара), задржана су мерења притиска онаква и на оним местима како је предвиђено првобитним пројектом термо блока.

Као претварачи притиска у електричну величину се користе трансмитери *Siemens Sitrans P DSIII 7MF4033*.

## 3. ГЛАВНИ БИЛАНСИ МАСЕНИХ ПРОТОКА У ЦИКЛУСУ НАП. ВОДА-СВ. ПАРА

### **Биланс напојне пумпе – свежа пара**

У биланс напојне пумпе – свежа пара улазе мерења протока ТНП, ЕНП 1 и 2, убризгавања у међупрегрејач-линија 4, убризгавања у by-pass високог притиска и свеже паре.

Једначина биланса нап. пумпе – св. пара:  $(Q_{RL10} + Q_{RL20} + Q_{RL30} - Q_{RR10} - Q_{RR20}) - Q_{RA30} = 0$

### **Биланс напојна вода – свежа пара**

У биланс напојна вода – свежа пара улазе мерења протока напојне воде иза напојних глава 1 и 2, убризгавања у прегрејаче-линија 1, убризгавања у прегрејаче линија 2 и 3, и свеже паре.

Једначина биланса нап. вода – св. пара:  $(Q_{RL70} + Q_{RL80} + Q_{RR31} + Q_{RR323}) - Q_{RA30} = 0$

### **Биланс напојне пумпе – напојна вода**

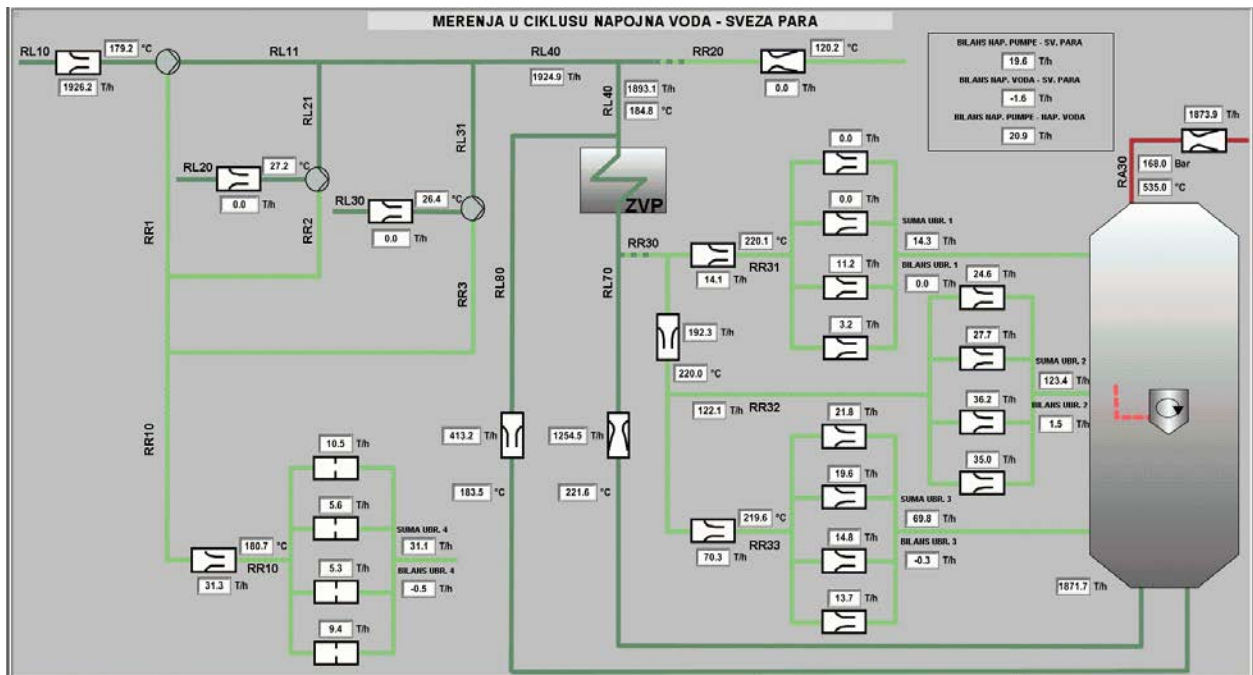
У биланс напојне пумпе – напојна вода улазе мерења протока ТНП, ЕНП 1 и 2, убризгавања у међупрегрејач-линија 4, убризгавања у by-pass високог притиска, напојне воде иза напојних глава 1 и 2, убризгавања у прегрејаче-линија 1 и убризгавања у прегрејаче линија 2 и 3.

Једначина биланса нап. пумпе – нап. вода:

$(Q_{RL10} + Q_{RL20} + Q_{RL30} - Q_{RR10} - Q_{RR20}) - (Q_{RL70} + Q_{RL80} + Q_{RR31} + Q_{RR323}) = 0$

Уградњом збирних мерења протока убризгавања за што тачније рачунање поменутих биланса, стекла се могућност и за билансирање сваке линије убризгавања. У тим билансима се збир појединачних протока убризгавања пореди са збирним убризгавањем, које се налази на њиховом колектору.

На слици бр. 6 је приказана процесна слика са *DCS-a* блока *ТЕНТ-Б1* на којој се могу видети сва појединачна мерења која су важна за поменуте билансе, као и резултати биланса.



Слика бр. 6: Мерења протока у циклусу напојна вода-свежа пара

#### 4. КОМПЕНЗАЦИЈА ПРОТОКА

Мерачи протока на бази пригушења још увек се најшире употребљавају у индустрији због њихове једноставности, толеранције на екстремне процесне услове, као и због њихових предвидивих и поузданих перформанси. Због њихове дуге историје и доминације на пољу мерења протока флуида, конструкција и захтеви за уградњу су добро документовани националним и интернационалним стандардима. У овом раду се анализирају фактори који утичу на тачност мерења протока у циклусу напојна вода - свежа пара и дају решења како минимизовати мерну несигурност.

Веза између масеног протока и пада притиска на примарном уређају може се, користећи *Бернулијеву једначину*, представити помоћу формуле:

$$Q_f = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta_f^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d_f^2 \sqrt{2 \Delta p_f \rho_{f1}}$$

Из формуле се види да на проток поред пада притиска, који се непосредно мери, утичу и: густина флуида  $\rho$ , коефицијент истицања  $C$ , фактор експанзије  $\varepsilon$ , температура флуида  $T_f$  (температура утиче на  $\rho$ ,  $d$ ,  $\beta$ ,  $C$ ), вискозитет флуида (вискозитет утиче на  $C$  преко *Рејнолдсовог броја*).

При прорачуну примарних уређаја користе се параметри флуида на номиналним радним условима. Када се радни услови разликују од номиналних потребно је извршити компензацију протока.

##### 4.1 КОМПЕНЗАЦИЈА ПРОТОКА ЗБОГ ОДСТУПАЊА ОД НОМИНАЛНИХ УСЛОВА

При одступању од номиналних услова највећи утицај на тачност мерења протока има густина флуида.

##### *Мерење протока воде*

Како се вода може сматрати некомпресибилним флуидом ( $\varepsilon=1$ ) густина се може кориговати индиректно мерењем температуре флуида.

За температурно подручје од 0 до 250 °C, густина воде се може одредити помоћу следеће формуле:

$$\rho_f = X + \frac{M \cdot p_n}{150} \quad ; \quad X = K_1 - K_2 \cdot T_f - K_3 \cdot T_f^2 - K_4 \cdot T_f^3 \quad ; \quad M = K_5 + K_6 \cdot T_f - K_7 \cdot T_f^2 + K_8 \cdot T_f^3$$

где је:

$\rho_f$  = стварна (актуелна) густина воде,  
 $p_n$  = номинални притисак воде, [bar] (притисак који је коришћен при прорачуну примарног уређаја)  
 $T_f$  = стварна (актуелна) температура воде [°C]

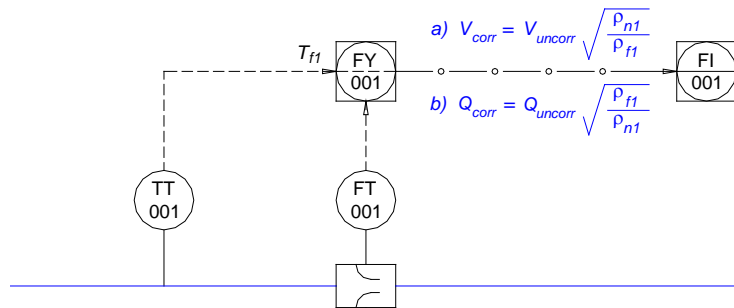
Коефицијенти  $K_1$  до  $K_8$  дати су у табели бр. 1.

За температурно подручје од 250 до 400 °C, густина воде се може одредити линеарном интерполацијом из таблица.

Коефицијент	Вредност
$K_1$	1007
$K_2$	0,3575
$K_3$	0,001259
$K_4$	0,000002703
$K_5$	5,202
$K_6$	0,03375
$K_7$	0,0002844
$K_8$	0,000001231

**Табела бр. 1:** Коефицијенти за одређивање густине воде

Принцип компензације протока воде приказан је на слици бр. 7. Треба уочити реципрочност компензација масеног и запреминског протока.



**Слика бр. 7:** Принцип компензације протока воде

### Мерење протока свеже паре

Густина прегрејане паре се мења са променом притиска и температуре. У зависности од перформанси DCS-а густина паре као функција притиска и температуре може бити израчуната из таблица за водену пару или помоћу погодних једначина.

За одређивање густине може се користити *Гибсова функција* на којој је базиран индустријски стандард *IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam)*. Помоћу ове једначине одређује се тачна вредност густине и може се користити на системима са добрим нумеричким и математичким могућностима.

Реципрочна вредност густине прегрејане паре се одређује помоћу следеће формуле:

$$\frac{1}{\rho_f} = \frac{R \cdot (T_f + 273,15)}{10} \left( \frac{10}{p_f + 1,01325} + \sum_{i=1}^{43} n_i I_i \left( \frac{p_f + 1,01325}{10} \right)^{I_i - 1} \cdot \left( \frac{540}{T_f + 273,15} - 0,5 \right)^{J_i} \right)$$

где је:

$\rho_f$  = стварна (актуелна) густина водене паре  
 $p_f$  = стварни (актуелни) ефективни притисак водене паре [bar g]  
 $T_f$  = стварна (актуелна) температура водене паре [°C]

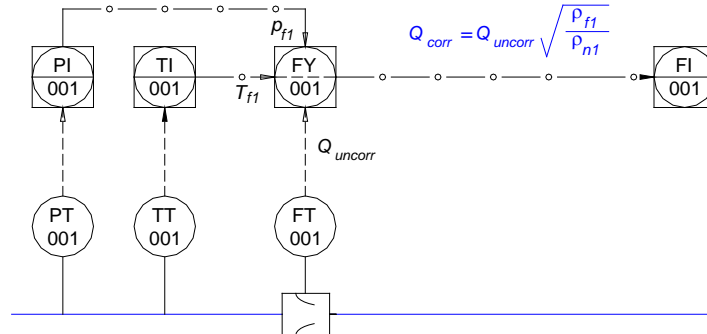
$$\pi = \frac{p_f + 1,01325}{10}$$

$$\tau = \frac{540}{T_f + 273,15}$$

$$R = 0,46152 \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$$

$n_i, I_i, J_i$  = коефицијенти, видети [8].

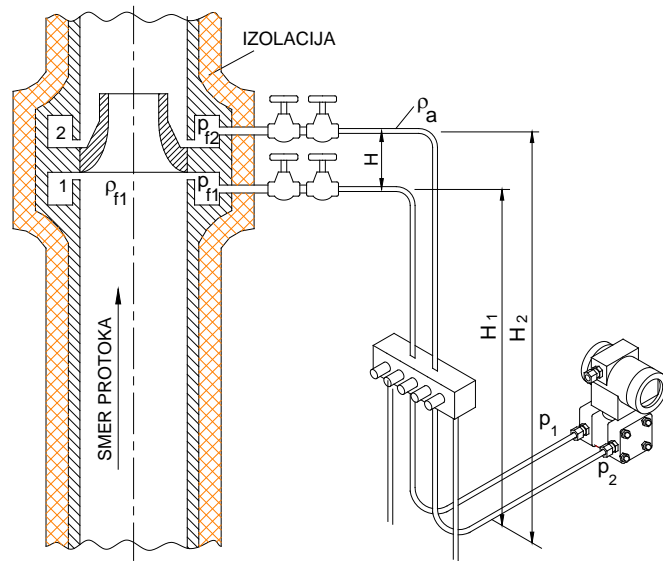
Принцип компензације протока прегрејане водене паре приказан је на слици бр. 8.



Слика бр. 8: Принцип компензације протока паре

#### 4.2 КОМПЕНЗАЦИЈА ПРОТОКА ЗБОГ МОНТАЖЕ ПРИМАРНОГ УРЕЂАЈА У ВЕРТИКАЛНОМ ЦЕВОВОДУ

Када је примарни уређај монтиран у вертикални цевовод и кад постоји велика разлика између температуре течности која протиче кроз примарни уређај и амбијентне температуре потребно је извршити компензацију протока због висинске разлике прикључака за мерење пада притиска. Код мерења протока водене паре овај проблем се решава постављањем оба кондез лонца у висини горњег прикључка.



Слика бр. 9: Монтажа примарног уређаја у вертикалном цевоводу

Из Бернулијеве једначине и једначине континуитета за пресеке узводног и низводног прикључка (1) и (2) добија се теоријски запремински проток, који кад се помножи са густином флуида даје теоријски масени проток као:

$$Q = \frac{\pi}{4} d_f^2 \sqrt{\frac{2}{1 - \beta_f^4} (\Delta p + \rho_{fl} g (H_1 - H_2))} \rho_{fl}$$

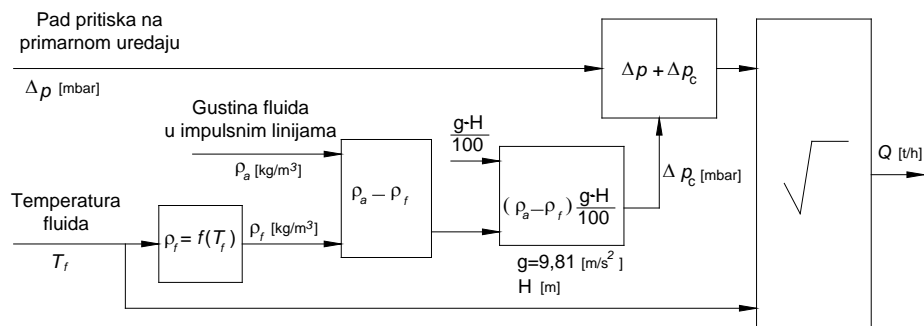
Када се изврши корекција теоријског протока коефицијентом истицања ( $C$ ), и кад се усвоји да је  $\frac{C}{\sqrt{1 - \beta_f^4}} \frac{\pi}{4} d_f^2 \sqrt{2} = K_c = constant$ , тада масени проток постаје:  $Q = K_c \sqrt{(\Delta p - \rho_{fl} g H)} \rho_{fl}$ .

Из добијене једначине се види да је разлика између једначине за хоризонталну и вертикалну инсталацију примарног уређаја у изразу за потенцијалну енергију  $\rho_{fl} g H$ .

Кад се утврди шта заправо мери трансмитер диференцијалног притиска, може се утицај вертикалне монтаже примарног уређаја отклонити или калибрацијом трансмитера или додавањем израза  $(\rho_a - \rho_{f1}) \cdot g \cdot H$  на излазни сигнал трансмитера.

Ако се отклањање утицаја вертикалне монтаже врши калибрацијом трансмитера диференцијалног притиска доћи ће до појаве грешке при стартовању постројења када температура флуида много одступа од номиналних услова.

Ако се већ врши компензација протока по температури, много боље је отклонити утицај вертикалне монтаже додавањем израза  $(\rho_a - \rho_{f1}) \cdot g \cdot H$  на излазни сигнал трансмитера. На овај начин се отклања грешка мерења протока при стартовању постројења. На слици бр. 10 је приказана корекција која се реализује у DCS-у за примарни уређај у вертикалном цевоводу при струјању флуида одоздо на горе.



Слика бр. 10: Корекција по температури за примарни уређај у вертикалном цевоводу

### 4.3 КОМПЕНЗАЦИЈА ПРОТОКА ЗБОГ ОДСТУПАЊА ОД СТАНДАРДА

За мерење протока свеже паре користи се *Вентури млазница* јер она обједињује најбоље особине *Вентури цеви и млазнице*, има релативно мали трајни пад притиска и погодна је за мерење протока флуида који имају високу температуру. Недостатак овог примарног уређаја је релативно уско подручје *Рејнолдсовог броја* које дозвољава стандард *ISO 5167*.

Како Вентури млазнице за мерење протока паре у ТЕНТ-Б по питању Рејнолдсовог броја далеко одступају од поменутог стандарда извршена је компензација протока. Ово је урађено експерименталним одређивањем коефицијента истицања Вентури млазнице коришћењем резултата „*Термотехничких испитивања парног турбопостројења*“ које је спровела Лабораторија за топлотне турбомашине машинског факултета из Београда. Коригована вредност коефицијента истицања одређена је према следећој формули:

$$C = \frac{Q_{\text{stvarni}}}{Q_{\text{izracunat}}} = \frac{Q \sqrt{1 - \beta_f^4}}{\varepsilon \frac{\pi}{4} d_f^2 \sqrt{2 \Delta p_f \rho_{f1}}}$$

### 5. УТИЦАЈ ОПЕРАЦИЈЕ КОРЕНОВАЊА НА ТАЧНОСТ МЕРЕЊА ПРОТОКА

Ако се улаз у коренатор обележи са  $X$  а излаз са  $Y$ ,



и ако се  $X$  и  $Y$  посматрају као сигнали који могу да узму вредност између 0 и 100%, онда се коренатор математички описује следећом формулом:  $Y = 10 \sqrt{X}$ . Ако се са  $G$  обележи појачање коренатора, онда из формуле коренатора следи  $G = \frac{\partial Y}{\partial X} = 5 \cdot \frac{1}{\sqrt{X}}$ .



Из добијене формуле се види да појачање брзо расте са опадањем улазног сигнала. Треба водити рачуна да појачање множи улазни сигнал укључујући и његову мерну несигурност. Да би се проширило мерно подручје протока у коме је мерна несигурност задовољавајућа, или енглески "Turndown", потребно је мерити пад притиска на примарном уређају са што мањом мерном несигурношћу. У индустрији је распрострањено мишљење да је "Turndown"  $dp$  мерача протока 3:1 или 4:1. Ово потиче из доба пнеуматских и електронских трансмитера са доста механичких склопова. Задњих година су сви произвођачи интензивно радили на развоју  $dp$  трансмитера, тако да данас скоро сви озбиљни произвођачи стандардно праве трансмитере диференцијалног притиска чија је релативна мерна несигурност 0,1% опсега. На тржишту постоје модели неких произвођача са интегрисаним могућностима динамичке компензације чија је мерна несигурност 0,01% опсега, што повећава "Turndown" до врло импресивних 14:1. Ово практично значи да је мерна несигурност задовољавајућа у подручју од 7 до 100% скале протока.

Да би се смањио утицај великог појачања коренатора при малим вредностима улазног сигнала уводи се такозвана "Cutoff" тачка, која омогућава да индикација протока буде стабилнија при малим вредностима протока. Од "Cutoff" тачке до нуле искључује се кореновање и најчешће се подразумева да је проток директно пропорционалан паду притиска. Обично се "Cutoff" тачка поставља између 5 и 15 % протока. Операцију кореновања вршити у DCS-у кад год се захтева повећана тачност мерења протока.

## 6. МЕРНА НЕСИГУРНОСТ БИЛАНСА

Мерна несигурност биланса одређена је коришћењем мерне несигурности појединачних мерења протока који улазе у билансни збир. У ову мерну несигурност није укључена несигурност компоненти DCS-а (улазне картице, сплитери...). Релативна мерна несигурност појединачног мерења према ISO 5167 одређује се коришћењем следеће формуле:

$$u = 100 \sqrt{\left(\frac{\delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4} \frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4} \frac{\delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta p}{2\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{\delta \rho_1}{2\rho_1}\right)^2} [\%]$$

Израчунавање мерне несигурности биланса биће објашњено на билансу напојна вода – свежа пара. Преглед мерења протока и њихових мерних несигурности се могу видети у табели бр.2.

Р. бр.	Опис	Ознака мерења	Мерно подручје [ t / h ]	Тип прим. уређаја	Релативна несигурност мерења %
1	Проток свеже паре ( $Q_{RA30}$ )	RA 30 F001	0÷2200	Вентури млазница	$u_{RA30} = 1,71$
		RA 30 F002	0÷2200		
2	Проток напојне воде иза напојне главе 1 ( $Q_{RL70}$ )	RL 70 F011	0÷2000	Вентури млазница	$u_{RL70} = 1,44$
		RL 70 F012	0÷2000		
		RL 70 F013	0÷2000		
3	Проток напојне воде иза напојне главе 2 ( $Q_{RL80}$ )	RL 80 F011	0÷570	Млазница ISA 1932	$u_{RL80} = 0,81$
		RL 80 F012	0÷570		
		RL 80 F013	0÷570		
4	Збирни проток воде на убризгавањима у прегрејаче – линија 1 ( $Q_{RR31}$ )	RR 31 F001	0÷100	-/-	$u_{RR31} = 0,81$
5	Збирни проток воде на убризгавањима у прегрејаче – линија 2+3 ( $Q_{RR323}$ )	RR 323 F001	0÷240	-/-	$u_{RR323} = 0,99$

Табела бр. 2: Мерне несигурности за мерења у билансу напојна вода-свежа пара

Једначина биланса напојна вода - свежа пара гласи: ( $Q_{RL70} + Q_{RL80} + Q_{RR31} + Q_{RR323}$ ) -  $Q_{RA30} = 0$

Водећи рачуна да се мерна подручја појединачних мерења која улазе у биланс међусобно разликују, очекивана релативна мерна несигурност биланса се израчунава према следећој

формули:  $u_1 = \sqrt{\left(\frac{2000}{2200} u_{RL70}\right)^2 + \left(\frac{570}{2200} u_{RL80}\right)^2 + \left(\frac{100}{2200} u_{RR31}\right)^2 + \left(\frac{240}{2200} u_{RR323}\right)^2 + \left(\frac{2200}{2200} u_{RA30}\right)^2} [\%]$

док се остварена релативна мерна несигурност биланса напојна вода - свежа пара добија анализом архивираних података коришћењем следеће формуле:

$$u_{1s} = 100 \cdot (Q_{RL70} + Q_{RL80} + Q_{RR31} + Q_{RR323} - Q_{RA30}) / Q_{RA30} [\%]$$

## 7. ЗАКЉУЧАК

После извршене адаптације мерења протока у циклусу напојна вода - свежа пара на термо блоку ТЕНТ-Б1 анализирани су архивирани подаци више временских интервала. Систематизован преглед резултата обраде приказан је у табели бр. 3.

Р. бр.	Биланс	Очекивана несигурност биланса %	Средња вредност остварене несигурности биланса %
1	Биланс напојна вода - свежа пара	2,17	-0,5
2	Биланс напојне пумпе – напојна вода	2,41	1,2
3	Биланс напојне пумпе – свежа пара	2,64	0,7
4	Биланс убризгавања у прегрејаче - линија 1	0,91	0,0 <sup>1)</sup>
5	Биланс убризгавања у прегрејаче - линија 2	1,84	0,6
6	Биланс убризгавања у прегрејаче - линија 3	0,91	0,1
7	Биланс убризгавања у међупрегрејач - линија 4	0,89	0,4

1) Проток воде убризгавања у прегрејаче-линија 1 у посматраном периоду је био једнак 0,0 t/h.

**Табела бр. 3:** Преглед резултата архивираних података за билансе

На основу обрађених података се закључује да сви биланси имају несигурност која је у потпуности у складу са стандардима *SRPS ISO 5167:2007* и *ISO 5168:2005*.

Након адаптације мерења протока у циклусу напојна вода-свежа пара, једноставним прегледом процесне слике појединачних мерења протока и њихових биланса, могуће је утврдити да ли и које мерење одступа од захтеване тачности.

Са мерењима протока код којих је грешка минимизована, могућа је боља оптимизација процеса, пре свега се мисли на прецизнију регулацију која ради по мерењима протока напојних пумпи, протока иза напојне главе, протока паре. Прегледом главних биланса је могуће установити да ли у систему има губитака напојне воде. Са прецизнијим мерењима протока убризгавања могуће је смањење количине напојне воде која се убризгава у пару. Прегледом биланса протока убризгавања и корелације отворености регулационог вентила убризгавања и количине убризгане воде, могуће је утврдити да ли неки од вентила убризгавања има пропуштање у затвореном положају или се не понаша регуларно.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Техничка документација CF3, CF4, Sulzer, 1980
- [2] Адаптација мерења протока у циклусу напојна вода-свежа пара (техничка документација), ЗБ инжењеринг, 2012
- [3] ISO 5167: 2003,
- [4] ISO 5168: 2005,
- [5] ISO/TR 9464: 1998
- [6] Flow Measurement Engineering Handbook, R.W. Miller, 1996
- [7] Process Control Systems, F. G. Shinskey, 1988
- [8] IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam