

Milan Vanić, Janko Moše, Boro Kocijančić, Željko Vuković

ISSN 0350-350X

GOMABN 40, 3, 177-198

Stručni rad/Professional paper

UDK 665.6.041.003.13 : 662.753 : 662.767.7 : 662.611.2 : 662.613.53 : 662.614.2 : 662.612-5

SUSTAV ZA UPRAVLJANJE POTROŠNJOM TEHNOLOŠKOG GORIVA U PROCESNIM PEĆIMA PREKO TOPLINSKOG STUPNJA DJELOVANJA

Sažetak

Ovaj sustav za upravljanje potrošnjom tehnološkog goriva u procesnim pećima je osmišljen u Rafineriji nafte Sisak s namjerom da se putem njega uspostavi pouzdana kontrola loženja procesnih peći, a potom i kontrola nad tokovima svih količina tehnološkog goriva. Pri tome se polazi od pretpostavke da je pouzdana kontrola kvalitete loženja osnovni preduvjet za racionalnu potrošnju tehnološkog goriva u procesnim pećima.

Sustav je utemeljen tako da se za svaku procesnu peć vrši neprekidno izračunavanje:

- stvarnih vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja,*
- ukupne potrošnje tehnološkog goriva u ekvivalentnim jedinicama ulja za loženje,*
- stvarne potrošnje loživog plina.*

Kontrola kvalitete loženja vrši se putem toplinskog stupnja djelovanja jer na ovu vrijednost utječe i kvaliteta izgaranja (sastav dimnih plinova) i učinkovitost pri izmjeni toplinske energije (temperatura dimnih plinova).

Pored kvalitete loženja, vrijednost toplinskog stupnja djelovanja služi da se preko apsorbirane količine topline izračunava potrošnja tehnološkog goriva.

Pri izračunavanju potrošnje tehnološkog goriva uzima se u obzir stvarna ogrjevna vrijednost loživog plina, čime se stvara

mogućnost da se ova količina uključuje u ukupnu materijalnu bilancu procesnih tokova rafinerije.

Uvođenjem pojma zadanog toplinskog stupnja djelovanja, kao i pojma dodatne potrošnje tehnološkog goriva, a koja se izračunava na temelju razlike između zadane i stvarne vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja, stvoren je mehanizam za objektivno vrjednovanje (kvantifikaciju) kvalitete loženja svake procesne peći.

Budući da se temelji na stvarnoj vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja, ovaj se sustav može koristiti za objektivno vrjednovanje primjenskih karakteristika različitih, prije svega naročito viskoznih tipova ulja za loženje, kao i učinkovitosti različitih dodataka za poboljšanje izgaranja, koji se sve više nalaze u primjeni.

1. Uvod

Energetska potrošnja pri preradi nafte zauzima drugo mjesto iza troškova sirove nafte u strukturi troškova poslovanja. Ova potrošnja bitno ovisi o složenosti tehnološke sheme prerade i u slučaju rafinerije u Sisku kreće se s gubicima na razini oko 10%. Radi se, dakle, o visokoj energetske potrošnji, koja se ostvaruje prilično složenim modelom proizvodnje i distribucije svih oblika energije, kao što je primarna toplinska energija, vodena para, električna energija. Budući da energetska potrošnja neposredno utječe na okoliš, svako njezino smanjenje, pored značajnog utjecaja na troškove poslovanja, pozitivno će utjecati i na smanjenje zagađenja okoliša, što svakim danom postaje sve važnije pitanje.

Jedan od glavnih preduvjeta za smanjenje energetske potrošnje je uspostava sustava pouzdane kontrole u svim fazama energetske proizvodnje, distribucije i potrošnje. Osnovna pretpostavka za uspješno funkcioniranje ovakvih sustava jest, da su oni istovremeno jednostavni i učinkoviti, odnosno da cjelokupnoj tehnoeкономskoj piramidi rukovođenja (od neposrednog operatera do uprave poduzeća), pomoću minimalnog broja podataka pružaju pravodobne i pouzdane slike u realnom vremenu glede konkretne energetske potrošnje. Osnovna pretpostavka za izgradnju ovakvih sustava je snažna informatička podrška putem koje je moguće pravodobno obrađivati mnoštvo podataka i svoditi ih na minimalni broj jasnih pokazatelja.

Tema ovog rada je izgradnja sustava za praćenje i upravljanje potrošnjom tehnološkog goriva na procesnim pećima, dakle jednog od sustava za praćenje ukupne energetske potrošnje. Riječ je o *Sustavu za upravljanje potrošnjom tehnološkog goriva u procesnim pećima preko toplinskog stupnja djelovanja*, koji je 1999. g. osmišljen u Rafineriji nafte Sisak, i čije se postupno uvođenje u ovisnosti o tehničkoj opremljenosti (procesni analizatori dimnih plinova, informatička podrška), provodi od druge polovice 1999. godine.

2. Osnovne značajke kvalitetnog loženja procesnih peći

Najveći dio ukupne energetske potrošnje u rafineriji u Sisku (i drugim rafinerijama) odnosi se na potrošnju tehnološkog goriva pri loženju procesnih peći. Sukladno tome, opravdano je očekivati da bi se upravo uspostavom pouzdane i učinkovite kontrole nad ovim segmentom energetske potrošnje mogli postići i najveći efekti u smanjenju troškova energetske potrošnje. Utoliko više, što je upravo ovaj dio energetske potrošnje preko materijalnih bilanci ukupnih procesnih tokova direktno povezan s gubicima na baklji.

Pri tehnološki definiranoj količini apsorbirane topline potrošnja tehnološkog goriva u nekoj procesnoj peći ovisi o toplinskom stupnju djelovanja te peći. Osnovni parametri koji utječu na vrijednost toplinskog stupnja djelovanja su kvaliteta izgaranja i učinkovitost pri prijelazu topline. Naime, jeftinije, teže, odnosno nekvalitetnije gorivo zahtijeva veću količinu zraka za optimalno izgaranje i stvara veću količinu taloga na ogrjevnim površinama, što otežava prijenos topline. I jedno i drugo negativno utječe na toplinski stupanj djelovanja procesne peći. S druge strane ložać može svojom kvalitetom rada utjecati na toplinski stupanj djelovanja tako da održava potrebnu temperaturu ulja za loženje zbog viskoznosti, podešava optimalni omjer goriva i zraka, te održava čiste ogrjevne površine peći, odnosno ložać svojom kvalitetom rada može direktno utjecati na potrošnju tehnološkog goriva.

Međutim, da bi načelna tvrdnja o neposrednom utjecaju ložača na potrošnju tehnološkog goriva, odnosno ekonomičnost loženja procesnih peći postala stvarnost, potrebno je ložaču dati mehanizam putem kojega će moći imati stvaran uvid u kvalitetu loženja. U konkretnoj rafinerijskoj praksi kvalitetno loženje se temelji na dvije osnove:

- što viši toplinski stupanj djelovanja,
- što veći udio plina pri loženju peći.

Predmet ovog rada je upravo izgradnja takvog sustava, koji će se temeljiti na činjenici da je toplinski stupanj djelovanja definiran kvalitetom izgaranja,

te količinom i temperaturom dimnih plinova na izlazu iz peći, dok istovremeno spaljivanje što veće količine plina znači manju količinu na baklji, odnosno manji gubitak. Budući da se kvaliteta izgaranja i količina dimnih plinova mogu odrediti putem analize dimnih plinova, raspoloživi su svi potrebni podaci za utvrđivanje vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja. Doda li se tome snažna informatička podrška koja stoji na raspolaganju, postoje svi elementi za izgradnju učinkovitog sustava za upravljanje potrošnjom tehnološkog goriva u procesnim pećima.

Učinkovitost sustava znači da se relevantni podaci analiziraju ažurno i sveobuhvatno. Primjera radi, može se u nekom trenutku postizati dobra kvaliteta izgaranja (nizak O_2 i CO), ali ako se to odvija pri visokim temperaturama dimnih plinova izgaranja, to onda ne znači i zadovoljavajuću vrijednost za toplinski stupanj djelovanja. Valja imati na umu, da sniženje izlazne temperature za oko 16°C (kod $O_2=6\%$), ima posljedicu 1% većeg toplinskog stupnja djelovanja. Slično vrijedi i za temperaturu dimnih plinova. Ona se može kretati na razini projektnih vrijednosti, ali ako se to postiže pri velikoj količini dimnih plinova (visok O_2), to ponovno ima posljedicu nezadovoljavajuće vrijednosti za toplinski stupanj djelovanja. Valja imati na umu da 1% O_2 u dimnim plinovima ima posljedicu sljedećeg smanjenja toplinskog stupnja djelovanja: 0,75%, kod $t=200^\circ\text{C}$; 1%, kod $t=300^\circ\text{C}$; 1,4%, kod $t=400^\circ\text{C}$.

3. Osnove sustava

Ovaj sustav za upravljanje potrošnjom tehnološkog goriva na procesnim pećima se temelji na sljedećim osnovama:

- stvarna vrijednost toplinskog stupnja djelovanja procesne peći,
- bez obzira na vrste tehnološkog goriva (plin, ulje za loženje), i količinske odnose tih vrsta pri loženju konkretne procesne peći u nekom konkretnom trenutku, prvi korak pri utvrđivanju potrošnje je izračunavanje ukupne potrošnje tehnološkog goriva u ekvivalentnim jedinicama ulja za loženje,
- pri utvrđivanju stvarne količine plina kod loženja neke konkretne procesne peći uzima se u obzir stvarna ogrjevna vrijednost plina,
- kvantifikacija kvalitete loženja vrši se putem izračunavanja "dodatne" količine potrošnje tehnološkog goriva, pri čemu se uzima u obzir fizičko stanje i pogonski uvjeti svake procesne peći putem uvođenja u račun pojma "zadane" vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja.

3.1. Stvarne vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja

U konačnoj varijanti kada budu u funkciji procesni analizatori dimnih plinova izgaranja i kada bude izgrađena odgovarajuća informatička podrška, stvarna vrijednost toplinskog stupnja djelovanja će se moći izračunavati na osnovi konkretnih vrijednosti za temperaturu i sastav dimnih plinova (O_2 , CO) prema metodologiji API 532. Do tada se mogu koristiti unaprijed izračunate vrijednosti, koje se moraju ručno unositi u sustav kompjutorske obrade. Ove su vrijednosti također izračunate po metodologiji API 532 i nalaze se u tablici 1. Iste te vrijednosti su i grafički prikazane na slici 1.

Navedene vrijednosti su izračunate uz pretpostavku da gubici isijavanja na procesnim pećima iznose 2,5% (prema literaturi 1-4%).

Slika 1: Volumni sadržaj O_2 u dimnim plinovima, (%)

Figure 1: Combustion flue gas O_2 volume content, (%)

Heater efficiency, η_t .

Tablica 1: Toplinska iskorištenost procesnih peći u funkciji izlazne temperature dimnih plinova i sadržaja kisika u njima

Table 1: Heater efficiency in the function of combustion flue gas temperature and oxygen content

SADRŽAJ O ₂ O ₂ CONTENT	TEMPERATURA DIMNIH PLINOVA IZGARANJA, °C COMBUSTION FLUE GAS TEMPERATURE, °C						
	200	300	400	500	600	700	800
0	0.897	0.851	0.806	0.757	0.712	0.662	0.612
1	0.893	0.845	0.798	0.751	0.70	0.648	0.595
2	0.89	0.839	0.79	0.741	0.69	0.632	0.577
3	0.885	0.832	0.78	0.729	0.675	0.615	0.557
4	0.88	0.824	0.77	0.711	0.656	0.595	0.535
5	0.875	0.816	0.759	0.696	0.638	0.574	0.51
6	0.868	0.806	0.745	0.679	0.617	0.549	0.481
7	0.862	0.795	0.73	0.659	0.593	0.521	0.448
8	0.853	0.782	0.712	0.637	0.566	0.488	0.41
9	0.844	0.766	0.692	0.61	0.534	0.45	0.366
10	0.831	0.749	0.667	0.579	0.496	0.405	0.314

3.2 Potrošnja tehnološkog goriva u ekvivalentnim jedinicama ulja za loženje

Budući da se procesne peći lože u različitim omjerima ulja za loženje i plina i budući da plin u ovisnosti o kemijskom sastavu ima različite ogrjevne vrijednosti, za dobivanje objektivne slike o kvaliteti loženja svake procesne peći u cilju stvaranja mogućnosti za objektivno vrednovanje i uspoređivanje tih kvaliteta potrebno je ukupne potrošnje tehnološkog goriva u svim pećima svesti na zajednički nazivnik, odnosno iskazivati u jednoznačnim ekvivalentnim veličinama. U ovom slučaju to je ekvivalentna jedinica ulja za loženje ogrjevne vrijednosti $H_{de} = 40.600 \text{ kJ/kg}$.

Ukupna potrošnja tehnološkog goriva u ekvivalentnim jedinicama ulja za loženje računa se prema formuli (1):

$$G_{tHX} = \frac{GSX_{st}}{GSX_{pr}} \times \frac{QH_{X_{aps}}}{H_{de} \times \eta_s} \quad (1), \text{ gdje je:}$$

G_{tHX} (kg/h) - ukupna potrošnja goriva u ekvivalentnim jedinicama ulja za loženje na procesnoj peći HX,

GSX_{st} (kg/h) - kapacitet sekcije SX,

GSX_{pr} (kg/h) - projektni kapacitet sekcije SX,

$Q_{HX_{aps}}$ (kJ/h) - projektna vrijednost za apsorbiranu količinu topline procesne peći HX,

$H_{de} = 40.600$ (kJ/kg) -ogrjevna vrijednost ekvivalentne jedinice ulja za loženje,

η_s (%) - stvarna vrijednost toplinskog stupnja djelovanja procesne peći HX.

3.3 Stvarna potrošnja plina

Iako je podatak o ukupnoj potrošnji tehnološkog goriva u ekvivalentnim jedinicama ulja za loženje izračunat u prethodnoj točki sasvim dostatan glede praćenja kvalitete loženja, za rafinerijsku praksu imaju veliku važnost i podaci o stvarnim količinama svakog pojedinog tipa goriva, odnosno podaci o stvarnim količinama ulja za loženje i loživog plina. Upravo su ove količine potrebne za zatvaranje materijalnih bilanci ukupnih procesnih tokova na razini poduzeća. Kada se raspolože s podacima o ukupnoj potrošnji tehnološkog goriva u ekvivalentnim jedinicama, a budući da se u pravilu raspolože s podacima o potrošnji ulja za loženje na razini svake procesne peći, može se za svaku procesnu peć izračunati stvarna količina potrošnje plina prema formuli (2):

$$G_{tpHX} = \frac{G_{teHX} - G_{tuHX}}{f_{gor}} \quad (2), \text{ gdje je:}$$

G_{tpHX} (kg/h) - stvarna količina plina na procesnoj peći HX,

G_{tuHX} (kg/h) - količina potrošnje ulja za loženje na procesnoj peći HX,

f_{gor} - faktor goriva, omjer stvarne ogrjevne vrijednosti plina i ekvivalentne jedinice ulja za loženje, 40.600 kJ/h.

Uvođenjem pojma "faktor goriva" (f_{gor}) u formuli za izračunavanje potrošnje plina uzima se u obzir stvarna ogrjevna vrijednost plina. To je potrebno jer se kemijski sastavi plina, a time i ogrjevne vrijednosti značajno razlikuju, ovisno o tome u kojem procesu unutar rafinerije pojedini tokovi plina nastaju. U slučaju Rafinerije nafte Sisak vrijednosti toga faktora kreću se u granicama od 0,94 (plin iz FCC-a) do 1,49 (plin iz reforminga), što znači da je razlika u ogrjevnim vrijednostima čak 59%. Na plamenike procesnih peći i generatore pare dopijevaju različite mješavine osnovnih tokova, što znači da se i njihove ogrjevne vrijednosti značajno razlikuju. Budući da za osiguranje rada procesne peći nije bitna masa plina već količina topline, iz navedenih podataka jasno proizlazi da ne može imati isti tretman plin koji je primjerice za 5% ($f_{gor}=1,05$) i onaj za 20% ($f_{gor}=1,2$) energetski jači od ulja za loženje. Sukladno tome, predloženi sustav za upravljanje potrošnjom goriva na

procesnim pećima temelji se na stvarnim ogrjevnim vrijednostima, odnosno na vrijednostima faktora goriva.

3.4 Dodatna potrošnja goriva

Pod dodatnom potrošnjom goriva podrazumijeva se razlika između stvarne potrošnje i one koja bi se postigla u slučaju da procesna peć radi sa zadanom vrijednošću toplinskog stupnja djelovanja. Dakle, dodatna potrošnja goriva je zapravo potencijalna ušteda koja bi se mogla ostvariti u optimalnim uvjetima.

Kao zadana vrijednost toplinskog stupnja djelovanja obično se koristi projektna vrijednost. Međutim, u cilju što objektivnijeg prikaza, umjesto projektne, zadana vrijednost može biti i neka druga, niža, čime se uzima u obzir fizičko stanje procesne peći, radni kapacitet postrojenja, kvaliteta goriva i dr. Dodatna potrošnja goriva računa se prema formuli (3):

$$\Delta G_{teHX} = G_{teHX} \frac{\eta_z HX - \eta_s HX}{\eta_z HX} \quad (3), \text{ gdje je:}$$

ΔG_{teHX} (kg/h)-dodatna količina potrošnje tehnološkog goriva na procesnoj peći HX, u ekvivalentnim jedinicama ulja za loženje,

$\eta_z HX$ (%)-zadana vrijednost toplinskog stupnja djelovanja za procesnu peć HX,

$\eta_s HX$ (%)-stvarna vrijednost toplinskog stupnja djelovanja za procesnu peć HX.

4. Prikaz i analiza realnoga stanja potrošnje goriva

Osnovni cilj definiranih postupaka za izračunavanje pojedinih parametara glede kvalitete loženja jest da pružaju uvid u kvalitetu toga procesa. Da bi to bilo moguće, potrebno je putem odgovarajućeg sustava kupiti podatke i pokazatelje na osnovi kojih će odgovorno osoblje moći poduzimati odgovarajuće mjere u cilju poboljšanja stanja. Ovdje je prikazan jedan od mogućih načina prikazivanja, koji je sadržan u tablici 2. Dvije su osnovne karakteristike ovog prikaza: obuhvaća sve procesne peći u pripadnim organizacijskim jedinicama i predstavlja stanje u odabranom razdoblju praćenja.

Pored projektnih vrijednosti za sve procesne peći su navedene i vrijednosti zadanih toplinskih stupnjeva djelovanja (kolona 10). Budući da je svrha uvođenja zadanih vrijednosti za toplinski stupanj djelovanja uzimanje u obzir realnog stanja procesnih peći kao što je: fizičko stanje, pogonski kapacitet, kvaliteta goriva i dr. U stvarnosti će ove veličine imati različite vrijednosti u odnosu na projektne. U ovom slučaju zbog jednostavnosti primijenjen je

jedinstven kriterij za sve procesne peći tako da su projektne vrijednosti umanjene za 3%. Podaci u tablici 2 su oblikovani tako da pružaju potrebne podatke stručnjacima na svim razinama piramide rukovođenja. Primjerice, pogledajmo kako se ovim podacima mogu poslužiti stručnjaci s tri razine: ložać, rukovoditelj postrojenja i rukovoditelj prerade.

Ložać. Osnovna namjena ovog sustava je pružanje pouzdane i pravodobne informacije ložaću glede kvalitete loženja da bi on kao neposredni izvršitelj mogao poduzeti potrebne korektivne mjere. Dovoljno je za neku procesnu peć pogledati stvarnu vrijednost toplinskog stupanja djelovanja (kolona 11). Ako se ova vrijednost nalazi u razini ili iznad zadane vrijednosti (kolona 10), što se odmah može vidjeti iz njihova odnosa (kolona 13), ložać može biti zadovoljan postojećim stanjem. Suprotno, u slučaju da je stvarna vrijednost lošija od zadane vrijednosti slijedi utvrđivanje razloga i poduzimanje korektivnih mjera. Mogući razlozi se također mogu uočiti iz navedene tablice. To može biti zbog prevelike količine zraka pri izgaranju, što se očituje u visokom udjelu kisika u izlaznim dimnim plinovima (kolona 8) ili zbog njihove previsoke temperature (kolona 7). Za bilo koji od ovih nedostataka postoje korektivne mjere koje bi ložać morao odmah poduzeti, čime treba spriječiti nepotrebno povećano trošenje goriva.

Rukovoditelj postrojenja. Na ovoj razini dovoljno je pogledati stvarno stanje glede dodatne potrošnje (kolona 20). U tablici 2 je prikazano i sljedeće stanje glede dodatne potrošnje:

- postrojenje A: - 39,7 kg/h
- postrojenje B: 81,2 kg/h
- postrojenje C: 214,0 kg/h
- postrojenje D: 17,5 kg/h

Matematički iskazana negativna vrijednost za dodatnu potrošnju u ovom slučaju znači uštedu, te prema tome rukovoditelj postrojenja A može biti zadovoljan s trenutnim stanjem procesnih peći. Kod ostalih postrojenja količine dodatnih potrošnji imaju pozitivne vrijednosti, što bi trebalo ukazivati na potrebu analize uzroka i poduzimanja potrebnih mjera.

Rukovoditelj procesnih jedinica. Nema dvojbe da je za ovu razinu rukovođenja najinteresantniji podatak o ukupnoj dodatnoj potrošnji tehnološkog goriva (kolona 20), koja u ovom slučaju iznosi 273,0 kg/h. Stvar je konkretne prakse (fizičko stanje procesnih jedinica, kapacitet rada, vrsta goriva, zadani toplinski stupanj djelovanja), da li će se postojeće stanje ocijeniti zadovoljavajućim ili ne.

Tablica 2: Prikaz loženja procesnih peći
Table 2: The process heaters stoking picture

Plant/Process heater/Project capacity:Section;Heater/Real section capacity/Flue gas temperature: Project; Real
/Heater efficiency/ η ratio/Fuel consumption in equivalent units of fuel oil:Gas; Fuel oil; Total/Gas share/Gas
fuel factor/Real gas consumption/Additional fuel consumption/Total A,B,C,D/GRAND TOTAL

Osnovno je da se u slučaju negativne ocjene i s ove razine rukovođenja može odmah ocijeniti koji je uzrok tome. Naime, krene li se prema gore u navedenoj koloni, dobiva se uvid o količini dodatne potrošnje na razini pojedinih postrojenja i procesnih peći. Želi li se pak utvrditi uzrok dodatnoj potrošnji na razini procesne peći, dovoljno je kroz odgovarajući redak krenuti prema lijevo da se vidi da li je tome uzrok prevelika količina zraka (visok O₂ – kolona 8) ili loša izmjena topline, što se očituje u povišenoj temperaturi dimnih plinova (kolona 7).

5. Izvedene količine potrošnje tehnološkog goriva

Podaci u tablici 2 pored osnovne namjene da pružaju pouzdanu sliku o kvaliteti loženja procesnih peći mogu poslužiti kao osnovni podaci za izračunavanje izvedenih količina potrošnje tehnološkog goriva za određena vremenska razdoblja kao što su: smjena, dan, mjesec, godina. Time bi se količine potrošnje tehnološkog goriva uključivale u materijalne bilance procesnih tokova. Izvedene količine bi se dobivale putem zbrajanja pomoću odgovarajućeg informacijskog sustava.

6. Ispitivanje primjenskih karakteristika ulja za loženje

Pored navedenih osnovnih namjena kao što su praćenje kvalitete izgaranja, bilanciranje materijalnih tokova, ovaj sustav se može koristiti i za objektivno vrjednovanje primjenskih karakteristika različitih tipova ulja za loženje i to stoga, jer svojstva ulja za loženje tj. viskoznost, kemijski sastav i drugo, utječu i na kvalitetu izgaranja i na učinkovitost pri izmjeni toplinske energije (čistoća ogrjevnih površina), što sve direktno utječe na vrijednost toplinskog stupnja djelovanja.

Tu dakako spada i objektivno ocjenjivanje učinkovitosti različitih dodataka za poboljšanje izgaranja koji se danas sve više koriste, a osobito u primjeni teških ulja za loženje.

U nastojanju da se što veći dio proizvodnje realizira u obliku više vrijednih, lakših produkata, istovremeno uz sve veću brigu o zaštiti okoliša, realno je očekivati i sve veće korištenje ove funkcije predloženog sustava.

7. Umjesto zaključaka

- U Rafineriji nafte Sisak uspostavljen je sustav za upravljanje potrošnjom tehnološkog goriva u procesnim pećima preko toplinskog stupnja djelovanja i u tijeku je njegovo uvođenje u funkciju.

- Navedeni sustav je koncipiran tako da putem izračunavanja stvarne vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja omogućuje:
 - stalnu i pouzdanu kontrolu loženja procesnih peći,
 - utvrđivanje stvarnih količina potrošnje pojedinih tipova tehnološkog goriva kao što su plin i ulje za loženje.
- Uvođenjem pojma zadanog toplinskog stupnja djelovanja, kao i pojma dodatne potrošnje tehnološkog goriva, koja se izračunava na temelju razlike između zadane i stvarne vrijednosti toplinskog stupnja djelovanja, stvoren je mehanizam za objektivno vrednovanje (kvantifikaciju) kvalitete loženja procesnih peći.
- Predložen je način prikazivanja putem kojega će pripadnici svih razina rukovođenja moći imati pouzdan uvid u kvalitetu loženja procesnih peći s odgovarajućim kvantitativnim pokazateljima.

SYSTEM FOR FUEL CONSUMPTION CONTROL IN PROCESS HEATERS THROUGH HEATER EFFICIENCY

Abstract

Fuel consumption control system in process heaters has been developed in the Sisak Refinery in order to create reliable fire control in process heaters and subsequently the control over all flows for process heaters. It is assumed that reliable fire control is the main prerequisite for rational fuel consumption in process heaters. The system has been established to continuously calculate the following for each process heater:

- real values of heater efficiency,*
- total fuel consumption expressed in equivalent units of fuel oil,*
- real fuel gas consumption quantity.*

The fire control is performed by means of heater efficiency because this value is influenced by both, the combustion quality (flue gas composition) and the heat transfer efficiency

(flue gas temperature). In addition to fire control, the value of heater efficiency has been used for calculating fuel consumption by means of absorbed heat quantities. In calculating of fuel gas consumption the real heat value is taken into consideration. Including in calculation the notion of target heater efficiency as well as the notion additional fuel consumption calculated on the basis of difference between target and real heater efficiency values, the possibility has been created to evaluate fire quality in each process heater objectively.

Since the system is based on real heater efficiency values, it could be used for objective evaluation of application features of various, first of all heavier fuel oils. In the same way the influence of various kinds of additives for combustion improvement could be evaluated.

1. Introduction

Energy consumption at oil processing comes second after crude oil costs in the operational costs structure. This consumption considerably depends on the complexity of the technological processing scheme, in the case of the Sisak Oil Refinery amounting to around 10%. Therefore, we are here dealing with high energy consumption realized through a quite complex production and distribution model of all energy forms primary thermal energy, water vapour, electricity.

Since energy consumption has a direct environmental impact, any reduction in its consumption, apart from exercising a considerable influence on the operational costs, will also bear a positive impact on the environmental pollution reduction - an issue which is, quite justifiably, daily gaining in importance. One among the main preconditions for reducing energy consumption is the establishment of a reliable control system in all the phases of energy generation, distribution and consumption. The basic precondition for a successful functioning of such systems is their simplicity and efficiency i.e. their ability to supply the entire techno-economical management pyramid from the immediate operator to the company management with timely and reliable information concerning concrete energy consumption based on a minimal set of data. The basic assumption for the elaboration of such systems is in turn a powerful informatical backup,

capable of timely processing a large amount of data and reducing them to a minimal number of transparent indicators.

The topic of the present paper is the elaboration of a system for monitoring and managing fuel consumption in process heaters i.e. a system for monitoring the entire energy consumption. In other words, we are talking about the system for fuel consumption control in process heaters through heater efficiency which has been elaborated at the Sisak Refinery in 1999, and whose gradual introduction, depending on the level of technical equipment – (process analyzers of combustion flue gas, computer backup) has been proceeding since the second half of 1999.

2. The Basic Properties of Good Quality Process Heaters' Stoking

The largest part of total energy consumption at the Sisak Refinery (and other refineries) refers to fuel consumption at process heaters' stoking. It is therefore only natural to expect that the establishment of a reliable and efficient control over this particular segment of energy consumption could achieve the greatest effects in the reduction of energy consumption costs. All the more so, since this particular part of energy consumption is, through material balances of total process flows, directly associated with burner losses.

At technologically defined volume of absorbed heat, the fuel consumption of a given process heater depends on the heater efficiency of the said heater. The basic parameters influencing the value of heater efficiency are combustion quality and efficiency at heat transfer. Namely, cheaper, heavier i.e. poorer quality fuel requires a greater oxygen volume for optimal combustion and generates more residue on heated surfaces, rendering heat transfer more difficult. Both of these things bear a negative impact on the process heater's efficiency. On the other hand, the stoker may, with the quality of his work, influence heater efficiency, by maintaining the necessary fuel oil temperature controlling viscosity, adjusting an optimal fuel/air ratio, and keeping the heater's heating surfaces clean. In other words, by the quality of his work, the stoker may directly influence fuel consumption.

However, in order for the principled claim of the stoker's immediate influence on fuel consumption i.e. the cost effectiveness of process heaters to become reality, the stoker must be provided with a mechanism through which he will have a true insight into the quality of stoking. In real refinery practice, good quality stoking is based on the following two things:

- as high a heater efficiency as possible,
- as high a share of gas at heater stoking as possible.

The object of the present paper is precisely the elaboration of such a system, which will be based on the fact that the heater efficiency is defined by combustion quality, as well as by the volume and temperature of flue gases at the exit of the furnace, while, at the same time, combustion of as high a gas volume as possible means lower volume at the burner i.e. less loss.

Since combustion quality and flue gas volume may be determined through the analysis of flue gases, all the necessary data for determining heater efficiency thus become available. If we add also the considerable computer backup available, we have at our disposal all the elements necessary for the elaboration of an efficient system for managing fuel consumption at process plants.

The system efficiency means that the relevant data are being analyzed timely and thoroughly. To give an example, good combustion quality (low O₂ and CO) may be obtained at a given moment, but, if all this is happening at high combustion flue gases' temperature, it does not at the same time mean also a satisfactory value of the heater efficiency. We must bear in mind that the output temperature lowering by around 16⁰C (at O₂=6%) results in 1% higher heater efficiency. The same goes for the flue gas temperature. It may be ranging on the level of project values, but, if this is achieved with the high level of flue gases high O₂, this again results in unsatisfactory values of the heater efficiency. We must bear in mind here that 1% of O₂ in combustion flue gas results in the following heater efficiency reduction: 0.75% at t=200⁰C; 1% at t=300⁰C, and 1.4% at t=400⁰C.

3. The System's Basics

This system for fuel consumption control in process heaters is based on the following:

- real value of the process heater efficiency,
- regardless of fuel types (gas, fuel oil) or their volume ratios at the stoking of a given process heater at a given moment, the first step in consumption determination is the calculation of total fuel consumption in the equivalent units of fuel oil,
- while determining real gas volume when stoking a given process heater, one should take into account the real gas heat value,

- quantification of the stoking quality is made by calculating an “additional” quantity of fuel consumption, taking into account physical condition and drive conditions of every process heater by introducing into calculation the notion of the heater efficiency “given” value.

3.1. Real Values of Heater Efficiency

In the final solution, when the flue gas process analyzers are functional, and when a corresponding computer backup is elaborated, it shall be possible to calculate the real heater efficiency value on the basis of actual flue gas temperature and composition (O_2 , CO) values, according to the API 532 methodology. Until then, values calculated in advance can be used, which are to be introduced manually into the computer processing system. These values were also calculated according to the API 532 methodology and feature in table 1. The same values are presented graphically in figure 1. The said values were calculated on the assumption that radiation losses at process heaters amount to 2.5% (according to the references, 1-4%).

3.2. Fuel Consumption in Equivalent Units of Fuel Oil

Since process heaters are stoked in various fuel oil/gas ratios, and since gas – in dependence of its chemical composition – has different heat values, in order to come up with an objective picture of the stoking quality of each process heater, and for the purpose of creating the possibility of an objective evaluation of these qualities, total fuel consumption of all heaters must be reduced to a common denominator i.e. expressed in uniformly defined units. In this case, it is the equivalent unit of fuel oil with the heat value of $H_{de} = 40,600$ kJ/kg.

Total fuel consumption in the equivalent units of fuel oil is calculated according to the equation (1), where:

G_{tHX} (kg/h) – real total fuel consumption in equivalent units of fuel oil at process heater HX,

GSX_{st} (kg/h) – real SX section capacity,

GSX_{pr} (kg/h) – SX section designed capacity,

$QH_{X_{aps}}$ (kJ/h) – project value for the absorbed heat volume of the HX process plant,

$H_{de} = 40,600$ (kJ/kg) – heat value of the equivalent unit of fuel oil, to equivalent units of fuel oil

η_s – real value of the HX process plant heater efficiency.

3.3. The Real Gas Consumption Volume

Although the information on total fuel consumption in equivalent units of fuel oil calculated under the previous item is quite sufficient in terms of stoking quality monitoring, of great importance for the refinery practice are also the data on real volumes of each individual fuel type i.e. the data on real values of fuel oil and fuel gas. The reason for this lies in the fact that these volumes are necessary for closing the material balances of total process flows on corporate level. When the data on total fuel consumption in equivalent units are available, since, as a rule, there are data on fuel oil consumption on the level of each process heater, it is possible to calculate real gas consumption volume for each process heater, according to the following formula (2), where:

G_{tpHX} (kg/h) – real gas volume at process heater HX,

G_{tuHX} (kg/h) – fuel oil consumption volume at process heater HX,

f_{gor} – fuel factor, the ratio between the real gas heat value and the equivalent unit of fuel oil, 40,600 kJ/h.

By introducing the notion of “fuel factor” (f_{gor}) into the formula for calculating real gas consumption, we are taking into account the real gas heat value. This is needed because the chemical composition and hence also the heat values considerably differ in dependence of the process in which individual gas flows are generated, within the refinery’s complex technological outline. In the case of the Sisak Refinery, the fuel factor values range from 0.94 (gas from FCC) to 1.49 (hydrogen from the reforming), which means that their mutual difference in heat values is as much as 59%. Different basic flow blends are coming to the process heater burner units and steam generators, which means that their heat values also differ considerably. Since, for the ensurance of thermal energy in the process plant, it is not the gas mass that counts, but rather the heat volume carried by it, it proceeds from the above data that the gas being 5% ($f_{gor}=1.05$) more powerful in terms of energy supply than fuel oil cannot have the same treatment as that which is 20% ($f_{gor}=1.2$) more powerful than it. Hence, the proposed system for fuel consumption control in process heaters is based on real heat values i.e. on real fuel gas factor values.

3.4. Additional Fuel Consumption

Additional fuel consumption means the difference between real fuel consumption at real heater efficiency value and the consumption which would

be achieved if the process heater were operating with the given heater efficiency value. In other words, additional fuel consumption is the volume of possible fuel saving.

As the given heater efficiency value, we usually use the designed value. However, for the purpose of as objective a presentation as possible, instead of designed value, the given value may be some other lower value, taking into account the physical condition of the process heater, the plant's operating capacity, fuel quality, and so on. Additional fuel consumption is calculated according to the following formula (3), where:

ΔG_{teHX} (kg/h) - additional fuel consumption volume at the process heater

HX in equivalent units of fuel oil,

η_z (%) - given value of the HX process plant heater efficiency,

η_s (%) - real value of the HX process plant heater efficiency.

4. The Manner of Condition Presentation in Terms of Process Heaters Operation and Fuel Consumption

The basic goal of the above defined procedures for calculating individual parameters of the process heaters' stoking quality is for them to offer at any given moment a reliable picture on the quality of the said stoking. For this to be possible, it is necessary, using an adequate information system, to continuously turn numerous data into transparent indicators, based on which the experts of every segment of the management pyramid will be able, if necessary, to undertake efficient measures in order to improve the existing condition.

It is up to the company management and the information system project what kind of presentation will be introduced into everyday practice. We are here listing only one of the possible manners of presentation, given in table 2 under the title of the process heaters stoking picture. The said presentation has two basic characteristics: To encompass all process heaters as basic units with the corresponding organizational units and to present the current condition.

Apart from the project values for the basic properties, the values for given heater efficiency were also indicated for all process plants (Column 10). Since the purpose of introducing given values for heater efficiency is the inclusion into the calculation of existing process heaters' conditions (physical condition, operating capacity, fuel quality, and so on), in real application, these values will differ from those indicated in the project. However, in this case, for

simplicity sake, we have applied a uniform criterion for all process heaters, by reducing project values by 3%. The data in table 2 are shaped in such a way as to offer the necessary data to the experts on all levels of the management pyramid. Let us see how these data may be of use to the experts on the three levels: stoker, plant manager and production manager.

Stoker. The basic purpose of this system is precisely providing the stoker with timely and reliable information on stoking quality, so that he, as the immediate operator, could - if necessary - undertake the corrective measures required. In order to get this picture, it is sufficient to check, for a given process heater, the real heater efficiency value (Column 11). If this value is on the level of or above the given value (Column 10), which is immediately visible based on their ratio (Column 13), the stoker may be satisfied with the existing state. On the contrary, in case that the real value is poorer than the given heater efficiency value, it is necessary to find out the reasons for such a situation and then undertake corrective measures. Possible reasons may also be observed in the enclosed Table. This may be an excessive air volume at combustion, resulting in high oxygen share in combustion flue gas (Column 8), or too high a temperature of flue gas (Column 7). There are corrective measures for any of these deficiencies, which the stoker should undertake immediately, thus preventing unnecessary waste of fuel.

Plant manager. On this level, it is sufficient to look at the real condition, in terms of additional consumption (Column 20). The following condition in terms of additional consumption has also been presented in table 2:

- plant A: - 39.7 kg/h
- plant B: 81.2 kg/h
- plant C: 214.0 kg/h
- plant D: 17.5 kg/h

Mathematically expressed negative value for additional consumption in this case means saving, and so the plant manager may be satisfied with the current condition of process heaters. As regards other plants, the additional consumption volumes have positive values, which should point to the need of sample analysis and undertaking of the necessary measures.

Production manager. There is no doubt whatsoever that the most interesting piece of information for this particular level is that on total fuel consumption (Column 20), in this case amounting to 273.0 kg/h. It is the matter of real practice, physical condition of the processing units, operating capacity, fuel type, the given heater efficiency, whether the existing state shall

be evaluated as satisfactory or not. The basic thing is that, in the case of a negative evaluation, from this particular level of management, it is possible to immediately identify the underlying cause. Namely, if we go upwards in the said column, we obtain an insight into the additional consumption volume on the level of individual plants and process units. If we wish to identify the cause of additional consumption on the level of a process heater, it is sufficient to move to the left in the corresponding row, in order to establish whether this is caused by excessive air quantity (high O_2 -Column 8) or poore heat exchange, resulting in increased flue gas temperature (Column 7).

5. Derived Fuel Consumption Volumes

The data in table 2, apart from their basic purpose to provide a reliable picture on the quality of process heaters stoking, may serve as the basic data for calculating derived fuel consumption volumes for certain periods, such as: shift, day, month, year. The fuel consumption volumes would thus be included into the process flows' material balances. The derived volumes would be obtained through calculation, using an adequate information system.

6. Testing of the Fuel Oil Application Properties

Apart from the above mentioned basic purposes (monitoring of combustion quality, balancing of material flows), the system may also be used for an objective evaluation of the application properties of various types of fuel oil, primarily viscosity. The reason for this is because, as has already been said, the fuel oil quality, viscosity, chemical composition, impacts combustion quality and heat exchange efficiency through cleanliness of the heated surfaces, all together directly influencing the heater efficiency value. Here we should include also the objective evaluation of the efficiency of various combustion improvement data, increasingly used today, especially in the application of extremely heavy fuel oils. Aiming at realizing as high a portion of the production as possible in the form of higher value products, with a simultaneous maximum environmental protection concern, it is realistic to expect that this particular function of the suggested system will also be increasingly used.

7. In lieu of conclusions

- A system for fuel consumption control in process heaters through heater efficiency has been established at the Sisak Oil Refinery, and is now being introduced into operation.

- The said system has been conceived in such a way as to enable through the calculation of the real heater efficiency value the following:
 - constant and efficient process heaters stoking control,
 - establishment of real consumption volumes of individual fuel types, such as gas and fuel oil.
- By introducing the notion of the given heater efficiency, as well as the notion of additional fuel consumption – calculated on the basis of the difference between the given and the real heater efficiency value – we have created a mechanism for an objective evaluation of the process heaters stoking quality.
- We have suggested on the screen way of presenting the condition associated with the process heaters stoking as to provide all the management pyramid levels with a reliable insight into the process heaters stoking quality with quantitative indicators of additional consumption.

Literatura / References:

1. BOŠNJAKOVIĆ F., Nauka o toplini, dio prvi, Tehnička knjiga, Zagreb, 1962.
2. Mjerenje toplinskog stupnja djelovanja procesne peći, priređeno prema API 532, Recommended Practice, First Edition, August 1982.

Ključne riječi:

665.6.041 procesne peći
.003.13 gledište troškova
662.753 tekuća goriva naftnog porijekla
662.767.7 plinovita goriva naftnog porijekla
662.611.2 stehiometrijski odnosi izgaranja
662.613.53 sastav dimnih plinova
662.614.2 toplinski učinak
662.612-5 vođenje procesa izgaranja

Key words:

process heaters
costs standpoint
petroleum liquid fuels
petroleum gaseous fuels
stoichiometrical combustion conditions
flue gasses composition
heating efficiency
combustion regulation

Autori / Authors:

Milan Vanić, Janko Moše, Boro Kocijančić, Željko Vuković
INA - Rafinerija nafte Sisak

Primljeno / Received:

02.12.2000.