

VÝMENA DESTILAČNEJ PECE F1

Peter MEZZEY, Tomáš BETÁK

Anotácia

Spoločnosti SLOVNAFT a.s. prevádzkuje celkovo 39 priemyselných rúrkových pecí, ktoré sa využívajú na ohrev, alebo štiepenie uhľovodíkových látok. Najstaršia pec sa postavila v roku 1967 a najnovšia v roku 2003. Pece rovnako ako všetky zvyšné zariadenia podliehajú opotrebeniu a starnutiu. Vzhľadom na striktno plánovaný prevádzkový harmonogram je náročne nájsť spoločný prienik medzi rozsahom rekonštrukcie a časovým priestorom na výkon prác. Výmena destilačnej pece F1 je pre nás vzorovým projektom ako pristupovať k novým výzvam z novej perspektívy.

Kľúčové slová: Priemyselná rúrková pec, spracovanie ropy, optimalizácia

1. Opis pôvodnej destilačnej pece F1

Destilácia je vstupnou bránou ropy do rafinérie SLOVNAFT a.s., pričom samotná destilácia je fyzikálna separačná metóda kvapalných zmesí založená na rozdielnej prchavosti jednotlivých zložiek zmesí (frakcií - teda užších rezov uhľovodíkov). Rafinéria Slovnaft denne spracováva približne 17000 ton ropy čo ročne predstavuje 6 miliónov ton.

Využiť rozličnú prchavosť jednotlivých frakcií je možné ďalším zahriatím ropy zo vstupnej teploty napr. 250°C na výstupnú teplotu 360°C pri maximálnom tlaku 0,64 MPa na vstupe. Tieto podmienky vieme dodržať za pomoci atmosférickej destilačnej pece F1, ktorú možno kategorizovať ako vertikálnu valcovú pec pozostávajúcu z nasledovných hlavných častí: konvekcia, radiácia, spalínovod. Ohrev nám zabezpečuje 12 kusov podlahových horákov, ktoré odovzdávajú teplo do pecných rúr radiáciou – žiarením v radiačnej komore a konvekciou - prúdením v konvekčnej komore. V prípade pece F1 sa využíva aj zvyškové teplo na výrobu pary v parnom module konvekčnej časti pece.

Pôvodná destilačná pec F1 bola v prevádzke od roku 1967 čo predstavuje 55 rokov a spracovala približne 130 miliónov ton ropy, ktorá vstupuje do konvekčnej sekcie cez 4 prúdy kde sa ropa zohreje z 250°C na 340°C, následne cez vonkajšie prechodové rúry vstupuje médium do radiačnej komory pozostávajúcej z 20 kusov radiačných rúr (celkovo 80 kusov) o dĺžke 23 metrov, kde sa zohreje ropa na požadovaných 360°C. Výška pece je cca 30,5 metra a jej vonkajší priemer približne 8,5m.

Pôvodný nástrek pece bol 240 ton/hod, ktorý bol rokmi zdvihnutý až na súčasných 325 t/hod. Materiál radiačných rúr bol navrhnutý podľa normy STN 41 7102, značka 17 102.2 t.j. 5Cr-½Mo s rozmerom 168,3 x 8,0 mm. V revíznej knihe je podľa projektu uvedená odhadovaná životnosť rúr 10 rokov. Radiačné rúry sú pospájané tzv. headrami, ktoré sú uložené v headrových komorách. Headre boli vyrobené z oceľoliatiny, z hľadiska chemického zloženia sa jedná o podobný materiál ako rúry typ 5Cr-½ Mo. Spoje rúra - header boli riešené zavalcovaním.

2. Technický stav pece F1 pred výmenou

Pri každom odstavení pece sa vykonáva podrobná vnútorná a vonkajšia kontrola zariadenia pracovníkmi Slovnaft a.s. Každá z 39 priemyselných rúrkových pecí podlieha osobitému prístupu a na základe zohľadnenia poznatkov z jej prevádzkovania ako aj doterajších zistení je pre každú pec vypracovaný osobitý inšpekčný plán, prehodnocovaný vždy na základe poslednej vykonanej kontroly zariadenia.

Destilačná pec F1 nám už v roku 2017 na základe technického stavu indikovala, že bude nevyhnutné vykonať rozsiahlu rekonštrukciu s cieľom výmeny radiačných rúr.

Radiačné rúry vplyvom prevádzky koksujú, jedná sa o proces ukladania sa uhlíkových zvyškov na vnútornom povrchu rúr počas zohrievania ropy (*Obr.1*). Koks má vynikajúce termoizolačné vlastnosti čím zhoršuje tepelný prestup rúr ako aj zvyšuje tlakovú diferenciu. Vo svojej podstate koks znižuje efektívnosť a zvyšuje energetickú náročnosť prevádzkovania zariadenia. Už v roku 2017 sa na radiačných rúrach objavili prvé spálené plochy, ktorých počet do roku v 2019 narástol práve z dôvodu zakoksovania (*Obr.2*). Zo spálených plôch boli odobrané repliky a došlo k premeraniu tvrdostí, ktorých výsledkom bolo zistenie vyžihania radiačných rúr na mäkko. Na niekoľkých rúrach bol zistený rozdiel tvrdostí od 102HB až po 156 HB.

Pri vizuálnej kontrole radiačných rúr bolo zistené ich prehnutie a početné vzájomné dotyky medzi rúrami, v dôsledku ich trvalého predĺžia o viac než 100mm čím došlo k dotyku medzi rúrou a dnom pece.

V roku 2017 boli vykonané merania hrúbok radiačných rúr vždy zo strany od plameňa a výšky meracích bodov sú v miestach s najvyššou intenzitou výžiarov. Výsledkom kontroly UTT boli zistené úbytky až 2 mm medzi bodom s najvyššou intenzitou výžiarov a vrchom rúry. Takto získané hodnoty boli porovnané s výpočtom minimálnej hrúbky v zmysle americkej normy API 530 (Calculation of Heater-tube Thickness in Petroleum Refineries) s výsledkom veľmi blízkym k minimálnej hrúbke steny radiačných rúr.

V peci bola žiaru-betónová výmurovka na všetkých stenách radiačnej komory, vplyvom prevádzky a jej veku došlo k početným prasklinám a vypadnutiu betónových lôžok. V rokoch 2008 a 2012 sa v dvoch etapách vykonala oprava výmurovky prelepením a doplnením výmurovky z sklo-keramických vlákien, čím sa znížila nutná vzdialenosť medzi radiačnými rúrami a výmurovkou, toto riešenie malo za následok zníženie tepla výmennej plochy v radiačnej komore.

Konvekčná sekcia bola menená v roku 1995, čo predstavuje 28 rokov prevádzky. V čase plánovanej rekonštrukcii mala vymenená konvekčná sekcia 27 rokov čo zodpovedá pôvodnej. Konvekcia ako taká je prakticky nekontrolovateľný výmenník (*Obr.3*), po jej odstrojení od viak sú viditeľné len 180° kolená a cca 100 mm hladkej rúry, zvyšný povrch rúr sa nachádza za rúrkovnicou kde je zväčša povrch rebrovaný čím je zabezpečená zväčšená teplo výmenná plocha (*Obr.4*). Rovnako tak rokmi dochádza k zaneseniu rebier čím sa znižuje jej činnosť a jej čistenie je nesmierne náročný proces, pri ktorom hrozí poškodenie výmurovky.

Následne v roku 2019 došlo k mimoriadnej udalosti malého požiaru, keď počas prevádzky došlo k perforácii horného headra radiačných rúr (*Obr.5*). Ich úlohou bolo selektívne čistenie zakoksovaných rúr, ktoré nebolo využívané nakoľko nie je zaručené opätovné zatvorenie headra.

Počas septembra 2020 sme zistili silné zakoksovovanie radiačných rúr, ktoré bolo monitorované termovíznou kamerou vždy pri zmene nástreku, alebo v prípade ustálenej prevádzky 1x za mesiac. Na základe termovízie sa upravovali prevádzkové parametre v peci tak, aby nedošlo k ohrozeniu ľudí a majetku prevádzky. Maximálne spotové teploty boli až 670°C pri materiály 5Cr-½Mo čo predstavuje teplotu vysoko v creepovej oblasti. Počas apríla 2021 sme vykonali parovzdušné odkoksovovanie pecných rúr. Samotný proces odkoksovania bol rizikový a aby sme dosiahli vypálenie koksu sme museli udržiavať maximálne teploty v intervale medzi 650 až 705 °C (Obr.6).

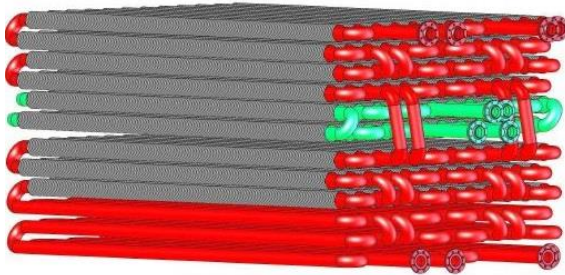
Na základe týchto zistení sme sa rozhodli pre kompletnú rekonštrukciu pece aj napriek pôvodnému menšiemu rozsahu kde sa uvažovalo s ponechaním plášťa radiačnej komory.



Obr.1 Nánosy koksu na vnútornom povrchu radiačných rúr.



Obr.2 Spálený povrch radiačných rúr v dôsledku koksovania.



Obr.3 Vizualizácia konvekčnej časti pecných rúr. Červená farba predstavuje – uhľovodíky Zelená časť predstavuje výrobu pary [1]



Obr.4: Fotografia z inšpekcie konvekčnej sekcie.



Obr.5 Perforácia na hornom headre radiačných rúr



Obr.6 Fotografia rozžiarených rúr počas odkoksovania 04/2021

3. Základné požiadavky na novú pec

Prvou a najdôležitejšou podmienkou bolo, že pec v dôsledku rekonštrukcie nesmie zmeniť svoju výšku, v opačnom prípade by sa projekt rozrástol o úpravu spalinovodu.

Na základe svetových trendov a jedinečnej možnosti kompletnej rekonštrukcie pece sme sa rozhodli vykonať zvýšenie materiálovej triedy pecných rúr z pôvodnej 5Cr-½Mo na A335 Gr.P9 (9Cr-1Mo). Táto zmena nám garantuje vyššiu odolnosť voči vysokoteplotnej sulfidácii ako aj vyššiu tepelnú odolnosť rúr v prípade koksovania radiačných rúr.

Ako bolo spomenuté už v časti Technický stav pece pred výmenou headrov na radiačných rúrach sú vysokým HSE rizikom, vzhľadom na to, že sú uložené mimo radiačnú komoru, ťažko sa dajú kontrolovať najmä z dôvodu veľmi zlej dostupnosti a sú vysokým rizikom zdroja netesnosti a pre prípad, že by sme sa chceli vyhnúť náročnému odkoksovaniu nie je možné ich krtkovanie. Do nového projektu sme požadovali úpravu plášťa radiačnej komory tak, aby horné aj dolné kolena radiačných rúr boli v spoločnom priestore.

Vzhľadom na vek konvekcie a prepočtov korózných rýchlostí v zmysle americkej normy API 571 (Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry) sme považovali výmenu konvekcie za nevyhnutnú, nakoľko akékoľvek zlyhanie konvekcie na destilačnej peci má za následok dlhodobý vplyv na prevádzkovanie celej rafinérie.

V konštrukcii konvekcie sa vytvoril priestor a dobudoval sa vlez, ktorým v prípade potreby môžeme vykonávať robotické čistenie konvekčných rúr. Jedná sa o riadený proces, kde diaľkovo ovládateľný stroj vymýva rebrovania rúr vysokým tlakom roztoku, pričom nedôjde k poškodeniu výmurovky. Čistota konvekcie je nevyhnutná keďže sa 70 až 80% tepla odovzdáva práve v nej.

V peci je celkovo 12 kusov zastaralých horákov, ktoré chceme prehodnotiť a nahradiť novými tak, aby sa dosiahlo zníženie NOx z pôvodných 200 mg/m³ pod hranicu 90 mg/m³.

Pôvodná výmurovka zo žiarubetónu je popraskaná a vypadaná. Menšími rekonštrukciami sme docielili uspokojivý stav aj napriek zníženiu teplo výmennej plochy radiačných rúr. Našou požiadavkou bolo realizovať novú výmurovku, ktorou bude pec efektívnejšia a znížime požiadavky na energetickú náročnosť pri dodržaní požiadavok na povrchovú teplotu plášťa pece v zmysle MOL GROUP STANDARDS pod 60°C.

4. Realizácia

V roku 2019 bol Slovnafte realizovaný veľmi podobný projekt, ktorým došlo k rekonštrukcii pece podobných rozmerov, ale s menším rozsahom projektu (zachovaný plášť, horákový systém, konvekcia), jednotlivé strojné časti boli nahrádzané novými dielmi napr. radiačné rúry, strop radiačnej časti, výmurovka, atď. Počas rekonštrukcie nás prekvapilo pomerne veľké množstvo revízných nálezov. Vďaka veľmi dobre fungujúcemu projektovému tímu sa nám podarilo aj napriek týmto nálezom stihnúť odstávku výrobných jednotky v dĺžke trvania 60 dní.

V počiatočnej fáze projektu výmeny pece F1 sme mali rovnaký prístup k jednotlivým činnostiam do doby, kým sme sa dostali k vypracovávaniu harmonogramu. Realizačný čas nutný na celý rozsah projektu pri dodržaní kvality prác predstavovali optimistických 75 až 80 dní, pričom plánovanie výroby Slovnaftu poskytlo 54 dní na údržbu a to nás priviedlo k hľadaniu novej perspektívy riešenia za hranicami zaužívaných a overených postupov. Ako už bolo spomenuté destilačná jednotka je tým prvým krokom v reťazci spracovania ropy a každý jeden deň omeškania by ovplyvnil desiatky výrobných jednotiek a spôsobil obrovské straty na výrobe.

V roku 2019 nám z celkového trvania projektu zabrala výmena výmurovky skoro 14 dní k čomu sa pripojili ďalšie nálezy ako strata ovality valcovej časti radiačnej komory a s tým spojená zmena geometrie hornej príruby, ku ktorej sa mal pripojiť pôvodný medzikus medzi radiáciou a konvekciou.

Na základe ponaučení z roku 2019 sme sa rozhodli pre kompletnú výmenu pece a to výstavbou novej v tesnej blízkosti existujúcej. Nakoľko oživenie takto novo postavenej pece je časovo náročnejšie, došlo k rozhodnutiu využitia pôvodnej pozície, to znamená, že v priebehu 54 dní sme mali demontovať pôvodnú pec a na jej miesto presunúť novú.

Aby bolo možné vykonať takýto presun zariadení bol na stavbe potrebný 750 tonový žeriav, privezený na 36 kamiónoch a jeho samotná stavba trvala 7 dní. Okrem tohto žeriava boli využívané ďalšie, ktorými sa riešili menšie zdvihy, ako aj odstrojenie potrubí, elektro a MaR častí.

Demontáž pôvodnej pece bola navrhnutá tak, aby sa odstránila pec v čo najväčších dieloch, ktoré boli demolované a odvázané priamo zo staveniska. Pri samotných dieloch sa bral ohľad na technický stav pôvodnej betónovej výmurovky, ktorá sa mohla uvoľniť v dôsledku deformácie plášťa pece počas zdvihu čo sa nám podarilo minimalizovať fixačnými prípravkami.

Ako prvý sa demontoval pôvodný spalínovod, následne konvekcia a radiačné rúry. Radiačná časť plášťa pece, bola najrizikovejšia nakoľko predstavoval veľkú váhu cca 80 ton ocele a 100 ton betónovej výmurovky, kde hrozilo jej uvoľnenie. Z uvedeného dôvodu sa pristúpilo rozrezaniu radiačnej časti plášťa pece vodným lúčom na 4 kusy bez demontáže výmurovky (Obr.7 a Obr.8). Z kompletnej demontáže starej pece vzniklo 200 ton železného odpadu a 130ton výmurovky.



Obr.7 Demontáž ¼ radiačnej časti pece.



Obr.8 Položenie ¼ radiačnej časti na miesto demolácie

Po odstránení pôvodnej pece zo svojej pozície došlo k zosilneniu pôvodných základov, ktoré boli v zmysle prepočtov vyhodnotené ako nedostatočné. Prípravné práce boli vykonané ešte počas chodu starej pece a po jej demontovaní došlo k montáži výstuže, debnenia a následnej betonáži.

Radiačná sekcia novej pece F1 bola postavená v tesnej blízkosti pôvodnej pece na novovybudovaných základoch ešte pred odstavením výrobné jednotky (Obr.9). Jednalo sa o valcový plášť s výmurovkou zo sklo-keramickej vlákny na vertikálnej stene a stropu pece. Dno radiačnej sekcie pece bolo izolované žiaruvzdorným betónom. Plášť bol vyzbrojený kompletnými radiačnými rúrami, rebríkmi, plošinami ako aj novými potrubnými rozvodmi. Takto vyzbrojený plášť predstavoval celkovú váhu 205 ton a bol presunutý na pozíciu v jednom diely (Obr.10).



Obr. 9 Výstavba novej radiačnej časti



Obr.10 Nová radiačná časť, kompletne vyzbrojená a pripravená na presun

Konvekčná časť pece bola vyrábaná v dielni zhotoviteľa z dvoch samostatných dielov (Obr.11), ktoré boli presunuté na stavenisko tesne pred montážou a ich spoločná váha predstavovala 55 ton. Po umiestnení konvekčných modulov na svoju pozíciu bolo nutné vykonať zváranie vnútorných prepojovacích rúr v rámci konvekčných modulov ako aj vonkajších medzi radiáciou a konvekciou.



Obr.11 Nový konvekčný modul v dielni zhotoviteľa

Nakoľko sú pecné rúry realizované z materiálu A335 Gr.P9 (9Cr-1Mo) boli všetky zvary vyžíhané a požadovala sa na nich 100% RTG kontrola. Všetky zvary boli vyhodnotené ako vyhovujúce aj vrátane 32 pozičných zvarov realizovaných už na trvalej pozícii pece. Okrem uvedených zvarov sa na stavbe realizovali ďalšie zváracie činnosti na potrubiach pary, vykurovacieho plynu, atď. Vo všeobecnosti možno povedať, že zvárací plán bol nastavený na minimalizáciu pozičných zvarov.

Po osadení spalínovodu na pozíciu už neboli vykonávané veľké zdvihy a práce sa zamerali na napojenie potrubných rozvodov do prevádzky, inštaláciu elektro a MaR zariadení a ďalej sa pracovalo na oživovaní pece.



Obr.12 Pôvodná 55 ročná destilačná pec F1



Obr.13 Nová destilačná pec F1 spustená do prevádzky 06/2022

5. Záver

Počas roku 2022 sme mali generálnu odstávku na celkovo 31 výrobných jednotkách, na ktorých sa spolupodieľalo celkovo 300 interných pracovníkov z 27 oddelení a 3000 externých pracovníkov.

Príprava a realizácia projektu výmeny destilačnej pece F1 bola v trvaní 3 roky a s ním spojené náklady sú v hodnote 8,5 mil. EUR. **Na projekt bolo dedikovaných celkovo 54 dní pre údržbu a vďaka vysokej angažovanosti a racionalizácii prác sa podarilo projekt skrátiť na 51 dní a výrobnú jednotku nabehnúť o 1 deň skôr.** Skrátenie trvania projektu bolo možné aj vďaka veľkému dôrazu na kvalitu a dôslednosti pracovníkov SLOVNAFT a.s. ako aj spoločností podieľajúcich sa na realizácii čo sa odrazilo napríklad aj 100% tesnosťou prírubových spojov.

Stavbou novej pece sa nám podarilo získať aj ďalšie benefity, ktoré by inak neboli možné, nakoľko nová pec bola navrhnutá v zmysle aktuálnych trendov z oblasti výroby a prevádzkovania pecí.

Zväčšili sme priemer pece, vďaka čomu má pec potrebné izolačné vlastnosti a zároveň spĺňa aj potrebnú vzdialenosť radiačných rúr od výmurovky čím sa zabezpečili ideálne podmienky na odovzdanie tepla médiu.

Znížili sme počet horákov z celkového množstva 12 kusov na 10 kusov, pričom nové horáky sú typu Ultra Low NOx čím sme získali historicky najnižšie množstvá NOx predstavujúce 68mg na 1m³.

Zrušením headrových komôr a presunutím 180° kolien do radiačnej komory sme zabezpečili lepšiu kontrolovateľnosť pece získali sme možnosť krtkovania, čo znamená, že v prípade koksovania pecí nie sme odkázaní na rizikové parovzdušné odkoksovávanie.

Došlo odstráneniu starej, popraskanej a ťažkej betónovej výmurovky a jej nahradeniu novou sklo-keramickou vlákninou, ktorej izolačné vlastnosti nám zabezpečujú dodržanie efektívnosti pece s minimálnou povrchovou teplotou plášťa pod 60°C aj pri teplote spalín cca 700°C.

Modernizáciou prešli aj nástrekové, pecné a transferové potrubia, ktoré sú navrhnuté z ocele s vyššou kvalitou ako boli pôvodné. Čím sme získali vyššiu odolnosť voči sírnym ropám.

Tento projekt bol pre nás všetkých obrovskou výzvou, nakoľko takto rozsiahle projekty počas odstávok, doposiaľ neboli v Slovnaft a.s. realizované. Zároveň sme sa týmto projektom presvedčili, že sa vieme ako tím zomknúť a ťahať za jeden povraz.

Záverom tohto článku sa chcem poďakovať prípravnému a realizačnému tímu za úspešne ukončený projekt.



Obr.14 Časť projektového a realizačného tímu po ukončení prác výmeny destilačnej pece F1.

Použitá literatúra:

- [1] TOMEK, M. – ODRAZIL, P.: Rekonštrukcia pece F1 na VJ AD5 Slovnaft Štúdia realizovateľnosti, CHEMPEX-HTE a.s. 08/2019

Autori:

Ing, Tomáš Beták
Odborný inžinier
SLOVNAFT a.s.
Vlčie hrdlo 1, 824 12 Bratislava
+421 914 775 508 E-mail: tomas.betak@slovnaft.sk

Ing, Peter Mezzey
Vedúci údržby
SLOVNAFT a.s.
Vlčie hrdlo 1, 824 12 Bratislava
Tel.: +421 908 754 884 E-mail: peter.mezzey@slovnaft.sk