

POSÚDENIE ŽIVOTNOSTI NOSNEJ KONŠTRUKCIE PARNÉHO KOTLA VYUŽITÍM ODPOROVEJ TENZOMETRIE

LIFESPAN ASSESSMENT OF CARRYING STRUCTURE OF STEAM BOILER BY STRAIN-GAGE MEASUREMENTS

František TREBUŇA¹, František ŠIMČÁK¹, Peter TREBUŇA², Juraj BAJUS¹,
Miroslav PÁSTOR¹, Ingrid DELYOVÁ¹

Abstrakt

V príspevku sú uvedené výsledky tenzometrickej analýzy napätosti nosnej konštrukcie parného kotla po generálnej oprave. Metodika merania bola navrhnutá tak, aby pri nábehu a prevádzke parného kotla bolo možné získať najdôležitejšie informácie potrebné pre stanovenie namáhania konštrukcie a pre následné posúdenie jej životnosti a spoľahlivosti.

Kľúčové slová: nosná konštrukcia parného kotla, teplotné napätia, tenzometrické meranie.

Abstract

In the paper are given results of strain-gage analysis of stresses in carrying structure of steam boiler after general overhaul. The methodology of the measurement was planned in order to gain the most important information for the determination of structure loads and consecutive assessment of its lifespan and reliability during start of work and normal operation.

Keywords: carrying structure of steam boiler, thermal stresses, strain-gage measurement.

ÚVOD

V súvislosti s generálnou opravou parného kotla bolo pracovisko autorov príspevku požiadané o analýzu napätosti vybraných prvkov nosnej konštrukcie (obr.1) s cieľom posúdenia jej zostatkovej životnosti [1]. Pri tvorbe metodiky merania sa vychádzalo zo skúseností získaných pri tenzometrických meraniach konštrukcie v rokoch 1997 [2] a 2001 [3].

Generálna oprava parného kotla prevádzkovaného od r. 1967 bola spojená s úpravami niektorých častí kotla a výmurovky, ktoré v konečnom dôsledku viedli k zníženiu statickej zložky namáhania nosnej konštrukcie (zníženie hmotnosti tepelnej výmurovky, znížený objem kotla). V dôsledku uvedeného hodnoty statických zložiek napätí určené v [3] tenzometrickou metódou odvrátania boli v plnom rozsahu prebrané s tým, že riešenie je na bezpečnej strane.

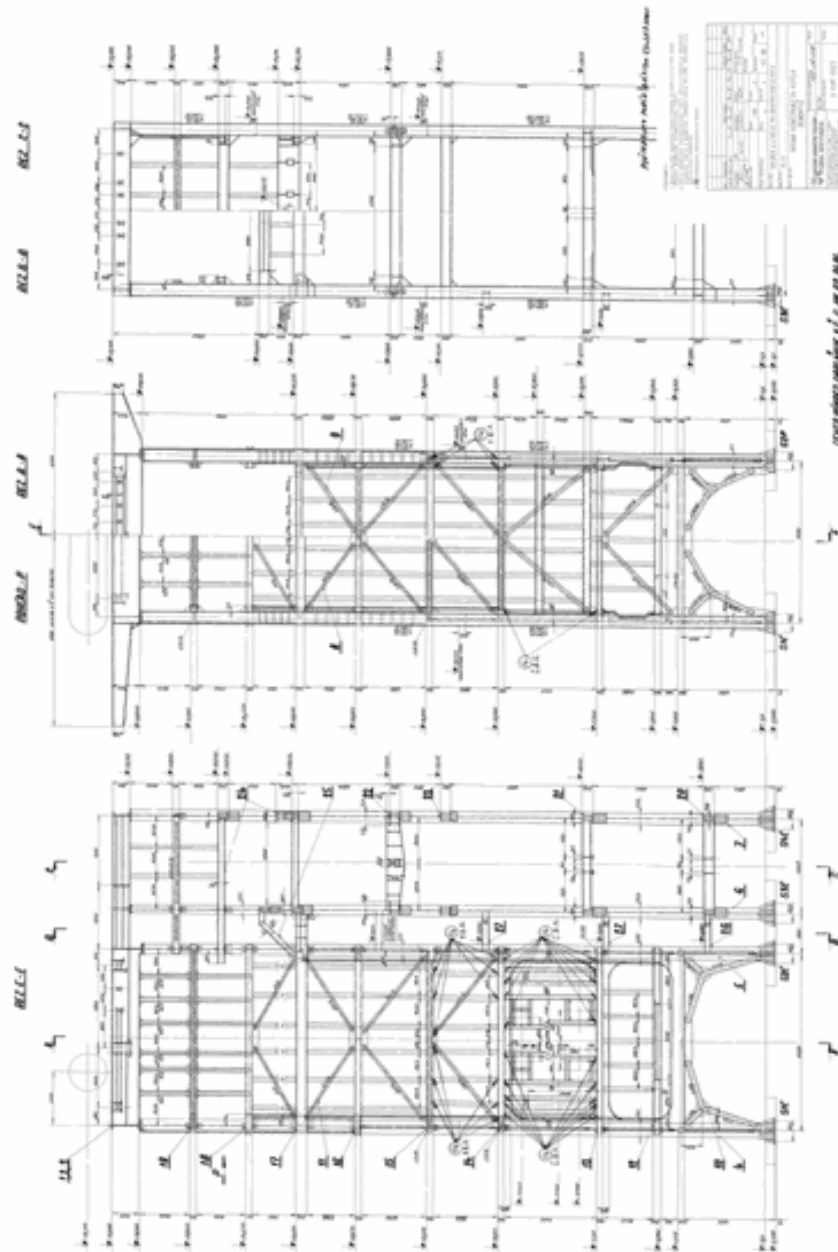
Keďže pri obhliadke nosnej konštrukcie parného kotla (po odstránení výmurovky) bolo zistené poškodenie niektorých prvkov, autori svoju pozornosť sústredili na tie časti, ktoré by do určitej miery umožnili odstrániť príčiny vzniku porúch, prípadne znížiť namáhanie nosnej konštrukcie a tým zvýšiť zostatkovú životnosť pôvodných nosných prvkov. To bol dôvod rozhodnutia pre realizáciu merania na úrovni 27,3 m. Pretože merania v predchádzajúcom období do určitej miery dokumentovali symetriu na ľavých a pravých stĺpoch ocelevej konštrukcie bolo rozhodnuté meranie realizovať len na ľavej strane, ale namiesto štyroch križových tenzometrov

¹ Dr.h.c. prof. Ing. František TREBUŇA, CSc., prof. Ing. František ŠIMČÁK, CSc., Ing. Juraj BAJUS, Ing. Miroslav PÁSTOR, Ing. Ingrid DELYOVÁ, PhD., KAMaM, SJF TU v Košiciach, frantisek.trebuna@tuke.sk, frantisek.simcak@tuke.sk, juraj.bajus@tuke.sk, miroslav.pastor@tuke.sk, ingrid.delyova@tuke.sk,

² Ing. Peter TREBUŇA, KMaE, SJF TU v Košiciach, peter.trebuna@tuke.sk

Lektoroval: prof. Ing. Miroslav KOPECKÝ, PhD., FPT Púchov, TrU AD Trenčín, mirkopecky@inmail.sk

s dvoma mriežkami na každom stĺpe boli na každom vonkajšom stĺpe nainštalované tri krížové snímače s dvoma mriežkami a na každom vnútornom stĺpe dva krížové snímače s dvoma mriežkami, teda spolu desať krížových snímačov s dvadsiatimi mriežkami. Metodika merania bola postavená tak, aby pre dosiahnutie cieľa riešenia úlohy pri nábehu a prevádzke bolo možné získať najdôležitejšie informácie postačujúce pre vyslovenie záverov o vhodnosti konštrukcie a jej životnosti a spoľahlivosti.

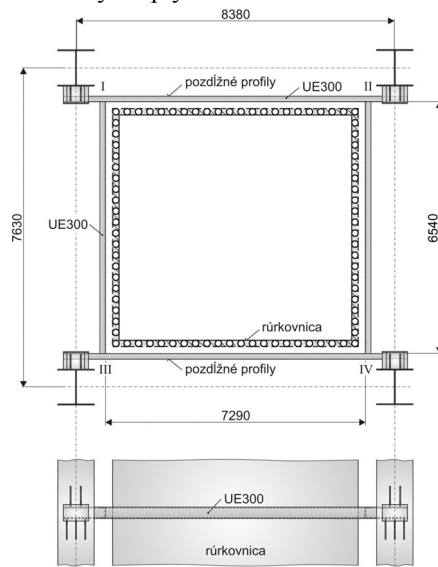


Obr.1 Nosná konštrukcia parného kotla

OPIS PREVÁDZKY PARNÉHO KOTLA A POŠKODENIA JEHO NOSNEJ KONŠTRUKCIE

V zmysle diagnostík vykonaných výrobcom, prevádzkovateľom, ako aj subdodávateľmi bolo možné konštatovať, že parný kotol svojimi odprevádzkovanými hodinami patrí medzi zariadenia s vyčerpanou projektovanou životnosťou. Preto bolo potrebné poznať komplexný stav zariadenia ako po technologickej, tak aj po konštrukčnej, pevnostnej, stabilitnej a únavovej stránke. Parný kotol bol vyrobený v roku 1967. Projektovaný bol na menovitý tlak 13,6 MPa a počítaný na tlak 15,2 MPa s menovitým výkonom 160 ton pary za hodinu. Hospodárny výkon je 128 t/hod., pričom teplota výstupnej pary je 540, +5 a -10 °C. Zariadenie doteraz odpracovalo takmer 38 rokov, počas ktorých bolo odstavené takmer 800 krát. Posledná generálna oprava bola vykonaná v r. 1999.

Nosná konštrukcia kotla bola kontrolovaná v rokoch 1991, 1997, 1999, 2001 a 2002 a jej zostatková životnosť po vykonaných opravách bola stanovená na 160 nábehov. Zostatková životnosť je viazaná na kľúčové nosné prvky t.j. predovšetkým na sústavu stĺpov a nosníkov. Pri jej určovaní sa vychádzalo z predpokladu, že so zreteľom na predpokladanú intenzitu korózneho poškodenia a hladiny napätí bude zabezpečená dostatočná protikorózna ochrana stĺpov S1L až S4L a S1P až S4P predovšetkým v miestach pätiiek, ako aj v miestach, ktoré sú vystavené vonkajším poveternostným vplyvom.



Obr.2 Schematický náčrt konštrukčného riešenia a upevnenia rámu

rámu a jeho upevnenie neumožňuje teplotnú dilatáciu. Pri pôsobení teplotného poľa odlišného od teplotného poľa pri montáži rámu v ňom vznikajú teplotné napätia.

Po odkrytovaní a odizolovaní prvého ťahu na výškovej úrovni 27,3 m bolo zistené že profily rámu UE 300 sú porušené po celom priereze pri pätkách privarených k stĺpom SL1 a SP1. Na obr.3 je roztrhnutý profil UE300 po celom priereze v mieste pripojenia k stĺpu SL1. Na obr.4 je porušenie nosníka UE300 na druhom konci v mieste pripojenia k stĺpu S3L. V mieste porušenej výmurovky došlo aj k plastickej deformácii pásnice rámu (obr.5).

Na základe teoretického rozboru teplotných napätí v ráme bolo zistené, že už zmeny teploty rádovo desiatky °C môžu, pri danom spôsobe upevnenia rámu, spôsobovať značné

Na základe opakovaných skúšok mechanických vlastností a skúšok tvrdosti podľa Brinnella bolo možné konštatovať, že materiál stĺpov je oceľ 11523.1 a nosnosť skúšaných (overovaných) stĺpov by mohla byť znížená len v dôsledku korozívnych úbytkov.

Po odizolovaní bolo zistené, že horizontálne prvky nosnej konštrukcie sú výrazne korózne napadnuté a vykazujú výrazné úbytky hrúbok, plasticke deformácie aj porušenia. Súviselo to s tým, že na rozdiel od stĺpov (aj napriek tomu, že sú z vnútornej strany chránené hrubou vrstvou tepelne izolačného materiálu) mohli byť priamo napadnuté spalinami.

Rámy vo výškovej úrovni 24,67 m a 27,3 m slúžiace na stabilizáciu polohy rúrkovnice, sú vytvorené zvarením profilov UE 300, pričom pozdĺžne profily UE 300 sú prostredníctvom konzolových pätiiek privarené k zvislým stĺpom I 600 (obr.2). Konštrukcia

prírastky napätí. V dôsledku uvedeného bola doporučená úprava uloženia rámu tak, aby umožňovala teplotnú dilatáciu, čím by došlo k významnému zníženiu napätí vyvolaných prípadnou zmenou teploty. Spôsob konštrukčného riešenia doporučenej úpravy je podrobnejšie uvedený v [1].



Obr.3 Roztrhnutý profil
UE 300



Obr.5 Porušenie nosníka rámu
z druhej strany nosnej konštrukcie



Obr.4 Plastická deformácia
na spodnej pásnici rámu

METODIKA MERANIA NAPÄTÍ VO VYBRANÝCH PRVKOCH NOSNEJ KONŠTRUKCIE

Pri tvorbe metodiky merania sa vychádzalo predovšetkým zo skúseností získaných z predchádzajúcich tenzometrických meraní na nosných konštrukciách parných kotlov, pričom sa prihliadalo aj na hodnoty nameraných napätí od separovaných zaťažení, prípadne ich kombinácií, ako aj na pevnostné výpočty statického posúdenia nosnej konštrukcie kotla vykonané jednak projektantom zariadenia ale následne i statickými výpočtami vykonanými inými inštitúciami. Statické zložky napätí určené v [3] tenzometrickou metódou odvíťavania bolo možné prebrať z toho dôvodu, že pokles napätia vyvolaný úpravami výmurovky a kotla nepresiahol jednotky MPa, čo je presnosť zodpovedajúca presnosti použitých zariadení mimo laboratória.

V tabuľke č.1 sú uvedené zložky normálových napätí v smere osí stĺpov SL2, SL3, SP2 SP3 určené v [3] metódou odvíťavania v miestach naaplikovaných tenzometrov.

Hodnoty osových napätí v stĺpoch

Tabuľka 1

Stĺp označenie	Normálové napätie v smere osi stĺpa [MPa]
SL 2	-138
SP 2	-129
SL 3	-123
SP 3	-113

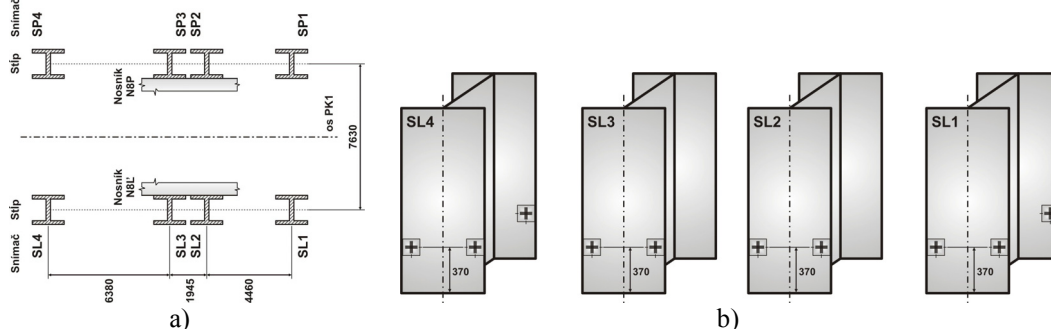
Tenzometrické meranie časových zmien napätosti v stĺpoch nosnej konštrukcie bolo realizované na výškovej úrovni 27,3 m kde došlo k porušeniu celých prierezov horizontálnych rámov. Z veľkosti namáhání v stĺpoch možno usudzovať o veľkosti napätí resp. deformácií v prierezoch rámu v blízkosti miest pripojenia k pätkám stĺpov.

Na obr.6 sú znázornené polohy aplikácie snímačov na stĺpoch SL1, SL2, SL3 a SL4 nad plošinou vo výške 27,3 m. Na rohových stĺpoch SL1 a SL4 sa inštalovalo po 3 snímačoch s dvoma vzájomne kolmými mriežkami a na prostredných stĺpoch po dvoch tenzometrických snímačoch s dvoma vzájomne kolmými tenzometrickými mriežkami. Pri aplikácii troch snímačov na jednom stĺpe je umožnená separácia časovej zmeny prírastku osovej sily i ohybového momentu.

Merací reťazec obsahoval, okrem už spomínaných tenzometrických snímačov v polmostíkovom zapojení pre teplotnú kompenzáciu, tenzometrickú aparatúru SPIDER 8, Notebook, počítač s programovým produktom CATMANN a tlačiareň.

Odporové tenzometrické snímače boli aplikované tenzometrickým tmelom Z 70, pričom po mechanickej predúprave povrchu mal povrch po odmastení upravený pH-faktor a následne po ďalšom očistení látkou RMS bol snímač opatrený letovacími bodkami.

Po zapojení aktívnej a kompenzačnej vetvy boli snímače zaizolované silikónovým gélom SG 250 a následne aj kvôli mechanickej ochrane ochrannou látkou AM 750 s hliníkovou fóliou. Pre spojenie snímačov s tenzometrickou aparátúrou boli použité tienené 5-žilové vodiče. Na vyhodnotenie meraní bol v laboratóriách katedry použitý softvér Catmann.



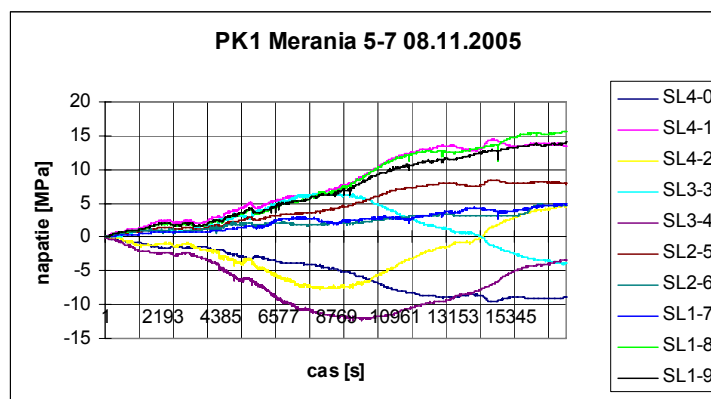
Obr.6 Tenzometrické snímače na stĺpoch vo výške 27,3 m a) označenie stĺpov a snímačov na jednotlivých stĺpoch, b) výškové umiestnenie tenzometrických krížov nad plošinou 27,3 m

Prírastky napätí boli merané pri nasledovných režimoch:

- napúšťanie vody,
- vypúšťanie vody,
- meranie pri postupnom (hoci nie riadenom) zapáľovaní horákov,
- meranie pri prefukávaní,
- meranie pri nábehu kotla,
- meranie pri prevádzke kotla.

V nadväznosti na nábeh kotla a odskúšanie jednotlivých prevádzkových režimov bolo realizovaných celkovo 58 tenzometrických meraní. V ďalšom uvedieme niektoré typické priebehy zmien prírastkov napätí.

Na obr.7 sú časové zmeny prírastkov napätí pri zapáľovaní a odstavovaní horákov. Z priebehov je zrejmé, že pri tomto režime prírastky ťahových resp. tlakových napätí v stĺpoch neprekročili 16 MPa.

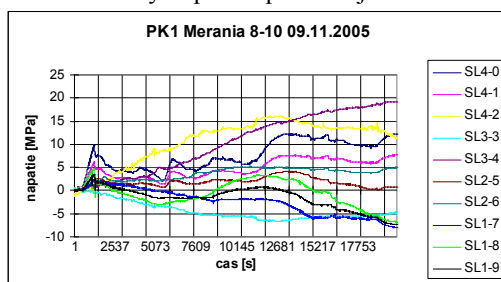


Obr.7 Časové zmeny prírastkov napätí počas merania 5 až 7

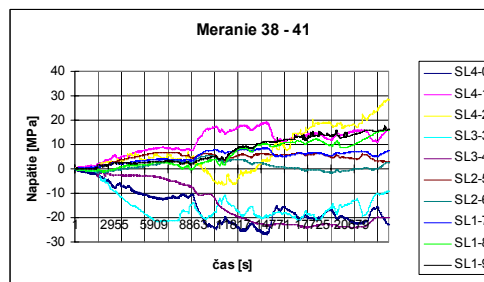
Na obr.8 sú časové zmeny prírastkov napätí v stĺpoch pri vypúšťaní a plnení kotla vodou, pričom rozkmity napätí sú v intervale 7 až 18 MPa.

Na obr.9 sú znázornené časové zmeny prírastkov napätí v stĺpoch pri meraní zahrňujúcom nábeh kotla, zapáľovanie horákov a skúšanie ventilov až po dosiahnutie tlaku 13,5 MPa. Časové

zmeny v jednotlivých miestach meraní dosahujú rozkmity napätí 36 MPa na stĺpe 4 v mieste 2. Ostatné rozkmity napätí neprekračujú 26 MPa.



Obr.8 Časové zmeny prírastkov napätí pri meraniach č. 8 až 10



Obr.9 Časové priebehy prírastkov napätí pri meraniach č. 38-41

Pri meraní ostatných prevádzkových režimov boli obdobné časové zmeny napätí, pričom neprekračovali prírastky uvedené v predchádzajúcich prípadoch.

POSÚDENIE NA MEDZNÝ STAV ÚNAVY PODĽA STN 73 1401

Výpočet na medzný stav únavy podľa STN 73 1401 sa môže použiť pre nosné konštrukcie a zariadenia, ktoré sú:

- odborne navrhnuté, vyrobené a udržiavané podľa požiadaviek pre konštrukcie namáhané na únavu,
- vyrobené s použitím základných spojovacích a zväracích prídavných materiálov podľa tejto normy a podľa STN 73 2601,
- chránené vhodným spôsobom proti koróznemu poškodeniu.

Prípady ktoré nevyžadujú posúdenie na únavu sú:

- Konštrukcie ktoré sa obvykle nemusia posudzovať na únavu, okrem prvkov:
 - podopierajúcich zdvíhacie zariadenia alebo prenášajúce pohyblivé zaťaženie,
 - prenášajúcich opakované namáhanie od nevyváženosti strojov,
 - kmitajúcich od účinkov vetra,
 - kmitajúcich od účinkov pohyblivého zaťaženia.
- Konštrukčný prvok sa nemusí posudzovať na únavu, ak je splnená aspoň jedna z podmienok:

- najväčší rozkmit napätia v návrhovom spektre

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma \leq 26 \varphi_r \varphi_t / \gamma_{Mf}, \quad (1)$$

- celkový počet kmitov v návrhovom spektre

$$N \leq 2 \cdot 10^6 \left[(36 \varphi_r \varphi_t / \gamma_{Mf}) / (\Delta\sigma_E \gamma_{Ff}) \right]^3, \quad (2)$$

kde γ_{Ff} je parciálny súčiniteľ spoľahlivosti únavového zaťažovania,

γ_{Mf} - parciálny súčiniteľ spoľahlivosti únavovej pevnosti,

φ_r - súčiniteľ nesúmernosti kmitu,

φ_t - súčiniteľ vplyvu hrúbky materiálu,

$\Delta\sigma_E$ - ekvivalentný konštantný rozkmit normálového napätia pri $N = 2 \cdot 10^6$ kmitoch určený podľa vzťahov (3) až (6).

Spôsoby určovania jednotlivých súčiniteľov sú uvedené v STN 73 1401.

Spektrum premenného zaťaženia je možné nahradiť ekvivalentným rozkmitom napätia $\Delta\sigma_E$, ktoré pri $2 \cdot 10^6$ kmitoch spôsobí rovnaké únavové poškodenie ako pôvodné spektrum.

Ekvivalentný rozkmit normálových napätí sa stanoví zo vzťahu

$$\Delta\sigma_E = \left(\Delta\sigma_{E1}^3 + \Delta\sigma_{E2}^3 + \Delta\sigma_{E3}^3 \right)^{1/3}, \quad (3)$$

kde $\Delta\sigma_{E1}, \Delta\sigma_{E2}, \Delta\sigma_{E3}$ sú parciálne rozkmity ekvivalentných napätí prislúchajúce jednotlivým úsekom únavovej krivky,

$$\Delta\sigma_{E1} = \left(N_{M,KD} / 2 \cdot 10^6 \right)^{1/3} \left[\left(\sum n_h \Delta\sigma_h^5 \right) / N_{M,KD} \right]^{1/5} \quad (4)$$

pre všetky $\Delta\sigma_h \geq \Delta\sigma_{M,KD}$ a $n_h \leq N_{M,KD}$,

$$\Delta\sigma_{E2} = \left[\left(\sum n_i \Delta\sigma_i^3 \right) / (2 \cdot 10^6) \right]^{1/3} \quad (5)$$

pre všetky $\Delta\sigma_{M,KD} > \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$ a $n_i \leq 5 \cdot 10^6$,

$$\Delta\sigma_{E3} = \left(2,5^{1/3} \right) \left[\left(\sum n_s \Delta\sigma_s^5 \right) / (5 \cdot 10^6) \right]^{1/5} \quad (6)$$

pre všetky $\Delta\sigma_D > \Delta\sigma_s > \Delta\sigma_L$ a $n_s \leq 10^8$,

kde $\Delta\sigma_h, \Delta\sigma_i, \Delta\sigma_s$ sú rozkmity, ktoré zodpovedajú jednotlivým blokovým zaťaženiám a n_h, n_i, n_s sú im zodpovedajúce počty kmitov.

Normálové napätia s rozkmitmi $\Delta\sigma < \Delta\sigma_L$ sa neuvažujú. Číselné hodnoty kriviek únavovej pevnosti sú uvedené v tabuľke č.28 STN 73 1401.

Ako bolo uvedené na začiatku kapitoly, nosná konštrukcia oceleového kotla sa nemusí posudzovať na únavu, ak je splnená jedna z podmienok pre najväčší rozkmit napätia $\Delta\sigma$. Pre súčinitele podľa STN 73 1401 platí

$$\gamma_{Ff} = 1, \varphi_r = 1,67, \varphi_t = 1,0, \gamma_{Mf} = 1,2.$$

Z uvedeného podľa rovnice (1) najväčší rozkmit napätia v navrhovanom spektre môže byť

$$1 \cdot \Delta\sigma \leq 26 \cdot 1,67 \cdot 1/1,2, \quad \Delta\sigma \leq 36,2 \text{ MPa}.$$

Celkový počet kmitov v navrhovanom spektre podľa (2) je

$$N \leq 2 \cdot 10^6 \left[(36 \cdot 1,67 \cdot 1/1,2) / (\Delta\sigma_E \gamma_{Ff}) \right]^3.$$

Podľa tabuľky č.28 STN 73 1401 pre kategóriu detailu 90, pre $m=3$ je $\log a = 12,164$, pre $m=5$ je $\log a = 15,807$. Príslušné rozkmity napätí sú

$$\Delta\sigma_{M,KD} = 379 \text{ MPa} \quad \text{pri} \quad N_{M,KD} = 3 \cdot 10^4,$$

$$\Delta\sigma_D = 66 \text{ MPa} \quad \text{pri} \quad N_D = 5 \cdot 10^6,$$

$$\Delta\sigma_L = 36 \text{ MPa} \quad \text{pri} \quad N \geq N_L = 10^8.$$

Podľa (4) $\Delta\sigma_{E1} = 0$, nakoľko $n_h = 0$, t.j. rozkmity napätí ani v jednom prípade nedosahujú $\Delta\sigma_{M,KD} = 379 \text{ MPa}$. Podľa vzťahu (5) $\Delta\sigma_{E2} = 0$, nakoľko $n_i = 0$, t.j. rozkmity napätí pri nábehu a prevádzke kotla i pri prefukovaní nedosahujú $\Delta\sigma_D = 66 \text{ MPa}$. Podľa vzťahu (6)

$$\Delta\sigma_{E3} = \left(2,5^{1/3} \right) \left[\left(\sum n_s \Delta\sigma_s^5 \right) / (5 \cdot 10^6) \right]^{1/5} \text{ pre všetky } \Delta\sigma_D > \Delta\sigma_s \geq \Delta\sigma_L \text{ a } n_s \leq 10^8.$$

Meraním bolo zistené, že nominálne napätia pri nábehu kotla nedosahujú 36 MPa, teda aj $\Delta\sigma_{E3} = 0$. Z uvedeného dôvodu ekvivalentný rozkmit napätia podľa vzťahu (3) je rovný nule, takže podľa vzťahov (1) a (2) nie je potrebné posudzovať uvedenú konštrukciu na únavu. Je to rozdiel voči predchádzajúcemu meraniu [3], keď namerané hodnoty rozkmitov dosiahli 45 MPa, čo možno odôvodniť konštrukčnou úpravou stĺpov SL2 a SP2, kde napätie dosahovalo maximálne hodnoty.

ZÁVER

Pre zabezpečenie spoľahlivosti a prevádzkyschopnosti nosnej konštrukcie parného kotla bol na základe predchádzajúcich kontrol, vykonaný súbor opatrení z ktorých vyplývalo, že nosná konštrukcia mala v r.2002 zostatkovú životnosť 160 nábehov. Pretože priemerný ročný počet nábehov je 14-20, bolo konštatované že zostatková životnosť konštrukcie je cca 10 rokov.

Ako bolo uvedené v časti „Opis prevádzky parného kotla a poškodenia jeho nosnej konštrukcie“, po odstránení výmurovky v rámci generálnej opravy bolo zistené nadmerné poškodenie niektorých prvkov nosnej konštrukcie.

Korózne poškodenia, ale predovšetkým plasticky zdeformované stojiny, pásnice a dokonca roztrhnutie profilov po celom priereze jasne dokumentujú, že napriek výpočtom a experimentom ktoré potvrdzovali ďalšiu bezporuchovú prevádzku nosnej konštrukcie nastal jav, alebo javy, ktoré toto porušenie vyvolali. Na základe nameraných a vypočítaných hodnôt možno jednoznačne konštatovať, že k porušeniu mohlo dôjsť len v dôsledku výrazného zvýšenia teploty v mieste alebo v blízkosti porúch, čo vyvolalo výrazný pokles hodnôt mechanických vlastností materiálu s následnými plastickými deformáciami a porušeniami.

Autori v prvej fáze riešenia úlohy navrhli úpravu rámov, ktorá spočívala v nahradení tvrdých väzieb posuvnými resp. mäkkými väzbami, čo by síce zvýšilo náklady na opravu, znížilo by to však riziko porušenia konštrukcie pri prípadnom poškodení výmurovky.

Na druhej strane vykonané úpravy evidentne znížili hodnoty napätí v nosných prvkoch o cca 25 – 30%. Rozkmity napätí pri časovo premenných zaťaženiach klesli pod 36 MPa, čím pri nezmenených vlastnostiach materiálu nosnej konštrukcie dochádza k vylúčeniu vplyvu kumulácie poškodenia v nosných systémoch. Pri týchto hladinách rozkmitov možno jednoznačne konštatovať, že životnosť konštrukcie, i napriek predchádzajúcej kumulácii, by nemala byť závislá na počte cyklov zaťaženia, t.j. na počte nábehov ktoré sú z hľadiska životnosti rozhodujúce a pri vhodnej protikorózne úprave možno považovať nosnú konštrukciu za vyhovujúcu z hľadiska účelu použitia.

Autori ďakujú Vedeckej grantovej agentúre MŠ SR za podporu v rámci riešenia projektov č.1/2187/05 a č.1/1073/04.

LITERATÚRA

- [1] TREBUŇA, F. a kol.: *Tenzometrická kontrola napätosti nosnej konštrukcie PK1 pred a po GO za účelom určenia stavu, posúdenia životnosti a spoľahlivosti*. Záverečná správa, SJF TU v Košiciach. December 2005, 85 str.
- [2] TREBUŇA, F. a kol.: *Posúdenie nosnosti a technického stavu nosnej konštrukcie parného kotla č.1 (PK1) a parného kotla č.2 (PK2) a vykonanie tenzometrického merania pre posúdenie nosnej konštrukcie*. Košice 1997, 106 str.
- [3] TREBUŇA, F. a kol.: *Tenzometrická kontrola stavu napätosti v nosnej konštrukcii parného kotla č.1 a pevnostný výpočet nosnej konštrukcie s cieľom posúdenia jej životnosti a spoľahlivosti*. Košice 2001, 108 strán.
- [4] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK, F.: *Odolnosť prvkov mechanických sústav*. Košice, Emilena, 2004, 980 str., ISBN 80-8073-148-9
- [5] STN 73 1401 *Navrhovanie ocelových konštrukcií*. Marec 1998.
- [6] JUHAS, P. a kol.: *Navrhovanie ocelových konštrukcií. Komentár k STN 73 1401: 1998*. Slovenský ústav technickej normalizácie, Bratislava, 258 str., ISBN 70-88971-06-3
- [7] VAVRO, J., KOPECKÝ, M.: *Nové prostriedky a metódy riešenia sústav telies I*, ZUSI, Žilina, 2001
- [8] VAVRO, J., KOPECKÝ, M., SÁGA, M., FANDÁKOVÁ, M.: *Nové prostriedky a metódy riešenia sústav telies II*, Digital Graphic, Trenčín, 2004