

E xperimentální A nalýza N apětí 2005

UNUSUAL APPROACH FOR DETERMINATION FASTENNING REACTIONS OF DUCTING COURTYARD AND THEIR VERIFICATION

NETRADIČNÝ PRÍSTUP K URČENIU REAKCIÍ V ULOŽENÍ POTRUBNÉHO DVORA A JEHO VERIFIKÁCIA

František Trebuňa¹, František Šimčák², Daniel Kováč³

The ducting courtyard have ran down almost all of their life cycle. For that reason the reconstruction of their fastenings have been done. To predict the remaining life span it is necessary to know the load history including the forces introduced during the assembly and operation. To determinate the internal forces and stresses we suggested the experimental- numeric methodics.

Keywords

ducting courtyard, vibroisolation, dynamic measurement

Kľúčové slová:

potrubný dvor, vibroizolácia, dynamické meranie

Úvod

Problematike analýzy namáhania plynovodných potrubí na kompresorových staniciach je v poslednom čase venovaná značná pozornosť [1, 2, 3, 4]. Je to spôsobené tým, že v priebehu doterajšej prevádzky kompresorových staníc sa realizovali rôzne opravy a úpravy potrubných rozvodov, ako aj výmeny niektorých komponentov, ktoré boli často príčinou vzniku prídavných zaťažení potrubí [1]. Rovnako dochádzalo k poškodzovaniu uložení potrubí a k obmedzovaniu ich funkčnosti, čo zvyšovalo koncentráciu napätia v oblasti podpier a spôsobovalo zhoršenie zaťažovacích podmienok potrubných rozvodov. Keďže potrubné dvory sú počas prevádzky vystavené intenzívnemu dynamickému zaťaženiu (pulzácia tlaku, píšťalový efekt v odbočkách, dynamické účinky od rotujúcich častí turbokompresorov a pod.), uvedené faktory nepriaznivo ovplyvňujú zostatkovú životnosť potrubných rozvodov kompresorových staníc.

¹ Prof. Ing. František Trebuňa, CSc.: Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky, SjF TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, tel.: +421-055-6022462, email: frantisek.trebuna@tuke.sk

² Prof. Ing. František Šimčák, CSc.: Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky, SjF TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, tel.: +421-055-6022458, email: frantisek.simcak@tuke.sk

³ Ing. Daniel Kováč: Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky, SjF TU v Košiciach, Letná 9, 042 00, Košice, tel.: +421-055-6022453, email: daniel.kovac@tuke.sk

S cieľom znížiť nepriaznivý dosah uvedených skutočností a predĺžiť životnosť potrubných dvorov sa prišlo k oprave a údržbe uloženia plynovodných potrubí. Rekonštrukciu vykonáva firma REDYST Vibroizolace Praha s divíziou Tranzitu, závod Senica a ďalšími dodávateľskými firmami, pričom podrobnejší postup rekonštrukčných prác je uvedený napr. v [5, 6].

Tieto úpravy znižujú namáhanie potrubia pri prevádzke a pozitívne ovplyvňujú životnosť potrubných dvorov. Na posúdenie zostatkovej životnosti potrubí je potrebné poznať históriu zaťažovania potrubných systémov zahrňujúcu silové účinky vnesené do systému pri montáži a prevádzke potrubných dvorov, ako aj súčasné podmienky zaťaženia pri prevádzke kompresorových staníc.

Problematika kmitania potrubných dvorov pre tranzitný plynovod bola riešená už dávnejšie [7, 8, 9, 10] ale úpravy, ktoré boli realizované na kompresorových staniciach, zmenili podstatne ich dynamické správanie. V súvislosti s aplikáciou vibroizolačných prvkov pri uloženiach potrubí kompresorových staníc sú niektoré problémy súvisiace s kmitaním potrubných systémov analyzované v [2].

Eperimentálne určené dynamické účinky v potrubných sústavách

Na stanovenie vnútorných silových veličín a napätí v priereze potrubia, ako aj reakcií v pätkách bola využitá metodika experimentálno-numerického určovania prevádzkového namáhania prierezu potrubia navrhnutá v [9, 11]. Metodika bola rozšírená tak, aby umožnila vytvoriť komplexný obraz o možných nebezpečných namáhaniach v miestach podpier, koncentrátorov i odbočiek potrubného dvora a brať na zreteľ všetky prevádzkové vplyvy na výslednú napätosť i na posúdenie zostatkovej životnosti potrubných systémov (obr. 1) [3].



Obr.1 Potrubný dvor, potrubie sacie, potrubie medzitolaku a výtlaku



Obr.2 Naaplikované tenzometrické snímače v troch myslených rezoch potrubia výtlaku s podperou a odbočkami

Meranie sa realizovalo na potrubí výtlaku s odbočkou (obr. 2), pričom tri myslené rezy, v ktorých boli aplikované tenzometrické snímače, oddeľovali časť potrubia s pätkou obsahujúcou pružné vibroizolačné prvky (obr. 3).

Z pomerných deformácií určených tenzometrickými snímačmi sa pri známom vnútornom pretlaku vypočítajú napätia v potrubí. Pri zohľadnení osového a ohybového namáhania, ako aj vnútorného tlaku sú určované extrémne hodnoty napätí, ako aj polohy extrémnych miest napätí. Z nameraných hodnôt pomerných deformácií možno, pri použití zavedených zjednodušujúcich predpokladov, oddeliť zložky od ohybu a osovej sily. Namerané hodnoty umožňujú určiť aj neutrálnu os pri ohybe, a pretože meranie je dynamické, možno určiť časové závislosti všetkých uvedených veličín. Analogicky možno navrhnutou metodikou

určiť separované zložky šmykových napätí od krútenia a od posúvajúcej sily. Pri rovnakých predpokladoch možno získať časové priebehy krútiaceho momentu a posúvajúcej sily a jej orientácie. Časové priebehy namáhania do úplného odtlakovania, resp. natlakovania potrubia dovoľujú stanoviť tie zložky osových napätí, ktoré so zreteľom na uloženie potrubí, trenie a odbočky nie je možné určiť analytickými alebo numerickými postupmi. Súčasne možno sledovať vplyv natáčania integrovaných vektorov vnútorných silových veličín na časový priebeh napätí.



Obr.3 Pätka s vibroizolačnými prvkami



Obr.4 Snímač po zaizolovaní potrubia

Navrhnutá metodika dovoľuje určiť časové zmeny zložiek reakcií v podperách. Časové priebehy reakcií sú určované za zjednodušujúcich predpokladov ako diskkrétne veličiny, v ktorých nie sú zohľadnené modálne parametre časti potrubia oddeleného myslenými rezmi v okolí podpory. Časové priebehy prírastkov napätí od natlakovania poskytujú nevyhnutné údaje na určenie kumulácie únavového poškodenia, resp. umožňujú spolu s ďalšími vstupnými parametrami odpovedať na otázku, či je potrebné prvok, resp. konštrukciu posudzovať na únavu v zmysle platných noriem STN.

Podrobnejší popis metodiky s dosiahnutými výsledkami je uvedený v [3, 12]. V súčasnosti je analyzovaná časť potrubia zaizolovaná (obr. 1), pričom miesta aplikácie snímačov sú zakrytované tak, že umožňujú realizovať merania bez obmedzenia (obr. 4).

Ako už bolo spomenuté, potrubné dvory kompresorových staníc sú vystavené intenzívnemu dynamickému namáhaniu, vyvolávajúcemu kmitanie. Dynamické namáhanie spôsobuje postupnú kumuláciu poškodenia a znižuje zostatkovú životnosť potrubia.

Ak mechanické kmitanie obsahuje väčší počet zložiek vyskytujúcich sa súčasne na mnohých frekvenciách, nie je možné na základe jednoduchého pozorovania časového priebehu výchyliek určiť ani počet, ani frekvencie jednotlivých zložiek.

Jednotlivé zložky mechanického kmitania môžu byť zistené len zo závislosti ich amplitúd od frekvencie. Rozklad zloženého kmitania na jednotlivé zložky sa nazýva frekvenčná analýza. Výsledkom frekvenčnej analýzy sú frekvenčné spektrá mechanického kmitania a grafickým záznamom závislosti amplitúd od frekvencie sú spektrogramy. Frekvenčná analýza kmitania mechanizmov, strojov a zariadení obvykle odhaľuje množstvo výrazných frekvencií periodických zložiek majúcich priamy vzťah k základným pohybom rôznych dielov a častí meraného zariadenia, takže umožňuje analýzu zdrojov a príčin nežiaduceho mechanického kmitania. Použitie výkonných počítačov a rozpracovanie tzv. rýchlej Fourierovej transformácie (FFT) umožňujú v súčasnosti vykonávať túto analýzu v reálnom čase.

Použitie kovových vibroizolačných prvkov v uložení potrubných sústav je, okrem výhodnej zmeny tuhosti s predpätím so zreteľom na možnosť frekvenčného ladenia systému s tlmiacim efektom, opodstatnené aj ich veľkou nosnosťou a malými rozmermi, ktoré

umožňujú vkladanie do podpier. Ako je uvedené v práci [5] autorov realizovaného uloženia, bol s cieľom maximálneho využitia priaznivých vlastností vibroizolačných prvkov (VIP) vyvinutý komplexný postup montáže založený na nastavení reakcie na danom mieste podopretia potrubia na určenú (vypočítanú alebo odhadnutú) zložku hmotnosti. Tým sa mala odstrániť nerovnomernosť dodatočného „príťaženia“ potrubia z jeho statickej neurčitosti.

Na riešenie uvedeného problému bol zostavený graf umožňujúci pre jednotlivé priemery potrubia a hrúbky steny určiť sily pôsobiace na vyšetřovanú podperu. Pri použití dvoch alebo viacerých vibroizolačných prvkov sa pritom uvažovalo s rovnomerným rozdelením tejto sily na jednotlivé vibroizolačné prvky.

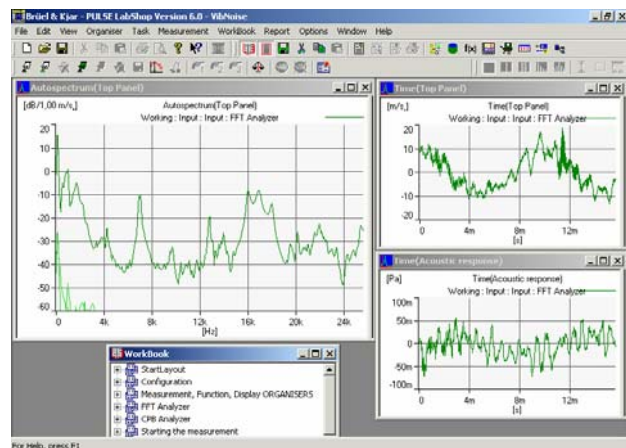
Autormi navrhnutá metodika určovania integrálnych hodnôt vnútorných silových veličín i reakcií pre časti potrubia vybrané dvoma, resp. tromi myšlenými rezmi odskúšaná pri prevádzkovaných meraniach na kompresorových staniách ukázala, že vibroizolačné prvky na tej istej podpere nie sú zaťažované rovnomerne. Vyhodnotenia z prevádzkových tenzometrických meraní zreteľne poukázali na nerovnomernosť vyvolanú momentovým účinkom okolo osi potrubia nad podperou. Uvedený moment jeden vibroizolačný prvok odľahčuje a druhý, naopak, zaťažuje. Tento poznatok vyvolal polemiku medzi realizátormi uvedených úprav uloženia a autormi navrhutej metodiky. Autori metodiky z dôvodu vylúčenia akejkoľvek pochybnosti o správnosti a relevantnosti nameraných a vypočítaných údajov týchto veličín navrhli verifikačný postup založený na meraní časových priebehov zrýchlení a ich frekvenčných závislostí amplitúd zrýchlení v dvoch bodoch symetricky umiestnených voči osi podpery.

Meranie časových priebehov a frekvenčných závislostí zrýchlení na päťke potrubia výtlaku

Na meranie bol využitý merací systém PULSE 6 (obr. 5 a 6). Ide o všestranný, prakticky orientovaný merací systém na meranie a analýzu zvuku a kmitania. Poskytuje platformu na široký rozsah počítačom vykonávaných meraní navrhnutých firmou Brüel&Kjaer.



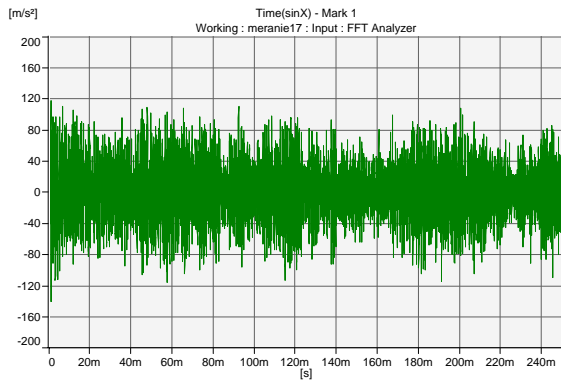
Obr.5 Merací systém PULSE 6 – typ 3560C spolu s ovládacím počítačom



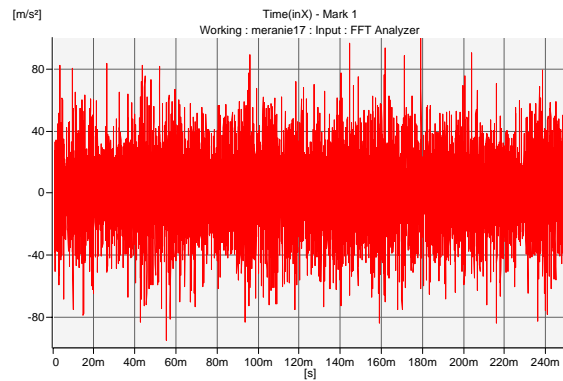
Obr.6 Ovládací softvér PULSE 6

Merací systém môže byť tvorený viacerými základnými meracími zariadeniami. Vždy však ide o spojenie počítača (s ovládacím softvérom) a meracieho zariadenia pomocou LAN rozhrania. Systém môže obsahovať až 32 vstupných kanálov a 16 výstupných kanálov (generujúcich výstupný signál). Ovládací softvér obsahuje nástroje na analýzu nameraných údajov.

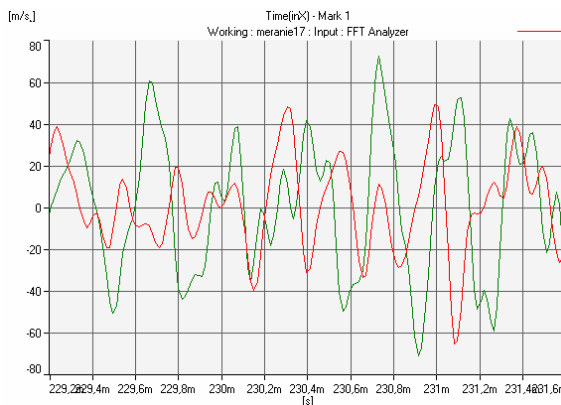
tom istom časovom intervale z priebehu na obr. 12 vyplýva, že amplitúdy zrýchlenia v obvodovom (z) a osovom (y) smere dosahujú až 70% z hodnôt amplitúd zrýchlenia v radiálnom smere (x).



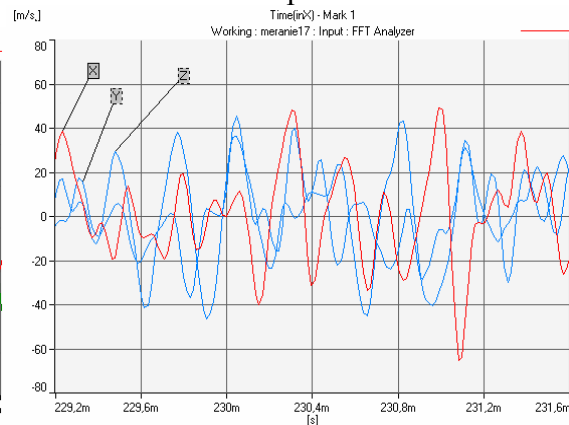
Obr.9 Časový priebeh amplitúd zrýchlení v mieste jednoosového snímača pri meraní č.17



Obr.10 Časový priebeh amplitúd zrýchlení v mieste trojosového snímača v smere osi x pri meraní č. 17

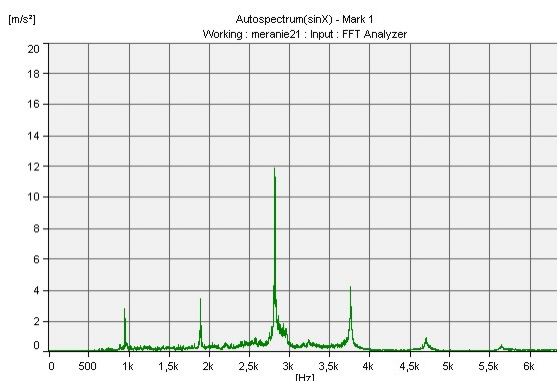


Obr.11 Časový priebeh amplitúd zrýchlení v mieste jednoosového snímača v smere osi x a v mieste trojosového snímača v smere osi x pri meraní č.17

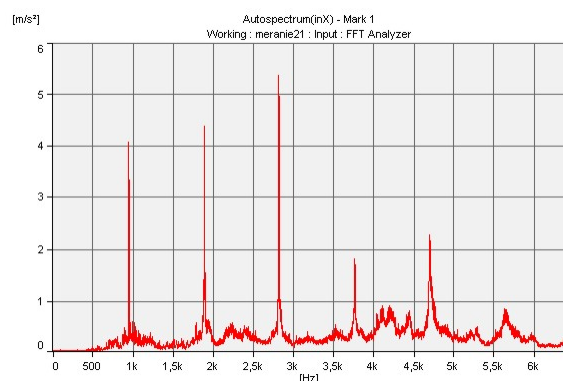


Obr.12 Časový priebeh amplitúd v mieste trojosového snímača v smeroch osi x, y, z pri meraní č. 17

Frekvenčné závislosti amplitúdy zrýchlení na obr. 13 a 14 veľmi zreteľne dokazujú že frekvenčné závislosti zrýchlenia na jednej aj druhej strane sú rozdielne, a teda aj hodnoty reakcií ako dynamických síl vo vibroizolačných prvkoch tej istej podpory sú rozdielne.



Obr.13 Frekvenčná závislosť amplitúd zrýchlenia na jednoosovom snímači pri meraní č. 21



Obr.14 Frekvenčná závislosť amplitúd zrýchlenia na trojosovom snímači v smere osi x pri meraní č. 21

Kým na strane podpery bližšej k potrubiu medzitlaku je maximálna amplitúda zrýchlenia približne rovná 12 ms^{-2} na opačnej strane podpery v tom istom smere pri tej istej frekvencii maximálna amplitúda nedosahuje ani 50% jej hodnoty. Mimoriadne zaujímavá je skutočnosť, že výraznejšie amplitúdy sa vyskytujú pri celočíselných násobkoch $\sim 940 \text{ Hz}$, čo predstavuje 12-násobok otáčok turbokompresora (t. j. pri otáčkach $4\,700/\text{min}$. je to cca $78,3 \text{ ot/sek}$). Podľa riešiteľov by tento násobok mohol súvisieť s počtom lopatiek na obežnom kolese turbokompresora. Mimoriadne závažná je skutočnosť, že pri meraní na tejto podpere vo vertikálnom smere sa pri nízkych frekvenciách nevyskytuje výraznejšia amplitúda. Pri nízkych frekvenciách (rádové jednotky Hz) sa výraznejšia amplitúda prejavuje len v smere osí y a z.

Záver

V príspevku k netradičnému prístupu určenia reakcií je uvedená analýza dynamických procesov ovplyvňujúcich životnosť potrubí kompresorových staníc vychádzajúca z upravenej metodiky stanovenia časových závislostí integrovaných vnútorných silových veličín a reakcií určených z tenzometrického merania. Výsledky meraní časových priebehov zrýchlení i frekvenčných závislostí amplitúd zrýchlení potvrdzujú namerané rozdiely v silách prenášaných do vibroizolačných prvkov určených z tenzometrického merania. Získané závislosti sú podkladom na definovanie kvázistatických deformačných a napät'ových polí nevyhnutných na hodnotenie životnosti uzlov potrubných sústav. Analýza nameraných časových a frekvenčných priebehov zrýchlení uvedená v príspevku slúži na verifikáciu výsledkov získaných vyhodnotením tenzometrického merania. Namerané časové priebehy zrýchlení, ale i experimentálne určené modálne parametre jasne dokumentujú nerovnomernosť zaťaženia vibroizolačných prvkov na jednej päťke.

Literatúra

- [1] Rejent, B., Zástěra, M., Vrbovský, V., Šimko, P.: Opravy a údržba uloženia plynovodných potrubí na kompresorových stanicích (I. časť), Slovgas IX, 2000, č.1, str. 6–9
- [2] Rejent, B., Zástěra, M., Vrbovský, V., Šimko, P.: Opravy a údržba uloženia plynovodných potrubí na kompresorových stanicích (II. časť), Slovgas IX, 2000, č.3, str.6 – 9
- [3] Trebuňa, F. a kol.: Hodnotenie životnosti potrubí na kompresorových stanicích numerickými a experimentálnymi metódami pružnosti. Slovgas XIII, 2004, č. 2, str. 18 – 23
- [4] Rejent, B. a kol.: Procesy optimalizace ukladání potrubí při rekonstrukční technologii kompresních stanic. Slovgas XIII, 2004, č. 5, str. 15 – 17
- [5] Rejent, B., Zástěra, M., Rejent, J.: Zkušenosti s opravami uložení plynovodních potrubí na KS Ivanka pri Nitre. Slovgas XI, 2002, č. 2, str. 19 – 21
- [6] Rejent, B. a kol.: Technická dokumentácia opravy uložení potrubí. Konečný stav po oprave KS 02 – Jablonov nad Turňou. Redyst Praha 2002
- [7] Cyrus, V., Folta, V.: Pulzace v potrubním systému kompresorové stanice s turbodúchadlem o výkonu 6 MW – rozbor, návrh opatření k jejich odstránění – výzkumná zpráva č. SVUSS 92-04006.
- [8] Cyrus, V., Sprinc, M.: Měření pulzací tlaku v potrubním systému kompresorové stanice KS 2 v Jablonově nad Turňou u 1. a 2. haly. Výzkumná zpráva č. SVUSS 94-04001.
- [9] Benča, Š., Élesztős, P., Pobežal, P.: Opakované tenzometrické meranie a výpočet síl na prírubách kompresora „Nuovo Pignone“ v KS Jablonov nad Turňou. Správa pre SPP, š.p., Divízia SLOVTRANSGAZ, Bratislava jún 1995

- [10] Benča, Š., Poděbradský, J.: Experimentálno-numericke určovanie cyklického prevádzkovaného zaťaženia exponovaných častí potrubného systému. Zborník zo stretnutia zástupcov katedier a ústavov mechaniky a pružnosti a pevnosti strojnícckych fakúlt z ČR a SR, Smolenice, 5. – 6. máj 1999
- [11] Trebuňa, F. a kol.: Určenie zostatkovej životnosti potrubného dvora prvej haly kompresorovej stanice vo Veľkých Kapušanoch. Výskumná správa Sjf TU v Košiciach 1999, 456 strán
- [12] Trebuňa, F. a kol.: Určenie zvyškovej životnosti potrubných dvorov. Priebežná a záverečná správa IV. etapy. Výskumná správa, Sjf TU v Košiciach 2004, 178 strán
- [13] Gik, L.-D.: Izmerenie kolebanij. INSO Novosobírsk 1972
- [14] Heymann, J., Lingener, A.: Experimentelle Festkörpermechanik. VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1986, 1. Auflage, 468 strán