



32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

MEASURED AND FEM-CALCULATED DEFORMATION AND STRESS
OF THE SEGMENTED PIPE-BEND
POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH A MKP VYPOČTYENÝCH DEFORMACÍ
A NAPĚTÍ NA SEGMENTOVÉM KOLENU POTRUBÍ

Krásný I., Rejent. B., Jaroš P.

Segmented pipe-bends of a large-scale cooling system usually selfcompensate for thermal expansion. Stresses in bends due to temperature changes under operating conditions are often extraordinary high. A complex experimental-(FEM)calculation program has been developed. Some results of interest are presented.

ÚVOD

Segmentová kolena si vynutila zvýšenou pozornost díky svým náročným pracovním podmínkám v chladicích okruzích jaderných elektráren (JE) i jiných energetických zařízení. Jsou vystavena vysokým dilatačním zatížením, sekundárně pak seismické a hydraulickým rázům. Přitom je třeba zajistit bezpečnou životnost těchto komponent po celou dobu provozu, doprovázenou značnými korosními úbytky tloušťky stěny.

Potrubní systémy chladicích okruhů bývají velice rozsáhlé díky nekoncentrovanému umístění chladičů, nádrží, čerpacích stanic atd. Ke kompenzaci vzniklých dilatací využívají své prostorové konfigurace, zpravidla bez klasických kompensátorů, jež prakticky nelze použít u systémů zatížených dynamicky (seismická [1],[2], hydraulické rázy [3]). I přes nízká pracovní oteplení 30° až 60°C dosahuje pak zatížení kolen - nejdopodajnějších komponent samokompensovaného potrubího útvaru - vysokých hodnot.

Použije-li se k seismickému zajistění chladicího okruhu JE třecích prvků v podpěrách, je zatížení segmentových kolen skutečně extrémní a vyžaduje maximální pozornost při jejich návrhu, výrobě i montáži. Vynucuje si to rozsáhlou analýsu nelineárních subsystémů potrubí s kolenem (kompensátorem dilatací) pro plný rozsah pracovních zatížení i pro teploty nižší, než teplota montáže, podrobné vyšetření napjatosti v segmentovém koleně metodou konečných prvků a - pro reálnou konstrukci, výrobu a montáž - i experimentální ověření tensiometrickým měřením napětí a měřením přetvoření zejména příčných řezů kolena (calibration, vyvolaná Kármánovým efektem). Předem vypracovaný program takového měření byl pro potrubí chladicího okruhu shrnut do t.zv. kontrolního experimentu [1],[2],[5],[6].

Při řešení každého technického problému je žádoucí racionální, navzájem se doplňující kombinace experimentálního a výpočtového přístupu, již se nám, jak se domníváme, u kolen potrubí řešeného chladícího okruhu podařilo realisovat. Základní schema klíčové části okruhu - L-kompensátor se segmentovým kolennem - je uvedeno na obr.1.

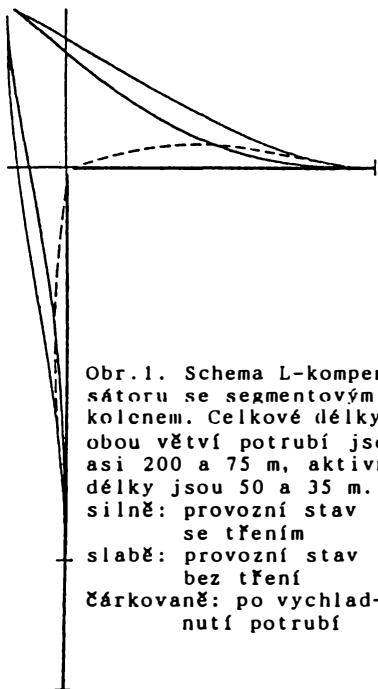
VÝPOČTOVÁ ČÁST

Předem byly provedeny tyto výpočty (jak pro provozní záťžení, tak zaměřené na kontrolní experiment):

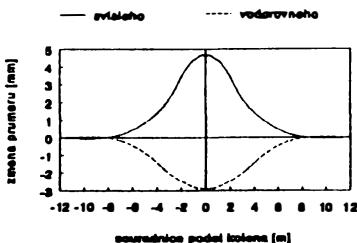
- a) jednorozměrný (nosníkový) na tepelné dilatace celého potrubí. Výpočet samozřejmě bere v úvahu ovalisační (Kármánovy) efekty ohýbaného anuloidového (nesegmentového) kolena bez blízkých kruhových výztuh.
- b) podrobný trojrozměrný (skořepinový) výpočet samotného kolena. Tenku výpočtu, m. j. vlivem oprávnitnosti, předpokladů výpočtu ad a) i pro segmentové kolenko. Iluzorický však i na zásadní odlišnost deformačních a napěťových poměrů v poměrně velkém okolí kolena od "nosníkových" předpokladů. Ovalisační efekty ohýbaného kolena by se bez kruhových výztuh při daném průměru (1,4m) a tloušťce (potrubí 8mm, koleno 10mm) utlumily až na délce asi 4 průměrů - viz obr.2). Existence kruhových výztuh v podporách v blízkosti kolena zvyšuje tuhost kolena a tím i kompenzační napětí. Přitom napětí ovalisačního původu převyšuje asi o řád napětí, odpovídající jednorozměrným nosníkovým představám. Proto vyhodnocení výsledných statických veličin podle [4] narází na hranice, dané dosažitelnou přesností měření napětí tensometry. Ukázky průběhu těchto napětí, sloužících k tomuto vyhodnocení jsou na obr.3 a 4. Je vídět, že v [4] zhlášlivě bohatě navržený počet osmi růžic po obvodě řezu není pro ovalisaci ovlivněný průběhy napětí přehnaný. Vzorce pro výpočet sil a momentů, uvedené v [4], tabulka I, v podstatě vyjadřují integraci podélních napětí po obvodě válcové skořepiny, vážených "nosníkovými" členy (nultým a prvým) Fourierova rozvoje. Protože Kármánovy efekty jsou dány druhým a vyššími členy rozvoje, jež jsou k "nosníkovým" ortogonální, platí uvedené vzorce - aspoň teoreticky - i pro ovalisovanou oblast okolí kolena. Nároky na přesnost měření se ovšem podstatně zvyšují.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

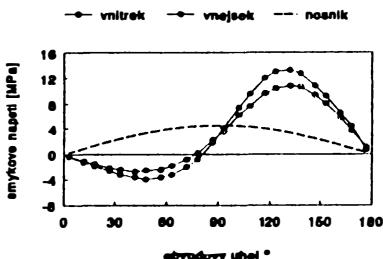
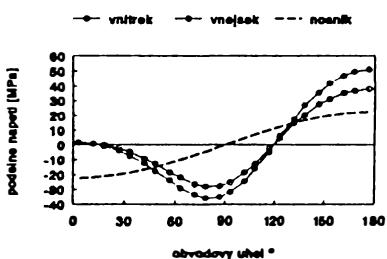
Zatím bylo provedeno měření na prázdném potrubí, bez vody, potrubí bylo jednak provisorně podepřeno na vzdálené tyčky, jednak uloženo na kluzných destičkách na podpěrách. Zatížení bylo simulováno vynucením statické výchylky ve vodorovném směru pomocí stabilní vzپery, umístěné asi v polovině aktívní přímé části potrubí, sousedící s kolenem. Byla provedena měření statická i dynamická (při náhlém odlehčení vzپery). Měřeno bylo napětí v řezech při hraničních kolená, v jeho středním segmentu byla měřena jak napětí, tak ovalisace.



Obr.1. Schema L-kompenzátoru se segmentovým kolencem. Celkové délky obou větví potrubí jsou asi 200 a 75 m, aktívni délky jsou 50 a 35 m. silně: provozní stav se třením
slabě: provozní stav bez tření
čárkovaně: po vychladnutí potrubí



Obr.2. Změny průměrů (ovalisace) kolena, zatíženého ohybovým momentem 100000 Nm v jeho rovině. Koleno je spojeno s dlouhým potrubím jež se může volně ovalisovat. Součadnice podél potrubí má počátek v rovině symetrie kolena, vlastní segmentové koleno je v intervalu $\pm 2,2$ m



Obr.3,4. Průběhy podélného (vlevo) a smykového (vpravo) napětí podle skořepinového výpočtu ("vnitřek", "vnějšek") a podle technické teorie ohybu nosníků v řezu, vzdáleném 695 mm od ideální hranice kolena při veknutí nástavné části potrubí. Koleno je zatíženo tahovou silou 100000 N, nástavné části potrubí jsou dlouhé 800 mm, jejich konec si zachovají kruhový tvar. Obvodový úhel: $0^\circ \div 180^\circ$ - vnitřek \div vnějšek kolena.

Měření je v podstatě v dobrém souhlasu s výpočty, zejména v oblasti prostředního segmentu potrubí, kde jsou napětí i deformace maximální. Zatím však zůstává nevysvětlen následující změřený efekt:

potrubí, koleno i zařízení je symetrické vůči vodorovné rovině - změřená napjatost v kolenu a jeho okolí však symetrická vůči ní není. Možnou příčinou by mohlo být nedokonalé vyrovnaní podpěr staticky mnohonásobně neurčitého uložení potrubí, první napětí v potrubí po svařování.

Souhlas výpočtem předpověděného a změřeného dynamického chování potrubí na kluzných podložkách je až překvapivě dobrý. Je to jistě i díky tomu, že návrhu a ověření kluzného uložení byla věnována značná péče a náklady - volba a otestování materiálu třecích podložek, ověření časové stálosti koeficientu tření atd.

ZÁVĚR

Cílem popsáního komplexního výpočlového experimentálního postupu je potvrzení skutečné únosnosti kolena v potrubním systému a tím ověření spolehlivosti celého okruhu životně důležitého chlazení jaderné elektrárny. Jde přitom o zařízení s trvalým provozem bez možnosti jeho neplánované odstávky, u zařízení, u něhož v plánované době životnosti může dojít až k asi 50% plošnému korosnímu úbytku tloušťky stěny a jehož bezpečný provoz je z tohoto důvodu nemyslitelný bez předem připraveného programu diagnostického sledování.

LITERATURA

- [1] Kontrolní experiment TVD ETE. Tech. zpráva o měření č.018/93 - REDYST
- [2] Program kontrolního experimentu na potrubí TVD EMO. Technická zpráva č.01/RE/94 - REDYST
- [3] Teplně - bilanční a pevnostní výpočty potrubního systému chladícího okruhu FLOAT II GLAVUNION Teplice
- [4] Jaroš P.: Experimental analysis of force and moment acting on thin-walled tube. Proceedings of the 31. Conference on Experimental Stress Analysis, Měřín (Czech republic) 1993
- [5] Jaroš P.: Experimentální analýza namáhání segmentového kolena L-kompensátora JE TE. Zpráva SVÚSS č.93-06003
- [6] Krásný I.: Hodnocení I. etapy kontrolního experimentu na potrubí TVD JETE. Zpráva VAMET č.007-S103-93

Ing. Ivan Krásný CSc. VAMET, Plzeňská 221, 150 00, Praha 5,
tel. (02)558813, 1.221, fax (02)524330, Koněvova 121,
130 00 Praha 3

Ing. Blahoslav Rejent CSc. REDYST, Mánesova 36, 120 00, Praha
2, tel./fax (02)251652

Ing. Petr Jaroš CSc. SVÚSS 191 11 Praha 9, tel. (02)743051,
1.2710, fax (02)742078, Sovětská 18, 197 00, Praha 9,
tel. (02)8503812