



SIMULATION OF FLOW AROUND CONTROL VALVE CONE

Milan SCHUSTER, Vladislav RAZÝM, Roman PAŠEK, Richard MATAS*

***Summary:** Short study of wake-flow parameters and fluid-induced vibration of the model of valve cone is presented in this paper. Tested valve model was located in air tunnel. The CTA-anemometry with wire and film probes was used to measure flow parameters in wake of vibrating cone. The vibration of cone was measured mainly by accelerometer. The results show very complicated relation between flow around cone and vibration of cone. The measurements did not give simple answer to cause of vibration of valve cone. The results of flow measurements were compared with the results of computations by CFD code.*

1. Úvod

V příspěvku jsou souhrnně popsány metody řešení úloh proudění a aeroelasticity vysokotlakových regulačních ventilů. Cílem výzkumu je přispět k objasnění závislosti vzniku kmitání kuželek ventilů protékanych párou, prošetřit dynamické namáhání částí ventilů, zvýšit účinnost optimalizací tvaru průtočné části.

Hlavní část příspěvku je věnována měření na modelu sedlového regulačního ventilu. Ventil je odlehčený, z důvodu snížení osově ovládací síly je kuželka ventilu provedena dvoudílná. Ventil umožňuje za provozu turbíny regulovat množství protékající páry do vysokotlakového dílu parní turbíny, proto může mít kuželka libovolný zdvih od obou krajních hodnot – plně otevřeno, zavřeno. Experimentální model ventilu byl protékán vzduchem, neboť parametry páry protékající skutečným ventilem jsou omezující pro technickou realizaci experimentu. Měřeno bylo rychlostní pole turbulentního proudění v difuzoru ventilu a současně bylo měřeno kmitání kuželky ventilu. Dosažené výsledky měření spolu s výpočty proudění ventilem umožnily učinit si základní představu o situaci v konkrétním konstrukčním provedení regulačního ventilu.

2. MOŽNOSTI AEROELASTICKÉHO VÝZKUMU VENTILŮ

Výzkum aeroelastických jevů a vlastností proudění v okolí kuželek variant regulačních ventilů v laboratorních a provozních podmínkách je možné rozdělit do několika tématických kategorií podle orientace na řešení konkrétního fyzikálního jevu následujícím způsobem:

Dynamické namáhání - experimenty spojené se změnou mechanických vlastností závěsu a vedení kuželky, optimalizace konstrukce a tvaru zavěšení kuželky a dalších částí ventilu. Při měření jsou snímány velikosti amplitud výchylek, frekvence kmitání, prováděna modální analýza. Měření lze provádět i za provozu na skutečném díle, neboť čidla (tenzometry, akcelerometry ap.) jsou umístěny vně proudící páry, většinou na tělese komory ventilu nebo na táhlu kuželky.

Vliv fluídoelastického buzení - studium vzájemného ovlivňování proudu tekutiny a kmitající kuželky ventilu. Při měření je třeba pokud možno současně snímat veličiny charakterizující mechanické kmitání kuželky a veličiny charakterizující proudění páry. Snímací čidla musí být umístěna převážně přímo na kmitající kuželce v proudu tekutiny nebo v její bezprostřední blízkosti. Měření jsou realizována na modelových zařízeních, zejména vzhledem k hodnotám teplofyzikálních parametrů páry protékající ve skutečném ventilu. Při experimentech je zjišťováno tlakové a rychlostní pole tekutiny těsně před kuželkou, jsou měřeny výchylky a trajektorie kuželky, měření tlakových pulsací a silových namáhání kuželky.

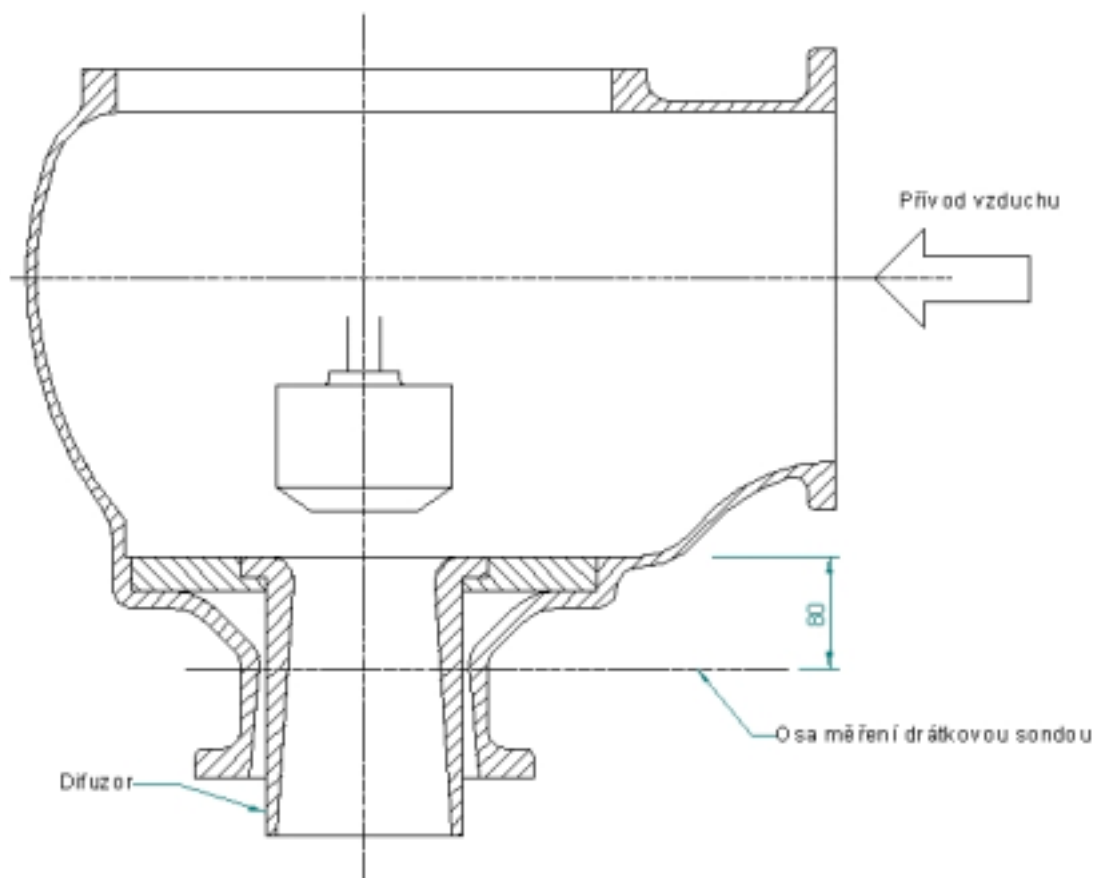
* Dr.Ing. Milan Schuster, Dr.Ing. Vladislav Razým, Ing. Roman Pašek, Ing. Richard Matas : ŠKODA VÝZKUM s.r.o., Tylova 57, 31600 Plzeň, email: mschuster@vyz.ln.skoda.cz

Měření proudění v úplavu za kuželkou – podrobný výzkum vlastností proudění v úplavu za kmitající kuželkou lze provést na modelovém experimentálním zařízení, model regulačního ventilu s různým stupněm zjednodušení je většinou protékán vzduchem. Cílem měření je jednak posoudit vliv charakteru proudění na velikost kmitů kuželky popřípadě z velikosti a struktury úplavových vírů usuzovat na fyzikální mechanismus interakce mezi tekutinou a kuželkou, a dále posoudit vliv struktury úplavového proudění na vznik tlakových pulsací v tekutině a tím i vybuzení kmitů celého tělesa ventilu a přívodního potrubí do VT dílu turbíny. Podrobné experimenty s prouděním v difuzoru ventilu na speciálně upraveném modelu by umožnily detailní proměření rychlostních polí za kmitající kuželkou a studium např. rázové vlny, struktury úplavu ap. Tato měření vyžadují traverzovat úplavový proud v mnoha rovinách za kuželkou, použití pneumatických Pitotových sond nebo drátkových sond. Zřejmě by bylo možné využít moderní “bezkontaktní” měřicí metody – na speciálně upraveném modelu ventilu nasadit laserový anemometr (LDA, PIV), laserový výchylkoměr lze použít i u předchozího tématu – určování výchylek.

Výpočet proudění v okolí kuželky ventilu – využitím všech možností CFD programu lze získat poměrně podrobnou představu o tlakových a rychlostních polích prakticky v celé průtočné části regulačního ventilu. Určitá omezení jsou dána geometrickým rozsahem úlohy a z toho plynoucí velikostí sítě výpočetního modelu, zejména u trojrozměrných 3D-úloh lze dosáhnout až k mezním možnostem výpočetní techniky. Vhodná volba modelu turbulence, zadání fyzikálních podmínek pro výpočet a test numerického řešiče pro daný typ úloh jsou aktuálními tématy současných prací. Součástí je i porovnání výsledků anemometrických měření a počítačové simulace rychlostí a turbulence proudění ve ventilu.

Výpočetní metody, které by umožňovaly přímou simulaci efektů fluidelastického buzení a které by dovozovaly určit odezvy mechanické struktury na aeroelastické jevy, nejsou dosud v dostatečné míře rozpracovány a rozšířeny.

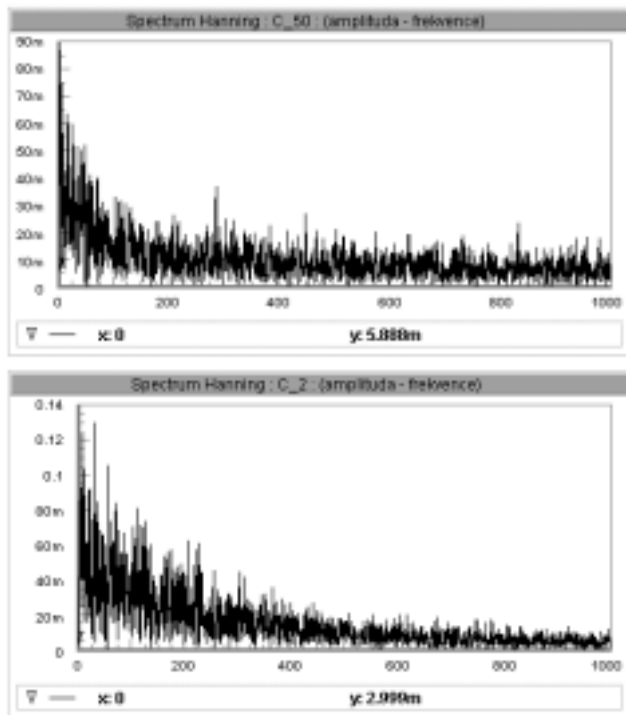
Přenos tepla a tepelné zatížení částí ventilu – výzkum vlivu teplotních parametrů protékající páry ventilem na vlastnosti a strukturu materiálů průtočné části ventilu, určovat tepelné dilatace ap. Do této oblasti zřejmě patří úvahy spojené s expanzí páry ve vlastním tělese ventilu zejména při velmi malých pootevřeních.



Obr. 1 Schéma modelu ventilu

3. MĚŘENÍ V ÚPLAVU ZA KMITAJÍCÍ KUŽELKOU VENTILU

Popis experimentu. Cílem měření bylo zjistit případné souvislosti mezi kmitáním kuželky ventilu a strukturou úplavového proudu za ventilem. Při měření byl současně zaznamenáván charakter turbulence za ventilem a kmitání kuželky ventilu. Měření byla provedena na modelu vysokotlakového ventilu, který byl umístěn ve vzduchové experimentální trati. Konstrukce zařízení umožnila měnit dynamické vlastnosti závěsu kuželky (tuhost) a měnit tvar kuželky a rozměry sedla difuzoru (na obr. 1 jsou naznačeny hlavní části modelu, rovina a směr traverzace s drátkovými sondami, umístění akcelerometru a označení systému os). Bylo možné měřit při různých tlakových poměrech (tlakové poměry $p_0/p = 0,9 - 0,8 - 0,7$), různých zdvích kuželky (relativní zdvih, tj. poměr zdvihu kuželky k jejímu průměru $b = 0,35 - 0,25 - 0,15$) a při třech hodnotách tuhosti závěsu.



Obr. 2 – Spektrum signálu drátkové sondy, nahoře: sonda za kuželkou, dole: sonda v přívodním potrubí

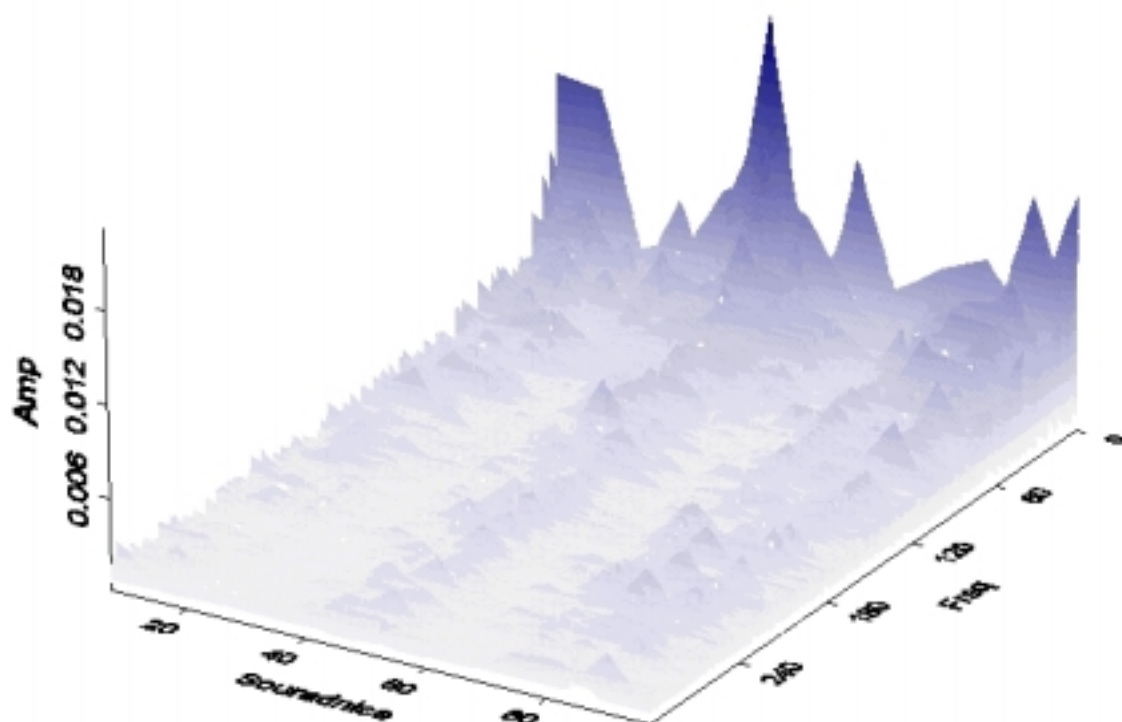
Měřeno bylo s anemometrickými sondami se žhaveným drátkem (jedno- a dvoudrátkové) a s filmovou sondou, sonda byla posouvána napříč proudem v úplavu ve vzdálenosti 80 mm za hrdlem difuzoru. Pro kontrolu byla další jednodrátková sonda pevně umístěna v přívodním potrubí vzduchu do experimentálního zařízení.

Výsledky měření. Počáteční měření proudění v úplavu se omezila na porovnání frekvenčních spekter obou signálů můstkového napětí anemometru a výchylkoměru či akcelerometru. Zaznamenaná turbulentní spektra obsahují řadu frekvencí. Frekvence turbulentních fluktuací, které by byly podobných hodnot jako frekvence kmitání, byly obsaženy v každém záznamu turbulentního spektra, ale většinou nebyly dominantní. Vztah mezi kmitáním a jevy v úplavu nemohl být pouhým porovnáním spekter jednoznačně prokázán.

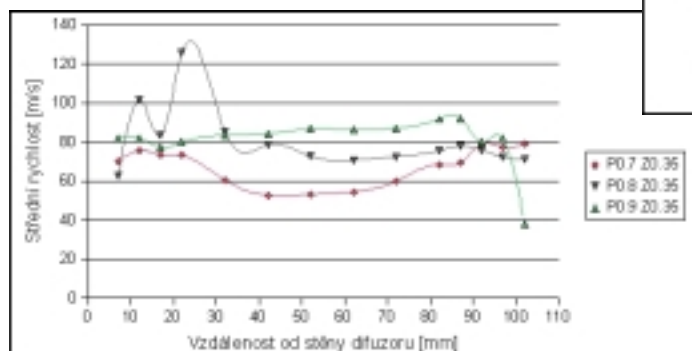
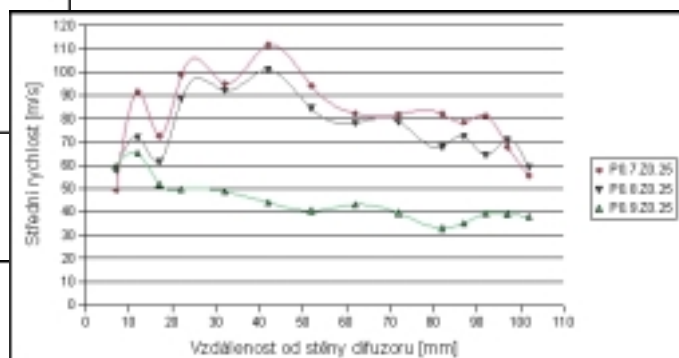
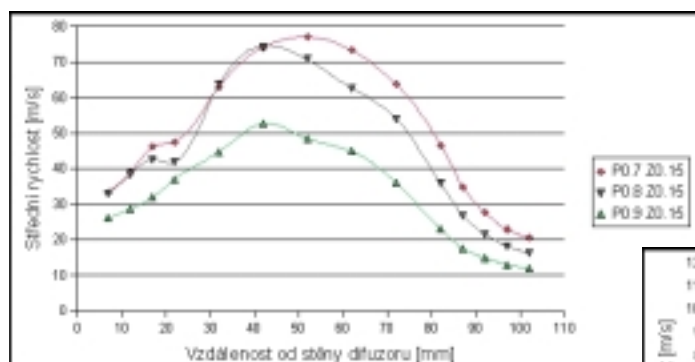
Z výsledků měření proudění bylo vybráno např. porovnání frekvenčních spekter signálů sondy v úplavu za kuželkou a sondy v přívodním potrubí (obr. 2). Z obou grafů lze vyčíst rychlejší pokles signálu u sondy umístěné v úplavu a tím usuzovat na četnější výskyt větších vírů s nižší frekvencí. Na obr. 3 jsou shrnuta všechna naměřená

turbulentní spektra signálů ze sondy v úplavu za kuželkou, v tomto grafu jsou spektra v závislosti na vzdálenosti od stěny difuzoru při traverzování (v grafu označeno „souradnice”). Vyšší hodnoty amplitud jsou patrné v ose kanálu a v blízkosti obou stěn.

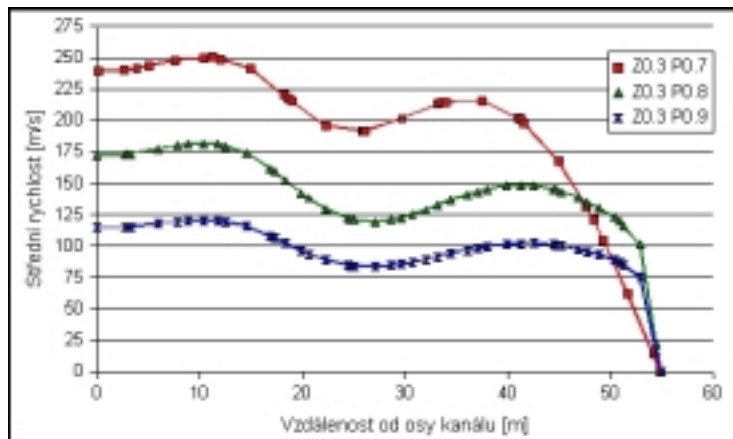
Na obr. 4 jsou ve třech grafech zobrazeny rychlostní profily naměřené filmovou sondou v difuzoru při různém pootevření ventilu. Při vyšších rychlostech (a tím i větších zdvích kuželky) jsou jednotlivé profily „složitějších tvarů”. Průběh velikosti rychlosti napříč úplavovým proudem může ukazovat na výskyt určitých nestacionarit v proudu. Při postupném (nesoučasném) měření rychlosti při traverzování v jednotlivých bodech průřezu nastávají změny v parametrech proudění a pak je výsledkem takto „nespojité” rychlostní profil. Snad jen okamžité snímání rychlosti úplavového proudu (např. metodou laserové anemometrie PIV) by mohlo přesněji mapovat rychlostní pole. Byla také provedena počítačová simulace proudění difuzorem ventilu (podrobněji v 5. kap.). Na obr. 5 je pro srovnání ukázána polovina vypočítaného rychlostního profilu (ve stejné vzdálenosti od kuželky a pro obdobné podmínky jako měření). Také vypočítaný profil vykazuje vrchol v ose difuzoru a druhý podružný vrchol v blízkosti stěny.



Obr. 3 – Turbulentní spektra v závislosti na vzdálenosti měřícího místa od stěn difuzoru



Obr. 4 – Naměřené rychlostní profily za kuželkou v difuzoru (pro různé zdvihy Z a tlakové poměry P) při traverzování kolmo na směr proudění



Obr. 5 – Vypočítaný rychlostní profil za kuželkou ventilu (různé tlakové poměry P), pouze polovina symetrického průřezu difuzoru

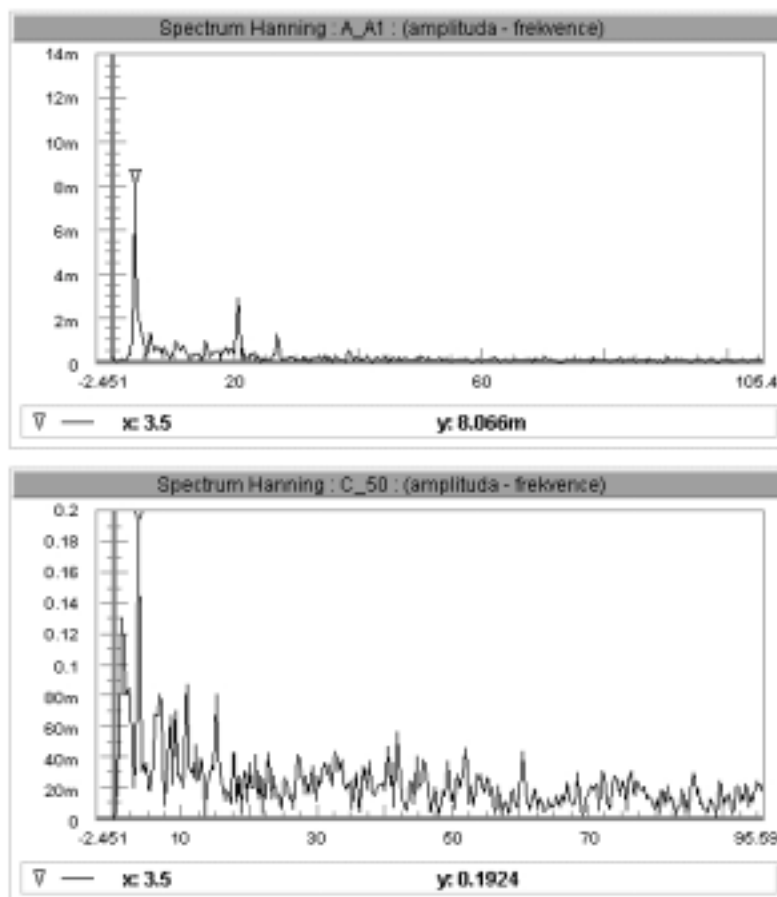
4. MĚŘENÍ KMITÁNÍ KUŽELKY MODELU VENTILU

Pro zjištění chvění kuželky ventilu byla měřena výchylka vetknutého táhla ventilu pomocí jednobanového laserového výchylkoměru nebo tříosým kapacitním akcelerometrem vyrobeným speciálně pro toto měření. Akcelerometr byl umístěn přímo na kuželce ventilu (naznačeno na obr. 1). Na časových záznamech výchylek byl patrný harmonický pohyb kuželky ventilu. Ve frekvenčním spektru výchylek lze nalézt poměrně výrazné frekvence odpovídající kmitání kuželky pro danou tuhost závěsu na vlastní frekvenci

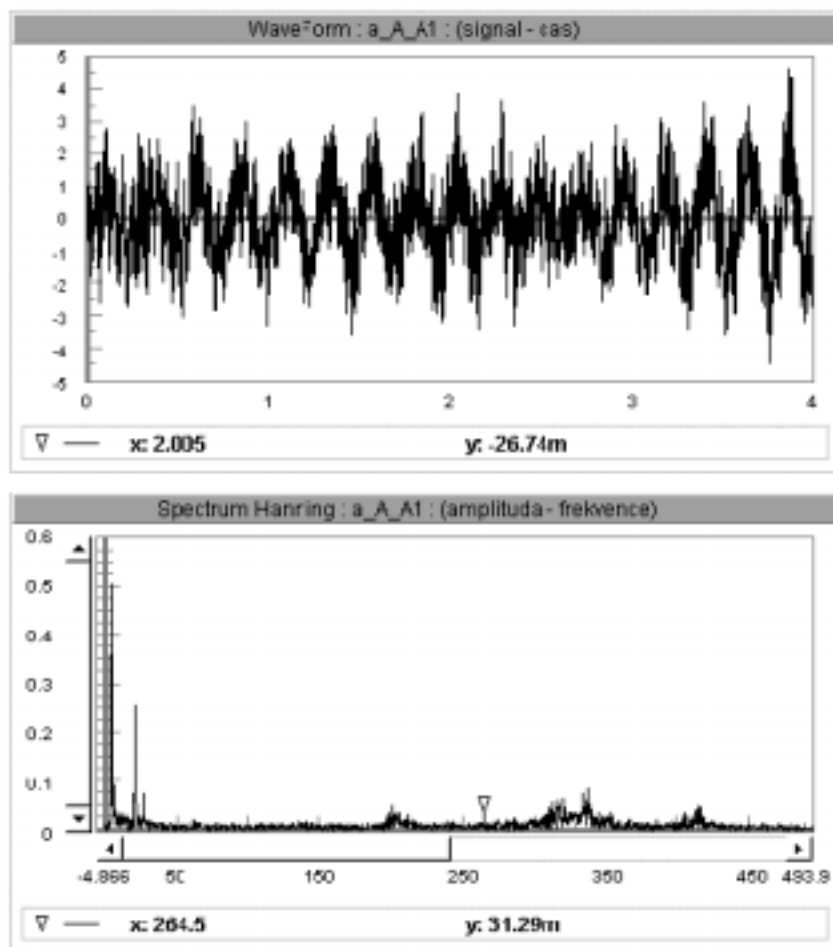
Výsledkem interakce mezi kuželkou a prouděním je měřitelná odezva v úplavu proudu vzduchu, kterou zanechá kmitající kuželka. Na obr. 6 jsou zobrazena vybraná dvě spektra výchylky a turbulence, která dokumentují výše uvedený jev ovlivnění proudění kmitající kuželkou, na obou záznamech je výrazná frekvence 3,5 Hz, obdobně je tomu tak i na ostatních záznamech pro jiné tuhosti závěsu, tlakové poměry a zdvihy kuželky.

Časový záznam a spektrum výchylek kuželky zaznamenaná akcelerometrem ve směru kolmém na osu přívodního potrubí jsou na obr. 7.

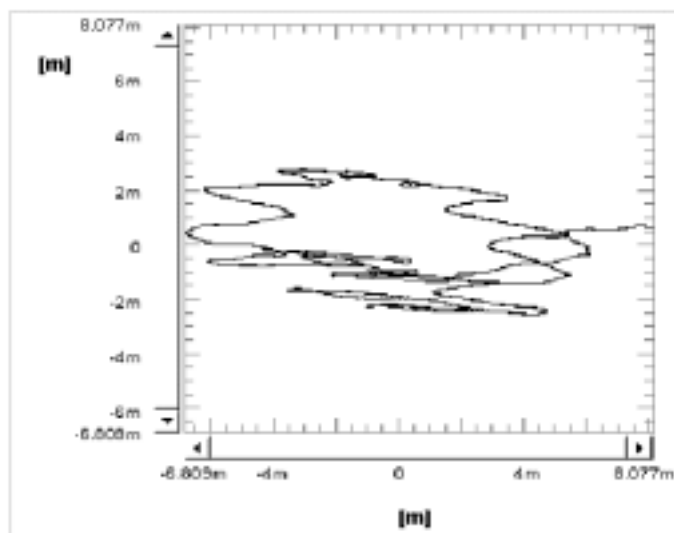
Pro jeden případ kmitání kuželky je na obr. 8 ilustrativně zobrazena trajektorie kuželky v rovině kolmé na podélnou osu táhla závěsu. Trajektorie byly získány dvojí integrací vyhlazeného signálu akcelerometru se současným provedením detrend-funkce výsledného záznamu.



Obr. 6 – Spektrum kmitání kuželky (nahore) a spektrum filmové sondy za kuželkou (dole)



Obr. 7 – Časový záznam a spektrum výchylek kuželky ventilu

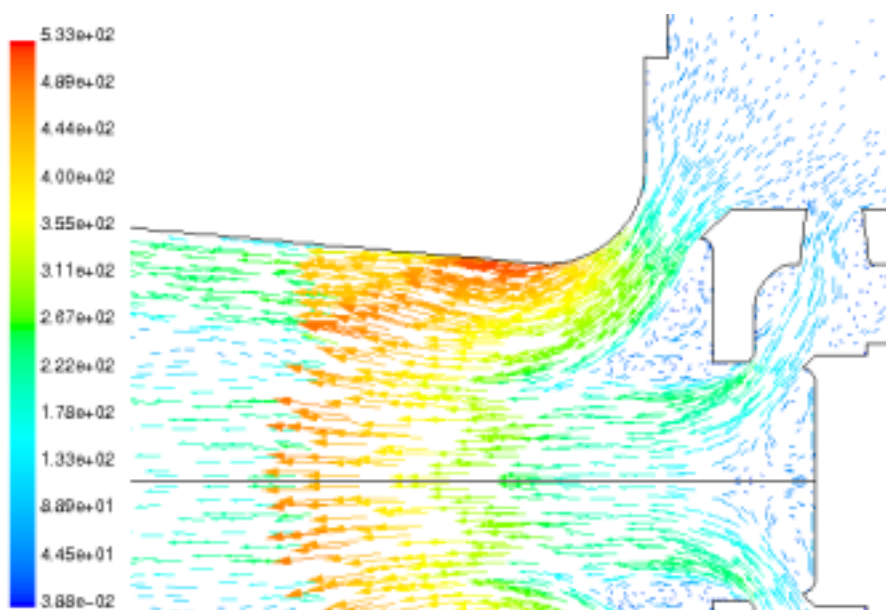


Obr. 8 – Trajektorie kmitající kuželky

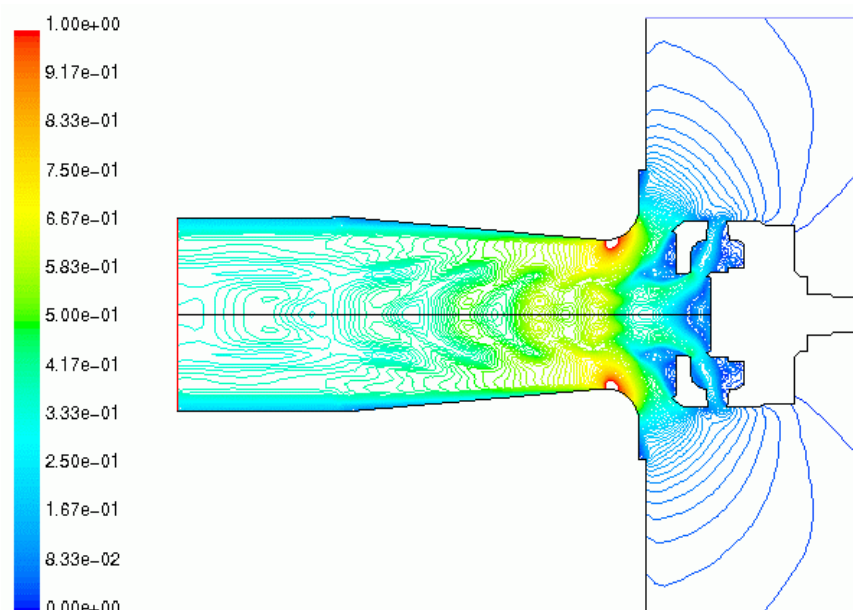
5. VÝPOČET PROUDĚNÍ MODELEM VENTILU

Souběžně s experimentálními pracemi probíhá výpočet proudění vzduchu modelem ventilu pomocí CFD programu Fluent. Výpočty probíhají pro několik variant tlakových poměrů a zdvihů kuželky. Průtočná část modelového ventilu je geometricky složitého a členitého tvaru, to klade velké nároky na vhodně zvolenou výpočetní síť s ohledem na požadované výsledky a kapacitní možnosti výpočetní techniky.

Simulační výpočty proudění osově symetrickým modelem sedlového regulačního ventilu parní turbíny byly provedeny pro stacionární i pro nestacionární případ se současným testováním možností řešičů CFD programu. Výsledky výpočtů byly získány v podobě vektorů rychlosti v okolí kuželky (obr. 9), izochar Machova čísla v celém počítaném objemu a popř. rychlostních profilů v místě měření anemometrickými sondami. Výsledky nestacionárních výpočtů jsou k dispozici i ve formě časové animace izochar Machova čísla s omezením shora hodnotou 1 (obr. 10 ukazuje rozložení Ma čísla v čase $t = 2,0$ sec.).



Obr. 9 – Vypočítané vektory rychlostí v okolí kuželky (pro zdvih 0,2 a tlakový poměr 0,7)



Obr. 10 – Izolinie Machova čísla (zdvih 0,3 a tlakový poměr 0,9)

6. ZÁVĚR

Příspěvek se zabývá měřením na modelu vysokotlakového regulačního ventilu. Měřeno bylo proudění v přívodu vzduchu do modelu, parametry proudu vzduchu za kuželkou modelového ventilu a chvění kuželky. Pro nalezení příčin kmitání kuželek ventilů trámcové regulace by bylo zapotřebí podrobně mapovat proudění uvnitř tělesa ventilu v nejbližším okolí kmitající kuželky.

Při porovnání výsledků naměřených a vypočtených hodnot rychlostních profilů byly zjištěny výrazné rozdíly. Vypočtené hodnoty rychlostí jsou cca o 40 % vyšší než hodnoty naměřené. Jednou z příčin těchto rozdílů je použití osově symetrického 2D modelu. Další výpočty jsou připravovány pro 3D model celého ventilu, tvorba geometrie a výpočetní sítě jakož i zajištění konvergence výpočtu budou značně časově náročné.

Příspěvek vznikl v rámci řešení úkolu GAČR 101/99/1667.

7. LITERATURA

- [1] Schuster M. : Fluidoelastické buzení kuželky regulačního ventilu, Sborník semináře "Interakce a zpětné vazby 2000", ÚTAVČR Praha, 2000, s. 227 - 232
- [2] Pašek R.: Interakce mezi proudící tekutinou a kuželkou VT ventilu, výzkumná zpráva VYZ 0407/2000, ŠKODA VÝZKUM s.r.o., Plzeň, 2000
- [3] Matas R., Razým Vl.: Simulační výpočty osově symetrického modelu regulačního ventilu, výzkumná zpráva VYZ 0429/2000, ŠKODA VÝZKUM s.r.o., Plzeň, 2000