

APLIKACE PŘÍVAŘOVACÍCH TENZOMETRŮ PŘI PROVOZNÍM MĚŘENÍ NA REGULAČNÍCH VENTILECH PARNÍ TURBÍNY 500 MW.

Václav Dolhof, Petr Bohdan, ÚVZÚ k. p. Škoda Plzeň

V příspěvku jsou uvedeny výsledky experimentálního ověřování metrologických charakteristik přivařovacích tenzometrů SP-9-SY 502 a výsledky provozních měření při dlouhodobém působení teploty do 290° C.

1.0 Úvod

Provozní tenzometrická měření na vysokotlakých regulačních ventilech parní turbíny 500 MW na elektrárně Mělník III se uskutečnila při různých provozních režimech stupňovitěho zvyšování na plný výkon a stupňovitěho snižování na nulový výkon. Byly určovány kvazistatické a dynamické silové účinky ve vřetenech na původním ventilu a na ventilech s upravenou kuželkou z hlediska proudění páry. Po odstavení turbíny se uskutečnilo rovněž měření charakteristik pružin regulačních ventilů.

2.0 Příprava tenzometrického měření a použitá měřicí technika

Pro přímé měření silových účinků na vřetenech vysokotlakých ventilů při teplotě cca 470° C nebyly na pracovišti ÚVZÚ k dispozici vhodné tenzometry. Proto bylo rozhodnuto měřit kvazistatické a dynamické účinky, působící v soustavě ventilu na dvojici táhel, jejichž průřez byl pro zvýšení citlivosti měření změněn z rozměru 100 x 32 mm na 50 x 32 mm. Z naměřených silových účinků v táhlech byly vyhodnoceny silové účinky a namáhání vřetena ventilu.

Na každém ze čtyř táhel byly ve střední části přibodovány dva měrné tenzometry v podélném směru táhla a dva kompenzační tenzometry v příčném směru a přivařen kontrolní termočlánek Fe-Ko. Měřené místo bylo chráněno proti vlhkosti při přepravě a skladování a dále proti

možnému působení unikající páry několikanásobným nátěrem izolačního prostředku Abdeckmittel SG 250, výrobce Hottinger Baldwin Messtechnik HBM, GmbH, NSR. Proti mechanickému poškození při přepravě a při montáži bylo měřené místo chráněno krytkou z ocelového plechu tl. 1. mm, bodově přivařenou příchytkami na povrch táhla. Tenzometry byly přivařeny bodovou kondenzátorovou svářečkou firmy BLH Electronics, Model 3000, USA, s plynulou regulací svářečského příkonu a regulovatelnou přitlačnou silou elektrody (22 Ws, 9 N). Vývodní měděné vodiče o průřezu 0,5 mm² s teflonovou izolací byly svářeny s Ni-Cr drátky tenzometrů o ϕ 0,1 mm interně zhotovenou obloukovou transformátorovou svářečkou.

Všech osm tenzometrů z páru táhel na ventilu bylo zapojeno do celomostového zapojení (vždy dva měrné a kompenzační tenzometry zapojené v sérii), což umožnilo jednak vyloučení signálu ohybového namáhání táhel, dále velmi dobrou teplotní kompenzací a rovněž získání 2,6 násobně větší citlivosti měřené deformace.

Táhla po dokončení izolace byla ve dvojici cejchována na elektrohydraulickém zařízení (EHZ) MTS stupňovitě až do síly 400 kN, poté byly stanoveny teplotní charakteristiky při ohřevu v peci WSU 100 až do teploty 300° C. Následovala přeprava do elektrárny Mělník III, kde byla táhla při odstávce zamontována do příslušných vysokotlakých regulačních ventilů.

Při cejchování a při provozním tenzometrickém měření byly poměrné deformace souběžně měřeny velmi stabilním statickým tenzometrickým můstkem Manuell Kompenzátor MK a dynamickým můstkem KWS 3073, výrobky firmy HBM a zaznamenávány na oscilograf Ultralette, výrobek firmy Atlas Corpo ABEM AB, Švédsko. Na základě výsledků cejchování byla chyba měření stanovena na $\pm$ 5 kN.

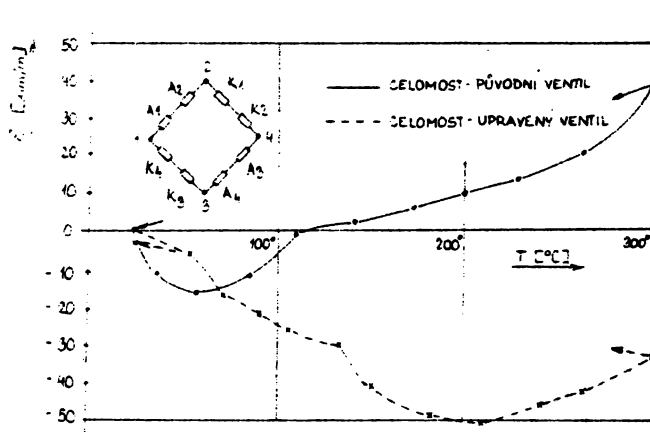
3.0 Výsledky cejchování a vyhodnocení měření

Provozní tenzometrická měření na vysokotlakých regulačních ventilech byla atypická většinou provozních měření možností demontáže táhel s tenzometry po odstavení

turbíny a jejich opětovným přechováním před dalším měřením. Tato skutečnost byla výhodná z metodologického hlediska, neboť umožnila posoudit uplatnění rozptylu teplotních charakteristik a pomocí součinitelů deformační citlivosti k i dlouhodobou stálost přenosu deformace přivařovacích tenzometrů.

Po instalaci přivařovacích tenzometrů, vybraných podle teplotních charakteristik volných nepřibodovaných tenzometrů, byla vždy dvojice táhel pro jeden ventil umístěna do pece WSU 100. Poté byla zjišťována teplotní charakteristika osmi přivařovacích tenzometrů, zapojených do celomostového zapojení. Výsledky jsou uvedeny na obr. 1. Získané průběhy výsledných teplotních charakteristik vzniklých z osmi rozdílných teplotních charakteristik jednotlivých tenzometrů, jsou velmi příznivé a s velmi rychlým návratem na výchozí nulovou hodnotu po vychladnutí. Proto velkým vzorkem tenzometrů byla prokázána představitelnost výběru přivařovacích tenzometrů podle teplotních charakteristik volných nepřibodovaných tenzometrů.

Obr. 1. Teplotní charakteristiky přivařovacích tenzometrů na táhlech



Součinitel deformační citlivosti tenzometrů k byl zjišťován v červenci 1985, poté se uskutečnilo provozní měření a táhla s tenzometry byla cca 6 měsíců v provozních podmínkách na turbíně. Po jejich demontáži byla převezena na pracoviště ÚVZÚ, opraveny poškozené tenzometry a uskutečněno přecejchování v dubnu 1986. Po zamontování do ventilů a následném provozním měření byla opět cca 7 měsíců v provozních podmínkách. Po demontáži, dopravě na naše pracoviště a výměně poškozených tenzometrů se uskutečnilo třetí cejchování v červenci 1987. Výsledky z cejchování součinitele deformační citlivosti k celkem 22 tenzometrů na EHZ MTS na hodnoty síly 400 kN při teplotě $20 \pm 23^\circ \text{C}$ jsou uvedeny v tabulce:

Termín	Táhla - původ. ventil			Táhla - uprav. ventil		
	7/85	4/86	7/87	7/85	4/86	7/87
Výměna tenz.	0	2	2	0	0	2
ϵ naměř.	1368	1400	1382	1375	1365	1375
k - faktor	1,81	1,83	1,82	1,81	1,81	1,82

Poznámka: hodnoty ϵ v $\mu\text{m/m}$; $\epsilon_{\text{teor}} = 1512 \mu\text{m/m}$; $k_{\text{teor}} = 2,0$

Ze všech hodnot součinitele deformační citlivosti k vychází střední hodnota $\bar{k} = 1,823$ se směrodatnou odchylkou $s = \pm 0,015$. Tato hodnota se velmi dobře shoduje s výsledky cejchování přivařovacích tenzometrů na speciálním zařízení v laboratoři.

Při cejchování na EHZ MTS do 400 kN byly určeny přepočítávací konstanty pro oba páry táhel, pomocí kterých byly vyhodnocovány naměřené síly v táhlech při jednotlivých provozních měřeních. Pro určení skutečné síly v táhlech a včetně ventilu z naměřených sil v táhlech je nutné vzít v úvahu, že po montáži regulačního ventilu působí v táhlech

dle výpočtu síla $-22,885 \text{ kN}$ a ve vřetenu $-60,163 \text{ kN}$, ale tento stav je z hlediska provozního měření brán jako nulový, t. j. že v táhlech síla $= 0 \text{ kN}$.

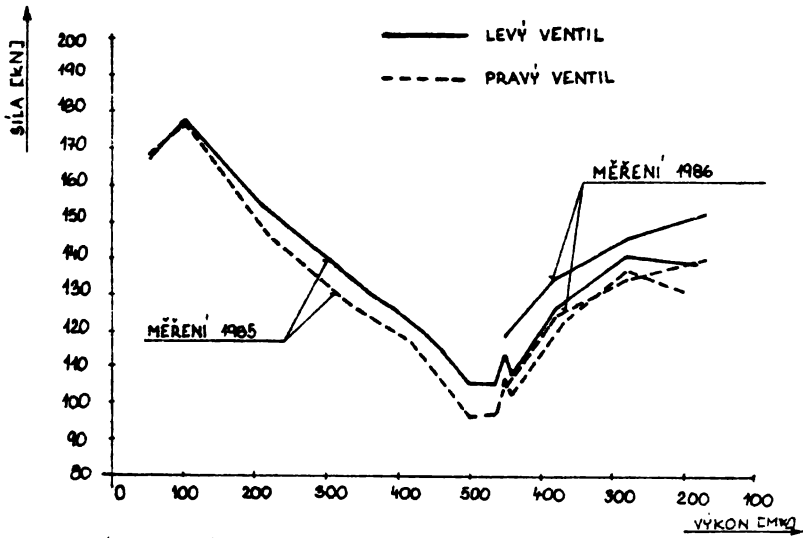
Měřením při stanovení charakteristik pružin byly určeny skutečné hodnoty sil přítlaku ve vřetenech vlivem montáže v jednotlivých ventilech a rovněž vyčepováním táhel hodnoty přítlaku v táhlech. Odečtením těchto reálných hodnot sil pro jednotlivá měření od naměřených sil v táhlech získáme skutečné síly ve vřetenech resp. táhlech.

Obr. 2. znázorňuje průběh síly v táhlech při najíždění turbíny na plný výkon a opětovné sjíždění v roce 1985 pro oba ventily. Současně je zde zachyceno i měření v roce 1986, které vykazuje velmi dobrou shodu i když nebylo prováděno ve stejném rozsahu. Pro zachování přehlednosti nejsou v obr. 2 uvedeny výsledky získané v roce 1987. Na obr. 3 je zachycena závislost skutečné síly ve vřetenu na zdvihu ventilů pro obě výše uvedená měření.

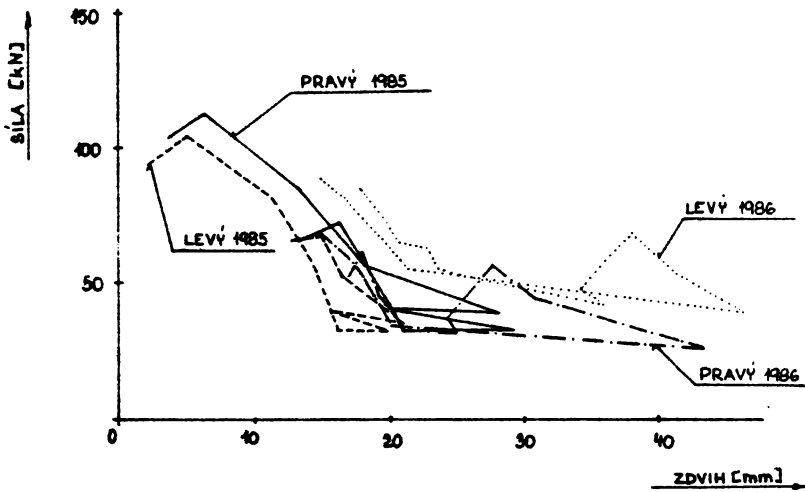
4.0 Závěr

Z naměřených hodnot a vyhodnocených výsledků lze učinit následující závěry:

1. Skutečná síla ve vřetenu se v průběhu všech měření pohybovala v oblasti kladných hodnot a to převážně do 100 kN .
2. Síla působící na ventily má kvazistatický charakter a nedochází zde k výraznějším dynamickým účinkům, které by mohly významněji ovlivnit únavovou pevnost vřetena regulačního ventilu.
3. Zkoušené konstrukční změny a úpravy kuželek regulačních ventilů nepřinesly žádné výrazné změny do průběhu sil ve vřetenech.
4. Doporučujeme vhodné přestavět uzel vřetena a matice tak, aby došlo ke snížení koncentrace napětí v prvním a druhém závitu.



OBR.2: ZÁVISLOST SÍLY NA VÝKONU



OBR.3: ZÁVISLOST SÍLY SKUTEČNĚ VE VŘETENU NA ZDVÍHU