

DIAGNOSTIKA SÚSTROJENSTVA VODNEJ TURBÍNY METÓDOU ZVIDITEĽNENIA PREVÁDZKOVÝCH TVAROV VIBRÁCIÍ.

Michal HLAVATÝ

SE, a.s., závod Vodné elektrárne Trenčín, michal.hlavaty@seas.sk

Tomáš SAUER

SE, a.s., závod Vodné elektrárne Trenčín, tomas.sauer@seas.sk

Roman JUNG

SE, a.s., závod Vodné elektrárne Trenčín, roman.jung@seas.sk

ANNOTATION

The article deals with solving of excess generator and gear box vibration by operational deflection shape method. The method helps to understand vibration nature of shafts and roller bearings nearby serpentine spring shaft coupling, where the vibration problem have originated. The method is suitable not only for diagnostic technics but also other workers.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Metóda prevádzkových tvarov kmitov, vibrodiagnostika, Kaplanova turbína, generátor, prevodovka, pružná spojka hriadeľa.

1. ÚVOD.

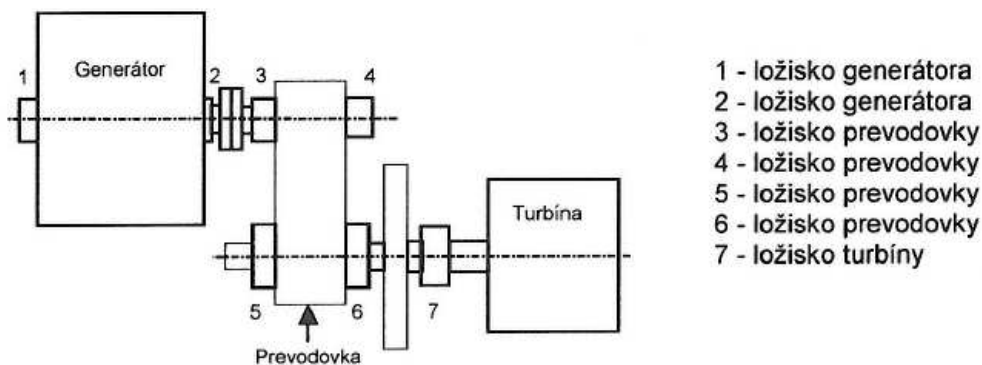
Príspevok sa zaoberá riešením vibračného problému časti sústrojenstva horizontálnej vodnej turbíny pomocou metódy zobrazenia prevádzkových tvarov vibrácií. Metóda dopĺňa celkovú diagnostiku vibrácií hriadeľa a ložísk stroja, konkrétne v oblasti pružnej spojky s hadovými pružinami, kde bol diagnostikovaný problém s nadmernými hodnotami vibrácií a spôsoboval problémy a obmedzenia prevádzky sústrojenstva.

Metóda zviditeľnenia prevádzkových vibrácií bola v tomto prípade užitočná nielen pre pracovníka vibračnej diagnostiky, ale aj pre takého, čo s metódami diagnostiky nepracuje.

2. POPIS PROBLÉMU S VIBRÁCIAMI SÚSTROJENSTVA.

Ide o typ horizontálnej Kaplanovej turbíny kolenového typu s nominálnym výkonom 0,5 až 2,4 MW, spojenou s generátorom cez ozubený prevod (prevod do rýchla zo 178 otáčok na 500 otáčok za minútu). Hriadele stroja sú uložené vo valivých ložiskách.

Na schéme sú zároveň číslami vyznačené meracie roviny snímačov zrýchlení ložísk a hriadeľových vibrácií.



Obr.1 Schéma sústrojenstva vodnej turbíny

Na sústrojenstve boli dlhodobo merané vyššie úrovne vibrácií generátora a prevodovky, hlavne na miestach 2 a 3, a to na telesách ložísk aj hriadeľov. Medzi ložiskami 2 a 3 sa zároveň nachádza pružná spojka s hadovými pružinami. Nadmerné vibrácie týchto miest dlhodobo spôsobovali okrem zvýšenej hlučnosti zvýšenú vôľu ložiska 2 a povolené základové skrútkovanie generátora. Dlhodobo bola na tomto stroji obmedzená maximálna výkonová úroveň do cca 1,2 MW (namiesto cca 2,0 MW), čo mohlo v určitých obdobiach roka spôsobiť stratu na výrobe elektrickej energie.

3. VIBRAČNÁ ANALÝZA SÚSTROJENSTVA VODNEJ TURBÍNY.

Dlhodobo merané úrovne vibrácií celého sústrojenstva sú uvedené v tab.1. Označenie ložísk L1 až L7 zodpovedá miestam na schéme na obr.1. Červeným podfarbením sú vyznačené hodnoty, ktoré sa subjektívnym a normatívnym porovnaním považovali za problémové, vzhľadom na horizontálny stroj s valivými ložiskami. Pre hodnotenie sa použili limity z vnútropodnikovej normy, z STN ISO 7919-5 a STN ISO 10816-5. Celkovo sa uvažoval problém s časťou generátora, hriadeľovej spojky alebo prevodovky.

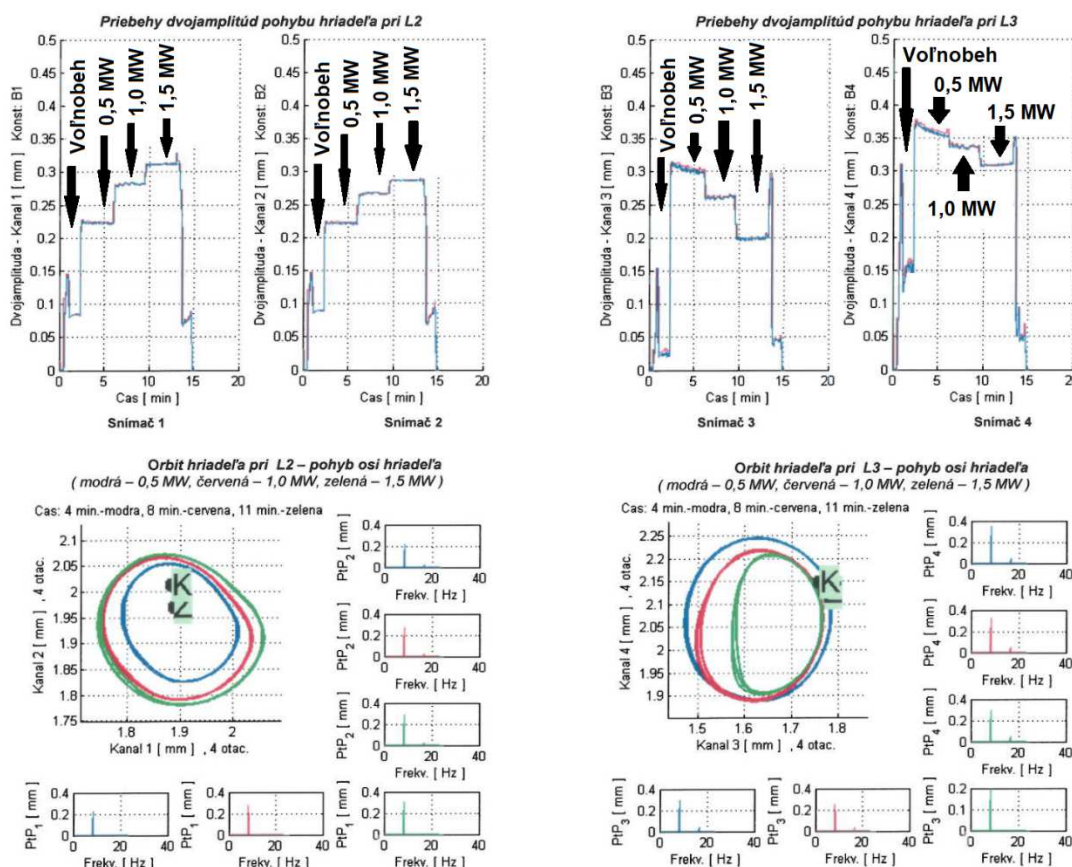
Turbínová prevádzka - výkon 1 MW (rozkmit posunutia a efektívna rýchlosť)			
		Horizontálne	Axiálne
TELESO LOŽISKA - NEROTUJÚCA ČASŤ	L1 [$\mu\text{m P-P}$]	35	55
	L2 [$\mu\text{m P-P}$]	100	50
	L3 [$\mu\text{m P-P}$]	85	55
	L4 [$\mu\text{m P-P}$]	10	55
	L5 [$\mu\text{m P-P}$]	60	35
	L6 [$\mu\text{m P-P}$]	20	40
	L7 [$\mu\text{m P-P}$]	10	25
	L1 [mm/s RMS]	3,30	2,50
	L2 [mm/s RMS]	3,90	2,65
	L3 [mm/s RMS]	2,00	1,80
	L4 [mm/s RMS]	0,90	1,75
	L5 [mm/s RMS]	1,55	1,40
	L6 [mm/s RMS]	0,95	1,80
	L7 [mm/s RMS]	1,30	1,40
HRIADEĽ - ROTUJÚCA ČASŤ	L2 GEN [mm P-P]	0,28	
	L2 GEN [mm P-P]	0,27	
	L3 PREV [mm P-P]	0,27	
	L3 PREV [mm P-P]	0,34	

Tab.1 Namerané hodnoty vibrácií pri 1 MW (približne stredný výkon sústrojenstva)



Obr.2 Časť sústrojenstva s vyššími vibráciami - vľavo (Generátor – Spojka – Prevodovka), odkrytovaná pružná spojka – vpravo

Podrobnejšie merania vibrácií ukázali na závislosť hodnoty vibrácií na jednotlivých režimoch generátora – mechanický a elektrický chod (synchronného) generátora ukazoval nízke úrovne vibrácií ložísk aj hriadeľov. Naproti tomu prifázovanie generátora a zvýšenie činného výkonu na cca 0,5 MW spôsobilo náhly rast vibrácií hlavne ložísk L2 a L3 pri hriadeľovej spojke. Ďalšie zvyšovanie výkonu spôsobovalo mierny rast (L2), resp. mierne znižovanie (L3) vibrácií, avšak stále boli relatívne vysoké. Zmena jalového výkonu generátora nespôsobovala zmeny vibračných úrovní. Hlavný podiel vibrácií hriadeľov aj ložísk bol na otáčkovej frekvencii, ak sa neuvažuje s vplyvom zubových frekvencií v ložiskách prevodovky.



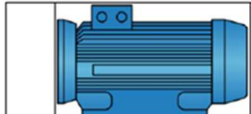
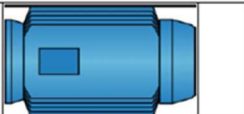
Obr.3 Rozkmit hriadeľa v L2 - vľavo hore, rozkmit hriadeľa v L3 - vpravo hore, orbity hriadeľa v L2 - vľavo dole, orbity hriadeľa v L3 - vpravo dole.

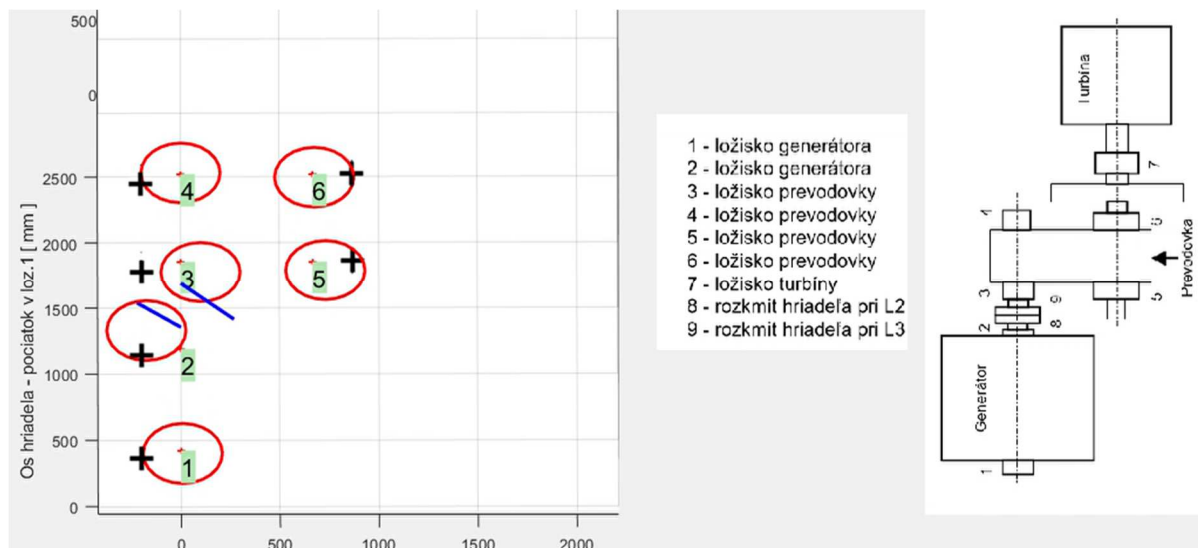
K týmto závislostiam sa pridal poznatok, že ložiská L2 a L3 spolu s ich hriadeľmi vibrujú na otáčkovej frekvencii približne v protifáze, t.z. vykonávajú pohyb do kľuky. Spolu s faktom, že hodnota budiaceho prúdu nemá absolútny vplyv na vibrácie a úroveň vibrácií sa mení so zmenou činného výkonu, bolo upozornené na možný problém spojky s hadovými pružinami.

Konkrétne sa to týkalo problému buď so záberom spojky a neoptimálnym prenosom krútiaceho momentu, alebo nesprávnym zosovaním generátorového a prevodkového hriadeľa.

4. OPRAVNÉ ZÁSAHY NA PRUŽNEJ SPOJKE S HADOVÝMI PRUŽINAMI.

Na základe spomenutých faktov boli odsúhlasené opravné kroky pre zlepšenie stavu sústrojenstva. V prvom kroku to bola kontrola samotnej spojky na opotrebovanie alebo poškodenie, ktoré ukázalo jej bezproblémový stav. Po ďalších vizuálnych kontrolách ostatných častí sústrojenstva bola vykonaná kontrola zosovania generátorového a prevodkového hriadeľa. To ukázalo horšie nastavenie súososti hriadeľov a po vykonaní korekcie uloženia generátora v pätkách sa zosovanie zlepšilo na prijateľnú úroveň (dodatočne sa ešte upravilo výškové nastavenie generátora, aby vyhovovala aj hodnota presadenia hriadeľov).

			Tolerances:			
Pump		Coupling	Electromotor			
						



Obr.5 Grafické zobrazenie zviditeľnenia prevádzkových tvarov vibrácií s príslušnou schémou stroja (červené kruhy – telesá ložísk ; modré čiary – pohyby hriadeľa) – obrázok je snímku vytvoreného videa

Po prezentácii zviditeľnenia prevádzkových tvarov vibrácií viacerým technikom prevádzky a údržby jeden z technikov prišiel s návrhom vzájomného pootočenia hriadeľov o 180° . To vychádzalo z viditeľnej opačnej fázy vibrácií hriadeľov a ložísk. Tento návrh bol realizovaný, pričom stačilo zložiť krytovanie, vybrať pružné prvky spojky, pootočiť generátorový hriadeľ o 180° a znova poskladať. Po realizácii bolo vykonané meranie s úspešným záverom, keďže radiálne vibrácie ložísk 2 a 3 spolu s hriadeľmi klesli cca na 30% hodnôt meraných pred opravou a aj subjektívne bol chod sústrojenstva kľudnejší. Podľa informatívneho hodnotenia podľa noriem bol chod sústrojenstva zhodnotený ako vyhovujúci pre neobmedzenú prevádzku. Týmto bolo zrušené obmedzenie výkonu do cca 1,2 MW.

Turbínová prevádzka - výkon 1 MW (rozkmit posunutia a efektívna rýchlosť)			
		Pred opravou	Po oprave
TELESO LOŽISKA - NEROTUJÚCA ČASŤ	L1 [$\mu\text{m P-P}$]	35	10
	L2 [$\mu\text{m P-P}$]	100	35
	L3 [$\mu\text{m P-P}$]	85	25
	L4 [$\mu\text{m P-P}$]	10	10
	L5 [$\mu\text{m P-P}$]	60	35
	L6 [$\mu\text{m P-P}$]	20	20
	L7 [$\mu\text{m P-P}$]	10	15
	L1 [mm/s RMS]	3,30	0,45
	L2 [mm/s RMS]	3,90	1,10
	L3 [mm/s RMS]	2,00	0,75
	L4 [mm/s RMS]	0,90	0,60
	L5 [mm/s RMS]	1,55	0,95
	L6 [mm/s RMS]	0,95	0,55
	L7 [mm/s RMS]	1,30	0,80
HRIADEĽ - ROTUJÚCA ČASŤ	L2 GEN [mm P-P]	0,28	0,05
	L2 GEN [mm P-P]	0,27	0,06
	L3 PREV [mm P-P]	0,27	0,13
	L3 PREV [mm P-P]	0,34	0,07

Tab.2 Namerané hodnoty vibrácií pred opravou a po oprave.

5. ZÁVER.

Metóda zviditeľnenia prevádzkových tvarov vibrácií v tomto prípade potvrdila svoju užitočnosť v zmysle jednoduchého ukázania vibrácií stroja pracovníkom, ktorý sa bežne nestretávajú s metódami diagnostiky. Aj keď je časovo náročnejšia na meranie a spracovanie, potvrdzuje pravidlo, že niekedy je lepšie jeden krát vidieť ako stokrát počuť. Navyše, zlepšuje diagnostikom samotné vysvetľovanie strojného problému iným technikom a robotníkom údržby hlavne pri väčších sústrojenstvách s viacerými ložiskami.