

Nasazení technické diagnostiky při zprovoznování strojního vybavení hlubinného dolu

Ing. Vlastimil Moni, Ph.D.¹, Ing. David Šeděnka²

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; moni@vuhu.cz

²VŠB TU-Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, Ostrava; david-sedenka@vsb.cz

Přijato: 31. 7. 2017, recenzováno: 16. a 21. 8. 2017

Abstrakt

Předmětný článek se zabývá stručným popisem nasazení technické diagnostiky pro uvedení přečerpávací důlní vodní elektrárny v Ostravě do provozu s využitím metod vibrodiagnostiky, termodiagnostiky a ustavování. Elektrárna s výkonem asi 650 kilowattů využívá výškového potenciálu v šachtě hlubinného dolu Jeremenko s ukončenou těžbou. Těžba černého uhlí na dole Jeremenko v Ostravě-Vítkovicích skončila v prosinci 1992.

The deployment of technical diagnostics in the start-up of mining technology in the underground mine

The article deals with a brief description of the deployment of technical diagnostics within the putting the mine pumped-storage hydroelectric plant in Ostrava mine into operation, utilizing methods of vibration diagnostics, thermal diagnostics and alignment. Power plant with an output of about 650 kilowatts utilizes the altitude potential of a deep mine shaft of the Jeremenko mine after termination of mining operations. The mining of black coal at the underground mine Jeremenko in Ostrava-Vitkovice ended in December 1992.

Einsatz technischer Diagnostik bei der Inbetriebnahme von Maschinenanlagen in einem Untertage-Bergwerk

Der angeführte Artikel beschreibt kurz den Einsatz technischer Diagnostik für die Inbetriebnahme der Pumpspeichieranlage für Grubenwasser in Ostrava, unter Verwendung der Verfahren Schwingungsdiagnostik, Thermodiagnostik und Ausrichten. Das Kraftwerk mit einer Leistung von etwa 650 kW nutzt das Höhenpotential der stillgelegten Grube Jeremenko. Die Steinkohlegewinnung im Bergwerk Jeremenko in Ostrava-Vitkovice wurde im Dezember 1992 eingestellt.

Klíčová slova: technická diagnostika, vibrodiagnostika, termodiagnostika, ustavování.

Keywords: technical diagnostics, vibration diagnostics, thermal diagnostics, alignment.

1 Úvod do problematiky

K výše uvedenému strojnímu zařízení (viz obrázek č. 1) jsme byli přizváni v polovině loňského roku, kdy měla firma problémy s životností ložisek turbíny. Dle vyjádření předmětné firmy se ložiska turbíny silně zahřívala a vydržela na stroji cirká tři hodiny provozu. Příčinu nízké životnosti ložisek bylo nutné vyhledat a odstranit. K diagnostice problému byly na dané strojní zařízení nasazeny následující diagnostické přístroje:

- vibrační analyzátor Adash A 4400 VA4 Pro s akcelerometry, laserovým snímačem otáček a rezonančním kladívkem,
- termokamera Fluke Ti55 s provozním rozsahem -20 až 600 °C a citlivostí 0,05 °C, rozlišení 320x240 pixelů [2],
- dotykový teploměr Fluke,
- přístroj pro měření souososti Easy-laser D400.

2 Měření na hale

První měření na strojním zařízení probíhalo na hale firmy, která vyvinula a vyrobila dané strojní zařízení. Turbína byla demontována a převezena na halu k opravě. V rámci této opravy měla být mimo jiné vyměněna ložiska. Při tomto měření byla turbína roztáčena malým elektromotorem o výkonu 1 kW,

nápojeným na frekvenční měnič pro možnost plynulé volby otáček turbíny. Postup měření je patrný z výše uvedené tabulky 1, ve které jsou zaneseny efektivní hodnoty rychlostí vibrací v pásmu 10-1000 Hz, efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25 600 Hz, maximální dosažené otáčky turbíny a teplota ložisek. Maximální otáčky turbíny a teplota ložisek do jisté míry vypovídají o velikosti pasivních odporů turbíny.



Obr. 1: Sestava elektrárny [1].

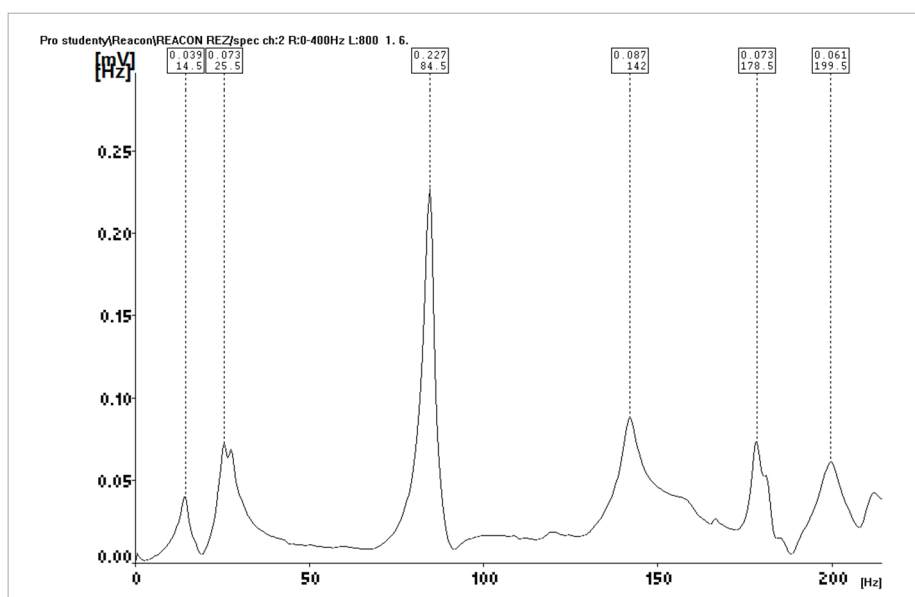
Tab. 1: Záznam jednotlivých měření na hale.

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500-25 600 Hz (a_{RMS})											
Popis	1		2		4		5		6		
	Volné vnější šrouby		Dotažené šrouby		Korekce podložení ložisek L1 0,3 L2 0,3		Korekce podložení ložisek L1 0,2 L2 0,2		Korekce podložení ložisek L1 0,2 L2 0,1		
Měřicí místo	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	
Max. ot/min	1 467		1 323		1 473		1 477		1 477		
Veličina	Směr										
v_{RMS} [mm/s]	H		3,9	3,1	2,9	4		3,3		2,47	
	V		2,5	1,3	2,1	1,6		0,7		1,0	
	A	1,8	12,2	6,8	6,5	8,4	1,6	2,8	2,2	2,2	1,4
a_{RMS} [g] 500 – 25 600 Hz	H		1,2	0,6	1,0	0,5		2,0		2,2	
	V		5,2	3,8		2,8		5,85	2,1	6,6	
	A	2,1	1,0	0,5	1,8	0,6	1,8	1,7	2,1	2,0	1,88
Teplota v ložisku – vnitřní kroužek [°C]	85	78	87	82	68	71	60	66	55	62	

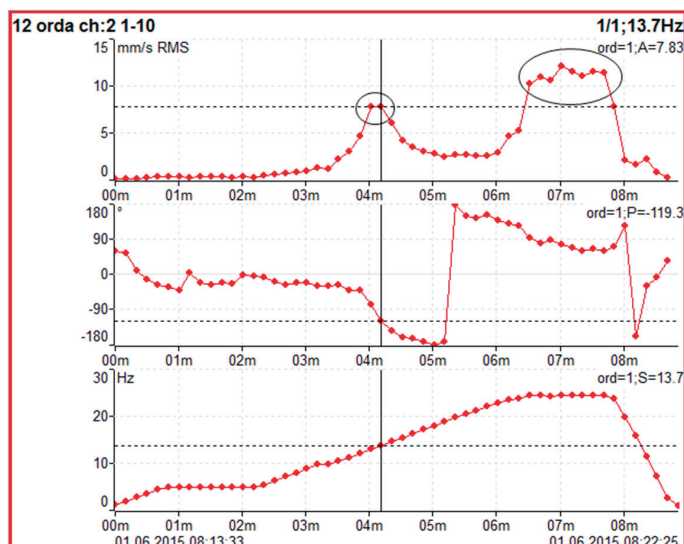
První měření vibrací [3,6] na ložiskových domcích ukázalo vysoké hodnoty rychlosti vibrací zejména na ložisku L2 v jeho axiální směru. Tyto vysoké hodnoty měly příčinu ve volných ložiskových domcích. Po dotažení upevňovacích šroubů na předepsaný utahovací moment bylo měření opakováno. Efektivní hodnoty vibrací v jednotlivých směrech sice klesly, ale došlo k nárůstu teploty ložisek a ke snížení maximálních dosažitelných otáček, což ukazovalo na zvýšení velikosti pasivních odporů. Vzhledem ke konstrukci turbíny jako nejpravděpodobnější místo maření energie byla zvolena právě ložiska. Bylo tedy rozhodnuto o podložení ložiskových domků ustavovacími podložkami. Volba velikosti jednotlivých ustavovacích podložek

se prováděla pomocí přístroje pro měření souososti Easy-laser D400 s tím, že po ustavení bylo provedeno měření vibrací, teploty a maximálních otáček turbíny. Za nejvhodnější kombinaci byly zvolené podložky o tloušťce 0,2 mm pod každý ložiskový domek, umístěné pod vnější upevňovací šrouby. Efektivní hodnoty vibrací a teploty zde poklesly do přijatelnějších mezí. Dalším problémem diagnostikovaným na rotoru turbíny byla rezonance. Proto bylo nutné přistoupit k tzv. Bump testu.

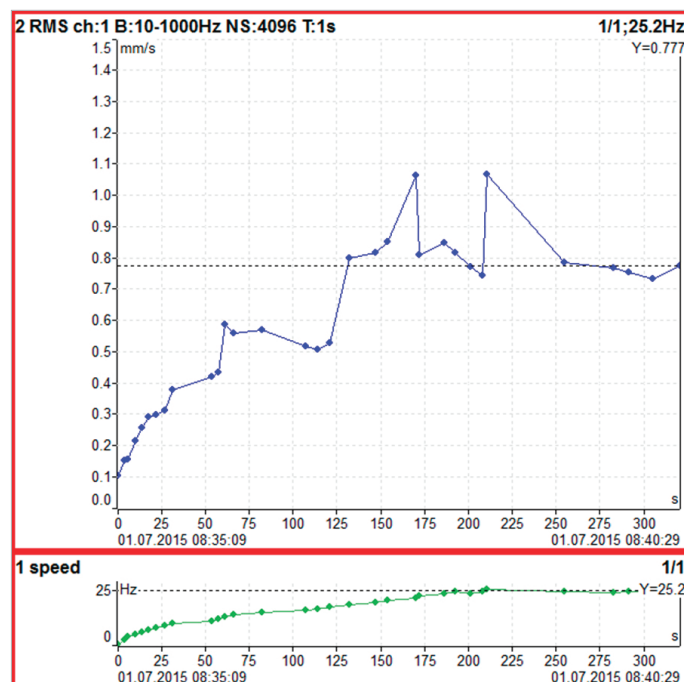
Na záznamu z Bump testu (obrázek č. 2) jsou patrné jednotlivé vlastní frekvence rotoru turbíny. Z grafu je možné vyčíst, že první vlastní frekvence turbíny je na úrovni 14,5 Hz a druhá na úrovni 25,5 Hz. Vlastní frekvence 14,5 Hz není pro toto



Obr. 2: Záznam Bump



Obr. 3: Graf měření vibrací při pozvolném rozběhu turbíny na hale.



Obr. 4: Graf vývoje efektivních rychlostí vibrací při rozběhu turbíny při rozspojkovaném stavu.

zařízení ve své podstatě významnějším způsobem škodlivá vzhledem k tomu, že tato frekvence by odpovídala cirká 870 otáčkám za minutu a to jsou otáčky, ve kterých se pohybuje turbína maximálně při náběhu anebo doběhu a trvale zde nepracuje. Daleko větším problémem je zde frekvence 25,5 Hz. Tato frekvence je velice blízká frekvenci otáčení rotoru turbíny, která je 25 Hz, což odpovídá provozním otáčkám 1 500 za minutu. Toto zjištění znamená, že turbína v tomto stavu by pracovala v tzv. rezonanci. Rezonance je stav, kdy se budící frekvence přiblíží některé vlastní frekvenci součásti, což má za následek zvýšení vibrací a opotřebení. Pro ověření této skutečnosti bylo provedeno měření vibrací při pozvolném rozběhu turbíny.

Měření vibrací při pozvolném rozběhu turbíny potvrdilo, že rotor turbíny opravdu při provozních otáčkách pracuje na úrovni své druhé vlastní frekvence. Při tomto měření ale

turbína nebyla zatížena. V provozu na rotor turbíny působí tlak vodního paprsku a vzhledem k tomu, že při maximálním výkonu turbína spotřebuje cirká 160 litrů vody za sekundu a rychlost výtoku vody z trysky činí cirká 83 metrů za sekundu, tak zde byl předpoklad, že toto množství vody posune vlastní frekvence mimo oblast provozních otáček. Proto tedy bylo rozhodnuto o přemístění turbíny do dolu.

3 Měření v dole

Po převezení turbíny do důlního prostředí a připojení na vodní zdroj byl generátor ustaven k ose turbíny a bylo provedeno měření vibrací. Postup měření je naznačen v tabulce 2.

První měření vibrací probíhalo na turbíně, která nebyla připojena na generátor. Jak je z tabulky patrné, tak hodnoty

Tab. 2: Záznam jednotlivých měření předmětných veličin v dole - před vyvážení

Popis		Bez spojky		Sespojováno		Sespojováno		Sespojováno	
		samostatná		spojka připevněna		spojka připevněna		spojka připevněna	
		turbína		turbína		generátor		generátor	
Max. ot/min		1 554	1 222	1 195	1 175				
Veličina	Směr	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
v_{RMS} [mm/s]	H	0,80	0,78	2,96	6,24	4,53	2,18	2,45	4,77
	V	0,51	0,82	1,96	3,58	2,43	1,29	-	-
	A	1,45	1,85	2,71	5,68	4,38	4,46	3,70	-
a_{RMS} [g]	H	1,50	2,44	1,40	1,70	0,24	1,56	1,86	0,39
	V	1,90	1,87	1,64	2,50	0,32	1,76		
	A	0,81	1,40	0,54	1,10	0,57	1,29	1,52	
Teplota ložiskového domku [°C]		34	41	35	43				

Tab. 3: Záznam jednotlivých měření předmětných veličin v dole - po vyvá-

Popis		Před domazáním		Provedeno domazání			
Měřicí místo		turbíny		turbína		generátor	
Max. ot/min		L1	L2	L1	L2	L3	L4
Veličiny	Směr						
v_{RMS} [mm/s]	H	3,04	0,99	2,19	1	0,93	1,32
	V	2,84	1,11	1,81	1,10	1,42	0,44
	A	2,18	1,36	1,52	1,80	0,96	0,66
a_{RMS} [g]	H	2,29	2,04	1,66	1,05	0,62	1,57
	V	2,39	2,17	1,68	1,11	0,58	2,45
	A	0,68	1,04	0,50	0,90	0,67	2,79
Teplota ložiskového domku [°C]		36	44	58	62		

rychlosti a zrychlení vibrací na jednotlivých ložiskách jsou velmi nízké, z čehož vyplývá, že opravdu došlo k posunu vlastních frekvencí turbíny mimo oblast provozních otáček, což potvrzuje následující graf vývoje efektivních rychlostí vibrací při rozběhu turbíny.

Následně proto bylo přikročeno k sespojování turbíny a generátoru. Po sespojování došlo k prudkému nárůstu efektivních hodnot vibrací, což mohlo mít několik příčin. Po analýze frekvenčního spektra bylo zjištěno, že toto zvýšení vibrací se nachází zejména na první otáčkové frekvenci na turbíně a tudíž vše ukazovalo na nevyváženost. Tato nevyváženost byla tak extrémní, že se nepodařilo dosáhnout provozních otáček turbíny. Vzhledem k tomu, že při běhu samostatné turbíny se tato nevyváženost neprojevila, připadal v úvahu buď generátor, nebo spojka, respektive její kryt. Vzhledem ke konstrukci krytu spojky bylo rozhodnuto o otočení krytu tak, aby se opíral

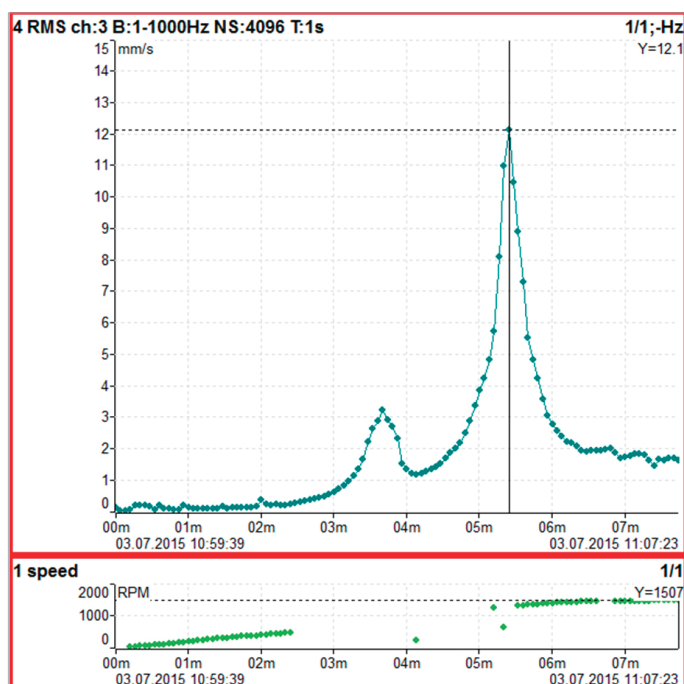
o hřídel generátoru a byly znovu změřeny vibrace. Nové měření vibrací ukázalo, že se vibrace přesunuly na ložisko generátoru, tudíž na vině byla spojka, respektive její kryt. Bylo tedy přikročeno k vyvážení spojky. Pro vyvažování byl použit analyzátor vibrací Adash A 4400 VA4 Pro a spojka byla vyvážena. Pro ilustraci, o jak extrémní nevyváženost se jednalo, uvádím, že pro vyvážení spojky bylo potřeba cca 400 gramů vývažků umístěných na poloměru cca 220 milimetrů. Poté byla znovu změřena úroveň efektivních hodnot vibrací a výsledek je patrný z tabulky 3.

Měření vibrací po vyvážení ukázalo výrazné snížení efektivních hodnot vibrací. Pro další snížení efektivních hodnot vibrací bylo ještě rozhodnuto o domazání jednotlivých ložisek předepsaným plastickým mazivem. Domazání mělo za následek zvýšení teplot na ložiscích, ale přispělo k snížení efektivních hodnot vibrací. Následně bylo provedeno finální měření vibrací při pozvolném rozběhu turbíny.

Toto konečné měření vibrací ukázalo, že vyvážení a ustavení proběhlo úspěšně a vodní paprsek působící na lopatky Peltonovy turbíny skutečně posunul vlastní frekvence rotoru turbíny mimo oblast provozních otáček. Druhá vlastní frekvence, která zde byla velkým problémem, se posunula z původních 25,5 Hz na 21,3 Hz. Výpadek signálu z čidla měření otáček turbíny byl zapříčiněn rozstříkáním vody z turbíny.

4 Závěr

V tomto článku bylo nastíněno nasazení technické diagnostiky pro uvedení přečerpávací elektrárny do provozu. K tomuto byly nasazeny metody vibrodiagnostiky [4,5], termodiagnostiky a ustavování. Prvním zásahem do turbíny bylo ustavení ložiskových domků do osy. Při tomto měření došlo k diagnostice rezonance v oblasti provozních otáček turbíny, která poté byla následně odstraněna tlakem proudící vody. Po převezení turbíny do provozu dolu došlo nejprve k ustavení osy generátoru na osu turbíny a k jejich sespojování. Po sespojování se projevila nevyváženost krytu spojky a tento kryt tudíž bylo nutné vyvážit. Na tomto příkladu je vidět, že vhodné nasazení metod technické diagnostiky dokáže účinně zprovoznit dané zařízení, určit v jakém technickém stavu se nachází a případně i predikovat jeho zbytkovou životnost.



Obr. 5: Graf vývoje efektivních rychlostí vibrací při rozběhu turbíny po sespojování a vyvážení.

Literatura

- [1] DIAMO: Bývalá šachta „vyrábí“ elektřinu z vody [online]. 2015 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://iuhli.cz/byvala-sachta-vyrabi-elektrinu-z-vody/>
- [2] HELEBRANT, F., MONI, V., HUDECZEK, M., URBAN, P.: Technická diagnostika a spolehlivost – V. Termografie. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. vydání, 72 s., ISBN 978-80-248-1942-6.
- [3] HELEBRANT, F. et al.: Harmonizace optimalizace diagnostických metod a modulů. II. část, Dílčí zpráva, VŠB – TU Ostrava 2011, Grant MPO FT-TI1/537, Komplexní diagnostický systém pro pásovou dopravu, etapa E3, 97 s.
- [4] NEUBERT, M., VELICHKO, V., KLOUDA, P., MONI, V., NEDBAL, J., HELEBRANT, F., VALENTOVÁ, H.: Kontinuální měření vibračních spekter ložisek bubnů v pásové dopravě. Národní fórum údržby 2010, 10. mezinárodní konference, Vysoké Tatry, Štrbské Pleso, s. 144 – 150, ISBN 978-80-554-0195-9.
- [5] HELEBRANT, F.: Konstrukce velkstrojů a jejich spolehlivost - II. Provozní spolehlivost. MONTANEX, a.s. Ostrava 2004, I. vydání. 89 s., ISBN 80-7225-X.
- [6] FRIES, J.: Pásové dopravníky, bubny a jejich výpočet. VŠB – TU OSTRAVA, 2009.