



ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ



KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI



JEDNOTLIVÝ PŘÍSPĚVEK ZE SBORNÍKU



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

OPATŘENÍ KE ZVÝŠENÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI AXIÁLNÍHO VENTILÁTORU ARB 3550

SOLDÁT Jaroslav

This article describes a problem and its successfully solution with mining fan. The main role of this fan is in removing air with methane from mining hole. The reliable run this fan is necessary for safety work in mining places. This fan was, in irregular intervals, stopped during crash of blades. The main target this article is focused on description of fan and process of increasing reliability of impeller blades. Calculation eigenvalues and frequencies were made in SW ANSYS. The mining fan is longer than 2 years without problems.

Klíčová slova: axiální ventilátor, vlastní frekvence, provozní spolehlivost

1. Úvod

ZVVZ MACHINERY, a.s. Milevsko jako člen skupiny ZVVZ GROUP, a.s. patří k významným výrobcům zařízení pro dopravu a čištění vzdušin. Má více jak 60-tiletou tradici v projekci, konstrukci, výrobě a provozu zařízení pro ekologizaci průmyslu. Mezi hlavní vyráběné produkty patří radiální i axiální ventilátory, odlučovače pevných částic, klapky, tlumiče hluku, zařízení pseudopravy a kontejnery. Produkovaná zařízení spolehlivě pracují v širokém spektru oblastí průmyslu od energetiky, dolů, chemických provozů, zkušebních aerodynamických a větrných tunelů až po jaderné elektrárny. Velmi důležitým hlediskem zařízení pracujících v těchto provozech je jejich vysoká provozní disponibilita. I v náročných provozních podmínkách se nám úspěšně daří dosáhnout provozní spolehlivosti převyšující 98%.

Ve svém příspěvku se zabývám jedním z úspěšných technických řešení, které bylo využito při odstranění problémů s poruchami lopatek oběžného kola axiálního rovnotlakého ventilátoru ARB 3550.

2. Popis důlního ventilátoru ARB 3550

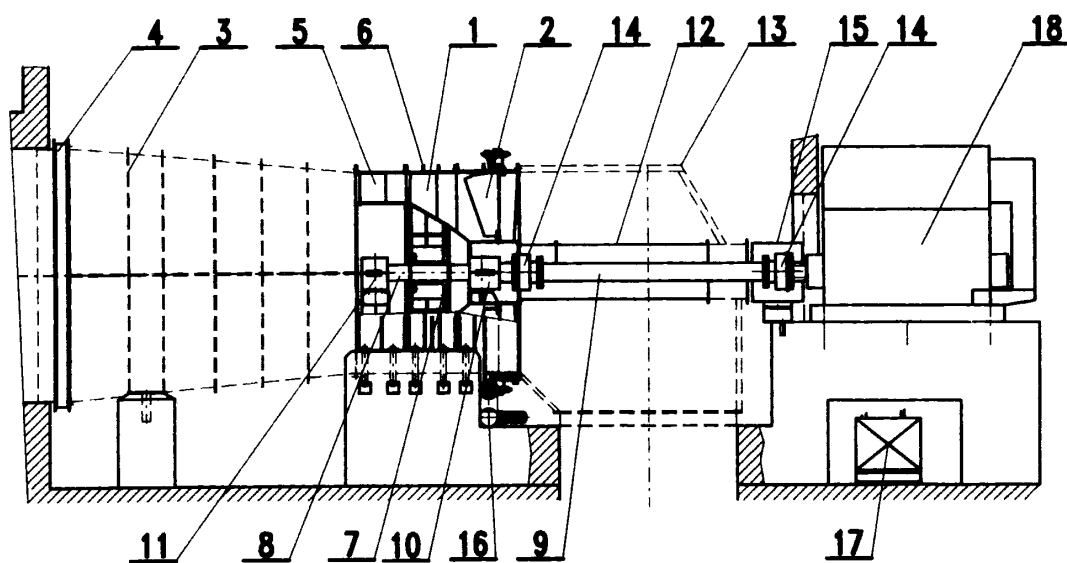
Axiální rovnotlaký ventilátor ARB 3550 [1] je určen pro hlavní důlní větrací stanice, které dopravují vzdušiny bez abrazivních příměsí o teplotě od -20°C až +40°C. Ventilátor je ve vzduchovém provedení s polohou sací komory 270° - tzn. sání zdola. Na Obr. 1. jsou uvedeny názvy a pozice jednotlivých částí ventilátoru.

Oběžné kolo rotuje v horizontálně dělené skříni a je upevněno na náboji s dvěma přírubami, který je nasazen na nosném hřídeli uloženém ve dvou soustavách valivých ložisek. Ložisková tělesa jsou umístěna uvnitř ventilátoru. Přenos krouticího momentu mezi elektromotorem a hřídelem s oběžným kolem je realizován hnacím hřídelem s klouby, které umožňují kompenzovat přípustné nesouososti a axiální posuny hnacího hřídele způsobené jeho tepelnou roztažností. Axiální síla vyvozená vztlakem oběžného kola je zachycována předním ložiskem. Regulační ústrojí umožňuje plynulou změnu výkonu ventilátoru a je ovládáno otočným servomotorem. Směr otáčení ventilátoru je doleva při pohledu ze strany sání, tj. od elektromotoru. Ventilátor ARB 3550 pohání synchronní elektromotor o příkonu 2.8MW a 600 otáčkách za minutu a s napájením 6kV. Technická data ventilátoru ARB 3550 jsou uvedena v Tab. 1.

Ventilátor se umísťuje na betonový základ, jehož rozměry jsou dány projektem a je dimenzován s ohledem na rozměry a hmotnost elektromotoru.

Ventilátor pracuje, v projektovaném provozním bodu tzn. za odpovídajících odporů vzduchových tras. Pokud dojde k dodatečnému zvýšení odporů trasy, může se provozní bod ventilátoru přesunout až za hranici stabilního chodu (HS - vyznačena v charakteristice - diagramu 1). Tento provoz "v labilním stavu" se projevuje pulzacemi - změnou vibrací a hlučností v různých časových intervalech a je nepřipustný. S ohledem na déletrvající vibrace dojde téměř vždy k destrukci dílů např. patek, skříní, výztuh, rotoru, ložisek nebo celého ventilátoru.

K zamezení déletrvajícímu labilnímu provozu s vibracemi i ochranou proti destrukci je ventilátor vybaven monitorem provozu strojů, který signalizuje zvýšení vibrací při překročení nastaveného limitu a upozorňuje na nutnost odstavení ventilátoru z provozu. Rovněž se monitoruje teplota ložisek.



- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| 1. Oběžné kolo | 10. Přední ložisko |
| 2. Regulační ústrojí | 11. Koncové ložisko |
| 3. Difuzor | 12. Chladicí trubka |
| 4. Kompenzátor | 13. Sací komora |
| 5. Rozváděcí skříň | 14. Kloub |
| 6. Skříň oběžného kola | 15. Kryt kloubu |
| 7. Náboj oběžného kola | 16. Předloha regulačního ústrojí |
| 8. Nosný hřídel | 17. Mazací stanice |
| 9. Hnací hřídel | 18. Elektromotor |

Obr. 1: Hlavní části ventilátoru ARB 3550

Typ ventilátoru	ARB 3550
Velikost ventilátoru (průměr oběžného kola v mm)	3550
Množství dopravované vzdušiny Q_v ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	410
Celkový tlak ventilátoru Δp_{cv} (Pa)	4500
Měrná hmotnost dopravované vzdušiny ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1,2
Otáčky ventilátoru n (min^{-1})	600

Tab. 1: Technické a výkonové údaje ventilátoru

Regulace vzduchotechnického výkonu se provádí osovou regulací ventilátoru, a to v závislosti na natočení regulačních lopatek, které jsou dvoudílné. (Pevná část regulační lopatky tvoří výztuhu skříně a otočná část navádí vzdušinu na lopatky oběžného kola). Regulační rozsah osově regulace je dán od zavřené polohy -75° , -90° (při spouštění) do $+45^\circ$, viz charakteristiky - diagram 1. Regulace probíhá po parabole (za stejného odporového průřezu).

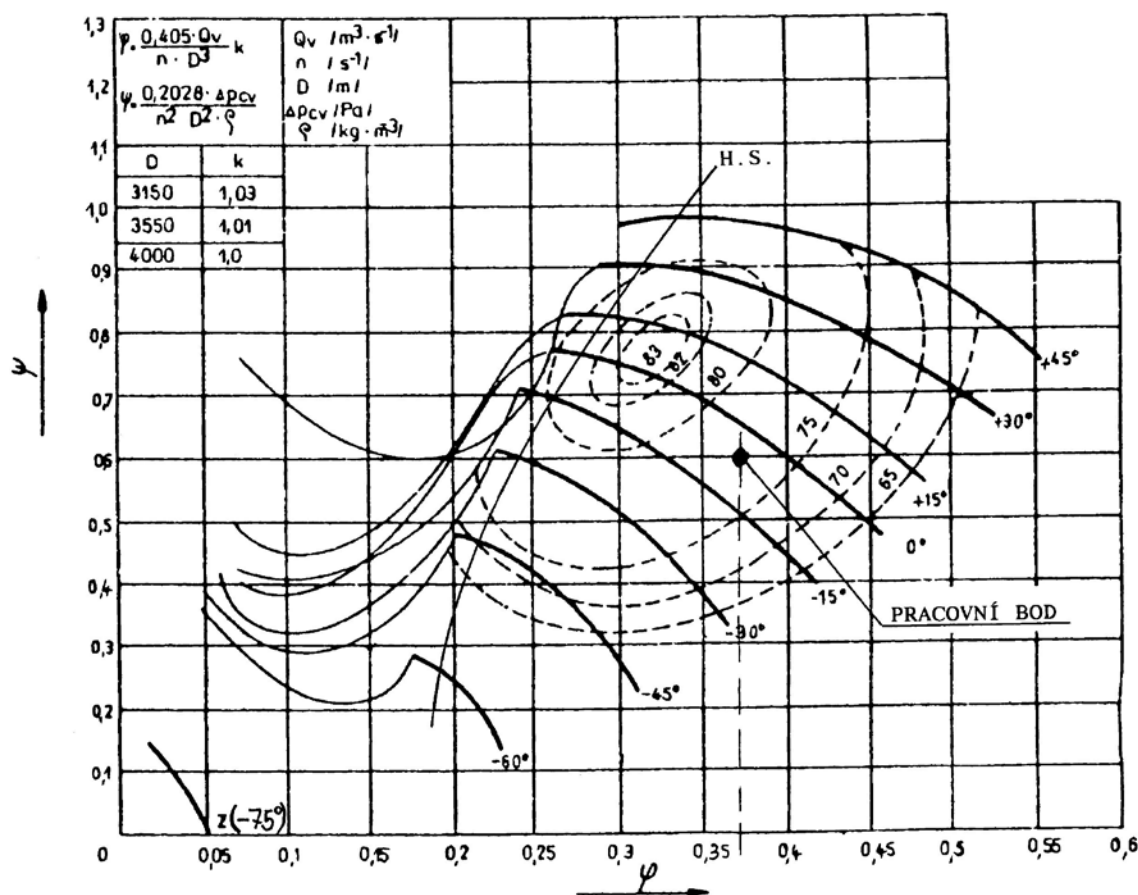


Diagram. 1: Bezrozměrná charakteristika ventilátoru ARB 3550

3. Vznik a postup řešení při odstraňování poruch

Na provoz ventilátorů jsou kladeny vysoké nároky, neboť se nachází ve velmi exponovaném provozu. Musí zajišťovat trvalé odsávání vzduchu kontaminovaného metanem z důlního díla. V každém provozu jsou instalovány dva ventilátory, které pracují v záložním režimu. V uplynulých letech došlo dvakrát za sebou k poruše lopatek oběžného kola. Jedno oběžné kolo bylo v provozu cca. 1,7 roku, což představuje cca. 9 měsíců vlastního provozu, neboť po měsíci provozu je vždy přepnuto na druhý ventilátor. Za příčinu prvního poškození byla označena vysokocyklová únava inicializovaná z podpalů svarů v místě mezi výztuhou a vlastní lopatkou. Po výměně a uvedení do provozu došlo k poruše lopatky po již po 6 měsících od montáže oběžného kola do ventilátoru tzn. cca. po 3 měsíčním provozu. Na obě kola byla zákazníkem uplatněna reklamáce.

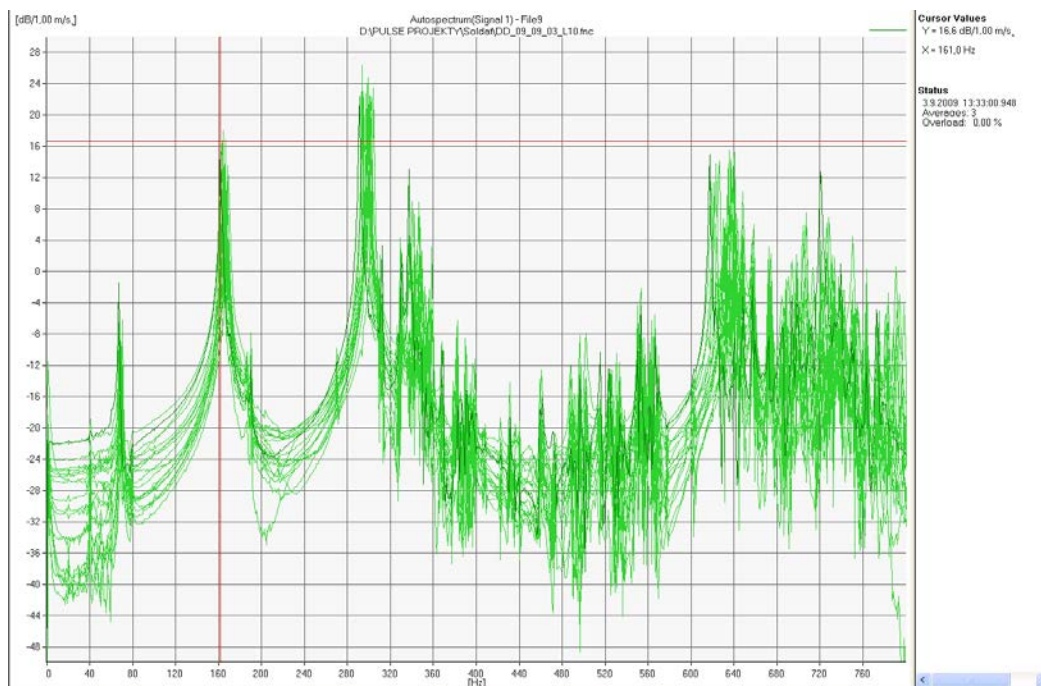
Při zjišťování příčiny poškození lopatek jsme vycházeli z údajů od provozovatele, že se provozní režim ventilátorů nezměnil. Provedli jsme materiálové rozbory, jak základního materiálu, tak svarového kovu. Příčinu praskání lopatek se nepodařilo jednoznačně stanovit. Byly změřeny vlastní frekvence lopatek, provedena analýza materiálu a kvality svarů

porušených i celistvých lopatek. Výsledek analýz na expertním pracovišti opět potvrdil vysokocyklovou únavu materiálu a iniciaci lomu lopatek v podpalech svarů v tepelně ovlivněné oblasti.

Přijatá opatření k identifikaci příčin poruchy lopatek oběžného kola:

1. Změření vlastních frekvencí původního (porušeného) oběžného kola.
2. Zjištění skutečných provozních charakteristik odchylka od původního vyložení ventilátoru.
3. Zjištění příčiny nadměrného zatížení lopatek, které vede k jejich poškození.
4. Výpočet vlastních frekvencí a tvarů kmitů pro lopatky v SW ANSYS pro potvrzení příčiny numerickou simulací děje. Návrh přeladění oběžného kola instalací kruhové výztuže (bandáže).
5. Důsledné dodržení technologického postupu výroby a svařovacího postupu (WPS WPQR). Kontrola lisovacího přípravku a postupu svařování. Doplnění přípravků (kontrolních šablon a řezů) potřebných v průběhu výroby oběžného kola.
6. Zajištění normalizačního žíhání svařeného oběžného kola.
7. Změření vlastních frekvencí nového oběžného kola.

Ad. 1. Na vráceném oběžném kole jsme provedli měření aparaturou PULSE od firmy B&K. Záznam z měření vlastních frekvencí lopatek původního oběžného kola je na Obr. 2. Rozsah frekvencí 0 – 800Hz. [2]



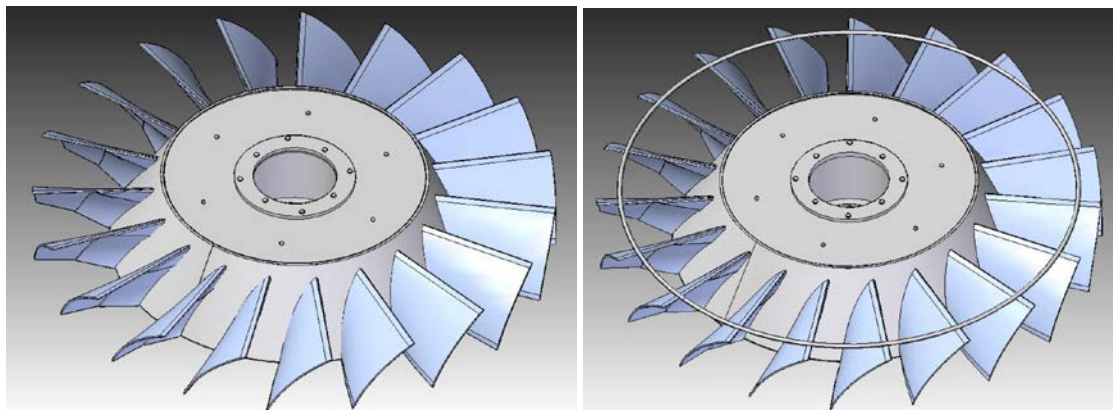
Obr. 2: Vlastní frekvence lopatek oběžného kola ventilátoru ARB 3550

Ad. 2. Toto měření se z provozních důvodů na straně provozovatele nerealizovalo.

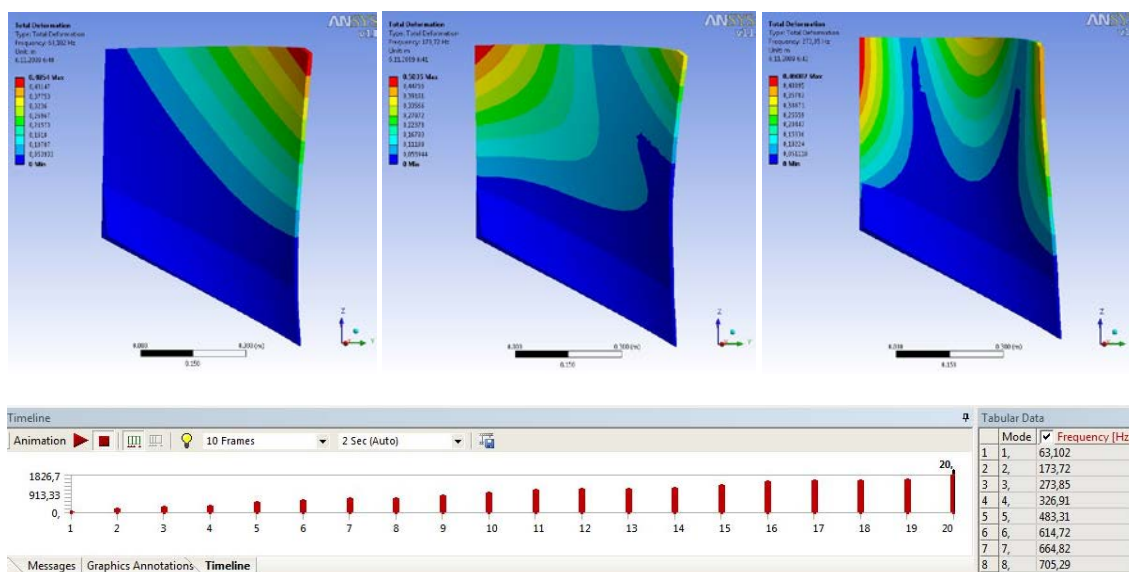
Ad. 3. Zde jsme dospěli k několika možným příčinám. Chybná geometrie lopatky, chybná poloha lopatky na oběžném kole, chybná poloha těžnice lopatky vůči ose rotace, vnitřní pnutí vnesené do konstrukce svařováním, zvýšené zatížení odstředivými silami pod vlivem nesouososti, vliv vibrací, přetržitý běh v labilní části provozní charakteristiky ventilátoru.

K jednoznačnému rozhodnutí jsme však nedospěli, ať již z důvodu neměřitelnosti, či neprokazatelnosti hodnot. Jediným doložitelným závěrem bylo opět prokázání vysokocyklové únavy iniciované z podpalů svarů v místě mezi výztuhou a vlastní lopatkou.

Ad. 4. Byl proveden simulační výpočet oběžného kola a vlastních frekvencí lopatek v SW ANSYS. Na Obr. 3. jsou zobrazeny modely oběžných kol původní a nové s kruhovou výztuhou, která byla navržena k omezení první vlastní frekvence. Na Obr. 4. jsou uvedeny první tři vlastní tvary kmitu lopatky původní konstrukce oběžného kola a další vypočtené vlastní frekvence. [2]



Obr. 3: Původní a nový model oběžného kola ventilátoru ARB 3550

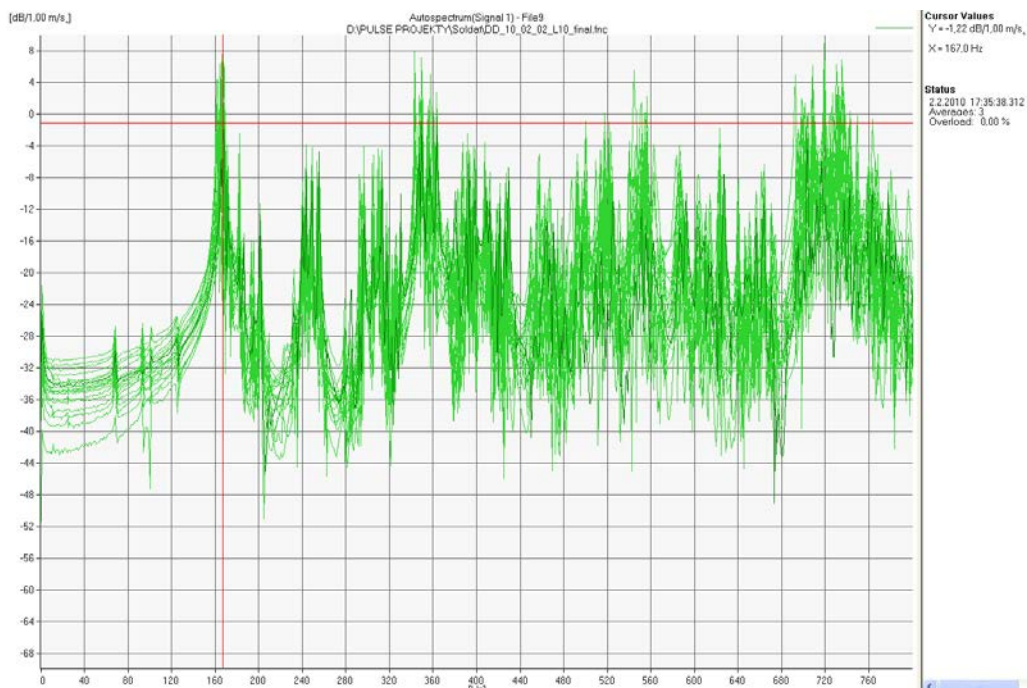


Obr. 4: První 3 vlastní tvary a frekvence lopatek oběžného kola ventilátoru ARB 3550

Ad. 5. Celá výroba oběžného kola byla důsledně protokolována a pod zvýšeným dohledem inspekce jakosti. Byla doplněna geometrická měření lopatek po jednotlivých technologických krocích.

Ad. 6. Bylo zajištěno finální normalizační žihání zpevněného oběžného kola po provedení všech svarů pro zachování požadované geometrie.

Ad. 7. Na nově přelopatkovaném oběžném kole jsme provedli měření aparaturou PULSE od firmy B&K. Záznam z měření vlastních frekvencí lopatek vyztuženého oběžného kola je na Obr. 5. Pro rozsah frekvencí 0-800Hz. [2]



Obr. 5: Vlastní frekvence lopatek vyztuženého oběžného kola ventilátoru ARB 3550

Závěr

Přijatá opatření prokázala správný postup při řešení tohoto problému a jejich oprávněnost. Nyní již více jak dva roky probíhá pravidelné spolehlivé měsíční střídání důlních ventilátorů. Obě oběžná kola ventilátorů jsou vybavena kruhovými výztuhami. Dopad do vzduchotechnických parametrů ventilátoru ve výši cca. 1-2% jsme dořešili natočením lopatek regulačního ústrojí k plné spokojenosti zákazníka.

Literatura

- [1] Návod k používání – NP 2093/01a , duben 2003, ZVVZ MACHINERY, a.s.
- [2] Interní technické a výpočtové zprávy ZVVZ MACHINERY, a.s.