

## ISTRAŽIVANJE VIBRACIJA NA VENTILATORU U FUNKCIJI POBOLJŠANJA KVALITETE PROIZVODNOG PROCESA

### RESEARCH OF FAN VIBRATION IN FUNCTION OF IMPROVING THE PRODUCTION PROCESS QUALITY

**Davorka Šaravanja, izv.prof.dr.sc.**  
Fakultet strojarstva, računarstva i elektrotehnike Sveučilišta u Mostaru  
Mostar

**Josip Kožul, mag. stroj.**  
Aluminij d.d.  
Mostar

#### **REZIME**

*Vibracije su uvijek dobar pokazatelj koliko je neka strojarska konstrukcija kvalitetno projektirana, instalirana i održavana. Sa sofisticiranim, kompjutoriziranim programom mjerenja, analiza vibracija sa svojim parametrima se može koristiti kao dobar metod za rješavanje svih zahtjeva za poboljšanje kvaliteta proizvodnog procesa. Ventilatori kao rotacijski strojevi su sastavni dio proizvodnog procesa u mnogim industrijama. Podložni su pojavi vibracija jer imaju velik omjer u razlici između rotirajućih masa u odnosu na ukupnu masu i djeluju pri relativno velikim brzinama. U tom slučaju igraju ključnu ulogu jer je njihovo djelovanje ovisno o pojavi različitih defekata što ima za posljedicu pojavu strujanja i debalansa. Povišene vibracije i njihove uzroke je ponekad teško identificirati i eliminirati. U ovom radu pokazan je primjer istraživanja vibracija na rotacijskom stroju, motor-ventilatoru Polrich u tvornici Aluminij d.d. primjenom metoda za njihovu identifikaciju i eliminiranje u cilju povećanja kvalitete rada i snižavanje troškova cijelog proizvodnog procesa.*

**Ključne riječi:** mehaničke vibracije, ventilator, neuravnoteženost

#### **SUMMARY**

*Vibrations are always a good indicator of how well a mechanical construction is designed, installed and maintained. With a sophisticated, computerized measurement program, vibration analysis with its parameters can be used as a good method for solving all the requirements for improving the production process quality. Fans as a kind of rotary machines are an integral part of the manufacturing process in many industries. They are subject to vibration because they have a high ratio between the rotating masses relative to the total mass and they operate at relatively high speeds. In this case, they play a key role because their action depends on the appearance of different defects, which results in the appearance of flow and imbalances. Increased vibrations and their causes are sometimes difficult to identify and eliminate. This paper shows an example of vibration research on the rotary machine, the Polrich fan-motor at the Aluminij d.d. using methods for their identification and elimination in order to increase the quality of work and reduce the cost of the entire production process.*

**Keywords:** mechanical vibration, fan, imbalance

## 1. UVOD

Mehaničke vibracije su najvažniji nositelji informacija o tehničkom stanju i o neispravnostima (neuravnoteženosti) u mehaničkom sustavu predstavljaju opažljiva i mjerljiva specifična gibanja oko ravnotežnog položaja na kako površini kućišta stroja, tako i na pojedinačnim elementima konstrukcije ili postolju. Ventilatori kao vrsta rotacijskih strojeva sa svojim elementima mogu vibrirati pod opterećenjem pri eksploataciji, a vibracije mogu izazivati fluidi i plinovi u kontaktu s čvrstim tijelima.

Adekvatno projektiranje i kontrola vibracijskih procesa jesu najvažniji postupci u zadržavanju visoke razine karakteristika i proizvodne efikasnosti takvih postrojenja, kao i u produljenju vijeka trajanja čitave konstrukcije i kvalitete proizvodnih procesa uopće.

U okviru analize i procjene ventilatora u svrhu poboljšanja kvalitete cijelog proizvodnog procesa, veliku i važnu ulogu čini upravo mjerenje, praćenje i analiza mehaničkih vibracija. Stoga i ovaj rad ima zadatak pokazati važnost mjerenja i analize mehaničkih vibracija na ventilatoru tipa Pollrich u Aluminiiju d.d. u okviru ukupne procjene njegovog tehničkog stanja. Najvažnija karakteristika mehaničkih vibracija jeste u informaciji koju sadržavaju.

Pri procjeni ventilatora i njegovog vibracijskog stanja vršila su se ispitivanja složenih sveukupnih vibracija (eng. overall vibration) koje omogućuju donošenje određenih odluka o stanju čitave konstrukcije ventilatora instaliranog u prostoru tvornice (Sl.1).

Smanjenje ili eliminacija destruktivnih ili štetnih vibracija, njihovo dovođenje u optimalno stanje i snižavanje do prihvatljivih normiranih granica jedan je i od zadataka poboljšanja kvalitete proizvodnog procesa kojem služi i korištenje ventilatora.[1,2]

## 2. UZROCI VIBRACIJA NA VENTILATORU

Vibriranje ventilatora najčešće je izazvano neuravnoteženim rotorom ili drugim rotirajućim komponentama. Negativni udarci usljed ovakvih vibracija su uvećani pojavom olabavljenosti u vezama i lošom konstrukcijom oslonaca.[3]

Postupak uravnoteženja predstavlja dodavanje ili uklanjanjem težine/masa u pokušaju pomicanja težišta prema osi rotacije.

Vibracije utječu na cijelu konstrukciju ventilatora i mjere se tijekom, tzv. "run testa", tako da se amplitude vibracija na ležajevima kao najosjetljivijim elementima ventilatora izražavaju u jedinicama pomaka ili brzine.

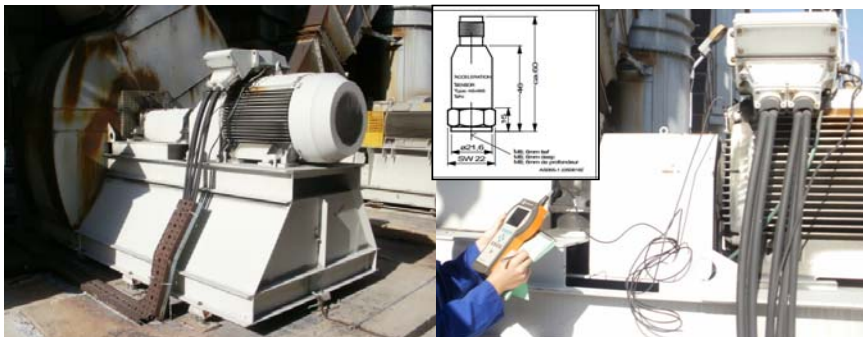
Određuje se razina vibracija za novu konstrukciju ventilatora koja je rezultat projektiranja i konstruiranja od strane proizvođača ventilatora. Naknadno instaliranje, montaža i postupci održavanja mogu imati značajan utjecaj za povećanje razine vibracija i na tijek rada ventilatora. Postoji više razloga za pojavu neuravnoteženosti rotora ventilatora:

- Konstrukcija - kod novih rotora ventilatora postoji mogućnost pojave neuravnoteženosti zbog prirode procesa izrade i montaže. Netolerancije u montaži, razlike u gustoći materijala i zaostale deformacije u procesu zavarivanja mogu doprinijeti pojavi grešaka neuravnoteženosti u konstrukciji ventilatora. Zbog toga se vrše postupci balansiranja, tj. dodavanja, ili oduzimanja masa po određenim ravninama poprečnog presjeka rotora ventilatora.
- Nakupljanje materijala - čak i tanki sloj prljavštine može prouzročiti iznenađujuću neravnoteženost rotora. Upotreba otapala, želičnih četki za skidanje i struganje prljavštine mogu pomoći i vratiti rotor u uravnoteženo stanje.
- Abrazija/korozija - u transportu materijala ili zbog djelovanja korozivne pare dolazi do pojave abrazije ili korozije rotora koji su također uzroci debalansa. Iz sigurnosnih razloga, ovo stanje je ozbiljnije od pojave jednostavnih vibracija i u tom slučaju treba kontaktirati zastupnika proizvođača radi preporučenih aktivnosti oko popravka, koji mogu uključivati i zamjenu rotora.

- Pogonski dijelovi - diskovi, remeni, spojnice i motori mogu imati vlastitu grešku neravnoteženosti koja rezultira vibracijama čitavog ventilatora. U tom slučaju koriste se uređaji za provjeru poravnanja, pregledavaju utori na pojedinim elementima, kao i dijelovi remenskog prijenosa i vrši se zamjena istrošenih elemenata. Pri isporuci i montaži mogu se pomaknuti spojnice što također uzrokuje nesuosnost i vibracije. Puno je teže odrediti jesu li vibracije izazvane vezom spojke i rotora, ako se ne izvrši demontaža i slanje u postrojenja za uravnoteženje. Diskovi i spojke bi tvornički trebali biti dinamički uravnoteženi, pa se smatra da su u dobrom uravnoteženom stanju, osim ako je iz nekog sigurnosnog razloga važno utvrditi je li rotor ili pogonska komponenta izvan ravnoteže. Najbolja varijanta je vršiti uravnoteženje rotora, osovina i pogonskih komponenata tijekom montaže.
- Pričvrtni vijci – rotor, pogonski elementi, ležaji, vijci, te oprema za montažu na oslonac ventilatora najčešći su objekti koji izazivaju vibracije. Ako izostane njihov pregled, olabavljeni elemenata dovode do pojačanja vibracija na cjelokupnom ventilatoru.
- Oslonci konstrukcije – vrlo često se montiraju takvi podupirači koji imaju frekvenciju prirodnih vibracija u blizini frekvencije ventilatora. Kada se pokrene, konstrukcija će i dalje nastaviti vibrirati na toj frekvenciji. Pod takvim uvjetima gotovo je nemoguće izbalansirati sve rotacijske komponente dovoljno dobro da bi se spriječile nepoželjne razine. Dodavanje mase ili promjene krutosti će promijeniti prirodne frekvencije konstrukcije izvan raspona radnog djelovanja ventilatora. Optimalno montirane konstrukcije ventilatora uglavnom su debele betonske ploče, čelične podloge koje se oslanjaju na izolatore, ili teški, čvrsto zavareni čelični okviri konstrukcije. Konstrukcije moraju imati adekvatno ukrućenje, bez dugih i nekvalitetno oslonjenih raspona. Oni bi trebali biti konstruirani tako da izdrže ne samo statička opterećenja. Svi vertikalni oslonci trebaju biti izravno ispod konstrukcije ventilatora tako da ne bude smješten u sredini raspona oslonačne grede.
- Savijena osovina - može uzrokovati povišene vibracije čija jačina je srazmjerna iznosu deformacije savijene osovine. Korištenjem adekvatnih indikatora vrši se provjera deformacije vratila koje ne bi trebale biti veće od jedne-dvije tisućinke cm na kratkom vratilu ili dvije-tri tisućinke cm na dužem vratilu. Ako je uzrok vibracija savijena osovina, mora se ispraviti, zamijeniti i na taj način utjecati na uravnoteženje.

### 3. MJERENJE VIBRACIJA

U ovom radu sva teorija o vibracijama potkrijepljena je istraživanjem na rotacijskom stroju, motor-ventilator tipa Pollrich u tvornici Aluminij-Mostar. Ovaj ventilator ima ulogu stvaranja protoka filterima, jer se u filtracijskom centru vrši filtracija glinice i obrada plina iz elektrolize i njegova uloga je stvaranje podtlaka za obavljanje te navedene funkcije.



Slika 1. VIBROTEST 60 i odgovarajući akcelerometer tip AS065

Radi se o izvedbi aksijalnog ventilatora koji podržava tlačna naprezanja do 6000 Pa, 450 000 m<sup>3</sup>/h, promjera 2000 mm, radne temperature do 250 °C. Ispitivanja su provedena sa uređajem za mjerenje vibracija na elektromotoru i rotoru ventilatora, jer se vibracije na stroju mjere obično na pozicijama koje su dostupne izvan stroja. Kako se sile rotora uglavnom prenose preko ležajeva, upravo su oni lokacije kojima se daje prednost kod mjerenja vibracija.

Mjerenje vibracija, odabir mjernih točki, smjer mjerenja i ocjena stanja je vršena prema standardu (ISO10816, ISO2372) koji daje smjernice za procjenu vibracijskog stanja na strojevima koji djeluju u frekvencijskom rasponu od 10-200Hz (600-12000 ob/min).

Za mjerenje vibracijskog odziva na odabranim mjernim pozicijama konkretnog ventilatora, korišten je instrument za mjerenje vibracija tip VIBROTEST 60, danskog proizvođača Brüel&Kjaer Vibro, koji je preporučan za uporabu u zemljama EU, a za odgovarajuće frekvencijsko područje davač tip AC 065 (AC-06X/07X) (Sl.1.).

### **3.1. Modularni koncept instrumenta**

VIBROTEST 60 ima posebnu kombinaciju mjernih funkcija, pa tako i više metoda za primjenu. Idealan je za mjerenje vibracijskog odziva, jer sa svojim višestrukim funkcijama predstavlja i „dijagnostičkog eksperta“ sa rješenjima za opću primjenu.

Osnovne prednosti su mu: istovremeno je instrument za mjerenje amplitude, FFT analizator i balanser za uravnoteženje; kompaktan je i vrlo lagan (cca. 900 g); omogućuje dvo-kanalno mjerenje i mjerenje na više tzv. „ruta“ (eng. Route); ima visoku mjernu preciznost i dinamičku rezoluciju sa analogno-digitalnom konverzijom (16 Bit ACD); posjeduje digitalni signalni procesor (DSP); vrši FFT analizu spektara sa rezolucijom max. 12800 frek. linija; koristi standardne senzore za vibracijsko pomjeranje, brzinu i ubrzanje; ima velik memorijski kapacitet, a omogućuje zaštitu podataka sa PC (Compact Flash/PCMCIA) koja služi za spremanje podataka i odgovarajućih frekvencijskih spektara (Sl.2.).

Primjenom modularne strukture, stanje stroja se određuje vrlo brzo i jednostavno mjerenjem relevantnih parametara i njihovom usporebom sa normiranim graničnim vrijednostima ili formiranjem, tzv. trend mjerenja za neki određeni period. Postoji mogućnost unosa svih zapaženih i važnih indikatora strojnog stanja. Rezultat obrade podataka jesu dijagnostičke informacije koje odlučuju je li stroj nastavlja sa radom ili je potrebno obaviti neophodne popravke.

Osnovni Modul 1.1 omogućuje mjerenje apsolutnih vibracija na ležajevima, relativnih vibracija vratila, stanja ležaja putem jedinice BCU (eng. Bearing Condition Unit) na širem frekvencijskim područjima (eng. bandpass).

Modul 1.2 obavlja funkcije mjerenja sveukupnih vibracija u odnosu na brzinu i sveukupnih vibracija u odnosu na vrijeme (eng. Overall Vibration vs. Speed, Overall Vibration vs. Time) dajući mogućnost procjene stanja stroja za neko određeno vremensko razdoblje. Najvažnije karakteristike ovog modula su: rezultati mjerenja se spremaju na mjernim listama, memoriraju se i prikazuju preko, tzv. Listing Function; memorija „Report“ ima neograničen kapacitet zahvaljujući PC-kartici koja služi za transfer podataka i svojim jednostavnim insert-ovanjem omogućuje čitanje podataka, moguće je pregledavanje vremenskog perioda većeg od 24 sata preko maksimalnog broja podataka (većeg od 6400) na zapisu u odnosu na vrijeme.; fleksibilna konfiguracija frekvencijske skale omogućuje korištenje različitih uskopojasnih i širokopojasnih frekvencijskih filtara za opsežnija mjerenja, što garantira optimalnu prilagodbu posebnim mjernim zadacima; istovremena obrada vibracijskih i parametara koji se odnose na stanje ležajeva; eliminiranje efekata bijenja ili pulsiranja zbog utjecaja buke; omogućuje dobivanje frekvencijskog spektra na osnovu mjerenja amplitude vibracija i njeno prikazivanje na linearnoj ili logaritamskoj frekvencijskoj osi, sa mogućnošću biranja pojasa na frekvencijskoj osi. [4,5,6]

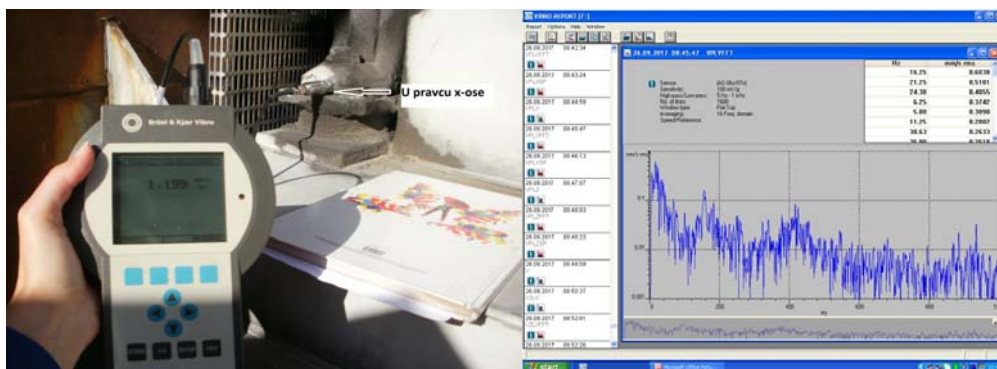
### 3.2. eXtended Monitoring Software

Najoptimalniji PC softverski paket za VIBROTEST 60 je XMS software (eng. eXtended Monitoring Software). XMS je profesionalni softver za optimalnu implementaciju koncepta održavanja strojeva prema stanju, koji omogućuje savršenu podlogu preko svoje „inteligentne“ baze podataka za sustavno korištenje kroz obradu podataka na cijelom stroju, odnosno više strojeva nekog postrojenja.

Modularna struktura XMS softvera omogućuje prikaz cijele konstrukcije stroja, ali i posebnih dijelova, odnosno sklopova, koji se mogu birati prema individualni zahtjevima. Posebno je važno naglasiti postojanje dodataka u osnovnom modulu (Basic Module) koji se odnose na data-collector i analizador podataka, odnosno dva interfejs modula (Interface Modules); modul za analizu i dijagnostiku (Analysis Module, Diagnosis Module). [4,5,6]

### 3.3. Obrada i analiza rezultata mjerenja

Rezultati mjerenja, dobiveni opcijom Overall Vibration/BCU, analizirali su se Spectrum/Cepstrum metodom na temelju koje su se dobili odgovarajući FFT spektri za svako mjerenje posebno. Obradu rezultata mjerenja izvršen je XMS softverom sa VIBRO-REPORT modulom za prikaz rezultata (Sl.2). Svaki FFT spektar predstavljao se kao odnos amplitude vibracijske brzine [mm/s] u odnosu na frekvencijsko područje [Hz] koje se podešava pomoću funkcije „Diagram configuration“ koja omogućuje utvrđivanje amplitude vibracijske brzine i određivanje povećanih harmonika, na temelju kojih se može odrediti frekvencijska karakteristika i povezati sa frekvencijom pobude koja ju izaziva.[6]



Slika 2. Prikaz Overall Vibration i FFT spektra na definiranoj mjernoj poziciji

Tablica 1. Rezultati mjerenja na karakterističnim mjernim pozicijama

Overall Vibration (mm/s RMS)				
VPLX-1.194	VZLX-1.152	EPLX-2.450	EPNX-1.297	EZNX-1.366
VPLY-1.269	VZLY-1.521	EPLY-2.060	EPNY-1.114	EZNY-1.266
VPLZ-1.786	VZLZ-1.011	EPLZ-2.438	EPNZ-2.260	EZNZ-2.353

Rezultati mjerenja su prikazani za svaku mjernu poziciju (tablica 1), uz pripadajuću fotografiju i FFT spektar u XMS softveru, a mjerenja su vršena u X-horizontalnoj, Y-vertikalnoj i Z-aksijalnoj osi na: prednjem ležaju ventilatora – (VPLX, VPLY, VPLZ); zadnjem ležaju ventilatora – (VZLX, VZLY, VZLZ); prednjem ležaju elektromotora – (EPLX, EPLY, EPLZ); elektromotoru prednjeg nosača – (EPNX, EPNY, EPNZ); elektromotoru zadnjeg nosača – (EZNX, EZNY, EZNZ).

#### 4. ZAKLJUČAK

Najvažnija karakteristika mehaničkih vibracija koja se implementira u metode praćenja i dijagnostike jeste informacija koju sadrže i mogu prenijeti putem signala o nekom elementu stroja. Zato su osnovni indikatori tehničkog stanja strojeva, jer otkrivaju dinamičko djelovanje koje se javlja na postolju (osloncima konstrukcije) i svojoj okolini, osiguravaju formiranje baze podataka za dijagnostiku, a sukladno s njom i postupke koji pomažu eliminaciji nepravilnosti na strojevima.

Ventilator tipa Pollrich na kojem su vršena mjerenja vibracija pripadaju drugoj grupi strojeva zbog snage od 315 kW i 1488 ob/min, te zaključujemo da su ukupne vibracije na temelju izmjerene vibracijske brzine (sa FFT analizatorom) koja se nalazi u rasponu od 0.8–2.4 mm/s RMS, „Zadovoljavajuće“. To znači da nema naznaka o poremećajima u radu, što bi zahtijevalo zamjenu ležaja elektromotora i ventilatora, ili njihovih nepravilnosti u suosnosti što bi zahtijevalo centriranje. Na temelju rezultata mjerenja i njima odgovarajućih FFT spektara zaključujemo da su na mjernim pozicijama blizu elektromotora ukupne vibracije dosta povišene u usporedbi sa normiranim alarmantnim vrijednostima, i to na EPL-u, gdje najveća vrijednost ukupnih vibracija iznosi 2.450 mm/s RMS. Pretpostavka je da je do povišenja razine vibracija na toj poziciji došlo zbog superponiranja razine vibracija uslijed broja obrtaja samog elektromotora.

Ukupne vibracije na ležaju oznaka EPN i EZN se kreću u rasponu od 1.114-2.353 mm/s RMS, a vibracije ležajima oznaka VPL i VZL su nešto niže u odnosu na mjernim mjestima blizu elektromotora, i kreću se u rasponu od 1.101 – 1.786 mm/s RMS. Stoga zaključujemo da su vibracije stabilne, odnosno, „Zadovoljavajuće“ prema spomenutom standardu.

Primjenom opisanih metoda za praćenje, mjerenje i analizu vibracija, zaključujemo na temelju rezultata mjerenja i pripadajućih FFT dijagrama, da je tehničko stanje ventilatora tipa Pollrich pod opterećenjem stabilno, te da nema naznaka o bilo kakvom poremećaju u radu.

Ovaj rad daje uvid u važnost istraživanja vibracija kako na ventilatoru, tako i na svim ostalim strojevima, jer se na vrijeme uočavaju poremećaji koji se javljaju u radu ove vrste motor-ventilatora kao što su neuravnoteženje, istrošenost dijelova elektromotora, nepravilnosti u radu njihovih ležajeva, oštećenje spojnice ili je potrebno vršiti zamjenu gumenih podložaka koji se troše pri eksploatiranju ove vrste rotacijskog stroja. Pri tome je vrlo važna uloga vibracijske dijagnostike, formiranje strategije vibracijske dijagnostike i primjena njenih odgovarajućih metoda u istraživanju, što ima za cilj pravovremeno interveniranje kod defekta, produljenje vijeka trajanja cijele konstrukcije stroja, poboljšavanja uvjeta rada, kao i povećanja ukupnog stupnja efikasnosti i kvalitete iskorištenosti stroja u proizvodnjom procesu.

#### 5. REFERENCE

- [1] Šaravanja, D.; Grbešić, M.: The system for simulating vibration problems-SSV, 5<sup>th</sup> Conference Maintenance 2018, ISSN 1986-583X, Zenica B&H, 2018,
- [2] Šaravanja, D.; Cigić, A.: Types of faults and their influence on the choice of vibration diagnostics strategy, 13<sup>th</sup> International Research/Expert Conference TMT 2009, ISSN 1840-4944, Hammamet, Tunisia, 2009,
- [3] Šaravanja, D.; Cigić, A.: Influence of defect factor on vibroisolation procedures on rotating machines, 20<sup>th</sup> DAAAM International Symposium International Conference UPS 2009, ISBN 9783901509740, Vienna, November 2009,
- [4] <https://www.bkvibro.com/en/products/vibrotest-60.html>
- [5] <https://www.bkvibro.com/en/products/xms-software.html>
- [6] Šaravanja, D.; Petković, D.: Vibracijska dijagnostika – teorija i praksa, ISBN 978-9958-9263-1-0, FSR Sveučilišta u Mostaru; MF Univerziteta u Zenici, 2010.