



UDK: 621-25-755(082)

*Originalan naučni rad
Original scientific paper*

OTKRIVANJE I ELIMINISANJE VIBRACIJA NA MAŠINSKIM SISTEMIMA SA OBRTNIM KRETANJEM

Aleksandar Ašonja¹, Radojka Gligorić²

¹NS-Termomontaža - Novi Sad
aske@neobee.net

²Poljoprivredni fakultet - Novi Sad
gligrad@polj.ns.ac.yu

Sadržaj: Na svim elementima mašina sa obrtnim kretanjem koje rade, deo sile koja ih pokreće da rade, prenosi se i na same mašine. Pošto one nisu krute mašine, uticaji i najmanje sile na nju izazvaće pojavu vibracija. Svrha izvođenja permanentnih merenja opisanih u radu je određivanje postepene promene vibracija (u određenim stepenima) tokom dužih vremenskih perioda, na osnovu kojih bi se blagovremeno odredile dalje mere preventivnog održavanja koje slede i sprečile pojave stanja otkaza.

Ključne reči: vibracije, mašine, stanje, održavanje.

UVOD

Jačina vibracija je u direktnoj vezi sa nivoom energije vibracija mašine i predstavlja siguran indikator destruktivnih sila koje nju deluju. U slučaju da je sistem neuravnotežen, tj. da zbir inercijalnih sila i zbir momenata inercijalnih sila nije jednak nuli ($\sum \vec{F}_i \neq 0$, $\sum M_i \neq 0$) dolazi do dinamičkih opterećenja i vibracija koje mogu biti takvih intenziteta da dovode do bržeg oštećenja, bržeg zamora materijala i lomova. Oštećenja koja nastaju pojavom vibracija lančano se prenose i na ostale delove sistema: vratila, motore, spojnice, kućišta, ležaje i dr. Problem neuravnoteženosti mašinskih sistema je najizraženiji kod gabaritnih, brzohodnih mehanizama i rotora. Pod rotorom ovde se podrazumevaju svi elementi obrtnog kretanja (vratila, osovine, bubnjevi, doboši, diskovi i dr.).

U periodu stvaranja i proizvodnje mašina pridržavajući se svih pravila uravnoteženja dobijaju se uravnoteženi sistemi. Međutim, u toku rada sistema dolazi do različitih deformacija i oštećenja njegovih članova koji mogu znatno uticati na njegovu neuravnoteženost. Na primer, noževi rotora silažnog kombajna koji se obrću znatnim brzinama, a u toku rada nailaze na različite otpore zbog različite gustine biljne mase i

različite vlažnosti, neminovno dovode do njihove neujednačene ishabanosti i nehomogenosti raspodele masa. U ekstremnim situacijama mogu naići na neki zaostali tvrdi predmet i slično, što dovodi do neujednačenog krzanja ili loma noževa.

Tendencije razvoja novih mašina baziraju se na višoj produktivnosti, uslovljavajući značajan porast opterećenja, brzina i radnih temperatura. Kao posledice toga javljaju se problemi sa povećanim trenjem i habanjem i pojavom neuravnoteženosti i povećanih vibracija.

DIJAGNOSTIKA I KLASIFIKOVANJE MAŠINA

Stvaranje neuravnoteženih masa (debalansa) u osnovi prate tri uzroka: nešto je nestegnuto, necentrirano ili ishabano. Prihvatljivi nivo vibracija je onaj koji zavisi od gabarita same mašine, njene funkcionalnosti, kao i stabilnosti njenih postolja. Merenjem veličina vibracija u sva tri pravca, dobijaju se podaci o trenutnim nedostacima mašina i to:

- radijalne vibracije merene u vertikalnom pravcu daju podatke o strukturalnoj slabosti,
- aksijalne vibracije merene duž linija osovina su obično rezultat pogrešnog centriranja, loše montiranih spojnice i savijenih osovina i
- horizontalne vibracije predstavljaju rezultat stanja ravnoteže.

U praksi se najčešće za određivanje vibracione klase mašina, koriste sledeći mogući reperi:

- proizvođačev podatak o veličini vibracija za datu mašinu koji se upoređuje sa ISO vrednostima, na osnovu kojeg se odabira odgovarajuća klasa,
- izmerene veličine vibracija kada su mašine u dobrom stanju i odabiranje klase vibracija za datu mašinu i
- klasifikovanje vibracija prema ISO preporukama.

Merenje neuravnoteženosti mašina svodi se na merenje vibracija koje nastaju obrtanjem neuravnoteženih masa. Osnovni parametar kojim se ocenjuje nivo vibracija i uravnoteženosti mašina je efektivna brzina vibracija:

$$V_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{A}{100} \cdot \omega \quad (\text{mm/s}) \quad (1)$$

gde je:

A - amplituda vibracija (μm) i

ω - ugaona brzina rotacionog elementa (sek^{-1}).

Efektivna brzina vibracija se meri različitim postupcima i uređajima koji su propisani međunarodnim standardima ISO 2372/2373, nemačkim DIN 454665/45666 i preporukama VDI 2056. Ovim standardima su sve mašine i mehanizmi u njima podeljeni na grupe: K, M, G, T, D i S i za njih su propisane vrednosti efektivnih brzina vibracija:

Grupa K: To su pojedini delovi mehanizama pogonskih i radnih mašina koji su u pogonskom stanju potpuno čvrsto vezani, naročito elektromotori snage do 15 kW u serijskoj proizvodnji.

Grupa M: Mašine srednjih veličina, elektromotori snage od 15-75 kW bez naročitih fundamenata, kao i čvrsto montirani pogonski delovi i radne mašine snage do 300 kW sa obrtnim delovima na posebnim fundamentima.

Grupa G: Veće mašine postavljene na krute ili teške fundamente, veće pogonske i radne mašine samo sa rotirajućim masama.

Grupa T: Veće pogonske i radne mašine samo sa rotacionim masama postavljene na fundamente sa malim brzinama, npr. turbogrupe, kao i mašine na lakim fundamentima.

Grupa D: Kruto uležištene mašine sa neujednačenim delovanjem masa.

Grupa S: Elastično uležištene mašine sa neujednačenim delovanjem masa, kao i obrtne mašine sa oscilatornim masama, kao što su vratila mlinova čekićara, zatim mašine sa neujednačenom promenljivom neuravnoteženošću, centrifuge, vibratori, mašine za dinamičko ispitivanje materijala, vibracione mašine procesne industrije itd.

Za navedene grupe date su ocene: dobro, upotrebljivo, još dopušteno i nedopušteno, koje se koriste u periodu eksploatacije, tabela 1.

Tab.1: Granične standardne vrednosti efektivnih brzina vibracija $V_{ef}(mm/s)$ za grupe mašina
Tab.1: Limit standard values of actual speed vibrations $V_{ef}(mm/s)$ for the groups of machines

Ocena uravnoteženosti	Grupa mašina			
	K	M	G	T
Dobro	< 0,71	< 1,1	< 1,8	< 2,8
Upotrebljivo	0,71 – 1,8	1,1 – 2,8	1,8 – 4,5	2,8 – 7,1
Još dopušteno	1,8 – 4,5	2,8 – 7,1	4,5 – 11	7,1 – 18,0
Nedopušteno	> 4,5	> 7,1	> 11,0	> 18,0

MATERIJAL I METOD RADA

Klasifikacija mašina je danas uglavnom stvar iskustva, zato što su definicije koje je dao standard uopštene a podela gruba. Mnoge mašine unutar industrijskih postrojenja mogu se svrstati u vibracione grupe mašina: K, M i G. Isto tako i nisu definisana opšta pravila o tome koliko često treba kontrolisati vibracije, intervali između merenja (dan, nedelja ili mesec) zavise od samih mašina, njenih značaja za proizvodni ciklus, vremena u eksploataciji, starosti i učestalosti razvoja nivoa vibracija.

Kraći intervali merenja obično sa trajno instalisanim monitorima, koriste se za kontrolu stanja kritičnije opreme kada je stanje nestabilno (uvećanja ili nepravilna očitavanja), pri čemu su gotovo uvek ležaji ti koji su u najvećem broju slučajeva preopterećeni. Iznenadan, neočekivan i brz razvoj kvarova retko se dešava.

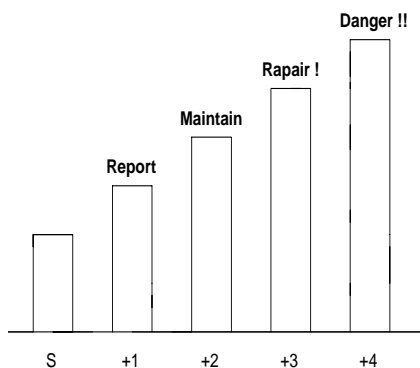
Obično se prvi znakovi pojave destruktivnih sila javljaju na samoj površini rotacionih elemenata u periodu od nekoliko meseci od prve pojave inicijalnih oštećenja.

Nepravilno merenje vrednosti vibracija na ovakvim sistema je često povezano i sa problemima podmazivanja. Primera radi ležaji na pojedinim sistemima koji se podmazuju mašću trebali bi se ispitivati jedan sat posle podmazivanja, pri čemu bi vršilac merenja trebalo da zna: tip maziva, maksimalnu količinu doziranja i intervale podmazivanja.

Glavna svrha merenja veličine vibracija opisanih u radu, bi bila otkrivanje i eliminisanje značajnog povećanja nivoa vibracija, na osnovu kojih bi se odredile mere daljeg preventivnog održavanja. Prvo upozorenje da se javlja nepravilan rad sistema jeste povećanje veličine vibracija za jedan stepen (ili za 1,6 puta). Saznanje o promeni u stepenu gore ili stepenu dole je najjednostavniji način prikazivanja obima i hitnosti problema održavanja.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Povećanje vibracija za jedan stepen (report), slika 1, smatra se značajnom promenom koja utiče u manjoj meri na rad mašine, a smanjuje se pritezanjem pojedinih vijaka, podešavanjem remenja i spojnic. Jedan stepen je prostor između dve linije prikazane u tabeli 1.



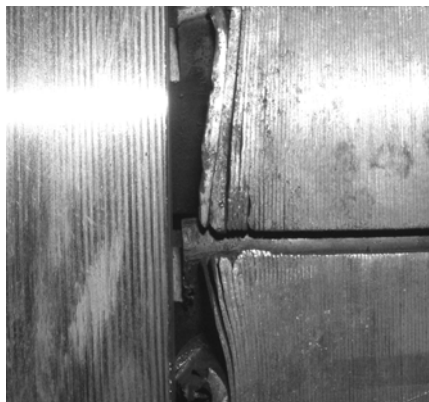
Promena stanja vibracija za dva stepena (maintain) zahteva dopunsku dodatnu kontrolu. Popravka je neizbežna ukoliko se stanje promeni za tri puta (repair), dok povećanja četiri i više puta (danger) nalažu istovremeno isključivanje mašine iz daljeg rada.

Sl. 1: Povećanja veličine vibracije posmatrano kroz mere preventivnog održavanja
Fig. 1: Increase dimension of vibration through observation of preventive methods maintenance

Na sl. 2 i 3 prikazani su primeri oštećenja pojedinih delova mašinskih sistema prouzrokovani pojavom vibracija. U slučaju deformisanog vratila (slika 2) i oštećenog rotora (slika 3) vibracije koje su prouzrokovale trenutno stanje imale su devet puta veći nivo od optimalnog, koji za datu grupu mašina iznosi do 1,8 mm/s.



Sl. 2: Deformacija vratila
Fig. 2: The disquised shaft

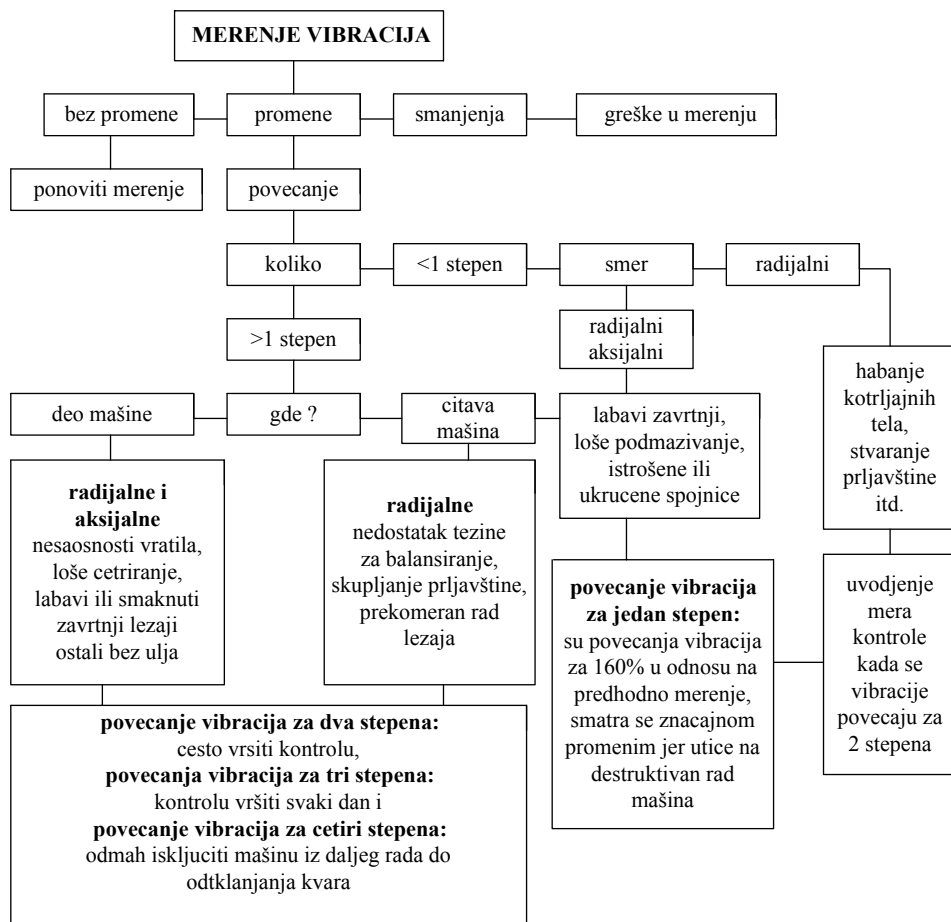


Sl. 3: Oštećenje rotora
Fig. 3: Defect of rotor

Rezultati istraživanja sprovedeni na većem broju softverskih sistema za određivanje dinamičke analize veka trajanja kotrljanih ležaja na vratilima pumpi, ukazuju na znatnu razliku u dobijenim vrednostima preostalog vremena upotrebe. To ukazuje na znatne probleme koji se javljaju prilikom identifikacije i stvarne veličine vibracija.

ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Neuravnoteženosti mašinskih sistema dovodi do smanjenja njihovog veka upotrebe. Efikasnost rada mašinskih sistema mogla bi se povećati stalnom kontrolom uravnoteženosti i kontrolom ostalih potrebnih parametara (slika 4).



Sl. 4: Procedura održavanja zasnovana na pojavi vibracija
Fig. 4: Procedure of maintenance based at appearance of vibration

Uzroci pojave izvora vibracija (slika 4) koji se javljaju u predhodno opisanim mašinskim sistemima, najčešće su: loša konstrukciona rešenja, nepravilna montaža čitavog sklopa, prekomerni rad svih delova rotacionih sklopova, loša fiksiranost mašina i nepodešenost podloge mašina, necentriranosti spojnice, neodgovarajuće podmazivanje ležaja, pojava raznih čestica u masti za podmazivanje ležaja, nepravilno postavljeni ležaji, unutrašnji prsten ležaja ispada na osovinu, spoljni prsten ležaja ispada na kućište, trenja između vratila i drugih delova mašine, neučvrćenosti pojedinih delova mašine, neizbalansirani rotori, kavitacija pumpi, oštećenja zubaca zupčanika, opterećenja i udari

koji se javljaju za vreme rada, nesaosnosti vratila, povećanje sloja čađi na noževima izduvnog ventilatora i neodgovornost i nepažnja rukovaoca. Znatno prisustvo vibracija u pogonima gde su instalisani ovakvi sistemi dovode i do stvaranja nepovoljnih ergonomske radnih uslova.

ZAKLJUČAK

Otkrivanje i eliminisanje vibracije na mašinskim sistemima sa obrtnim kretanjem je postupak koji je potrebno kontinualno sprovodi adekvatnim unapred pripremljenim merama održavanja opisanim u radu.

LITERATURA

- [1] Ašonja, A.: Upotreba softverskih sistema za određivanje veka trajanja kotrljanih ležaja u toku korišćenja, Seminarski rad, Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad, 2005.
- [2] Ašonja, A., Gligorić R.: Istraživanje kotrljanih ležaja, Traktori i pogonske mašine, Vol. 8, No.4, 130-135, Jugoslovensko društvo za pogonske mašine i traktore, Novi Sad, 2003.
- [3] Broch J. T.: Mechanical vibration and shock measurements, Brüel & Kjaer, Naerum, Denmark, 1989.
- [4] Gligorić R., Ašonja, A.: Problemi uravnoteženja vibracija i mehanizama, Pregledni rad, Održavanje mašina, broj 5, 52-56, THEDIS, Smederevo, 2005.
- [5] Gligorić, R., i sar.: Izbor karakteristika ležaja za traktore snage 30-60 kW, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad, 2002.
- [6] Gligorić, R.: Optimizacija kinematičkih i dinamičkih parametara podiznog uređaja traktora, doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 1991.
- [7] Gligorić Radojka, Karadžić B., Popov R.: Matematičko modeliranje podiznog sistema traktora, Savremena poljoprivredna tehnika, 17, (1991), 33-38. Rad izložen na XVIII naučnom skupu Poljoprivredna tehnika POT '92, Vojvodansko društvo za poljoprivrednu tehniku, Lepenski vir, 1992.
- [8] Propekt.: Analizator udarnih impulsa A2011, SPM, Švedska.
- [9] Zlokolica M., Čavić M., Kostić M.: Mehanika mašina, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.

DETECTION OF VIBRATIONS AND THEIR ELIMINATION ON ROTATE MECHANICAL SYSTEMS

Aleksandar Ašonja¹, Radojka Gligorić²

¹NS - Termomontaža - Novi Sad

²Faculty of Agriculture - Novi Sad

Abstract: At all elements of working machines with rotation the part of force which starts them to work, transmits to that same machines. That machines are not stiff and the influences of the smallest force to them will provoke appearance of vibrations. The purpose of taking out of permanent measure, which is described in this work, is determination of gradual vibrations change (in determinate degrees) for the longer period of time. In that way, at the time it can be definite farther methods of preventive maintenance which are following and prevent appearance of incorrect condition.

Key words: vibrations, machine, condition, maintenance.