

UDK: 372;621.3.018.6

*Originalan naučni rad
Original scientific paper*

OSCILATORNE POJAVE KOD POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA

Predrag Petrović, Zlata Bracanović, Svetlana Vukas

Industrija motora Rakovica - Institut, Beograd

Sadržaj: Osnovni aspekt ergonomskih zahteva u cilju poboljšanja opšte komfornosti rukovaoca traktora je veoma kompleksan. Pored osnovnih ergonomskih zahteva (buka, mikroklima, vidljivost, pogodnost rukovanja komandama, aerozagađenje i dr.), veoma su značajna i kvantitativna oscilatorna opterećenja rukovaoca traktora.

U Institutu IMR-a izvršena su opsežna merenja vertikalnih vibracija na dizel motoru na probnom stolu, i na jednom tipu traktora iz svog proizvodnog programa, na različitim mernim mestima i režimima rada motora.

U tom kontekstu, dat je prikaz dela dobijenih rezultata i analiza vibratornih ubrzanja na mernim mestima kao i sedištu rukovaoca traktora sa aspekta zadovoljenja kriterijuma ISO standarda, kao i vanstandardnih ispitivanja.

Ključne reči: *traktor, vibracije, motor, komfornost, ISO standard, ergonomija.*

UVOD

Sa aspekta ergonomskih zahteva poljoprivrednih traktora, jedan od bitnih parametara koji negativno utiče na rukovaoca su vibracije. Njihov uticaj zavisi od intenziteta, karaktera, nivoa ubrzanja u odnosu na pravougaoni koordinatni sistem, načina i stepena prigušenja i dr. Dejstvo oscilacija kojima je izložen rukovaoc traktora, može da deluje veoma štetno, izazivajući ne samo brzo zamaranje čovečijeg organizma, već duže kontinualno prisustvo može da izazove različita hronična obolenja, a pre svega kičmenog stuba.

Postoje i drugi ergonomski problemi pored radnog opterećenja rukovaoca prisutni su, npr.: buka, nepovoljna mikroklima, različita aerozagađenja, (prašina, sredstva za zaštitu bilja, polen), povišena temperatura, neadekvatan prilaz kabini, neodgovarajuća izvedba radnih komandi, psiho-fizičkih naprezanja pri upravljanju traktora i radom sa priključnim mašinama i oruđima i dr.

Iz izloženog se vidi da su problemi komfornosti rukovaoca poljoprivrednih traktora evidentni, pa je pristup afirmaciji ergonomskih i ekoloških problema pri proizvodnji postojećih i razvoju novih traktora, sve neophodniji. Tim problemima, poznati svetski proizvođači traktora posvećuju veliku pažnju, uz evidentna poboljšanja, koja gotovo sa svih aspekata zadovoljavaju propisane standarde.

Međutim, ista konstatacija ne važi kada su u pitanju domaći proizvođači traktora, koji sa mnogobrojnih aspekata neuspevaju da poboljšaju ergonomske zahteve traktora. Sama činjenica da domaći proizvođači i danas isporučuju traktore bez kabine, pa u takvim slučajevima iluzorno je uopšte razmatrati ergonomske zahteve, a pri tom bezbednost rukovaoca je smanjena na minimum, što potvrđuje na žalost i veliki broj nesretnih slučajeva traktorista prilikom različitih udesa.

Cilj ovog rada je da se kroz mnogobrojna ispitivanja vibracija jednog tipa motora IMR-a, na probnom stolu i traktoru, na različitim mernim mestima i režimima rada, sa i bez ublaživača vibracija (balansera) utvrdi nivo vibracija.

OSCILATORNI PARAMETRI OPTEREĆENJA I DINAMIČKA IDENTIFIKACIJA ČOVEČIJEG TELA

Na karakter oscilatornih opterećenja rukovaoca utiče veći broj parametara, od kojih su najkarakterističniji :

- Karakter vibracija koji deluje na čoveka (frekvencija, intenzitet ubrzanja, pravac i smer oscilovanja, trajanje i mesto dejstva oscilacija, položaj čoveka: sedeći, ležeći, stojeći) i dr.

- Individualne karakteristike čoveka (uzrast, pol, zdravstveno stanje, fizička konstitucija i sl.)

- Uslovi okruženja (buka, aerozagađenje, mikro i makro klima, temperatura, osvetljenje i dr.)

- Psiho-fizička angažovanost i dr.

Sa aspekta ergonomije, kod poljoprivrednih traktora najveći značaj imaju vertikalne vibracije, koje se preko sedišta prenose na telo rukovaoca. One se mogu definisati u frekventnom domenu, u vidu: pomeranja, brzine i ubrzanja vibracija. U literaturi se sreću različiti pokazatelji oscilatornog opterećenja čoveka, a kada su u pitanju rukovaoci kod poljoprivrednih traktora, najčešće primenjivani uslovi su definisani standardom ISO-2631, u zavisnosti od nivoa vertikalnih ubrzanja, njihove frekvence i vremena izloženosti tim ubrzanjima.

Negativno dejstvo vibracija, uglavnom se deklariše preko efektivne vrednosti vertikalnog ubrzanja na sedištu, koja ako dostižu visoke nivoe, ne samo da utiču na negativno stanje rukovaoca, već u znatnoj meri otežavaju i korišćenje radnih komandi.

Može se smatrati kada se radi o ubrzanju, da je to slučajna funkcija (stohastički karakter), opisana u frekventnom domenu, putem spektralne gustine snage (uobičajeno je $1 \div 80$ Hz).

Na bazi vrednosti pokazatelji vertikalnog ubrzanja, standard ISO-2631 omogućavaju procenu sa tri različita aspekta : očuvanja zdravlja čoveka, očuvanja sposobnosti (granica zamora) i očuvanje komfora.

Kada je u pitanju rukovaoc poljoprivrednih traktora, adekvatna je promena prva dva aspekta, pri čemu aspekt očuvanja zdravlja predstavlja blaži a aspekt pojave zamora strožiji kriterijum.

Čovečije telo predstavlja izuzetno složen mehanički sistem, sastavljen od velikog spoja linearnih i nelinearnih elemenata sa značajnim individualnim razlikama. Procena dinamičke identifikacije takvog sistema, bilo da se radi o eksperimentalnim ili analitičkim postupcima je dosta teška i sva istraživanja na čoveku su vrlo kompleksna.

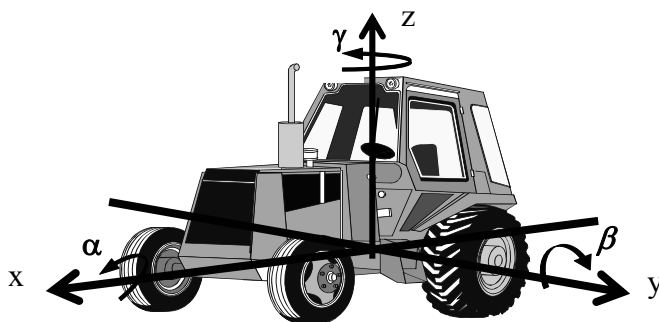
Polazeći od fizičkog aspekta, moguće je na nižim frekvencijama i manjim pobudnim silama, ljudsko telo kao vrlo složen sistem sa beskonačnim brojem stepeni slobode, aproksimirati mehaničkim modelom sa konačnim brojem stepeni slobode. Takvom aproksimacijom ukupno se mogu prihvatiti frekvencije vertikalnog oscilovanja pojedinih delova ljudskog tela, na primer: glava ≈ 25 Hz, ramena $\approx 4\div 5$ Hz, grudni koš ≈ 60 Hz, kičmeni stub $\approx 10\div 12$ Hz, abdomen $\approx 4\div 8$ Hz, kukovi $\approx 50\div 200$ Hz, laktovi $\approx 16\div 30$ Hz, očna duplja $\approx 30\div 80$ Hz.

NEKI ASPEKTI NASTAJANJA I PROSTIRANJA VIBRACIJA NA POLJOPRIVREDNIM TRAKTORIMA

Sami zahtevi za konstrukcijom traktora prouzrokuju veliki broj faktora koji utiču na pojavu vibracija.

U principu, traktor ima šest stepeni slobode oscilovanja i isti broj stepeni slobode može da ima i svaki deo koji je za sistem traktora spojen elastičnim vezama.

Na slici 1, prikazane su vibracije u odnosu na pravougli koordinatni sistem: x-uzdužne, y-bočne i z-vertikalne vibracije, α -ugaone oko x-ose (ljuljanje), β -ugaone oko y-ose (galopiranje), γ -ugaone vibracije oko z-ose (plivanje).



Slika 1. Vibracije traktora u odnosu na pravougli koordinatni sistem

Faktori koji utiču na pojavu vibracija su direktno povezani sa silama i momentima koji nastaju u samom motoru izazvanim procesom rada, načinom ugradnje motora, odnosno prostiranja vibracija od motora preko transmisije i konstrukcije traktora do sedišta rukovaoca, načina i izvedbe oslanjanja karoserije, interakcije neravnina podloga, terena i traktora, tipa pneumatika (radijalni ili dijagonalni), bočne elastičnosti karkase pneumatika, pritiska i dr.

Prisustvo mnogobrojnih faktora koji utiču na pojavu vibracija, koje se putem elastičnih, poluelastičnih i krutih veza prenose do sedišta vozača, teško je eliminisati, ali različitim konstrukcionim rešenjima intenzitet vibracija se može svakako smanjiti.

Spektar učestanosti karakterističnih pojava vibracija na traktoru je vrlo različit i kreće se od veoma niskih 1÷50 Hz (vibracije kabine, točka upravljača, podužne vibracije traktora, rezonanca točkova i dr.), srednjih frekvencija 100÷1000 Hz (vibracije transmisije, izduvnog sistema, mehanička i gasodinamička strujanja u usisnom i izduvnom sistemu dr.) i visokih frekvencija 1000÷5000 Hz (vibracije motora prouzrokovane procesom sagorevanja, mehaničke buke i dr.).

U praksi inercijalne sile pravolinijskih oscilatornih masa se obično razmatraju samo do sila I i II reda. Pored tih sila javljaju se i inercijalne sile obrtnih masa, zbog čega je veoma važno da se kod višecilindričnih motora izborom povoljnog broja rasporeda cilindra, postigne što potpunije uravnoteženje inercijalnih sila i njihovih momenata, prirodnim putem. Ukoliko je to nemoguće zbog konstruktivne koncepcije, uravnoteženje treba sprovesti primenom protivtežova, a pri tom imajući u vidu i mogućnost ugradnje ublaživača oscilacija. Multiplicirani nivoi vibracija koji nastaju u jedno tako složenom sistemu, kao što je traktor, prenose se do rukovaoca na tri osnovna načina:

- preko sedišta, pri čemu se izazivaju vibracije celog tela rukovaoca,
- preko ručnih komandi i točka upravljača, pri čemu izazivaju vibracije gornjih ekstremiteta rukovaoca,
- preko oslonaca i poda kabine, kao i nožnih komandi, pri čemu izazivaju uglavnom lokalne vibracije donjih ekstremiteta rukovaoca.

EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJA OSCILATORNIH OPTEREĆENJA MOTORA I TRAKTORA

U okviru eksperimentalan ispitivanja oscilatornih opterećenja, odnosno vertikalnih ubrzanja, vršena su standardna ispitivanja, definisana ISO standardima, kao i vanstandardna ispitivanja koja su po našoj proceni mogla da budu značajna pri analizi i preduzimanju odgovarajućih rešenja i mera u cilju smanjenja nivoa vibracija.

Osnovne karakteristike dizel motora su:

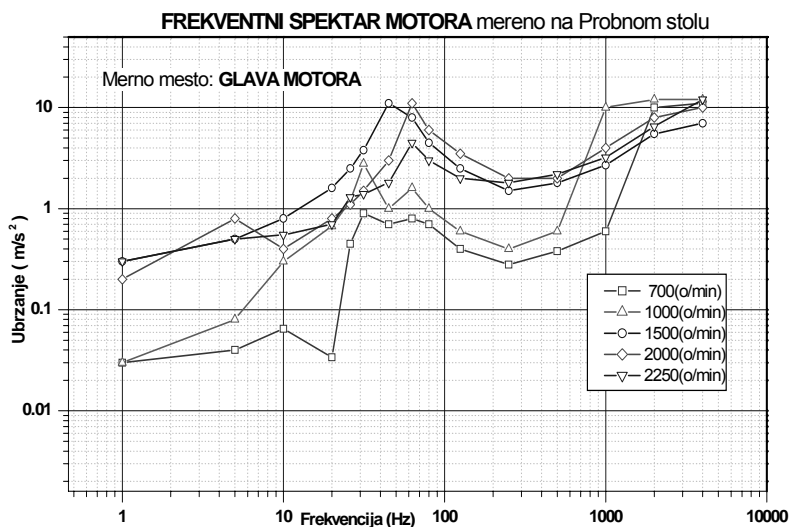
- Četvorotaktni dizel motor sa direktnim ubrizgavanjem goriva i vodenim hlađenjem
- Snaga motora 56 KW / 2250 min⁻¹ prema JUS.M.F2.026
- Maksimalni moment 249 Nm / 1550 min⁻¹
- Zapremina motora 4,07 l.

Osnovne karakteristike traktora su :

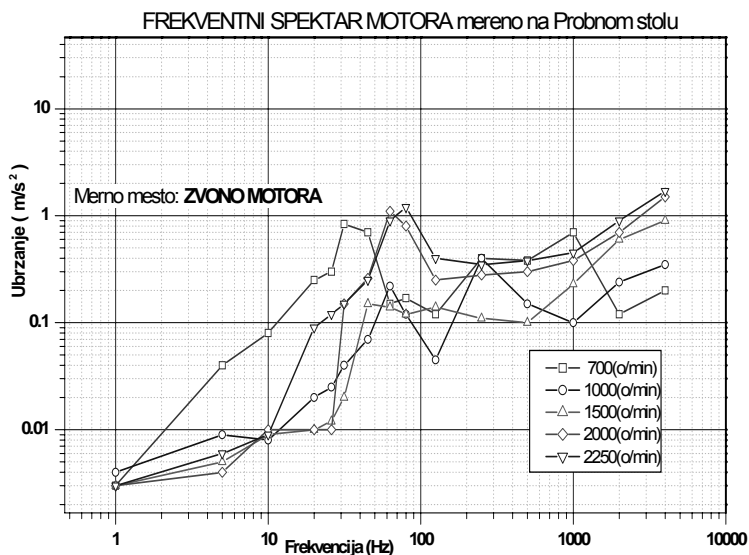
- Broj stepeni prenosa: 6 za hod unapred i 2 za hod unazad.
- Maksimalna snaga PTO je 47 kW.
- Broj obrtaja PTO vratila je 540 / 2000 min⁻¹
- Maksimalna sila dizanja hidraulika na krajevima poluga je 20 kN.
- Dimenzije pneumatika su: 6,50 ÷20 prednji i 16,9 / 14 ÷30 zadnji.
- Težina traktora 2900 N.
- Traktor je opremljen kabinom sa elastičnim osloncima i uređajem za grejanje i klimatizaciju
- Sedišta su po ISO standardu, a mere A, B, C su podesive

Na probnom stolu izvršena su merenja na mernim mestima: glava motora, zvono motora i prednji oslonac motora, pri 700, 1000, 1500, 2000, 2250 min^{-1} . Dijagramski prikaz rezultata dat je na slikama 2, 3, 4.

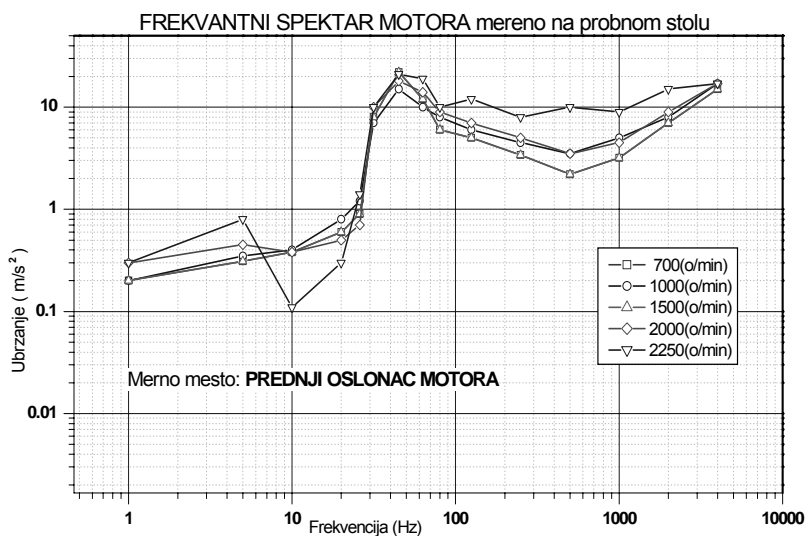
Korišćena je oprema B&K, koja omogućava merenje od 10 Hz do 1 KHz



Slika 2. Frekventni spektar meren na glavi motora pri različitim režimima rada motora

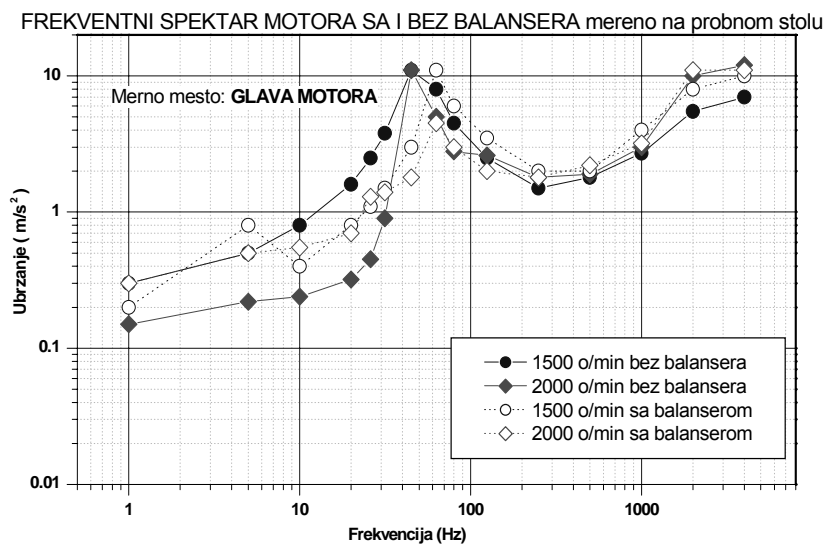


Slika 3. Frekventni spektar meren na zvonu motora pri različitim režimima rada motora



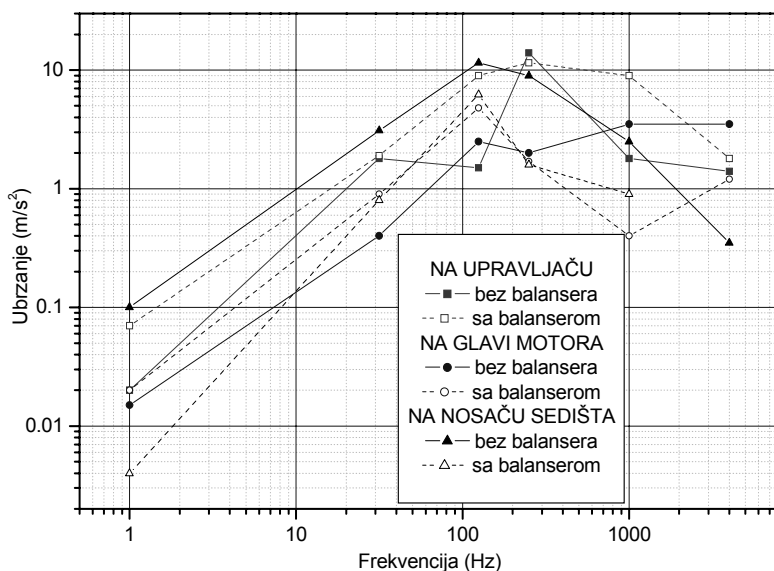
Slika 4. Frekventni spektar meren na prednjem osloncu motora pri različitim režimima rada motora

Pored navedenih ispitivanja na probnom stolu su izvršena i ispitivanja sa i bez balansera na glavi motora, pri 1500 i 2000 min^{-1} , čiji je dijagramski prikaz dat na slici 5.



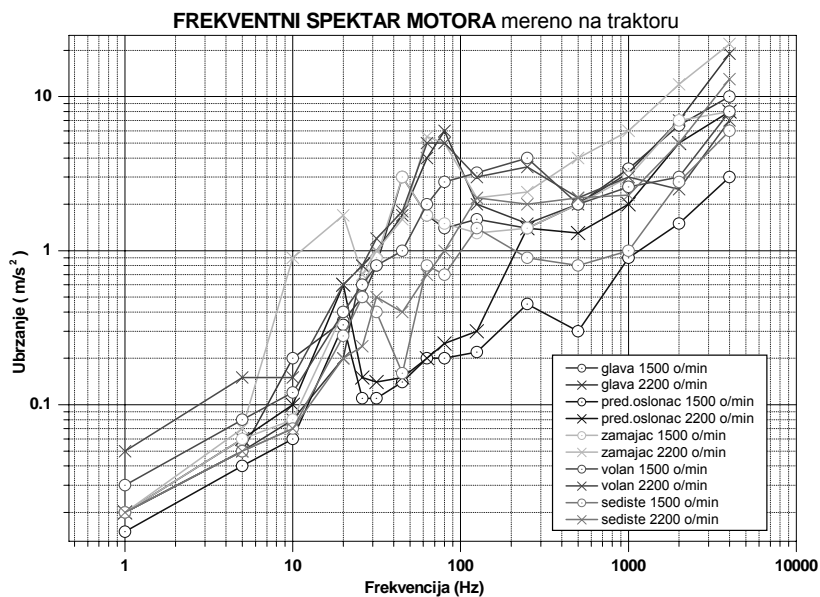
Slika 5. Frekventni spektar na glavi motora, sa i bez balansera, pri 1500 i 2000 min^{-1} .

Takođe, sa i bez balansera izvršena su merenja i na traktoru i to na: upravljaču traktora, na glavi motora i nosaču sedišta, na 2000 min^{-1} , a čiji je dijagramski prikaz dat na slici 6.



Slika 6. Frekventni spektar motora, sa i bez balansera, na traktoru, glavi pri 2000 min^{-1} .

Na kraju izvršena su merenja vibracija na traktoru na sledećim mernim mestima: glavi motora, prednjem osloncu, zvonu zamajca, upravljaču traktora i sedištu, pri 1500 i 2200 min^{-1} , čiji je dijagramski prikaz dat na slici 7.



Slika 7. Frekventni spektar na mernim mestima traktora, pri 1500 i 2200 min^{-1} .

ANALIZA IZMERENIH FREKVENTNIH SPEKTARA OSCILOVANJA

Frekventni spektri izmereni na probnom stolu i traktoru pri različitim režimima rada, dobijeni su korišćenjem standardnih i vanstandardnih internih metoda, koje omogućavaju utvrđivanje dominantnih nivoa ubrzanja na određenim frekvencijama što, upotpunjuje sveobuhvatnost analize u cilju konstrukcionih poboljšanja i primene vibracionih rešenja, ka optimizaciji, odnosno redukciji vibracija.

Posmatrajući rezultate ispitivanja na probnom stolu (slika 2,3,4), očigledan je logički zaključak da sa povećanjem broja obrtaja raste i nivo vertikalnih ubrzanja. Na prednjem osloncu je najviši nivo na $40\div 50$ Hz i iznosi oko $1,2 \text{ m/s}^2$ pri $n=2250 \text{ min}^{-1}$, na glavi motora oko $1,07 \text{ m/s}^2$, pri 80 Hz i na zvonu motora oko $1,01 \text{ m/s}^2$, takođe pri 80 Hz. Opšti trend vibracija zadržava se i pri nižim brojevima vibracija u frekventnom domenu u $30\div 80$ Hz.

Pri frekvencijama iznad 1000 Hz, prisutan je trend porasta nivoa ubrzanja, ali ta ubrzanja nisu interesantna za analizu.

Od vanstandardnih metodoloških ispitivanja vibracija vršena su i merenja frekventnog spektra na probnom stolu, sa i bez balansera, na 1500 i 2000 min^{-1} . Na mernom mestu - glava motora, evidentno je smanjenje nivoa vertikalnih ubrzanja u celokupnom frekventnom domenu od $10\div 1000$ Hz, pri oba režima rada motora. Karakteristično je da je na frekvencijama do 50 Hz, viši nivo ubrzanja pri 1500 min^{-1} u odnosu na 2000 min^{-1} , a iznad 50 Hz, nivoi ubrzanja su min^{-1} (sl.5). Međutim pri frekvencijama do 50 Hz, interesantno je da su nivoi vibracija nešto viši bez primene balansera, u odnosu na nivoe sa primenom balansera, na oba broja obrtaja, što navodi na mogućnost pojava apsorbujućih vibracija koja u tom domenu utiču na izvesno smanjenje nivoa vertikalnih ubrzanja, bez primene balansera.

Slična konstatacija je i pri merenju nivoa vibracija na glavi motora, koji je ugrađenom u traktor, kada su nivoi do oko 100 Hz veći sa primenom balansera, nego bez ugrađenog balansera. Na upravljaču traktora, takođe je slična konstrukcija, nivo ubrzanja je u celokupnom frekventnom domenu veći bez primene balansera, pri čemu maksimalne vrednosti dostižu i do 10 m/s^2 .

Kada je u pitanju merno mesto na sedištu rukovaoca, situacija je sasvim drugačija, gde dolazi do izražaja ugradnja balansera za apsorbovanje vibracija u motoru, pa je i nivo pojava vertikalnih ubrzanja znatno niži (slika 6).

Na zbirnom dijagramu (slika 7), prikazan je nivo vertikalnih ubrzanja na mernim mestima: glava motora, prednji oslonac, zvono zamajca, upravljač traktora i sedište rukovaoca, na 1500 i 2000 min^{-1} . Na svim mernim mestima, u celokupnom frekventnom domenu nivoa vibracija je viši na 2000 min^{-1} , u odnosu na 1500 min^{-1} .

Ono što je bitno sa aspekta oscilatornog opterećenja rukovaoca traktora, je nivo longitudinalnih-vertikalnih a_z vibracija, merenih u zoni referentne tačke, a u centralnoj jedno-trećinskoj frekventnoj oktavi, čime se definiše prema standardu ISO 2631/1 dozvoljeno vreme izlaganja oscilatornom opterećenju. Na osnovu rezultata merenja, može se konstatovati da je ekspoziciono dozvoljeno vreme izlaganja rukovaoca 8 h.

ZAKLJUČAK

Posmatrajući celokupni aspekt ergonomskih zahteva u cilju poboljšanja opšte komfornosti rukovaoca traktora, nameće se konstatacija da je taj aspekt veoma značajan, ali i veoma kompleksan, pa mu se mora posvetiti značajna pažnja, i to od polaznih konstrukcionih smernica, pa do krajnje finalizacije traktora.

U cilju utvrđivanja kvantitativnog oscilatornog opterećenja rukovaoca traktora, pored navedenih smernica, veoma je bitan i izbor adekvatnih sedišta.

U ovom radu je prikazan deo ispitivanja vibracija na motoru, probnom stolu i traktoru uz kratak osvrt dobijenih rezultata, koji istovremeno omogućavaju veoma studiozne analize koje se sprovode u IMR-u u cilu zadovoljenja opštih ergonomskih zahteva, a pre svega komfornost rukovaoca sa aspekta vibracija i buke.

Međutim i pored toga, IMR u odnosu na dostignuti trend razvoja u poređenju sa poznatim svetskim proizvođačima, ne može u potpunosti biti zadovoljan i mora tom problemu posvetiti mnogo više pažnje.

LITERATURA

- [1] Petrović P., Ribić L.J., Zrnić D.: *Eksperimentalna merenja oscilatornog opterećenja rukovaoca traktora*, IV-ti naučno-stručni skup "Merenja i automatizacija u poljoprivredi", MAP-95, Subotica, 1995.
- [2] Petrović P., Borak Đ., Marković L.J.: *Uticaj buke i vibracija na rukovaoce poljoprivrednih traktora*, VI-ti YU simpozijum sa međunarodnim učešćem "Humanizacija rada u poljoprivredi i prehrambenoj industriji", rad štampan u časopisu "Traktor i pogonske mašine", vol. 4, No 1. Novi Sad, 1999.
- [3] Časnji F.: *Ergonomske nedostaci poljoprivrednih traktora*, monografija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1991.
- [4] ISO 2631- *Uputstvo za proračun ekspozicije ljudskog organizma vibracijama*.
- [5] Human - *Environment measurements* Bruel & Kjaer.
- [6] Petrović P., Babić Z. i dr.: *Merenja vibracija na traktoru R-76*, Izveštaj Instituta IMR-a, 2003.
- [7] Standard JUS M.I.2. 143/94 - "*Sedište vozača poljoprivrednih i šumskih traktora - Tehnički zahtev*".
- [8] Izveštaji Instituta IMR-a, 2004/2005.

OSCILATORY APPERANCE ON AGRO CULTURAL OF TRACTORS

Predrag Petrović, Zlata Bracanović, Svetlana Vukas

IMR Institute - Belgrade

Abstract: When considering the basic aspect of ergonomic requests for the purpose of improving general comfort of tractor is very complex. Besides base ergonomic requests, (noise, mikroklimata, visibilty, air contamination to favour to handl and etc.), are qurentitavte oscillatory loads on tractor operator are very important.

In IMR Institute comprehensive me asurements of acceleration of vertical vibrations on table tests add have been carred out on one type tractor, manufacturing IMR on diferent measure ments points and operating regimengine.

In the contex, along with the given review of a part of obtained results, the analysis of vibratory acceleratiopns of tested seats of steeping wheel has been made from the aspect of meeting ISO standard criteria and out standard.

Key words: tractor, vibrations, engine, comfort, ISO standard, ergonomic.