



Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje
Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

TRAKTORI

I

POGONSKE MAŠINE

TRACTORS AND POWER MACHINES

3

UDK 631.372

ISSN 0354-9496

Godina 18

Dec. 2013.



Novi Sad, Srbija

Trakt. i pog. maš., Trac. and pow. mach., Vol. 18, No. 3, p.1-117, Novi Sad, Dec. 2013.

Izdavač – Publisher



Naučno društvo za pogonske mašine, traktore i održavanje
Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

Suizdavač – Copublisher

Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad
Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Novi Sad

Glavni urednik – Editor in chief

Dr Milan Tomić

Urednici - Editors

Dr Lazar Savin**Dr Timofej Furman****Dr Ratko Nikolić****Dr Ivan Klinar****Dr Radojka Gligorić**

Tehnički urednik - Technical Editor

Dr Mirko Simikić

Tehnički sekretar - Technical Secretary

Nevenka Žigić

Uređivački savet - Editorial Committee

Dr Timofej Furman, Novi Sad**Dr Ratko Nikolić, Novi Sad****Dr Ferenc Časnji, Novi Sad****Dr Radojka Gligorić, Novi Sad****Dr Tripo Torović, Novi Sad****Dr Ivan Klinar, Novi Sad****Dr Božidar Nikolić, Podgorica****Dr Milan Tomić, Novi Sad****Dr Rajko Radonjić, Kragujevac****Dr Zlatko Gospodarić, Zagreb****Dr Laszlo Mago, Gödöllő, Mađarska****Dr Aleksandar Šeljcin, Moskva, Rusija****Mr Milan Kekić, Bečej****Dr Radivoje Pešić, Kragujevac****Dr Klara Jakovčević, Subotica****Dr Jozef Bajla, Nitra, Slovačka****Dr Roberto Paoluzzi, Ferrara, Italija****Dr Hasan Silleli, Ankara, Turska****Dr Valentin Vladut, Rumunija**

Adresa – Adress

Poljoprivredni fakultet**Trg Dositeja Obradovića br. 8****Novi Sad, Srbija****Tel.: ++381(0)21 4853 391****Tel/Fax.: ++381(0)21 459 989****e-mail: milanto@polj.uns.ac.rs**

Časopis izlazi svaka tri meseca

Godišnja pretplata za radne organizacije je 1500 din, za

Inostranstvo 5000 din a za individualne predplatnike 1000 din

Žiro račun: 340-4148-96 kod Erste banke

Rešenjem Ministarstva za informacije Republike Srbije, Br.651-115/97-03 od 10.02.1997.god., časopis je upisan u registar pod brojem 2310

Prema Mišljenju Ministarstva za nauku, Republike Srbije ovaj časopis je "PUBLIKACIJA OD POSEBNOG INTERESA ZA NAUKU"

Jurnal is published four times a year

Subscription price for organization is 40 EURO, for

foreign organization 80 EURO and individual

subscribes 15 EURO

Štampa – Printed by

Štamparija JP "Službeni glasnik" Beograd, Jovana Ristića 1

Tiraž 200 primeraka



Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje
Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

TRAKTORI I POGONSKE MAŠINE

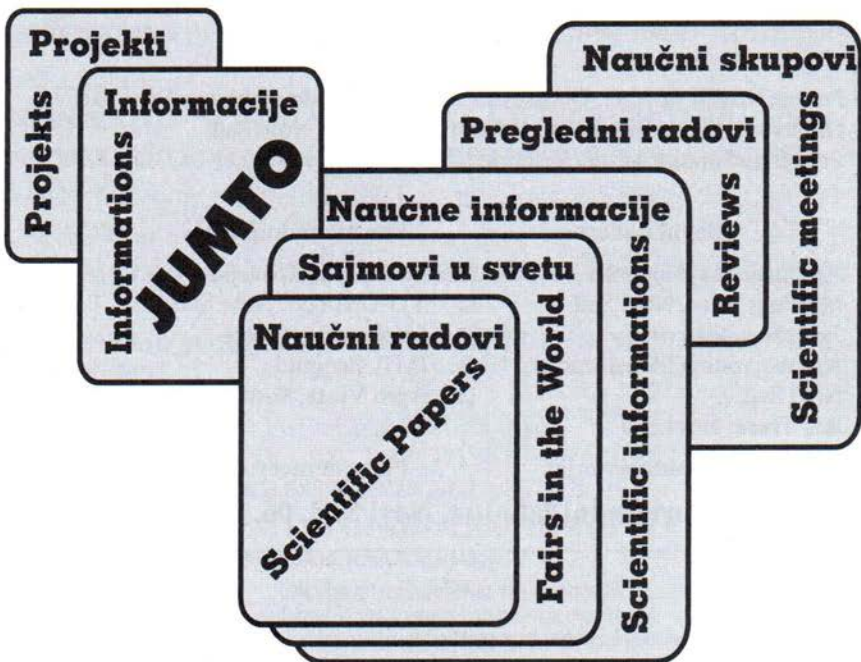
3

UDK 631.372
ISSN 0354-9496

Godina 18
Dec. 2013.

TRACTORS AND POWER MACHINES

SADRŽAJ - CONTENTS



Novi Sad, Srbija

Trakt. i pog. maš., Trac. and pow. mach., Vol.18, No.3, p.1-117, Novi Sad, Dec. 2013.

**Časopis Traktori i pogonske
mašine broj 3 posvećen je
XX-om naučnom skupu "Pravci
razvoja traktora i obnovljivih
izvora energije"**

**The journal Tractors and power
machines number 3 is devoted to
XX scientific meeting
"Development of tractors and
renewable energy resources"**

JUMTO 2013

Programski odbor

- Prof. dr Lazar Savin, predsednik
- Prof. dr Ratko Nikolić
- Prof. dr Timofej Furman
- Prof. dr Ivan Klinar

Program board

- Prof. dr Jozef Bajla
- Prof. dr Radojka Gligorić, sekretar
- Prof. dr Milan Tomić
- Dipl. inž. Milan Samardžija

Pokrovitelji skupa

- Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije
- Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine
- Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine AP Vojvodine
- Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo AP Vojvodine
- Inženjerska komora Srbije

Godparent of meeting

Organizatori skupa

- Naučno društvo za pogonske mašine, traktore i održavanje

JUMTO – Novi Sad

- Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad
- Društvo za razvoj i korišćenje biogoriva – BIGO, Novi Sad
- Privredna komora Srbije, Beograd

Organizers of meeting

Glavni donatori

- Agropanonka, Novi sad
- MasFerg Agro, Novi Sad
- Jastrebac, Niš
- Agrovodina Mehanizacija, Novi Sad
- Res Trade, Novi Sad

The main donators

- Inter Agrar, Novi Sad
- YU-DNI doo, Novi Sad
- Lemken, Novi Sad
- IMT, Beograd
- Agro Vesta, Sombor

Mesto održavanja

Place of meeting

Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 06.12.2013.

Štampanje ove publikacije pomoglo je:
Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije
Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine

**Časopis Traktori i pogonske
mašine broj 3 posvećen je
XX-om naučnom skupu "Pravci
razvoja traktora i obnovljivih
izvora energije"**

**The journal Tractors and power
machines number 3 is devoted to
XX scientific meeting
"Development of tractors and
renewable energy resources"**

JUMTO 2013

Programski odbor

- Prof. dr Lazar Savin, predsednik
- Prof. dr Ratko Nikolić
- Prof. dr Timofej Furman
- Prof. dr Ivan Klinar

Program board

- Prof. dr Jozef Bajla
- Prof. dr Radojka Gligorić, sekretar
- Prof. dr Milan Tomić
- Dipl. inž. Milan Samardžija

Pokrovitelji skupa

- Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije
- Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine
- Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine AP Vojvodine
- Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo AP Vojvodine
- Inženjerska komora Srbije

Godparent of meeting

Organizatori skupa

- Naučno društvo za pogonske mašine, traktore i održavanje

JUMTO – Novi Sad

- Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad
- Društvo za razvoj i korišćenje biogoriva – BIGO, Novi Sad
- Privredna komora Srbije, Beograd

Organizers of meeting

Glavni donatori

- Agropanonka, Novi sad
- MasFerg Agro, Novi Sad
- Jastrebac, Niš
- Agrovajvodina Mehanizacija, Novi Sad
- Res Trade, Novi Sad

The main donors

- Inter Agrar, Novi Sad
- YU-DNI doo, Novi Sad
- Lemken, Novi Sad
- IMT, Beograd
- Agro Vesta, Sombor

Mesto održavanja

Place of meeting

Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 06.12.2013.

Štampanje ove publikacije pomoglo je:
Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije
Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine

SADRŽAJ – CONTENTS

Molnar T, Savin L, Simikić M, Tomić M.

ENERGETSKA EFIKASNOST TRAKTORA THE ENERGY EFFICIENCY OF TRACTORS	7
---	---

Milojević S., Filipović N., Pešić R.

RAZMENE TOPLOTE IZMEĐU GASA I CILINDRA U KLIPNOM KOMPRESORU HEAT EXCHANGE BETWEEN THE GAS AND CYLINDER IN RECIPROCATING COMPRESSOR	12
---	----

Milojević S., Pešić R., Taranović D., Davinić A.

MERENJE HODA PLOČE VENTILA EKSPERIMENTALNOG KLIPNOG KOMPRESORA THE VALVE PLATE LIFT MEASUREMENT IN THE EXPERIMENTAL RECIPROCATING COMPRESSOR	19
---	----

Dorić J., Klinar I.

UNAPREĐENJE PROCESA DOVOĐENJA TOPLOTE RADNOM TELU MOTORA SUS IMPROVEMENT OF IC ENGINE WORKING FLUID HEAT ADDITION	26
--	----

Dorić J., Klinar I.

JEDAN METOD MERENJA PRITISKA U CILINDRU MOTORA SUS ONE METHOD FOR MEASUREMENT OF PRESSURE IN IC ENGINE CYLINDER	34
--	----

Dorić J., Klinar I.

JEDAN METOD UNAPREĐENJE KOEFICIJENTA PUNJENJA MOTORA SUS ONE METHOD FOR IMPROVEMENT OF IC ENGINE VOLUMETRIC COEFFICIENT	41
--	----

Ružić, D., Poznanović N.

VIRTUELNO ISTRAŽIVANJE TOPLOTNOG OPTEREĆENJA TRAKTORISTE USLED SUNČEVOG ZRAČENJA VIRTUAL INVESTIGATION OF THE TRACTOR OPERATOR HEAT LOADS CAUSED BY SOLAR RADIATION	49
--	----

Cvetanović, B., Jovanović, J.

PREGLED NEGATIVNIH ZDRAVSTVENIH EFEKATA DEJSTVA VIBRACIJA NA VOZAČA TRAKTORA A REVIEW OF HARMFUL EFFECTS TO THE HEALTH OF TRACTOR DRIVERS FROM THE IMPACT OF WHOLE BODY VIBRATION	58
--	----

<i>Janković A., Radonjić R., Radonjić D., Aleksandrović B.</i>	
POKAZATELJI BEZBEDNOSTI POLJOPRIVREDNE TEHNIKE	
THE PARAMETERS OF AGRICULTURAL TECHNIC SAFETY	66
<i>Dimitrovski Z., Oljača M.V., Gligorević K., Pajić M., Mileusnić Z.</i>	
NESREĆE SA VOZAČIMA TRAKTORA U JAVNOM SAOBRAĆAJU	
REPUBLIKE MAKEDONIJE ZA PERIOD 2005. – 2010. GODINE	
ACCIDENTS WITH TRACTOR DRIVERS IN PUBLIC TRAFFIC IN	
REPUBLIC OF MACEDONIA 2005 – 2010	72
<i>Pešić R., Petković S., Hnatko. E., Milosavljević D., Veinović S.</i>	
PREDNOSTI I NEDOSTACI SISTEMA ZA KORIŠĆENJE	
OBNOVLJIVIH/PONOVLJIVIH IZVORA ENERGENATA	
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE SYSTEMS FOR USE OF	
RENEWABLE/REPEATABLE ENERGY SOURCES	79
<i>Mićić R., Tomić M., Furman T, Simikić M.</i>	
SKLADIŠTENJE, DISTRIBUCIJA I NAMEŠAVANJE BIODIZELA	
STORAGE, DISTRIBUTION AND BLENDING OF BODIESEL	84
<i>Mićić R., Tomić M., Furman T, Simikić M.</i>	
REZERVOARI ZA SKLADIŠTENJE I NAMEŠAVANJE BIODIZELA	
TANKS FOR STORAGE AND BLENDING OF BODIESEL	94
<i>Petrović Marija, Petrović P., Petrović Mina</i>	
MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE BIOGASA IZ POLJOPRIVREDNOG	
ORGANSKOG I DRUGOG SEKUNDARNOG OTPADA U CILJU ODRŽIVOG	
RAZVOJA EKOLOGIJE I TURIZMA U RURALNIM I DRUGIM	
PODRUČIJIMA	
BIOGAS PRODUCTION POSSIBILITY OF AGRICULTURAL AND OTHER	
ORGANIC WASTE TO SECONDARY SUSTAINABLE ECOLOGY AND	
TOURISM IN RURAL AND OTHER AREAS	102
<i>Marković D., Koprivica R., Pešović U., Randić S., Veljković B.</i>	
NADGLEDANJE SOLARNIH SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE	
MONITORING OF SOLAR IRRIGATION SYSTEM	112

<i>Janković A., Radonjić R., Radonjić D., Aleksandrović B.</i>	
POKAZATELJI BEZBEDNOSTI POLJOPRIVREDNE TEHNIKE	
THE PARAMETERS OF AGRICULTURAL TECHNIC SAFETY	66
<i>Dimitrovski Z., Oljača M.V., Gligorević K., Pajić M., Mileusnić Z.</i>	
NESREĆE SA VOZAČIMA TRAKTORA U JAVNOM SAOBRAĆAJU	
REPUBLIKE MAKEDONIJE ZA PERIOD 2005. – 2010. GODINE	
ACCIDENTS WITH TRACTOR DRIVERS IN PUBLIC TRAFFIC IN	
REPUBLIC OF MACEDONIA 2005 – 2010	72
<i>Pešić R., Petković S., Hnatko. E., Milosavljević D., Veinović S.</i>	
PREDNOSTI I NEDOSTACI SISTEMA ZA KORIŠĆENJE	
OBNOVLJIVIH/PONOVLJIVIH IZVORA ENERGENATA	
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE SYSTEMS FOR USE OF	
RENEWABLE/REPEATABLE ENERGY SOURCES	79
<i>Mićić R., Tomić M., Furman T, Simikić M.</i>	
SKLADIŠTENJE, DISTRIBUCIJA I NAMEŠAVANJE BIODIZELA	
STORAGE, DISTRIBUTION AND BLENDING OF BODIESEL	84
<i>Mićić R., Tomić M., Furman T, Simikić M.</i>	
REZERVOARI ZA SKLADIŠTENJE I NAMEŠAVANJE BIODIZELA	
TANKS FOR STORAGE AND BLENDING OF BODIESEL	94
<i>Petrović Marija, Petrović P., Petrović Mina</i>	
MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE BIOGASA IZ POLJOPRIVREDNOG	
ORGANSKOG I DRUGOG SEKUNDARNOG OTPADA U CILJU ODRŽIVOG	
RAZVOJA EKOLOGIJE I TURIZMA U RURALNIM I DRUGIM	
PODRUČIJIMA	
BIOGAS PRODUCTION POSSIBILITY OF AGRICULTURAL AND OTHER	
ORGANIC WASTE TO SECONDARY SUSTAINABLE ECOLOGY AND	
TOURISM IN RURAL AND OTHER AREAS	102
<i>Marković D., Koprivica R., Pešović U., Randić S., Veljković B.</i>	
NADGLEDANJE SOLARNIH SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE	
MONITORING OF SOLAR IRRIGATION SYSTEM	112

PREGLED NEGATIVNIH ZDRAVSTVENIH EFEKATA DEJSTVA VIBRACIJA NA VOZAČA TRAKTORA

A REVIEW OF HARMFUL EFFECTS TO THE HEALTH OF TRACTOR DRIVERS FROM THE IMPACT OF WHOLE BODY VIBRATION

Cvetanović, B.¹, Jovanović, J.²

REZIME

Vibracije su česta pojava pri obavljanju karakterističnih aktivnosti, kao što su terenski radovi u građevinarstvu, poljoprivredi ili rudarstvu gde su dejstvu vibracija naročito izloženi vozači i operateri na mehanizaciji i mašinama. Mnogobrojne studije ukazuju na štetno dejstvo vibracija na vozače traktora kod kojih se vibracije prenose preko donjeg dela leđa ili stopala i opterećuju celo telo vozača. Naročito su štetne vibracije visokih intenziteta i niskih frekvencija zbog poklapanja sa frekvencijom oscilovanja pojedinih ljudskih organa i pojave rezonanse. Izuzetno je bitna i dužina izlaganja čoveka vibracijama jer, po pravilu, duže izlaganje ima za posledicu hronična oboljenja. Problem u proučavanju posledica dejstva vibracija na ljudski organizam predstavlja nemogućnost jasnog uspostavljanja uzročno-posledične veze između dejstva vibracija i oštećenja zdravlja vozača, zbog udruženosti vibracija sa drugim profesionalnim opasnostima i štetnostima

U radu je dat pregled kratkoročnih i dugoročnih negativnih efekata koje vibracije imaju na celo telo vozača traktora.

Ključne reči: vibracije celog tela, negativni zdravstveni efekti, traktor

SUMMARY

Vibration is a frequent occurrence during typical activities such as off-road operations in construction, agriculture or mining where drivers and operators of equipment are specially exposed to vibration. Many studies indicate the harmful effects of vibration on tractor drivers, in case of whom the vibration is transmitted through the lower parts of the back or the feet and affects the whole body of a driver. High magnitude and low frequency vibration are especially harmful, because their frequency matches with the frequency of some human organs, which results in the effect of resonance. The period of exposure to vibration is extremely important because longer exposure regularly causes chronic illnesses. The problem in studying of whole body vibration effect to human body is the impossibility of correlating the impact of vibration

¹ mr Boban Cvetanović, dipl.maš.ing., Visoka tehnička škola strukovnih studija u Nišu, Aleksandra Medvedeva 20, Niš, boban.cvetanovic@vtsnis.edu.rs

² dr Jovica Jovanović, redovni profesor Medicinskog fakulteta u Nišu, Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika u Nišu, Vojislava Ilića bb, drjovicajovanovic@yahoo.com

and drivers' health, because vibration is in synergy with other occupational risks.

This paper gives a review of both short- and long-term negative effects of vibration to the whole body of a driver.

Key words: whole body vibration, negative effects to health, tractor

UVOD

Većina ljudskih aktivnosti uključuje vibracije u jednom od njihovih pojavnih oblika. Tako su, tokom svojih svakodnevnih aktivnosti, npr. vožnje u autobusima, vozovima i automobilima, ljudi izloženi uticaju mehaničkih vibracija iz različitih izvora. Mnogo ljudi je vibracijama izloženo na radnom mestu, pri čemu su izvori vibracija ručni alati, mašine i teška vozila. Za ove vibracije se uglavnom koristi izraz iz engleskog jezika "human vibration" što se može prevesti kao vibracije koje dejstvuju na ljudski organizam, a nikako kao humane vibracije kako se često može sresti u prevodima na naš jezik. Vibracije koje dejstvuju na ljude, bez obzira na izvor vibracija, mogu se podeliti u dve grupe: vibracije celog tela (eng. whole body vibration) i vibracije šaka – ruka (eng. hand arm vibration). Dejstvo ovih vibracija je i po prirodi i po zdravstvenim efektima na čoveka potpuno različito i zato se odvojeno i proučavaju.

Vibracije celog tela su mehaničke vibracije, različitih frekvencija, koje se od izvora vibracija, prenose do celog tela primaoca. Slično zvuku, mogu biti prijatne ili neprijatne za onoga ko ih prima. U literaturi se, vibracije celog tela, koje su neprijatne po primaoca, često, nazivaju i loše vibracije. Radi se o vibracijama visokih intenziteta i niskih frekvencija, koje su nastale pri radu vozila i mašina, a koje se na telo čoveka prenose preko donjeg dela leđa, u slučaju sedećeg radnog položaja ili preko stopala, u slučaju rada koji se izvodi stojeći. Procene govore da je u Evropi, Kanadi i SAD čak 7% svih radnika, konstantno, izloženo negativnom dejstvu vibracija celog tela [1]. Ove vibracije nepovoljno utiču na organizam čoveka i najčešće se javljaju pri terenskim radovima koji uključuju korišćenje snažnih mašina i vozila, kao i teških alata. Tako su kritične delatnosti, u pogledu izloženosti radnika dejstvu ovih vibracija: građevinarstvo, poljoprivreda, rudarstvo, šumarstvo, transport i industrija, dok su kritična zanimanja vozači i operateri teške poljoprivredne i građevinske mehanizacije (skrejperi, grejderi, bageri, buldožeri, damperi, kompaktori, finišeri, traktori, viljuškari...), kao i vozači helikoptera, lokomotiva i kamiona [3-7].

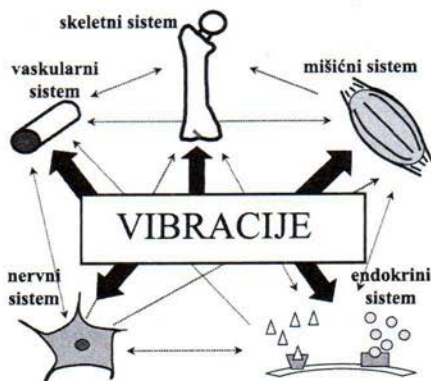
U terapeutske svrhe i za potrebe odgovarajućih treninga, u kontrolisanim uslovima, mogu se stvoriti i tzv. dobre vibracije celog tela, određenih intenziteta i frekvencija, (eng. therapeutic whole body vibration) u cilju postizanja određenih koristi po zdravlje primaoca. Principijelna razlika između terapeutske i neželjene vibracije je u tome što se poželjna vibracija primenjuje u kratkom periodu (nekoliko minuta), sa malim intenzitetom i bez velikih skokova.

Veza između delovanja mehaničkih vibracija, nastalih pri radu mašina, uređaja i alata i nekih profesionalnih oboljenja i bolesti radnika, uočena je još tridesetih godina prošlog veka, a prvi izveštaji o vezi oboljenja kičme i vibracijama pri vožnji traktora, pojavile su se pedesetih godina prošlog veka. Do danas se veliki broj istraživača, kroz odgovarajuće studije i naučne radove, bavio ovom problematikom, pri čemu, često, problem u proučavanju predstavlja nemogućnost jasnog uspostavljanja uzročno-posledične veze između dejstva vibracija i oštećenja zdravlja vozača, zbog udruženosti vibracija sa drugim profesionalnim opasnostima i štetnostima [8].

Poremećaji koji se javljaju u ljudskom telu, pod dejstvom vibracija, zavise od mnogobrojnih faktora. Većina autora polazi od uticaja fizičkih karakteristika vibracija (frekvencija, intenzitet

ubrzanja, pravac i smer oscilovanja), kao i od dužine izloženosti kao i mesta neposrednog kontakta i prenošenja kroz tkivo (pravac širenja vibracija). Uticaj ima i položaj čoveka (sedeći, ležeći, stojeći), i uslovi okruženja (buka, aerzagadenje, mikro i makro klima, temperatura, osvetljenje i dr.). Sa druge strane, koliko će oštećenje pod dejstvom vibracija, nastati u organizmu, u velikoj meri zavisi i od individualnih karakteristika organizma, starosti i pola.

Vibracije celog tela ne utiču na poremećaj samo jednog organa u telu već su odgovorne za poremećaje čitavih fizioloških sistema (kao npr. skeletnog, mišićnog, endokrinog, nervnog ili vaskularnog) [2]. Čak i poremećaj samo jednog sistema može izazvati sekundarne poremećaje između sistema (slika 1.).



Sl.1. Uticaj vibracija na fiziološke sisteme
Fig.1. The influence of vibration on the physiological systems

Pojedine studije ukazuju da je oko 10% svih vozača traktora, tokom osmočasovnog radnog vremena, izloženo izuzetno visokim nivoima vibracija, dok u slučaju dužeg radnog dana taj procenat raste na 27%. Čak 95% svih vozača traktora tokom radnog dana od 8 časova izloženo je povišenim nivoima vibracija [9]. Kod vozača traktora koji su konstantno izloženi povećanim vrednostima vibracija celog tela, u zavisnosti od niza uticajnih faktora, može doći do određenih promena i poremećaja zdravlja [19]. Te promene, u zavisnosti od intenziteta i vremena izloženosti, mogu biti reverzibilne ili preći u trajna oštećenja zdravlja.

Intenziteti vibracija i njihov uticaj na vozače izraženiji je kod starije mehanizacije i pri radu po izrazito neravnim terenima. U slučaju traktora uticaj je naročit kod onih traktora koji imaju neefikasno ogibljenje.

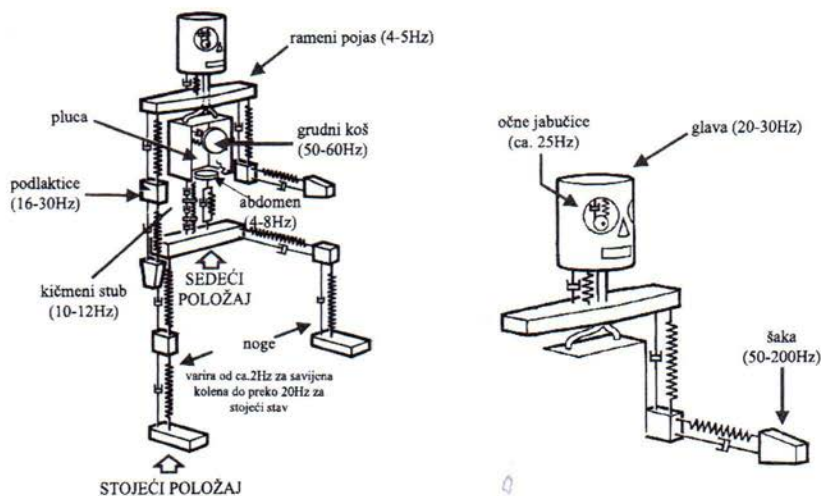
U radu će se dati pregled kratkoročnih i dugoročnih negativnih efekata po zdravlje vozača traktora, koji nastaju pod dejstvom vibracija samog traktora i prostiru se na celo telo vozača. Treba naglasiti da, vrlo često, uzrok nekog oboljenja nisu samo vibracije već kombinacija nekoliko štetnih dejstava npr. težak teret, buka, povišena ili snižena temperatura, opasne materije i dr.

BIOMEHANIKA VIBRACIJA I BIODINAMIČKI MODEL LJUDSKOG TELA

Mnogi biodinamički modeli su razvijeni da bi se pomoglo u razumevanju biomehanike vibracija celog tela [10]. Čovekovo telo predstavlja izuzetno složen mehanički sistem, sastavljen od velikog 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 (slika 2.),

npr.: glava 20-30Hz, ramena $\approx 4\div 5$ Hz, grudni koš 50-60Hz, kičmeni stub 10-12Hz, abdomen 4-8Hz, ruke 5-10Hz, podlaktice 16-30Hz, šake 50-200Hz, očne jabučice ca.25Hz itd. Generalno, ljudska osetljivost na vibracije je najveća u rasponu od 4 do 8Hz u z pravcu (duž kičme) i 1 do 2Hz u x pravcu (grudi-leđa) i u y pravcu (rame-rame) [13].



Sl.2. Mehanički model ljudskog tela.
Fig.2. Mechanical model of the human body

Vibracije koje deluju na čoveka imaju veći uticaj ukoliko se pobudna frekvencija poklopi sa nekom od sopstvenih frekvencija ljudskog tela. Rezonansa nastaje pri podudarnosti frekvencije delujućih vibracija sa frekvencijom tkiva određenog organa čoveka. U takvim slučajevima čak i vibracije sa relativno malom amplitudom mogu dovesti do velikih premeštanja u unutrašnjim organima.

Sa aspekta mogućeg poklapanja sa frekvencijama oscilovanja većine delova ljudskog tela i pojavu rezonanse, značajne su niskofrekventne vibracije traktora frekvencija od 1Hz do 50 Hz (vibracije kabine, točka upravljača, podužne vibracije traktora, rezonanca točkova i dr.) [11]. Standard ISO 2631-1:1997 [12], daje verovatne osećaje neugodnosti u zavisnosti od dnevne izloženosti čoveka vibracijama (tabela 1).

Tab. 1. Verovatni osećaji neugodnosti u zavisnosti od dnevne izloženosti vibracijama

Tab.1. Probable discomfort depending on the daily vibration exposure

Vrednost dnevne izloženosti (m/s^2)	Doživljeni nivo komfora
Manje od 0.315	Bez neudobnosti
0.315-0.63	Mala neudobnost
0.5-1.0	Prilična neudobnost
0.8-1.6	Neudobno
1.25-2.5	Veoma neudobno
Više od 2	Izuzetno neudobno

PREGLED KRATKOROČNIH EFEKATA DEJSTVA VIBRACIJA NA VOZAČA TRAKTORA

Kratkoročni efekti nastaju pri izlaganju konstantnom, ali kratkotrajnom dejstvu vibracija visokih intenziteta. Većina ovih promena nisu trajnog, već akutnog karaktera i, uglavnom, nestaju nakon prekida izlaganja vibracijama. Kao ovi negativni uticaji na zdravlje, izazvani vibracionim ubrzanjem, pojavljuju se nelagodnosti kod čoveka kao što su: nedostatak daha, mučnina, razdražljivost, gubitak ravnoteže (vrtoglavica) itd. Ponekad, u zavisnosti od frekvencije vibracija, pravca delovanja vibracija, mesta kontakta sa telom i trajanja izloženosti vibracijama, može doći i do poremećaja sna i upornih glavobolja [14].

Promene u psihičkim funkcijama se ne mogu dovesti u direktnu vezu sa vibracijama jer vibracije često utiču združeno sa ostalim značajnim faktorima kao što su mentalna naprezanja, buka i otrovne supstance. Do sada je bilo mnogo studija sa životinjama, ali je njihova primenljivost na ljude diskutabilna.

Vibracije mogu svojim delovanjem da otežaju i usvajanje informacija od strane čoveka (npr. putem očiju), slanje informacija (npr. preko pokreta ruku ili nogu) ili složene procese koji povezuju ulazne i izlazne informacije (npr. učenje, pamćenje, donošenje odluka...). Najveći uticaj vibracija celog tela su kod usvajanja informacija (uglavnom vid) i kod izlaznih procesa (uglavnom kontinualna kontrola rukama). Na jednostavne zadatke kao što je vreme za prostu reakciju, vibracije ne utiču.

Vibracije celog tela izazivaju pasivni veštački pokret ljudskog tela. Kontrola motorike, koja nedostaje tokom vibracija celog tela, je najizraženija promena normalnih psihičkih funkcija neuromišićnog sistema. Širi frekventni opseg koji se povezuje za vibracije celog tela (između 0.5 i 100 Hz) u poređenju sa opsegom kod prirodnog pokreta (između 2 i 8 Hz za voljne pokrete i ispod 4 Hz za kretanje) je još jedna različitost pomoću koje se objašnjavaju reakcije neuromišićnih kontrolnih mehanizama pri veoma niskim i visokim frekvencijama. Vibracije celog tela izazivaju, ubrzanjem uzrokovano, naizmeničnu aktivnost u elektromiogramu (EMG) površinskih mišića leđa osobe u sedećem položaju kojoj je potrebna kontrakcija mišića kako bi položaj ostao nepromenjen. Ova aktivnost bi trebalo da bude slična refleksima. Vreme aktivnosti mišića zavisi od frekvencije i veličine ubrzanja. Elektromiografski podaci ukazuju da do povećanog opterećenja kičme može doći usled smanjene stabilizacije kičme pri frekvencijama od 6,5 do 8 Hz i tokom početne faze iznenadnog pomeranja nagore. Zamor leđnih mišića tokom izloženosti vibracijama može premašiti zamor koji se javlja u slučaju normalnog položaja pri sedenju bez vibracija celog tela. Refleksi tetiva se mogu umanjiti ili privremeno nestati tokom izloženosti sinusoidalnim vibracijama celog tela pri frekvencijama iznad 10 Hz. Manje promene u kontroli položaja tela nakon izlaganju vibracijama celog tela su prilično različite, a njihovi mehanizmi i praktični značaj još uvek nisu razjašnjeni [15].

Promene u kardiovaskularnom, respiratornom i endokrinom sistemu, koje traju tokom izloženosti vibracijama, mogu se uporediti sa promenama tokom umerenog fizičkog rada (npr. ubrzanje rada srca, krvni pritisak i potrošnja kiseonika) čak i pri relativno visokim nivoima vibracija.

Ekspерimenti sa kratkotrajnim i dužim kombinovanim izlaganjima buci i vibracijama celog tela ukazuju da vibracije imaju zanemarljiv efekat na sluh. Visoki intenziteti vibracija celog tela, pri 4 ili 5 Hz, povezani su sa povišenim dodatnim prolaznim promenama praga čujnosti (TTS). Nema očigledne veze između dodatnih TTS i vremena izloženosti. Dodatni TTS se povećava sa pojačanim dozama vibracija celog tela.

PREGLED DUGOROČNIH EFEKATA DEJSTVA VIBRACIJA NA VOZAČA TRAKTORA

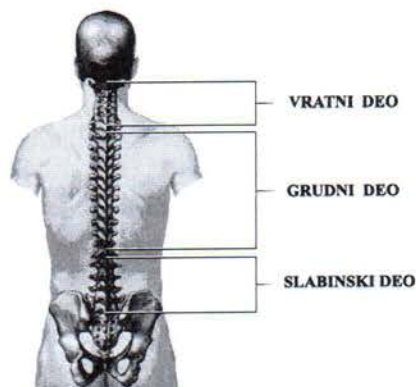
Dugotrajna i konstantna izloženost tela visokim vrednostima vibracija može dovesti do mnogo ozbiljnijih poremećaja zdravlja. Ove promene su, po pravilu, trajnog karaktera.

Brojni su dugoročni zdravstveni efekti koji se mogu povezati sa dejstvom vibracija celog tela. Kao najznačajniji poremećaj zdravlja javlja se oboljenje leđa, naročito slabinskog dela kičme. Bol koja se javlja u donjem delu leđa (eng. low back pain) oseti tokom svog života čak 60% do 80% ljudi. Među vozačima viljuškara prisutna je kod 41% vozača, a kod vozača autobusa čak 83%. Interesantno je da je kod vozača viljuškara bol u lumbalnom delu primećen u sedam puta više slučajeva nego kod radnika koji nisu izloženi vibracijama celog tela [1]. Ovaj tzv. lumbalni sindrom ili poremećaj donjeg dela leđa (eng. low back disorders) je široko prihvaćen i priznat efekat koji se i najviše izučavao u literaturi. Epidemiološke studije ukazuju na povećanu opasnost po kičmu radnika koji su dugo godina izloženi visokim vibracijama celog tela kao što su npr. radnici na traktorima ili na mašinama za zemljane radove [4,6,17,18]. U studijama je primećen podatak o češćim odlascima u invalidsku penziju i dugotrajnim bolovanjima usled oštećenja diskusa među rukovaocima kranova, vozačima traktora i pilotima helikoptera pa se može zaključiti da su profesionalna vožnja i pilotiranje helikopterom značajni faktori rizika za pojavu bola u donjem delu leđa i oštećenja kičme.

Kičma u celini je naročito osetljiva na frekvencije vibracija od 1 do 30Hz pri čemu je slabinski deo (eng. lumbar spine) osetljiv na frekvencije u opsegu od 4 do 8Hz, vratni deo (eng. cervical spine) od 20 do 30Hz i grudni deo (eng. thoracic spine) od 5 do 10 Hz (slika 3). Pojedine studije ukazuju da je veoma često oštećenje vratnog dela ipak više posledica stalnog nepovoljnog položaja tela nego vibracija.

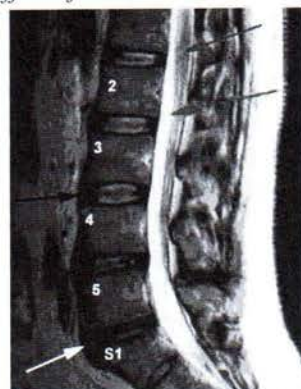
Treba istaći naročito štetno dejstvo vibracija na kičmeni disk L5/S1 (eng. fifth lumbar/first sacral vertebra – L5/S1 intervertebral joint). Na slici 4. je belom strelicom ukazano na disk između pršljenova L5 i S1 koji je mnogo tamniji u odnosu na ostale diskove. Naime, taj kritični disk je izgubio fluid i vrši pritisak na nerve.

Treba, naglasiti da se, zbog visoke prisutnosti poremećaja kičme kod populacije koja nije izložena vibracijama, ne može sa potpunom sigurnošću tvrditi da su samo vibracije uzrok ovih poremećaja zdravlja kod osoba koje su izložene vibracijama celog tela. Drugim rečima vibracije nisu jedini, ali su značajan uzrok ovom oboljenju.



Sl. 3. Delovi kičmenog stuba ugroženi dejstvom vibracija

Fig. 3. Parts of the spine affected the effect of vibration



Sl.4. Prikaz kritičnog diska L5/S1

Fig.4. Preview critical disk L5/S1

Dugotrajno dejstvo jakih vibracija može izazvati propadanje kvaliteta mišićnog tkiva, kao i promene na tetivama, sa mogućim cepanjem i pucanjem tetiva na mestu pripoja na kosti.

Pojedine naučne studije ukazuju da jake vibracije celog tela sa frekvencijama višim od 40 Hz mogu dovesti do oštećenja i poremećaja u centralnom nervnom sistemu.

Utvrđene su četiri glavne grupe poremećaja cirkulacije sa učestanjim pojavom kod radnika koji su izloženi vibracijama celog tela.

- ◆ periferalni poremećaji, kao što je Rejnodov (Rejnoov) sindrom (eng. Raynaud's syndrome), blizu mesta delovanja vibracija celog tela (npr. stopala radnika koji stoje ili, samo sa manjim stepenom, šake vozača)
- ◆ proširene vene na nogama
- ◆ ishemijska bolest srca i povišeni krvni pritisak
- ◆ neurovaskularne promene

Dugotrajna izloženost jakim vibracijama sa frekvencijama iznad 20Hz rezultiraju štetnim efektima na kardiovaskularni sistem kao što su poremećaj u radu srčanog mišića, smanjeni unos kiseonika, hiperventilacija, povećani srčani pritisak itd.

Sa druge strane vibracije frekvencija 4 do 5Hz, izazivaju kod osoba koje su im izložene u dužem periodu, bolesti digestivnog trakta.

U nekim studijama ukazano je na trajne promene praga čujnosti (PTS) nakon kombinovanog dejstva dugotrajne izloženosti vibracijama celog tela i buke. Zaključak istraživanja, koje je vršeno kod vozača na poljoprivrednim vozilima, je da vibracije celog tela mogu izazvati dodatnu značajni promenu praga čujnosti pri 3, 4, 6 i 8 kHz, ako nivo dnevne izloženosti premašuje $1,2 \text{ m/s}^2$ uz istovremenu izloženost buci pri ekvivalentnom nivou od više od 80 decibela (dB).

Pretpostavlja se da se povećani rizik od pobačaja, poremećaji u menstrualnom ciklusu i telesne anomalije (npr. spuštenu matericu) povezani sa dugotrajnom izloženosti vibracijama celog tela. Smatra se da tkiva organizma guše samo vibracije visokih frekvencija, dok se vibracije niskih frekvencija rasprostiru do udaljenih mesta. Najefikasniji prigušivač vibracija u ljudskom telu su zglobne šupljine. Izvestan prigušujući i preventivni efekat imaju vazdušne i tečne mase u zglobovima.

ZAKLJUČAK

Vozači i operateri teške mehanizacije izloženi su, konstantno, visokim vrednostima vibracija koje mogu imati štetno dejstvo na ljudsko telo. Posledice su različita oboljenja i bolesti koje mogu biti kratkoročnog ili dugoročnog karaktera. Najznačajniji kratkoročni efekti su nedostatak daha, mučnina i gubitak ravnoteže, a dugoročni poremećaji psihomotornog, fiziološkog i psihološkog sistema. Pojedini negativni efekti po zdravlje vozača ne mogu se vezati samo za dejstvo vibracija, već su posledica dejstva i drugih profesionalnih opasnosti i štetnosti.

Zbog mogućih posledica po zdravlje, vrednosti vibracije se moraju kontrolisati i u zavisnosti od rizika po zdravlje treba preduzimati tehničke i organizacione mere za smanjenje nivoa vibracija.

Napomena: Ovaj rad je rezultat istraživanja i aktivnosti koje je Visoka tehnička škola strukovnih studija u Nišu obavljala, od 2010. do 2012.g., u sklopu međunarodnog projekta Evropske Unije Tempus-JPHES 158781 "Occupational safety and health-degree curricula

and lifelong learning'' odnosno ''Bezbednost i zdravlje na radu-obrazovni programi i doživotno učenje''.

LITERATURA

- [1.] Bovenzi,M., Hulshof,C.T., An Updated Review of Epidemiologic Studies on the Relationship Between Exposure to Whole-Body Vibration and Low Back Pain *Journal of Sound and Vibration*. 215(1998): 595-611.
- [2.] Griffin,M.J., Seidel,H., Whole – body vibration, *Encyclopedia of occupational health and safety*, International Labor Organization (2001), Geneva
- [3.] Rosegger,R., Rosegger,S., Health effects of tractor driving. *Ann Agric Eng Res*. 5 (1960) 241-76.
- [4.] Boshuizen, H.C., et al. Self-Reported Back Pain in Tractor Drivers Exposed to Whole-Body Vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 62 (1990): 109-115.
- [5.] De Oliveira,C.G., Nadal,J., Transmissibility of helicopter vibration in the spines of pilots in flight. *Aviat Space Environ Med*. 76, (2005) 576-80.
- [6.] Boshuizen, H.C., Bongers,P.M., Hulshof,C.T., Self-reported back pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Spine* 17 (1992), 59-65.
- [7.] Futatsuka,M., et al., Whole-Body Vibration and Health Effects in the Agricultural Machinery Drivers. *Industrial Health*. 36(1998): 127-132.
- [8.] Stayner,R.M., Whole-body vibration and shock: A literature review, Contract research report 333/2001, RMS Vibration Test Laboratory for the Health and Safety Executive, (2001), United Kingdom.
- [9.] Scarlett,A.J. et al., Whole body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*. 44 (2007) 65-73
- [10.] Kitazaki,S., Griffin,M.J., A Modal Analysis of Whole- Body Vertical Vibration, Using a Finite Element Model of the Human Body. *Journal of Sound and Vibration*. 200(1997): 83-103.
- [11.] Petrović,P. i os., Oscilatorne pojave kod poljoprivrednih traktora. *Poljoprivredna tehnika*, 2 (2005) 15–23, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu,
- [12.] ISO standard 2631 – 1 (1997) "Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration. Part 1: General Requirements".
- [13.] Bonney,R.A., Human responses to vibration: principles and methods. In: J.R. Wilson & E.N. Corlett (Eds.), *Evaluation of human work: A practical ergonomics methodology* (2nd ed) (1995) (pp. 541-556). London: Taylor & Francis.
- [14.] Griffin,M.J., *Handbook of Human Vibration*. (1990) London: Academic Press.
- [15.] Griffin,M.J., Fundamentals of human responses to vibration. In: F.J. Fahy & J.G. Walker (Eds.), *Fundamentals of Noise and Vibration* (1998). (pp. 179-223). London: E & FN Spon.
- [16.] Dupuis, H., Zerlett, G. Whole-Body Vibration and Disorders of the Spine. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 59(1987): 323-336.
- [17.] Bongers, P.M. et al. Back Disorders in Crane Operators Exposed to Whole-Body Vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 60(1988): 129-137.
- [18.] Prokeš, B. i os. Possible health effects of vibration on tractor drivers and preventive measures. *Agricultural engineering*, 3, (2012) 189-286.

Rad primljen: 07.09.2013.

Rad prihvaćen: 27.09.2013.