

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Jurica Žanić, absolvent

Diplomski studij, smjer Mehanizacija

**STAROST TRAKTORA I VRSTA VOZNE PODLOGE KAO ČIMBENICI
VIBRACIJA NA POLJOPRIVREDNOM TRAKTORU**

Diplomski rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Jurica Žanić, absolvent

Diplomski studij, smjer Mehanizacija

**STAROST TRAKTORA I VRSTA VOZNE PODLOGE KAO ČIMBENICI
VIBRACIJA NA POLJOPRIVREDNOM TRAKTORU**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. dr. sc. Željko Barač, član

Osijek, 2020.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PREGLED LITERATURE | 2 |
| 2.1. Europska direktiva 2002/44/ec | 4 |
| 2.2. Frekvencija vibracija..... | 4 |
| 2.3. Bolesti uzrokovane prekomjernoj izloženosti vibracijama..... | 5 |
| 3. MATERIJAL I METODE | 7 |
| 3.1. HRN ISO 2631 | 7 |
| 3.2. Težinski filtri..... | 7 |
| 3.3. Tehničke karakteristike traktora Landini Powerfarm 100 | 8 |
| 3.4. Mjerenje razine vibracija koje djeluju na trup rukovatelja pri gibanju traktora po različitim voznim podlogama | 10 |
| 4. REZULTATI..... | 16 |
| 4.1. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po različitim voznim podlogama u odnosu na starost traktora | 16 |
| 4.2. Deskriptivna statistika u smjeru x, y i z osi | 22 |
| 4.3. Analiza varijance između nezavisnih i zavisnih varijabli u smjeru x, y i z osi | 25 |
| 5. RASPRAVA | 28 |
| 6. ZAKLJUČAK | 29 |
| 7. POPIS LITERATURE | 30 |
| 8. SAŽETAK..... | 33 |
| 9. SUMMARY | 34 |
| 10. POPIS TABLICA..... | 35 |
| 11. POPIS SLIKA | 36 |
| 12. POPIS GRAFIKONA | 37 |

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

BASIC DOCUMENTATION CARD

1. UVOD

Poljoprivredni traktori imaju široku primjenu u svakodnevnom radu, kako na cestama, tako i na različitim voznim površinama kao što su trava i makadam. Prilikom izvođenja različitih agrotehničkim operacija rukovatelj traktora izložen je visokim razinama vibracija koje djeluju na cijelo tijelo. Vibracije koje djeluju na ljudsko tijelo definiraju se kao utjecaj okoliša na ljudsko tijelo ili kao nepravilno, naizmjenično gibanje čestica, a znanost koja se bavi proučavanjem djelovanja vibracija na ljudsko tijelo naziva se ergonomija. Nikolić (2017.) navodi kako pojavom industrijske revolucije i procesa masovne proizvodnje potreba za ergonomijom postaje sve veća. Dolazi do povećanja kompletnog opsega proizvodnje, a time i do sve češćih ozljeda na radu. Wojciech Jastrzebowski (1799. – 1882.), poljski znanstvenik, prvi je iskoristio naziv ergonomija te se zbog toga i smatra jednim od začetnika ove znanstvene discipline.

Cilj svih ergonomskih istraživanja je što bolje proučiti odnos čovjeka i radnog okruženja radi stvaranja što boljih radnih uvjeta koji se odnose na zdravlje i učinkovitost radnika, ali i na samu kvalitetu posla koji se izvodi (Taboršak, 1995.).

Kao posljedica izloženosti vibracijama kod čovjeka se mogu pojaviti razni mišićni, neurološki ili koštano-zglobni poremećaji, kao i poremećaji osjetila vida, sluha i ravnoteže.

Kim i sur. (2018.) navode kako su vibracije cijelog tijela poznati vodeći faktor rizika među profesionalnim rukovateljima vozila. Biomehanička i biološka istraživanja pokazala su da izloženost vibracijama cijelog tijela može povećati spinalno opterećenje, uzrokovati umor mišića i povezan je s degeneracijom kralježaka.

2. PREGLED LITERATURE

Adam i sur. (2019.) ukazuju da učinkovitost sjedala glede smanjenja vibracija ovisi o dinamičkim karakteristikama sjedala i ljudskog tijela te o značajkama ulaznih vibracija.

Kruger (2019.) napominje važnost sjedala rukovatelja, koje mora osigurati udobnost i dobru zaštitu rukovatelja od negativnog utjecaja vibracija tijekom rada. Vibracije koje utječu na trup rukovatelja mjere se senzorom postavljenim na sjedalo rukovatelja. Zakonodavstvo je odredilo dozvoljene vrijednosti vibracija koje se smiju prenositi na trup rukovatelja što je rezultiralo konstrukcijama vozila s tehnologijom kontrole vibracija (sjedalom, kabinom ili ovjesom osovina).

Abouel-Seoud (2019.) navodi da vibracije koje se prenose na tijelo rukovatelja značajno utječu udobnost i zdravlje rukovatelja.

Cutini i sur. (2019.) su obradom podataka istraživanja koje su proveli na deset traktora opremljenih različitim sustavima prigušivanja vibracija na standardnoj ispitnoj stazi (ISO 5008: 2002) u tri brzine (10, 12 i 14 km/h) zaključili da masa traktora, veličina i tlak u pneumaticima, značajno utječu na razinu vibracija.

Nikolić (2015.) u radu u kojem je ispitivana proizvedena razina traktorskih vibracija pri različitim agrotehničkim podlogama koje utječu na trup rukovatelja zaključuje kako se pri različitim voznim podlogama javljaju vibracije različitog intenziteta. Najviše izmjerene vrijednosti bile su u smjeru sve tri osi (x, y i z) na travnatoj podlozi, dok su najniže vibracije izmjerene u smjeru sve tri osi na asfaltnoj podlozi. Naglašava i kako niti jedna od ispitivanih voznih podloga po kojoj se kretao poljoprivredni traktor ne proizvodi vibracije koje prelaze propisane granične vrijednosti djelovanja na ljudsko tijelo.

Barač i sur. (2017.) istraživali su razinu vibracija koja djeluje na trup rukovatelja pri različitim voznim podlogama na traktoru *Landini Powerfarm 100*. Iz prikazanih rezultata istraživanja vidljivo je da s povećanjem radnih sati traktora dolazi i do povećanja razine vibracija na različitim voznim podlogama, ali one ne prelaze graničnu vrijednost od $1,15 \text{ m/s}^2$ prema Europskoj direktivi 2002/ 44/ EC te neće utjecati na zdravlje rukovatelja.

Barać i sur. (2019.) ističu kako se mehaničke vibracije koje djeluju na trup rukovatelja traktora prenose sa sjedala rukovatelja, poda kabine traktora, pneumatika, ručice za upravljanje i upravljača. Autori istražujući utjecaj broja radnih sati na razinu vibracija koje se prenose na tijelo rukovatelja na traktoru *Landini Powerfarm 100* utvrđuju kako najveće izmjerene vrijednosti vibracija ne prelaze graničnu vrijednost ubrzanja $1,15 \text{ m/s}^2$.

Isti autori navode kako različite vozne podloge stvaraju vibracije različitog intenziteta koje djeluju na rukovatelja. Ističu i kako izmjerena razina vibracija neće štetiti ljudskom zdravlju tijekom rada od osam sati.

Deboli i sur. (2017.) istraživali su utjecaj različitih vozni podloga na razinu vibracija koja djeluje na trup rukovatelja. Iz dobivenih rezultata istraživanja zaključili su kako razina vibracija prelazi dopuštenu graničnu vrijednost na travi, makadamu, poljskom putu i tanjurnoj podlozi u smjeru osi x i y, dok u smjeru osi z i na asfaltu u smjeru osi x, y i z ne prelazi graničnu vrijednost. Najnižu razinu vibracija izmjerili su na asfaltnoj podlozi, dok je najviša razina vibracija izmjerena na tanjurnoj podlozi.

Dahham i sur. (2019.) zaključuju kako brzina traktora snažno utječe na razinu vibracija koje se prenose na rukovatelja traktora kroz sve tri osi.

Cvetanović i Zlatković (2013.) u radu ističu kako je prosječna starost traktora viša od 15 godina što negativno utječe na zdravlje rukovatelja. Naglašavaju važnog redovnog servisno-preventivnog održavanja traktora u svrhu očuvanja sigurnosti i zdravlja rukovatelja.

Cvetanović i sur. (2014) uspoređujući rezultate različitih istraživanja razine vibracija koje utječu na trup rukovatelja zaključuju kako je razina vibracija znatno niža kod novijih traktora u odnosu na modele traktora starije godine proizvodnje. Ističu važnost poduzimanja značajnih mjera u smanjenju ili potpunom uklanjanju vibracija, pri čemu je važno uključiti tehničko i medicinsko osoblje.

Damjan (2017.) ispitivao je utjecaj vozne podloge i materijala sjedala na proizvedenu razinu vibracija koje utječu na trup rukovatelja. U radu su prikazane izmjerene vibracije na asfaltu, lucerištu i poljskom putu sa sedam različitih materijala sjedalice rukovatelja. Iz

prikazanih rezultata istraživanja u radu vidljivo je kako različite vozne podloge u odnosu na različite materijale sjedalice imaju utjecaj na razinu vibracija koje djeluju na trup rukovatelja.

De Almeida i sur. (2015.) istraživali su utjecaj vibracija na različitim vrstama traktora. Jedan traktor bio je novije proizvodnje i imao je kabinu, dok je drugi traktor bio starije proizvodnje te nije imao kabinu. Iz rezultata istraživanja vidljivo je kako su vibracije bile više na starijem traktoru. Zaključili su kako je kabina važna jer štiti rukovatelja od vibracija i prašine te kako je motor najveći izvor vibracija u obje vrste traktora.

2.1. Europska direktiva 2002/44/ec

Cilj Europske Direktive 2002/44/EC je osigurati zdravlje i sigurnost svakog radnika i stvoriti minimalnu osnovu zaštite za sve radnike u zajednici pravodobnim otkrivanjem štetnih zdravstvenih učinaka koji mogu nastati ili vjerojatno nastati zbog izloženosti mehaničkim vibracijama, posebno poremećajima mišićno-koštanog sustava. Direktiva razlikuje vibracije koje utječu na sustav ruka-šaka i vibracije koje utječu na cijelo tijelo. Direktiva definira i granične vrijednosti izloženosti vibracijama na temelju referentnog razdoblja od osam sati radnog dana, a ona za vibracije na trup rukovatelja iznosi $1,15 \text{ m/s}^2$.

2.2. Frekvencija vibracija

Tanković i sur. (2015.) ističu kako su osnovne karakteristike vibracija: frekvencija (ljudsko tijelo percipira i apsorbira vibracije od 1-1000 Hz), amplituda, brzina i ubrzanje vibracije. Isti autori navode kako vibracije predstavljaju oscilatorno kretanje čvrstih tijela u području infrazvučnih i djelomično zvučnih frekvencija. Ističu i kako se karakteristike vibracija pri istoj frekvenciji mijenjaju tijekom vremena.

Bogadi-Šare (1993.) navodi da je brzina vibracija pomak materijalne točke u jedinici vremena, a iskazuje se u m/s, a ubrzanje vibracija je promjena brzine u vremenu i iskazuje se u m/s^2 .

2.3. Bolesti uzrokovane prekomjernoj izloženosti vibracijama

Prema URL 1 oboljenja od prevelike razine vibracija mogu se podijeliti u četiri faze:

Prva faza:

- reverzibilna, malo simptoma,
- bolovi na dijelovima prstiju (kod vibracije ruka- šaka),
- sniženje praga osjetljivosti na vibracije.

Druga faza:

- nedostatak osjećaja bola u koži (kod vibracije ruka- šaka),
- jaki bolovi u mišićima, kostima i zglobovima,
- povećanje zahvaćene površine tijela,
- liječenje je još moguće.

Treća faza:

- bjelina kože šake pri najmanjoj hladnoći,
- bolovi u kostima,
- prestanak osjećaja boli i dodira na koži prstiju,
- utjecaj na srce i krvne žile, živčani sustav.

Četvrta faza:

- atrofija kože,
- nekontrolirane kontrakcije mišića,
- vrtoglavice,
- srčane smetnje,
- neurološke smetnje (posebice tijekom noći),
- moguća pojava gangrene.

Jedna od učestalijih dijagnoza koju uzrokuje prekomjerna izloženost ljudskog tijela vibracijama je Raynaudov sindrom. Prema URL 1 Raynaudov sindrom jest stanje koje uzrokuje da neka područja tijela, poput prstiju na rukama ili nogama, vrh nosa ili uši, postanu hladni ili da otupe na osjet. Manje arterije koje opskrbljuju kožu krvlju postaju uske te samim time ograničavaju cirkulaciju krvi u pogođenim područjima.

Cilj je istraživanja utvrditi razinu mehaničkih vibracija koje djeluju na trup rukovatelja pri gibanju traktora po različitim voznim podlogama u odnosu na povećanje broja radnih sati traktora. Hipoteza je da će se razina vibracija koje utječu na trup rukovatelja povećati s povećanjem broja radnih sati traktora.

3. MATERIJAL I METODE

Istraživanje u cilju utvrđivanja razine vibracija koje djeluju na trup rukovatelja pri gibanju traktora po različitim voznim podlogama, a obzirom na broj radnih sati traktora, obavljeno je tijekom tri godine na proizvodnim površinama i pristupnim cestama srednje *Poljoprivredne i veterinarske škole* u Osijeku. Mjerenja su obavljena na traktoru *Landini* tipa *Powerfarm 100* (Slika 3.).

3.1. HRN ISO 2631

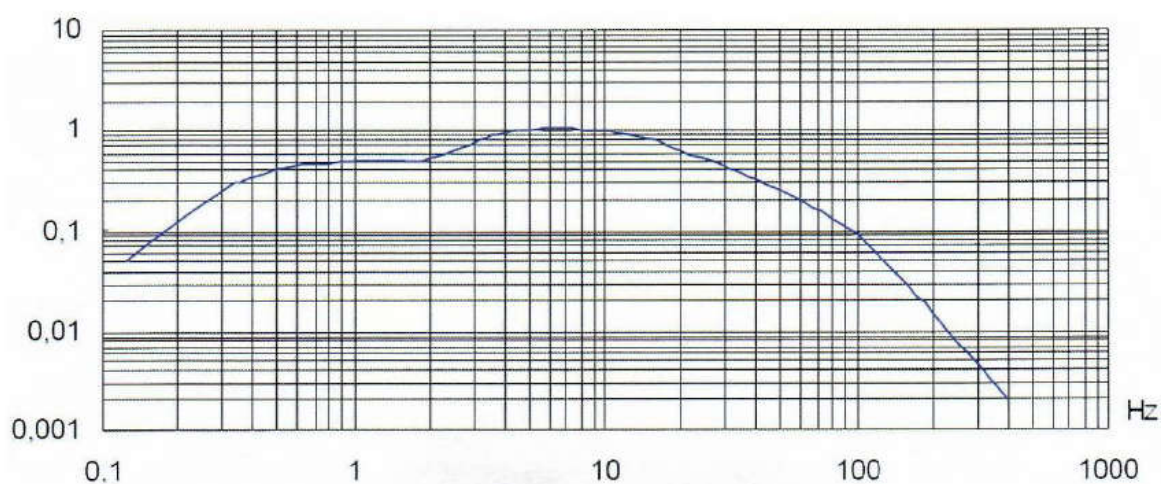
HRN ISO 2631 definira metode za mjerenje periodičnih vibracija cijelog tijela. To ukazuje na glavne čimbenike koji utječu na vibracije kako bi se utvrdilo u kojoj je mjeri prihvatljiva izloženost vibracijama u odnosu na zdravlje i udobnost.

HRN ISO 2631 sastoji se od sljedećih dijelova:

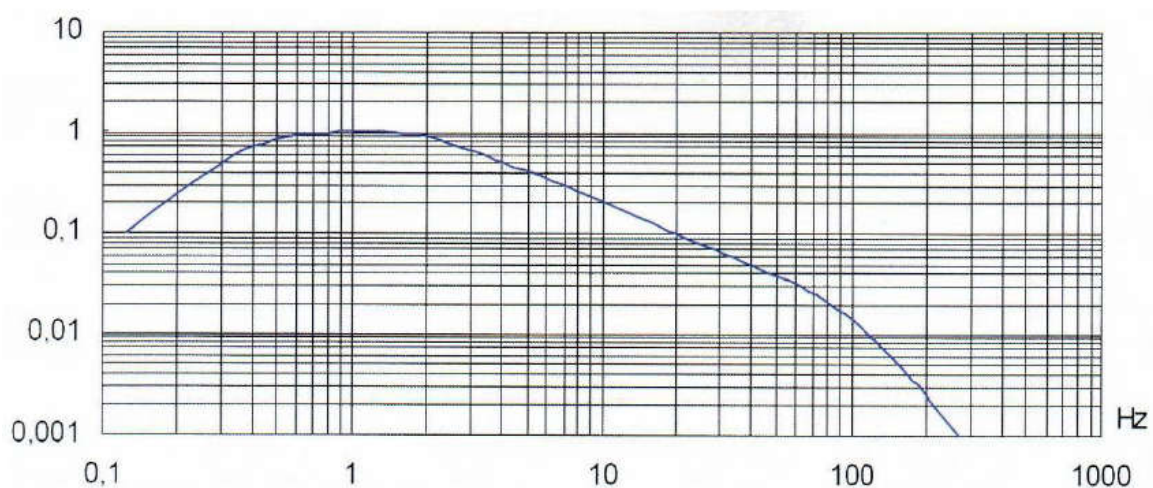
- Dio 1: Opći zahtjevi
- Dio 2: Vibracije u građevinama (1 do 80 Hz)

3.2. Težinski filtri

W_d i W_k su težinski filtri korišteni u mjerenjima, a propisani su normom HRN ISO2631-1. W_k težinski filter (Slika 1.) koristi se za mjerenje vibracija u smjeru osi z. W_d težinski filter (Slika 2.) koristi se za mjerenje vibracija u smjerovima osi x i y.



Slika 1. Wk težinski filter (izvor: HRN ISO 2631-1)



Slika 2. Wd težinski filter (izvor: HRN ISO 2631-1)

3.3. Tehničke karakteristike traktora Landini Powerfarm 100

Traktor je 2015. godine imao 5.800 radnih sati, 2016. godine imao je 6.800 radnih sati, a 2017. godine 7.800 radni sati.

Tehničke karakteristike traktora *Landini Powerfarm 100* (Slika 3.):

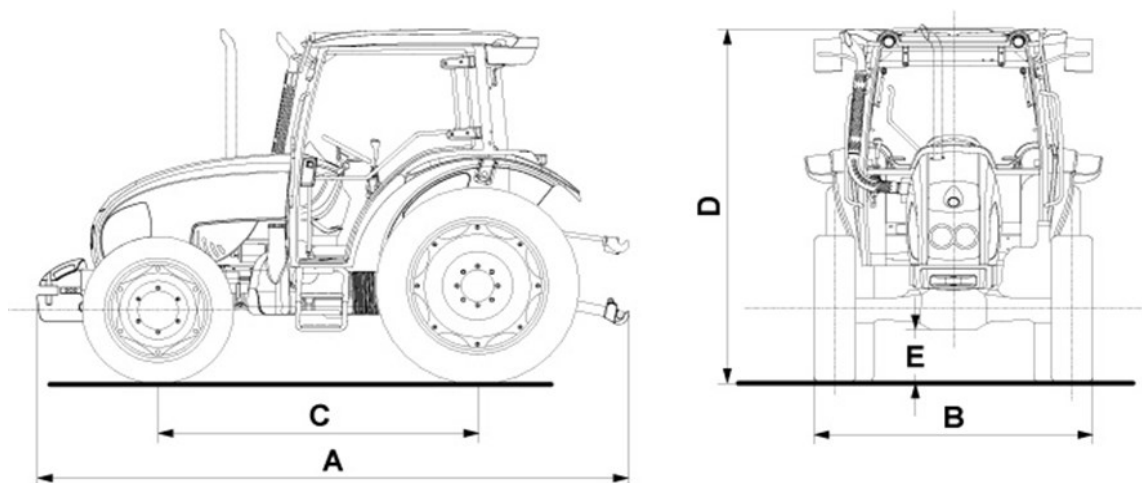
- Maksimalna snaga motora traktora: 68 kW
- Maksimalni okretni moment: 363 Nm
- Broj cilindara/obujam: 4 komada/4.400 cm³
- Brzine: 12+12
- Kapacitet podizanja: 2.600 kg
- Zapremina spremnika goriva: 102 l



Slika 3. Traktor *Landini Powerfarm 100* (izvor: vlastita fotografija)

Dimenzije traktora *Landini Powerfarm 100* (Slika 4.):

- Pneumatici: 18,4-R30
- A-dužina: 4.136 mm
- B-širina: 2.063 mm
- C-udaljenost između osovina 2WD/4WD: 2341 mm/2.316 mm
- D-visina s kabinom: 2.550 mm
- E-klirens: 453 mm
- Masa (bez utega i kabine): 3.330 kg



Slika 4. Dimenzije traktora *Landini Powerfarm 100* (Izvor:URL 2.)

3.4. Mjerenje razine vibracija koje djeluju na trup rukovatelja pri gibanju traktora po različitim voznim podlogama

Istraživanje je podrazumijevalo mjerenje razine vibracija koje djeluju na trup rukovatelja u smjerovima osi x, y i z, pri gibanju traktora po makadamu, travi i asfaltu. Svako mjerenje trajalo je trideset minuta i ponovljeno je tri puta. Na osnovi tri mjerenja izračunata je srednja vrijednost koja je korištena dalje u radu.

Mjerenja su obavljena u skladu s normama HRN ISO 2631-1 i HRN ISO 2631-4. Norme su primjenjive na osobe normalnog zdravlja izložene pravocrtnim vibracijama u smjerovima osi x, y i z.

Mjerenje je obavljeno uređajem za mjerenje vibracija MMF VM 30 (Slika 5.). Mjerni opseg za sve osi bio je postavljen na 120 m/s^2 .



Slika 5. Uređaj za mjerenje traktorskih vibracija *MMF VM 30* (izvor: vlastita fotografija)

Dana 9. lipnja 2015. godine obavljena su mjerenja proizvedenih traktorskih vibracija koje utječu na trup rukovatelja pri gibanju traktora po asfaltnoj podlozi i makadamu. Traktor je imao 5.800 radnih sati, izmjerena temperatura zraka iznosila je 31 °C, a relativna vlažnost zraka 64 %.

Dana 10. lipnja 2015. godine obavljena su mjerenja proizvedenih traktorskih vibracija koje utječu na trup rukovatelja pri gibanju traktora na travnatoj podlozi. Traktor je imao 5.802 radna sata, izmjerena temperatura zraka iznosila je 30 °C, relativna vlažnost zraka 65 %.

Mjerenja razine vibracija koje djeluju na tijelo rukovatelja tijekom 2016. godine obavljeno je 15. i 16. lipnja pri čemu je traktor imao odrađenih 6.800 radnih sati.

15. lipnja je obavljeno mjerenje razine vibracija tijekom gibanja traktora po travnatoj podlozi pri temperaturi zraka 29 °C i relativnoj vlažnosti zraka 65%, a 16. lipnja mjerenje tijekom gibanja traktora po asfaltnoj podlozi i makadamu (Slika 6. i Slika 7.) pri temperaturi 30 °C i relativnoj vlažnosti zraka 63%.



Slika 6. Mjerenje razine traktorskih vibracija na asfaltu (izvor: vlastita fotografija)

Mjerenje razine vibracija koje djeluju na trup rukovatelja obavljeno je tijekom lipnja 2017. godine (13. i 14. lipnja) pri čemu je traktor imao 7.800 radnih sati. Prvi dan (13. lipnja) su obavljena mjerenja tijekom vožnje traktora po asfaltnoj podlozi i makadamu pri čemu je temperatura zraka iznosila 31°C , a relativna vlažnost zraka 64%.

Tijekom mjerenja 14. lipnja 2017. godine pri gibanju traktora po travnatoj podlozi temperatura zraka iznosila je 30°C , a relativna vlažnost zraka 64%.



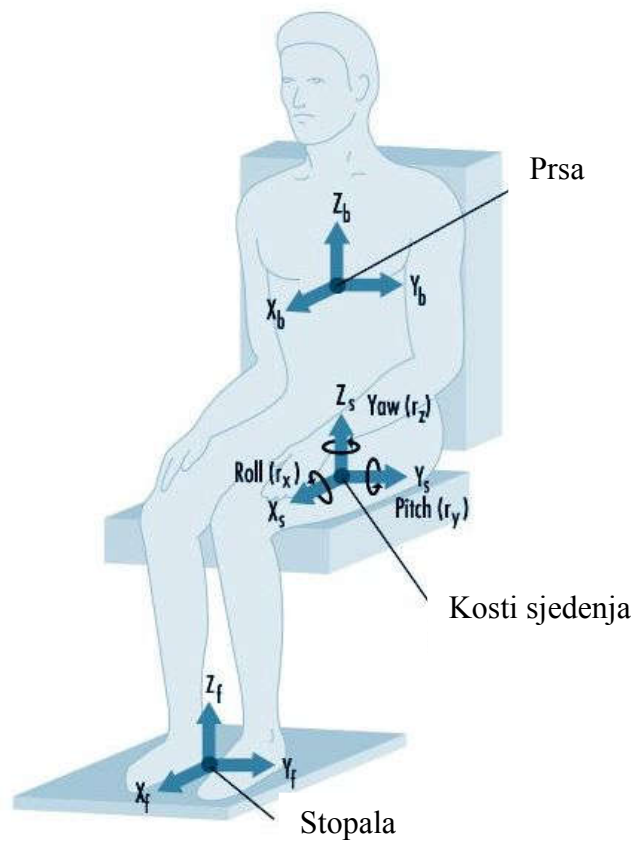
Slika 7. Mjerenje razine traktorskih vibracija na makadamu (izvor: vlastita fotografija)

Mjerni uređaj (Slika 8.) je postavljen na sjedalo rukovatelja (sukladno HRN ISO 2631- 4, 2015.) i mjerene su vibracije koje djeluju na trup rukovatelja u pravcu tri koordinatne osi, (Slika 9.):

- x os: uzdužno, duž pravca gibanja- naprijed (pozitivno)/natrag (negativno)
- y os: bočno, pod pravim kutom u odnosu na smjer vožnje
- z os: vertikalno, prema gore (pozitivno)/prema dolje, okomito na pod (negativno)



Slika 8. Prikaz pravca mjerenja za osi x, y i z (izvor: vlastita fotografija)



Slika 9. Djelovanje vibracija u smjerovima osi x, y i z (izvor: URL 3.)

Na slici 9. vidljivi su pravci mjerenja vibracija koje djeluju na trup rukovatelja u smjeru osi x, y i z.

R.M.S. metoda mjerenja u pokretu uzima u obzir povremene impulsne i prolazne vibracije koristeći kratku integracijsku vremensku konstantu. Veličina vibracija je maksimalna prolazna vrijednost vibracije (MTVV), koja je maksimalna za $a_w(t_0)$.

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$a_w(t)$ – trenutna frekvencija mjerenog ubrzanja (m/s^2)

τ – vrijeme integracija za tekuće usrednjavanje (s)

t – vrijeme (s)

t_0 – vrijeme promatranja (s)

$MTVV = \max [a_w(t_0)]$

MTVV - maksimalna prolazna vrijednost vibracije (m/s^2)

4. REZULTATI

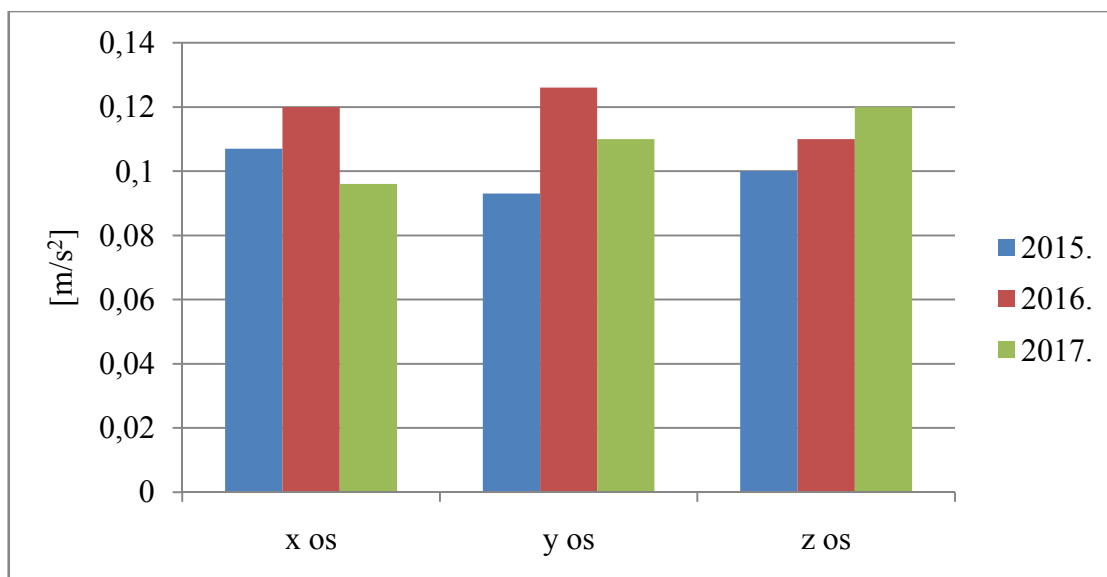
4.1. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po različitim voznim podlogama u odnosu na starost traktora

Nakon obavljenih mjerenja na određenoj podlozi uočena su manja odstupanja u smjerovima x, y i z osi kroz sve tri godine. Najveća srednja izmjerena vrijednost bila je, kroz sve tri godine mjerenja, u trećem mjeranju. Navedene vrijednosti u tablicama i grafikonima izražene su u m/s^2 .

Tablica 1. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po asfaltu

| Os | x [m/s^2] | | | y [m/s^2] | | | z [m/s^2] | | |
|--------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | 2015. | 2016. | 2017. | 2015. | 2016. | 2017. | 2015. | 2016. | 2017. |
| Prvo | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,12 |
| Drugo | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,1 | 0,13 |
| Treće | 0,13 | 0,18 | 0,12 | 0,11 | 0,19 | 0,14 | 0,12 | 0,15 | 0,13 |

Tablicom 1. prikazana su mjerenja traktorskih vibracija koje utječu na trup rukovatelja tijekom gibanja traktora po asfaltnoj podlozi u 2015., 2016. i 2017. godini. Iz srednjih vrijednosti izmjerenih vibracija vidljivo je kako su najniže vrijednosti u prvom mjeranju, dok su najviše izmjerene vrijednosti bile u trećem mjeranju.



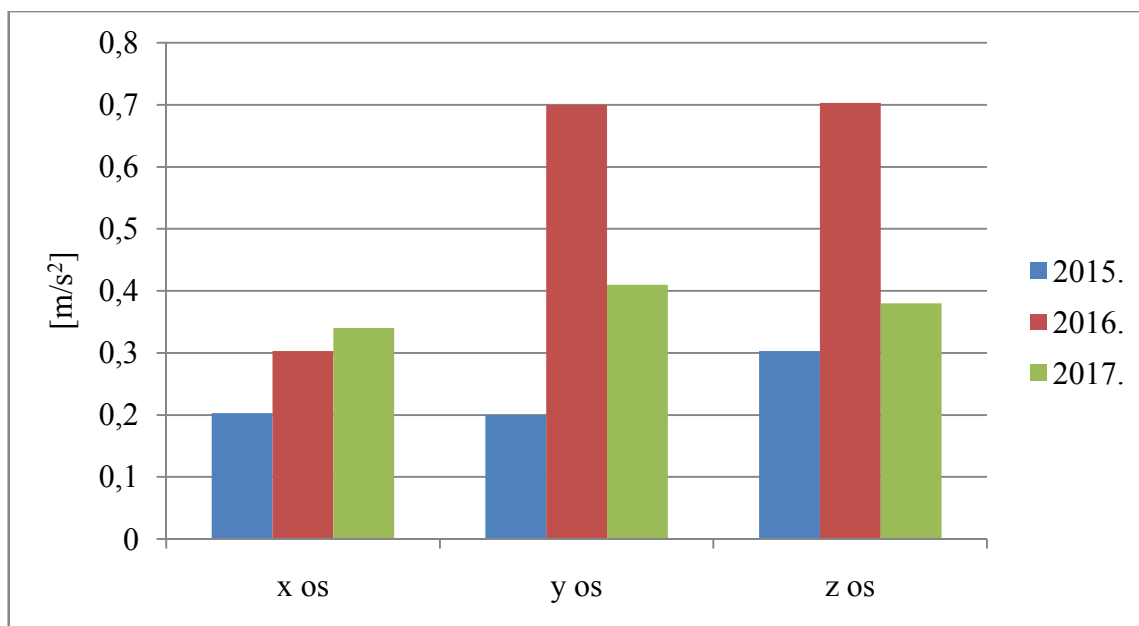
Grafikon 1. Usporedba srednjih vrijednosti mjerenja vibracija na asfaltu

Uspoređujući rezultate srednje vrijednosti mjerenja vibracija tijekom gibanja traktora po asfaltnoj podlozi prikazanih u Grafikonu 1. vidljivo je da se uslijed povećanja radnih sati traktora povećava i razina vibracija po osi z u sve tri godine, dok je po osima x i y najveća srednja vrijednost u drugoj godini mjerenja.

Tablica 2. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po makadamu

| Os | x [m/s ²] | | | y [m/s ²] | | | z [m/s ²] | | |
|--------------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| | 2015. | 2016. | 2017. | 2015. | 2016. | 2017. | 2015. | 2016. | 2017. |
| Prvo | 0,19 | 0,29 | 0,31 | 0,19 | 0,68 | 0,45 | 0,29 | 0,66 | 0,38 |
| Drugo | 0,20 | 0,30 | 0,36 | 0,20 | 0,7 | 0,38 | 0,30 | 0,7 | 0,35 |
| Treće | 0,22 | 0,32 | 0,36 | 0,21 | 0,72 | 0,40 | 0,32 | 0,75 | 0,41 |

Tablicom 2. prikazani su rezultati mjerenja vibracija koje djeluju na trup rukovatelja pri gibanju traktora po makadamu u 2015., 2016. i 2017. godini. Najniže srednje izmjerene vrijednosti bili se prve godine mjerenja u prvom ponavljanju u smjeru sve tri osi. Najviša srednja izmjerena vrijednost bila je u trećem mjerenju 2016. godine u smjeru osi z.



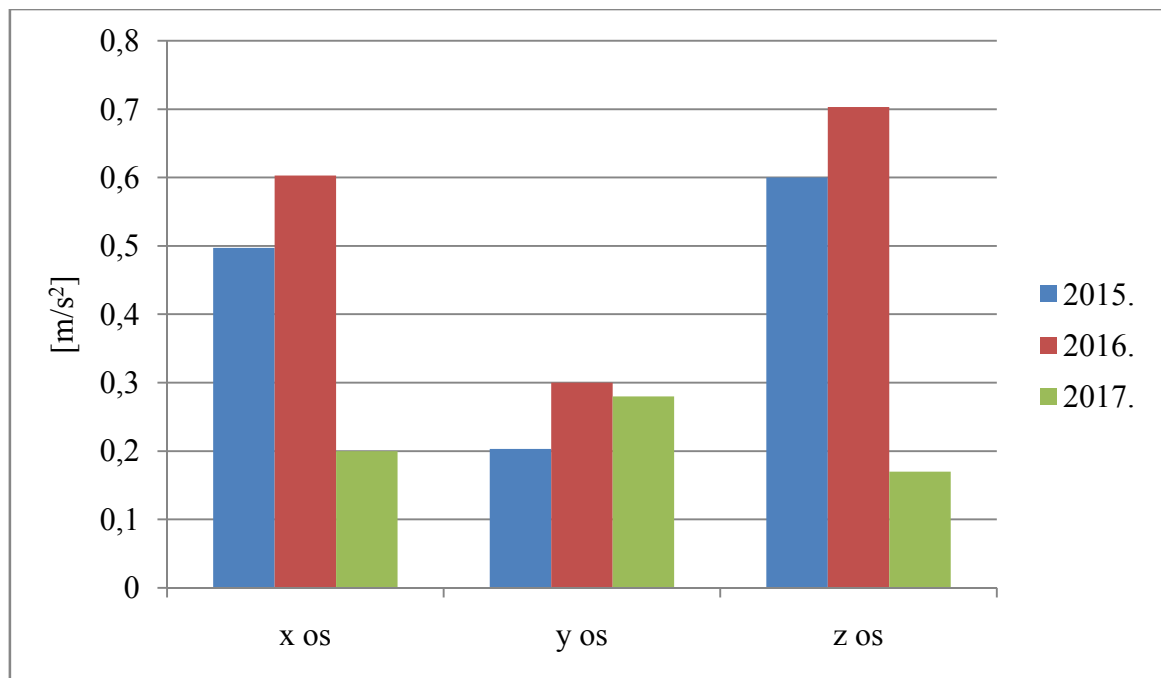
Grafikon 2. Usporedba srednjih vrijednosti mjerenja vibracija na makadamu

Najveća izmjerena vrijednost po osi x izmjerena je u trećoj godini mjerenja, dok je u smjeru osi y i z najveća izmjerena vrijednost u drugoj godini mjerenja, odnosno, 2016. godine, a što je i vidljivo u Grafikonu 2. 2017. godine najveća izmjerena vrijednost je u smjeru y osi.

Tablica 3. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po travi

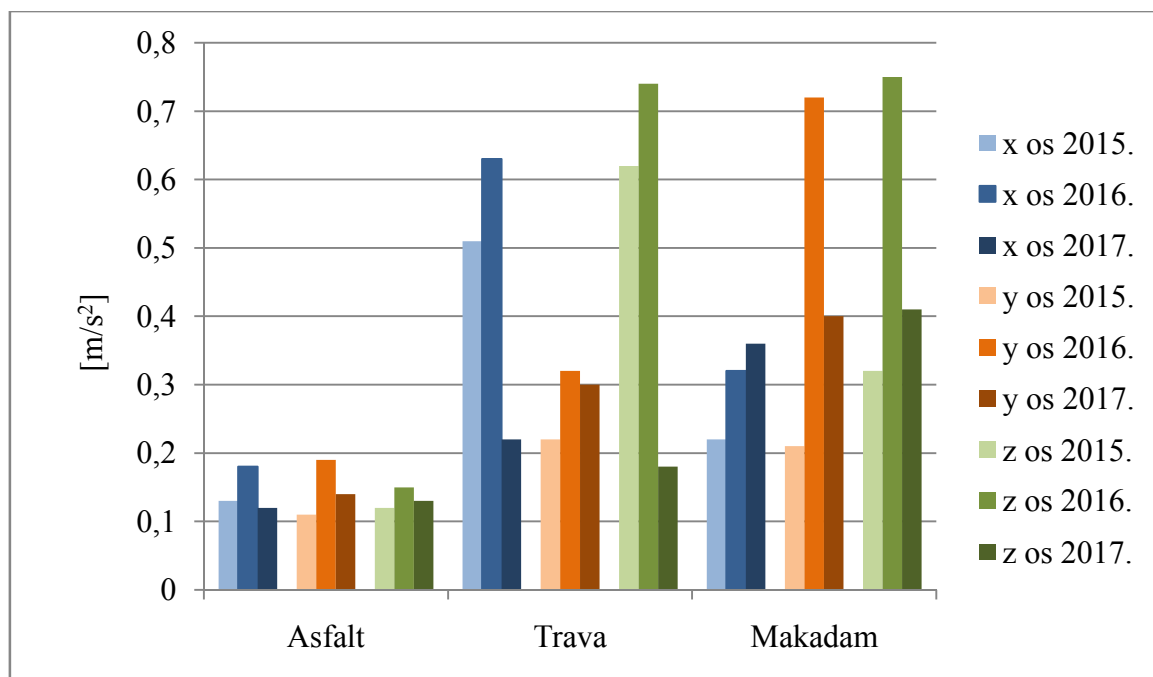
| Os | x [m/s ²] | | | y [m/s ²] | | | z [m/s ²] | | |
|-----------------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| | 2015. | 2016. | 2017. | 2015. | 2016. | 2017. | 2015. | 2016. | 2017. |
| Mjerenje | | | | | | | | | |
| Prvo | 0,48 | 0,58 | 0,20 | 0,19 | 0,28 | 0,28 | 0,58 | 0,67 | 0,17 |
| Drugo | 0,50 | 0,60 | 0,19 | 0,20 | 0,30 | 0,27 | 0,60 | 0,70 | 0,17 |
| Treće | 0,51 | 0,63 | 0,22 | 0,22 | 0,32 | 0,30 | 0,62 | 0,74 | 0,18 |

Rezultati mjerenja vibracija koje utječu na trup rukovatelja traktora izmjerenih pri gibanju traktora po travnatoj podlozi prikazani su Tablicom 3. Najviša srednja vrijednost izmjerena je 2016. godine u trećem mjerenju u smjeru osi z, dok su najniže srednje vrijednosti izmjerene 2017. godine u prvom i drugom mjerenju u smjeru osi z.



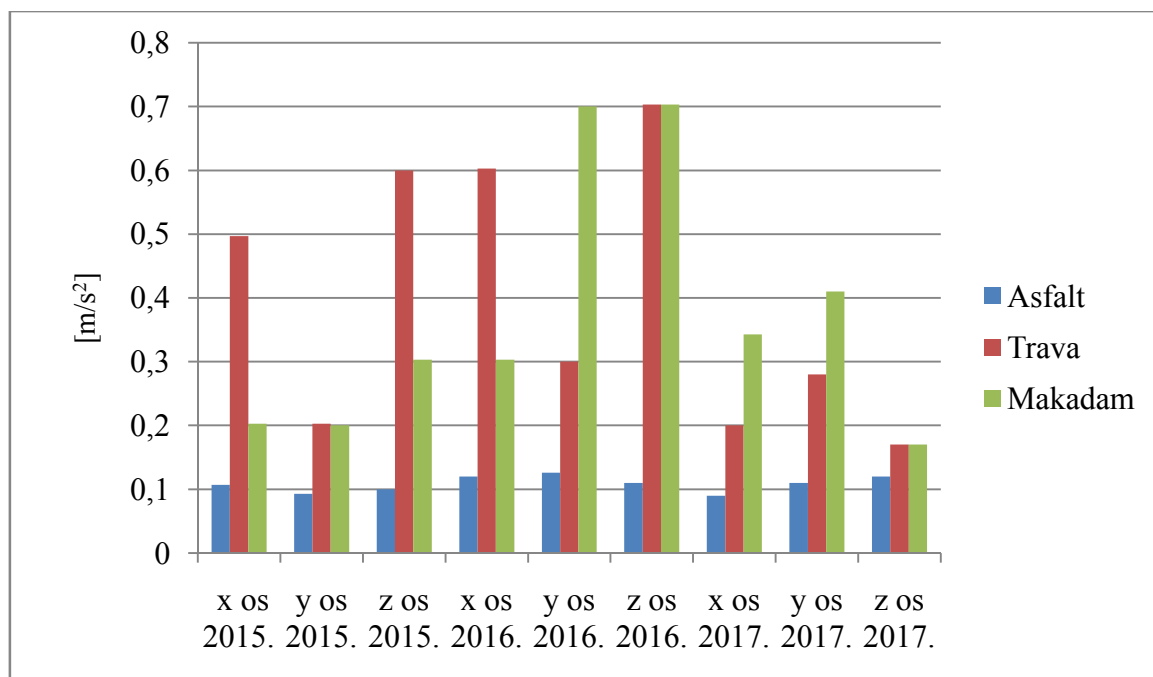
Grafikon 3. Usporedba srednjih vrijednosti mjerenja vibracija na travi

Iz srednjih vrijednosti mjerenja vidljivo je da su iste najveće u sve tri osi u 2016. godini, Grafikon 3. Najveća vrijednost srednjih vibracija u trećoj godini mjerenja (2017. godina) utvrđena je u smjeru osi y.



Grafikon 4. Najviše izmjerene srednje vrijednosti u smjerovima osi x, y i z za sve tri podloge

Usporedbom najviših izmjerenih srednjih vibracija koje djeluju na trup rukovatelja traktora u smjeru sve tri osi u sve tri godine u kojima su obavljena mjerenja prikazanim Grafikonom 4. vidljivo je kako niti jedna vrijednost ne prelazi graničnu vrijednost za dnevnu izloženost vibracijama unatoč povećanju radnih sati, koja za vibracije na cijelo tijelo iznosi $1,15 \text{ m/s}^2$. Najveća srednja izmjerena vrijednost vibracija koje djeluju na trup rukovatelja u sve tri godine istraživanja utvrđena je u trećem ponavljanju za sve tri osi pri gibanju traktora po svim vrstama podloge.



Grafikon 5. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija

Usporedbom srednjih vrijednosti izmjerenih vibracija u smjeru osi x, y i z pri gibanju traktora po asfaltu, travi i makadamu u 2015., 2016. i 2017. godini prikazanih Grafikonom 5. vidljivo je kako je najniža razina vibracija u sve tri godine mjerenja utvrđena pri gibanju traktora po asfaltnoj podlozi, dok je najveća razina srednjih vibracija utvrđena u prvoj godini (2015.) tijekom gibanja traktora po travnatoj podlozi, a tijekom druge dvije godine istraživanja pri gibanju traktora po makadamu. Uspoređujući srednje vrijednosti izmjerenih vibracija na asfaltu vidljivo je kako je s povećanjem radnih sati traktora došlo do povećanja razine vibracija po osima y i z u, dok je po osi x povećanje manje u zadnjoj godini mjerenja (2017.) u odnosu na prvu godinu mjerenja (2015.). Pri gibanju traktora po travnatoj podlozi s povećanjem radnih sati porasla i razina vibracija u smjeru sve tri osi u drugoj godini mjerenja (2016.) obzirom na prvu godinu (2015.), dok je u trećoj godini mjerenja razina vibracija povećana u odnosu na prvu godinu mjerenja samo po osi y.

S povećanjem radnih sati traktora, na makadamu je povećana razina vibracija koje utječu na trup rukovatelja traktora, dok je samo po osi z u zadnjoj godini mjerenja izmjerena niža razina vibracija u odnosu na prvu godinu mjerenja. U prvoj godini mjerenja (2015.) najviša razina vibracija koje utječu na trup rukovatelja izmjerena je tijekom gibanja po travnatoj

podlozi, dok su u druge dvije mjerne godine (2016. i 2017.) najviše vibracije izmjerene pri gibanju traktora po makadamu.

Trend rasta vibracija s povećanjem radnih sati traktora opravdao je postavljenu hipotezu da će s porastom radnih sati traktora, rasti i vibracije koje utječu na trup rukovatelja traktora.

4.2. Deskriptivna statistika u smjeru x, y i z osi

Tablica 4. Deskriptivna statistika u smjeru osi x

| Godine | Vozne podloge | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Broj mjerenja (N) |
|---------------|---------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 1 | 0,106667 | 0,0208167 | 3 |
| | 2 | 0,203333 | 0,0152753 | 3 |
| | 3 | 0,496667 | 0,0152753 | 3 |
| | Ukupno | 0,268889 | 0,1765251 | 9 |
| 2 | 1 | 0,120000 | 0,0529150 | 3 |
| | 2 | 0,303333 | 0,0152753 | 3 |
| | 3 | 0,603333 | 0,0251661 | 3 |
| | Ukupno | 0,342222 | 0,2134700 | 9 |
| 3 | 1 | 0,096667 | 0,0208167 | 3 |
| | 2 | 0,343333 | 0,0288675 | 3 |
| | 3 | 0,203333 | 0,0152753 | 3 |
| | Ukupno | 0,214444 | 0,1088705 | 9 |
| Ukupno | 1 | 0,107778 | 0,0319287 | 9 |
| | 2 | 0,283333 | 0,0650000 | 9 |
| | 3 | 0,434444 | 0,1801465 | 9 |
| | Ukupno | 0,275185 | 0,1735017 | 27 |

Iz prikazanih rezultata deskriptivne statistike za os x u Tablici 4. vidljiva je statistička razlika (0,05) srednjih vrijednosti između nezavisnih varijabli (godina, vozne podloge) te interakcija nezavisnih varijabli (godina, vozne podloge). Najveća srednja vrijednost vibracija utvrđena je kod nezavisne varijable agrotehnička podloga (0,603 ms⁻²), dok je najmanja izmjerena vibracija ukupno gledajući u trećoj godini (0,214 ms⁻²).

Tablica 5. Deskriptivna statistika za os y

| Godine | Vozne podloge | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Broj mjerenja (N) |
|---------------|---------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 1 | 0,093333 | 0,0208167 | 3 |
| | 2 | 0,200000 | 0,0100000 | 3 |
| | 3 | 0,203333 | 0,0152753 | 3 |
| | Ukupno | 0,165556 | 0,0559265 | 9 |
| 2 | 1 | 0,126667 | 0,0550757 | 3 |
| | 2 | 0,700000 | 0,0200000 | 3 |
| | 3 | 0,300000 | 0,0200000 | 3 |
| | Ukupno | 0,375556 | 0,2565205 | 9 |
| 3 | 1 | 0,116667 | 0,0208167 | 3 |
| | 2 | 0,410000 | 0,0360555 | 3 |
| | 3 | 0,283333 | 0,0152753 | 3 |
| | Ukupno | 0,270000 | 0,1293252 | 9 |
| Ukupno | 1 | 0,112222 | 0,0345607 | 9 |
| | 2 | 0,436667 | 0,2184605 | 9 |
| | 3 | 0,262222 | 0,0471110 | 9 |
| | Ukupno | 0,270370 | 0,1843592 | 27 |

Tablicom 5. prikazana je utvrđena statistička značajnost (0,05) srednjih vrijednosti između nezavisnih varijabli (godina, vozne podloge) te interakcije nezavisnih varijabli (godina, vozne podloge) u odnosu na vibracije. Najveća srednja vrijednost vibracija utvrđena je kod nezavisne varijable vozne podloge (0,700 ms⁻²), dok je najmanja vibracija izračunata ukupno gledajući u prvoj godini (0,165 ms⁻²).

Tablica 6. Deskriptivna statistika za os z

| Godine | Vozne podloge | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Broj mjerenja (N) |
|---------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 0,100000 | 0,0200000 | 3 |
| | 2 | 0,303333 | 0,0152753 | 3 |
| | 3 | 0,600000 | 0,0200000 | 3 |
| | Ukupno | 0,334444 | 0,2183524 | 9 |
| 2 | 1 | 0,110000 | 0,0360555 | 3 |
| | 2 | 0,703333 | 0,0450925 | 3 |
| | 3 | 0,703333 | 0,0351188 | 3 |
| | Ukupno | 0,505556 | 0,2985846 | 9 |
| 3 | 1 | 0,126667 | 0,0057735 | 3 |
| | 2 | 0,380000 | 0,0300000 | 3 |
| | 3 | 0,173333 | 0,0057735 | 3 |
| | Ukupno | 0,226667 | 0,1177922 | 9 |
| Ukupno | 1 | 0,112222 | 0,0238630 | 9 |
| | 2 | 0,462222 | 0,1859958 | 9 |
| | 3 | 0,492222 | 0,2441709 | 9 |
| | Ukupno | 0,355556 | 0,2450798 | 27 |

Tablicom 6. prikazana je utvrđena statistička značajnost (0,05) srednjih vrijednosti nezavisnih varijabli (godina, vozne podloge) te interakcija nezavisnih varijabli (godina, vozne podloge) u odnosu na vibracije. Najveća srednja vrijednost vibracija utvrđena je kod nezavisne varijable vozne podloge (0,703 ms⁻²). Najmanja vrijednost ukupno gledajući izmjerena je u trećoj godini (0,226 ms⁻²).

4.3. Analiza varijance između nezavisnih i zavisnih varijabli u smjeru x, y i z osi

Tablica 7. Analiza varijance za os x

| Izvor | Suma kvadrata | df | Prosječni kvadrat | F | Statistička značajnost | Djelomična kvadrat |
|------------------------------|---------------|----|-------------------|----------|------------------------|--------------------|
| Korigirani model | 0,771 | 8 | 0,096 | 142,889 | 0,000 | 0,984 |
| Presjek | 2,045 | 1 | 2,045 | 3033,236 | 0,000 | 0,994 |
| Godine | 0,074 | 2 | 0,037 | 54,896 | 0,000 | 0,859 |
| Vozna podloga | 0,481 | 2 | 0,241 | 356,857 | 0,000 | 0,975 |
| Godine /vozna podloga | 0,215 | 4 | 0,054 | 79,901 | 0,000 | 0,947 |
| Pogreška | 0,12 | 18 | 0,001 | | | |
| Ukupno | 2,827 | 27 | | | | |
| Ispravljeno ukupno | 0,783 | 26 | | | | |

Analiza varijance između nezavisnih i zavisnih varijabli prikazana u Tablici 7. ukazuje na signifikantnost u svim varijablama što znači da će se rezultati dobiveni mjerenjem ponoviti u 95 % slučajeva.

Tablica 8. Analiza varijance za os y

| Izvor | Suma kvadrata | df | Prosječni kvadrat | F | Statistička značajnost | Djelomična kvadrat |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|--------------------------|----------|-------------------------------|---------------------------|
| Korigirani model | 0,871 | 8 | 0,109 | 149,145 | 0,000 | 0,985 |
| Presjek | 1,974 | 1 | 1,974 | 2705,076 | 0,000 | 0,993 |
| Godine | 0,198 | 2 | 0,099 | 135,995 | 0,000 | 0,938 |
| Vozna podloga | 0,475 | 2 | 0,237 | 325,223 | 0,000 | 0,973 |
| Godine / vozna podloga | 0,198 | 4 | 0,049 | 67,680 | 0,000 | 0,938 |
| Pogreška | 0,13 | 18 | 0,001 | | | |
| Ukupno | 2,857 | 27 | | | | |
| Ispravljeno ukupno | 0,884 | 26 | | | | |

Signifikantnost po svim varijabala utvrđena je i u analizi varijance nezavisnih i zavisnih varijabli za os y prikazanih Tablicom 8., što znači da će se dobiveni rezultati ponoviti u 95 % slučajeva.

Tablica 9. Analiza varijance za os z

| Izvor | Suma kvadrata | df | Prosječni kvadrat | F | Statistička značajnost | Djelomična kvadrat |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|--------------------------|----------|-------------------------------|---------------------------|
| Korigirani model | 1,549 | 8 | 0,194 | 265,294 | 0,000 | 0,992 |
| Presjek | 3,413 | 1 | 3,413 | 4678,173 | 0,000 | 0,996 |
| Godine | 0,356 | 2 | 0,178 | 243,975 | 0,000 | 0,964 |
| Vozna podloga | 0,803 | 2 | 0,402 | 550,553 | 0,000 | 0,984 |
| Godine / vozna podloga | 0,389 | 4 | 0,097 | 133,325 | 0,000 | 0,967 |
| Pogreška | 0,13 | 18 | 0,001 | | | |
| Ukupno | 4,975 | 27 | | | | |
| Ispravljeno ukupno | 1,562 | 26 | | | | |

Analizom nezavisnih i zavisnih varijabli u smjeru osi z prikazane Tablicom 9, kao i u prethodne dvije analize (za osi x i y) utvrđena je signifikantnost po svim varijablama, što znači da će se dobiveni rezultati ponoviti u 95 % slučajeva.

5. RASPRAVA

Vallone i sur. (2016.) u istraživanju rizika djelovanja vibracija na rukovatelja ističu kako povećanje uporabe poljoprivrednog traktora postoji potencijalni rizik od negativnog utjecaja vibracija na rukovatelja što ukazuju i rezultati ovog istraživanja.

Deboli i sur. (2017.) u istraživanju ističu kako je izmjerena vrijednost vibracija u smjeru osi z bila konstantno 0,7 na svim voznim podlogama, dok su izmjerene vrijednosti u smjerovima osi x i y bile promjenjive, ovisno od vozne podloge. Samo na asfaltnoj podlozi izmjerene vrijednosti bile su manje od 1, dok su na ostalim voznim podlogama iznosile preko 1.

Nikolić (2015.) u prikazanim rezultatima istraživanja utjecaja vibracija na različitim voznim podlogama ističe kako najviše izmjerene vrijednosti ne prelaze dopuštenu graničnu vrijednost. U istom istraživanju prikazane su i srednje vrijednosti izmjerenih vibracija iz kojih je vidljivo da je najviša razina vibracija izmjerena na travi u smjeru sve tri osi (x, y i z), dok je najniža razina vibracija u smjeru sve tri osi izmjerena na asfaltu, a što se podudara i s rezultatima prve i druge godine mjerenje u ovom istraživanju.

Badhiya i Jain (2017.) ističu važnost daljnjeg istraživanja učinkovitog načina prigušivanja vibracija koje utječu na trup rukovatelja, ali i na vibracije koje djeluju na sustav ruka- šaka u cilju poboljšanja uvjeta rada rukovatelja kao i njegovog zdravlja kako ne bi došlo do trajnog oboljenja rukovatelja što je i cilj istraživanja u ovom radu pri povećanju radnih sati traktora. Za još preciznije rezultate istraživanja nužno je i na dalje pratiti razinu vibracija pri povećanju radnih sati traktora.

6. ZAKLJUČAK

Iz srednjih vrijednosti izmjerenih vibracija vidljivo je kako se razina vibracija povećava s povećanjem radnih sati traktora u prve dvije godine mjerenja što je u skladu s postavljenom hipotezom. U trećoj godini mjerenja razina vibracija je veća u odnosu na prvu godinu mjerenja na asfaltu i makadamu, dok je na travi neznatno niža. Uspoređujući drugu i treću godinu mjerenja vidljivo je da su rezultati veći u drugoj godini na makadamu i travi, dok je na asfaltu razina vibracija približno ista. Također, vidljivo je i kako vrsta vozne podloge ima značajan utjecaj na razinu vibracija, tako je na asfaltnoj podlozi izmjerena najniža razina vibracija dok je na travi i makadamu izmjerena znatno viša razina vibracija.

Iako se povećanjem radnih sati traktora povećava i razina vibracija, iz najviših izmjerenih vrijednosti vidljivo je kako niti jedna izmjerena vrijednost ne prelazi graničnu vrijednost koja iznosi $1,15 \text{ m/s}^2$ (Europska direktiva 2002/44/EC).

Analizom varijance nezavisnih i zavisnih varijabli utvrđena je visoka statistička značajnost što znači da će se ovim istraživanjem dobiveni rezultati ponoviti u 95 % budućih slučajeva.

U cilju poboljšanja uvjeta rada i zdravlja rukovatelja važno je nastaviti provoditi istraživanje kako bi se statistički preciznije utvrdilo povećanje razine vibracija u odnosu na povećanje radnih sati, kao i daljnja istraživanja u cilju poboljšanja ergonomskih uvjeta koja bi za svrhu imala smanjenje razine vibracija koje utječu na trup rukovatelja.

7. POPIS LITERATURE

1. Abouel-seoud, SA., (2019.): Control of driver whole-body vibration ride comfort in agricultural tractor. *Agricultural Engineering International*.
2. Adam, SA.,Jalil, NAA.,Razali KAM.,Ng, YG.,(2019.) : The effects of posture on suspension seat transmissibility during exposure to vertical whole-body vibration. *Journal of Physics*, 1-9.
3. Bandhiya, RD. i Jain, KK. (2017.): Evaluation of whole-body-vibration among tractor (41 kw) drawn subsoilers. *Current Agriculture Research Journal*,130-134.
4. Barač, Ž., Plaščak, I., Jurišić, M., Heffer, G., Vidaković, I., Zimmer, D., (2017.): Proizvedena razina mehaničkih vibracija u kabini rukovatelja poljoprivrednog traktora pri različitim agrotehničkim podlogama. 3th International scientific conference Sustainability challenges in agroeco systems, Osijek, Hrvatska.
5. Barač, Ž., Plaščak, I., Jurić T., Baličević, P., Duvnjak, V., Jurišić, M., Heffer, G., Marković, M.,(2019.): Influence of an uneven surface on the vibration occurrence affecting the tractor operator. *Tehnički glasnik*, Vol. 13 No. 3, 192-196.
6. Bogadi-Šare, A., (1993.): Djelovanje općih vibracija: nedovoljno poznat zdravstveni problem. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska.
7. Cutini, M.,Brambilla, M.,Bisaglia C., (2019.): Assessment of a ride comfort number for agricultural tractors: a simplified approach. *Biosystem engineering*, 35-44.
8. Cvetanović, B., Cvetković, M., Cvetković D., (2014.): Procena rizika po zdravlje vozača, od vibracija nastalih pri eksploataciji traktora. *Poljoprivredna tehnika*, 21-29.
9. Cvetanović, B., Zlatković, D., (2013.): Evaluation of whole-body vibration risk in agricultural tractor drivers. *Bulgarian journal of agricultural science*, 19: 1155-1160.
10. Dahham, GA.,Muhamed ST.,Saleh SM. (2019.) : Practical study for the effect of speed, direction of acceleration and type of machine on vibrations transferred to the steering wheel horticulture tractor type (goldoni). Department of Agricultural Machines and Equipment, University of Mosul, Mosul, Iraq, 48-58.

11. Damjan, J. (2017.): Utjecaj agrotehničkih podloga i materijala sjedala na proizvedenu razinu vibracija koje utječu na trpu rukovatelja. Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
12. De Almeida, SV., Sperotto, FCS., Doimo LS., Correia, TPS., dos Santos, JEG., Silva PRA. (2015.): Analysis of vibration levels in agricultural tractor with and without cabin. African journal of agricultural research, 4945- 4949.
13. Deboli, R., Calvo, A., Preti, C. (2017.): Whole-body vibration: measurement of horizontal and vertical transmissibility of an agricultural tractor seat. International journal of industrial ergonomics, 58: 69-78.
14. Directive 2002/44/EC of the European parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations).
15. DZNM (1999.): Mehaničke vibracije i udari- Ocjenjivanje izloženosti ljudi vibracijama cijelog tijela- 1. dio: Opći zahtjevi. HRN ISO 2631- 1 , Zagreb, Hrvatska.
16. DZNM (2010.): Mehaničke vibracije i udari - Procjena izloženosti ljudi vibracijama cijelog tijela - 4. dio: Smjernice za procjenu utjecaja vibracija i rotacijskih gibanja na udobnost putnika i posada u transportnim sustavima s fiksnim vođenjem. HRN ISO 2631- 4, Zagreb, Hrvatska.
17. Kim, JH., Dennerlein, JZ., Johnson, PW., (2018.): The effect of a multi-axis suspension on whole body vibration exposures and physical stress in the neck and low back in agricultural tractor applications. Applied Ergonomics, 80-89.
18. Kruger, J. (2019.) : Influence of posture on the deviation of measured acceleration values for tractor operators. Biosystems Engineering, 56-63.
19. Nikolić, A. (2015.): Proizvedena razina traktorskih vibracija pri različitim agrotehničkim podlogama koje utječu na trup rukovatelja. Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.
20. Nikolić, A. (2017). :Utjecaj brzine gibanja i agrotehničkih podloga na proizvedenu razinu vibracija koje utječu na trup rukovatelja. Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek.

21. Taboršak, D. (1995.):Ergonomija i medicina rada. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska.
22. Vallone, M., Bono, F., Quendler, E., Febo, P., Catania, P. (2016): Risk exposure to vibration and noise in the use of agricultural track- laying tractors. Annals of agricultural and environmental medicine, Vol 23, No 4, 591-597.
23. URL 1: Katarina Katušić: Raynaudov sindrom- uzroci, simptomi i liječenje.
[https://www.krenizdravo.rtl.hr/zdravlje/bolesti-zdravlje/raynaudova-bolest-uzroci-simptomi-i-lijecenje\(03.02.2020.\)](https://www.krenizdravo.rtl.hr/zdravlje/bolesti-zdravlje/raynaudova-bolest-uzroci-simptomi-i-lijecenje(03.02.2020.))
24. URL 2: Landini Powerfarm main features.[https://www.landini.it/as/product-as/powerfarm-cabplat-t0-t3-en/\(20.04.2020.\)](https://www.landini.it/as/product-as/powerfarm-cabplat-t0-t3-en/(20.04.2020.))
25. URL 3: Workplace Health and safety information.
<http://www.ilocis.org/documents/chpt50e.htm> (19.04.2020.)

8. SAŽETAK

U radu su izneseni rezultati istraživanja i usporedba mjerenja proizvedene razine traktorskih vibracija s obzirom na starost traktora i vrstu vozne podloge, a kao čimbenika koji utječu na trup rukovatelja u skladu s propisanim normama HRN ISO 2631-1 i HRN ISO 2631-4. Mjerenja su obavljena 2015., 2016. i 2017. godine na traktoru *Landini Powerfarm 100* na pristupnim cestama i proizvodnim površinama Poljoprivredne i veterinarske škole u Osijeku. Mjerenja su provedena uređajem MMF VM30. Rezultati prikazuju usporedbu mjerenja iz kojih je vidljivo da uslijed povećanja radnih sati traktora dolazi i do djelomičnog povećanja razine vibracija koje utječu na trup rukovatelja na svim mjernim voznim podlogama (asfalt, trava i makadam). Najviša razina vibracija 2015. godine izmjerena je na travi, dok je u 2016. godini najviša razina vibracija izmjerena na makadamu, a u 2017. godine najviša izmjerena vrijednost također je bila na makadamu. Na asfaltnoj podlozi u svim godinama mjerenja izmjerena je najniža razina vibracija. Izmjerene vrijednosti nisu prelazile dopuštenu vrijednost od $1,15 \text{ m/s}^2$.

Ključne riječi: poljoprivredni traktor, vibracije, trup, vozna podloga

9. SUMMARY

The thesis presents the results of the research and comparison of measurements of the produced level of tractor vibration with considering of the age of the tractor as factors affecting the hull of the operator in relation to tractor hours in 2015, 2016 and 2017 in accordance with the prescribed standards HRN ISO 2631-1 and HRN ISO 2631-4. Measurements 2015, 2016 and in 2017, they were performed on the Landini Powerfarm 100 tractor on the access roads and production surfaces of the Agricultural and Veterinary School in Osijek. Measurements were made with an MMF VM30. The results show a comparison of measurements over three years, which shows that the increase in tractor operating hours results in a partial increase in vibration levels affecting the operator's hull on all measuring surfaces (asphalt, grass and macadam). The highest vibration level in 2015 was measured on grass, while in 2016 the highest vibration level was measured on macadam, and in 2017 the highest measured value was also on macadam. On the asphalt surface, the lowest vibration level was measured in all years of measurement. The measured values did not exceed the permitted value of 1.15 m/s^2 .

Keywords: agricultural tractor, vibration, body, driving surface

10. POPIS TABLICA

- Tablica 1. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po asfaltu
- Tablica 2. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po makadamu
- Tablica 3. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija pri gibanju traktora po travi
- Tablica 4. Deskriptivna statistika u smjeru osi x
- Tablica 5. Deskriptivna statistika za os y
- Tablica 6. Deskriptivna statistika za os z
- Tablica 7. Analiza varijance za os x
- Tablica 8. Analiza varijance za os y
- Tablica 9. Analiza varijance za os z

11. POPIS SLIKA

- Slika 1. Wk težinski filter (HRN ISO 2631-1)
- Slika 2. Wd težinski filter (HRN ISO 2631-1)
- Slika 3. Traktor *Landini Powerfarm 100* (izvor: vlastita fotografija)
- Slika 4. Dimenzije traktora *Landini Powerfarm 100* (izvor: URL 2)
- Slika 5. Uređaj za mjerenje traktorskih vibracija MMF VM 30 (izvor: vlastita fotografija)
- Slika 6. Mjerenje razine traktorskih vibracija na asfaltu (izvor: vlastita fotografija)
- Slika 7. Mjerenje razine traktorskih vibracija na makadamu (izvor: vlastita fotografija)
- Slika 8. Prikaz pravca mjerenja za osi x, y i z (izvor: vlastita fotografija)
- Slika 9. Djelovanje vibracija u smjerovima osi x, y i z

12. POPIS GRAFIKONA

- Grafikon 1. Usporedba srednjih vrijednosti mjerenja vibracija na asfaltu
- Grafikon 2. Usporedba srednjih vrijednosti mjerenja vibracija na makadamu
- Grafikon 3. Usporedba srednjih vrijednosti mjerenja vibracija na travi
- Grafikon 4. Najviše izmjerene srednje vrijednosti u smjerovima osi x, y i z za sve tri podloge
- Grafikon 5. Srednje vrijednosti izmjerenih vibracija

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Diplomski rad

STAROST TRAKTORA I VRSTA VOZNE PODLOGE KAO ČIMBENICI VIBRACIJA NA POLJOPRIVREDNOM TRAKTORU

Jurica Žanić

Sažetak: U radu su izneseni rezultati istraživanja i usporedba mjerenja proizvedene razine traktorskih vibracija s obzirom na starost traktora i vrstu vozne podloge, a kao čimbenika koji utječu na trup rukovatelja u skladu s propisanim normama HRN ISO 2631-1 i HRN ISO 2631-4. Mjerenja su obavljena 2015., 2016. i 2017. godine na traktoru *Landini Powerfarm 100* na pristupnim cestama i proizvodnim površinama Poljoprivredne i veterinarske škole u Osijeku. Mjerenja su provedena uređajem MMF VM30. Rezultati prikazuju usporedbu mjerenja iz kojih je vidljivo da uslijed povećanja radnih sati traktora dolazi i do djelomičnog povećanja razine vibracija koje utječu na trup rukovatelja na svim mjernim voznim podlogama (asfalt, trava i makadam). Najviša razina vibracija 2015. godine izmjerena je na travi, dok je u 2016. godini najviša razina vibracija izmjerena na makadamu, a u 2017. godine najviša izmjerena vrijednost također je bila na makadamu. Na asfaltnoj podlozi u svim godinama mjerenja izmjerena je najniža razina vibracija. Izmjerene vrijednosti nisu prelazile dopuštenu vrijednost od $1,15 \text{ m/s}^2$.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak

Broj stranica: 37

Broj grafikona i slika: 14

Broj tablica: 9

Broj literaturnih navoda: 25

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: poljoprivredni traktor, vibracije, trup, voznopodloga

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. dr. sc. Željko Barač, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek****Graduate thesis****Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek****University Graduate Studies, course Mechanization****THE AGE OF THE TRACTOR AND THE TYPE OF DRIVING SURFACE AS A VIBRATION FACTORS
ON AN AGRICULTURAL TRACTOR**

Jurica Žanić

Abstract: The thesis presents the results of the research and comparison of measurements of the produced level of tractor vibration with considering of the age of the tractor as factors affecting the hull of the operator in relation to tractor hours in 2015, 2016 and 2017 in accordance with the prescribed standards HRN ISO 2631-1 and HRN ISO 2631-4. Measurements 2015, 2016 and in 2017, they were performed on the Landini Powerfarm 100 tractor on the access roads and production surfaces of the Agricultural and Veterinary School in Osijek. Measurements were made with an MMF VM30. The results show a comparison of measurements over three years, which shows that the increase in tractor operating hours results in a partial increase in vibration levels affecting the operator's hull on all measuring surfaces (asphalt, grass and macadam). The highest vibration level in 2015 was measured on grass, while in 2016 the highest vibration level was measured on macadam, and in 2017 the highest measured value was also on macadam. On the asphalt surface, the lowest vibration level was measured in all years of measurement. The measured values did not exceed the permitted value of 1.15 m/s^2 .

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak**Number of pages:** 37**Number of figures:** 14**Number of tables:** 9**Number of appendices:** 25**Original in:** Croatian**Keywords:** agricultural tractor, vibration, body, driving surface**Thesis defended on date:****Reviewers:**

1. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. dr. sc. Željko Barač, član

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.