

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Josip Laslo

Diplomski studij Mehanizacija

**VIBRACIJE KOJE UTJEČU NA SUSTAV RUKA-ŠAKA RUKOVATELJA PRI
GIBANJU POLJOPRIVREDNOG TRAKTORA PO RAZLIČITIM
AGROTEHNIČKIM PODLOGAMA**

Diplomski rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Josip Laslo

Diplomski studij Mehanizacija

**VIBRACIJE KOJE UTJEČU NA SUSTAV RUKA-ŠAKA RUKOVATELJA PRI
GIBANJU POLJOPRIVREDNOG TRAKTORA PO RAZLIČITIM
AGROTEHNIČKIM PODLOGAMA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. Željko Barač, mag. ing. agr., član

Osijek, 2018.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	2
2.1. Vrste vibracija	2
2.2. Utjecaj vibracija na ljudsko zdravlje	4
2.3. Vibracije na poljoprivrednom traktoru	11
3. MATERIJAL I METODE	14
4. REZULTATI I RASPRAVA	21
4.1. Usporedni statistički prikaz izmjerenih vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine	25
5. ZAKLJUČAK	31
6. POPIS LITERATURE	32
7. SAŽETAK	36
8. SUMMARY	37
9. POPIS TABLICA	38
10. POPIS SLIKA	39
11. POPIS GRAFIKONA	39
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	40
BASIC DOCUMENTATION CARD	41

1. UVOD

Prema hrvatskoj normi HRN ISO 5349-1, intenzivna vibracija se može prenjeti na ruke operatera od vibracijskih alata, strojeva i slično. Takve situacije se javljaju, na primjer, kada osoba radi sa alatima koju su pneumatski, električni, hidraulični ili na stroju sa motorom s unutrašnjim izgaranjem, udarnim alatima ili brusilicama. Ovisno o vrsti i mjestu rada, vibracije mogu djelovati samo na jednu ili obje ruke istovremeno, a može se prenjeti preko ruke ili ramena. Vibracije dijelova tijela često su izvor nelagode i mogu smanjiti vještine radnika odnosno rukovatelja.

Prema URL1, štetne vibracije nastaju na poljoprivrednim strojevima, pri čijem se upravljanju na osobu koja sjedi i upravlja prenose vibracije preko upravljača stroja. Vibracije nastaju i pri upotrebi prijenosnih strojeva, kao što su motorne lančane pile koje se drže u rukama. Poljoprivredni strojevi proizvode i buku. Dugotrajna izloženost utjecaju štetnih vibracija i buke može dovesti do vibracijske bolesti i trajnog oštećenja sluha.

Galović (2013.) navodi kako se vibracije na radnom mjestu pojavljuju u svakoj industrijskoj djelatnosti, transportu, sportu, radu u šumi, poljoprivredi i građevinarstvu. S obzirom na njihovu štetnost, vibracije koje se prenose na rukovatelje mehaniziranim sredstvima rada s prihvatnih ručki ili kola upravljača putem dlana i prstiju, poznate kao vibracije ruka-šaka, nastoje se ograničiti.

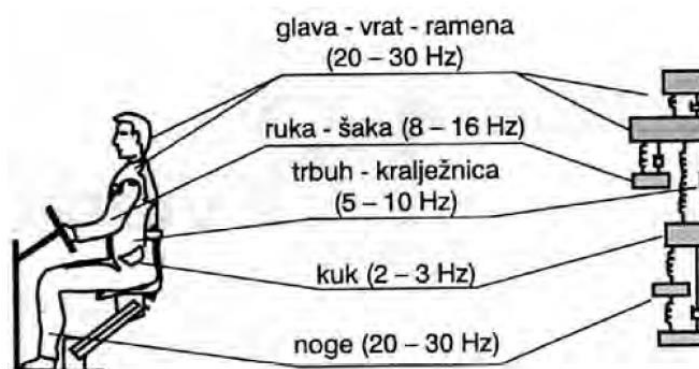
Cvetanović (2015.) navodi da su vozači traktora tijekom svojih svakodnevnih radnih aktivnosti izloženi mnogobrojnim nepovoljnim uvjetima koji imaju štetno djelovanje na zdravlje čovjeka i njegovo efikasno obavljanje radnih zadataka. Pored buke, velike vlažnosti, visokih i niskih temperatura, prašine i različitih kemijskih zagađivanja, kao jedna od značajnih štetnosti pojavljuju se i vibracije. Isti autor dalje navodi kako vibracije nastaju kao posljedica rada motora samog traktora, a u interakciji sa neravnim terenima. Cijelo vozilo je izloženo složenim oscilacijskim procesima koji se od motora, preko transmisije i šasijske, prenose do kabine i dalje preko poda, sjedišta i radnih komandi do samog tijela vozača traktora.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Vrste vibracija

Prema Brkiću i sur. (2005.) jedan od vrlo značajnih čimbenika koji negativno utječu na rukovatelja stroja tijekom njegovog rada jesu mehaničke vibracije. One se javljaju kao posljedica gibanja traktora, rada motora, rada elemenata transmisije, rada priključnog stroja i slično. Radna brzina traktora također značajno utječe na nastanak mehaničkih vibracija. Isti autori dalje navode kako se mehaničke vibracije na samog rukovatelja prenose preko sjedala, poda traktorske kabine, upravljača, ručica i komandi za upravljanje. Mehaničke vibracije negativno utječu na elemente pojedinih sustava, spojeve te nerijetko dovode do intenzivnog trošenja, lomova i slično.

Mehanički utjecaj vibracija na ljudsko tijelo može se pojednostavljeno prikazati sljedećom slikom (slika 1.)



Slika 1. Mehanički utjecaj vibracija na ljudsko tijelo

(Šarić i Žuškin, 2002.)

Šarić i Žuškin (2002.) navode da se visinu frekvencije može podijeliti u tri grupe:

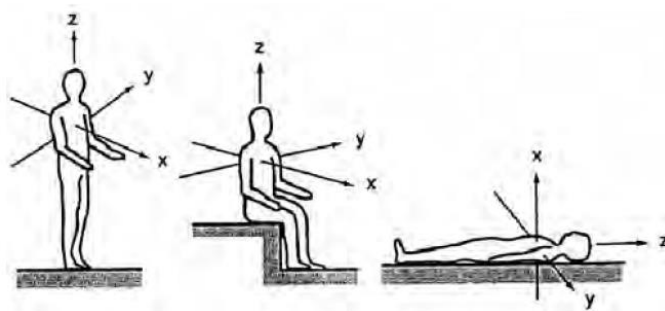
- Vibracije koje izazivaju tzv. morsku bolest (*Motion sickness*) u frekventnom području 0,1 – 0,63 Hz
- Vibracije koje se prenose na cijelo tijelo u frekventnom području 1 – 80 Hz
- Vibracije koje se prenose na sustav ruka-šaka u frekventnom području 6,3 – 800 Hz

Stanković i Tričković (1984.) navode da vibracije predstavljaju oscilatorno kretanje čvrstih tijela ili čestica čvrstih tijela u području infrazvučnih i djelomično zvučnih frekvencija. Osnovne karakteristike vibracija su frekvencija, amplituda, brzina i ubrzanje vibracije.

Isti autori dalje navode kako se u praksi najčešće mjeri veličina ubrzanja vibracije i usvojena je u međunarodnim standardima kao pokazatelj dopuštenog izlaganja vibracijama. Obzirom na smjer širenja vibracija mogu biti vodoravne, okomite, kružne, poprečne ili višesmjerne.

Prema URL9, vibracije su periodično ili ciklično gibanje mehaničkih sustava (strojevi, građevine i sl.) oko ravnotežnog položaja prouzročeno vanjskom periodičnom silom ili otklonom iz ravnotežnog sustava. Kada se sustav, pomaknut iz ravnotežnog položaja, prepusti daljem gibanju, vibracije su slobodno prigušene ili su u idealnom slučaju neprigušene. Ako na sustav djeluje vremenski promjenljiva poremećajna (uzbudna) sila, vibracije su prisilne. Vibracije se proračunavaju s pomoću diferencijalnih jednačbi iz kojih se dobivaju amplitude, te osobito važne vlastite frekvencije sustava, koje, ako su bliske frekvenciji poremećaja, dovode do znatnog povećanja amplituda to jest do rezonancije. Vibracije mogu djelovati štetno po ljudsko zdravlje, na udobnost vožnje i prouzročiti lomove konstrukcija. Namjerno izazvane vibracije koriste se kod mehaničkih sita, drobilica i slično.

Šarić i Žuškin (2002.) navode da su pri razmatranju štetnog djelovanja vibracija značajna četiri parametra: smjer djelovanja vibracija, vrijeme izlaganja, razina vibracija i frekvencijska karakteristika osjetljivosti. Prema tome koordinatni sustav za čitavo tijelo u stojećem, sjedećem i ležećem položaju na fiksnom radnom mjestu prikazan je na slici 2.



Slika 2. Koordinatni sustavi za cijelo tijelo u stojećem, sjedećem i ležećem položaju

(Šarić i Žuškin, 2002.)

2.2. Utjecaj vibracija na ljudsko zdravlje

Neugebauer i sur. (2010.) navode kako opasnosti po zdravlje ovise o mjestu prijenosa vibracija na tijelo, intenzitetu vibracija, ponavljanju izloženosti vibracijama tijekom radnog dana i trajanju izloženosti tijekom godina. Isti autori dalje navode rizik kojemu je pojedinac izložen ovisi o: intenzitetu vibracija, frekvenciji, trajanju izloženosti, načinu rada i vrsti aktivnosti.

Europska direktiva (2002/44/EC) daje upozoravajuću vrijednost izloženosti (engl. *exposure action value*) za dnevno izlaganje vibracijama koje se prenose na šake i ruke radnika, kao i graničnu vrijednost izloženosti (engl. *exposure limit value*) koja u profesionalnim uvjetima ne smije biti prekoračena:

- Dnevna upozoravajuća vrijednost izloženosti iznosi $2,5 \text{ m/s}^2$
- Dnevna granična vrijednost izloženosti iznosi 5 m/s^2

Tablica 1. Dopuštena razina vibracija koja se prenosi na sustav ruka-šaka (Šarić i Žuškin, 2002.)

Dopušteno vrijeme dnevnog izlaganja (h)	Dobivena vrijednost za sve tri osi (m/s^2)
8	2,1
4	2,9
2	4,1
1	5,8

Prema URL2, simptomi bolesti koje izazivaju vibracije razvijaju se postupno. Prvo se pojavljuje bol u rukama ili nogama, parestezija (promjena osjetljivosti, trnci), grčevi u prstima i sl. Od ranih uobičajenih simptoma bolesti karakterizirano je kao razdražljivost, nesаница, promjene raspoloženja. Mjere zaštite obuhvaćaju ograničenje na dob (ne manje od 18 godina), ograničenje tijekom radnog vremena (ne više od 2/3 radnog vremena). Propisuje se i organizacija rada sa prekidima. Potrebno je provoditi osobnu zaštitu od vibracija koja podrazumjeva rukavice protiv vibracija, kape, cipele i slično.

Prema URL3, oštećenja vibracijama nastaju pri rukovanju s pneumatskim alatima (slika 4.) i rotirajućim alatom (upotreba motornih pila, zakivanje metala, razbijanje stijena, rudarski radovi, industrijska sječa drva itd.). Posljedice djelovanja vibracija očituju se primjenama na mekim tkivima i kostima (osteoporoza, male zone dekalifikacije). Najčešće su zahvaćeni šaka, lakat i rame. Moguća su i oštećenja živaca. Česta su vaskularna oštećenja, a simptomi koji na to ukazuju su blijedilo ili cijanoza prstiju ruke, posebno pri istovremenoj izloženosti hladnoći (vazoneuroza, Raynaudov fenomen). Posljedica promjena na zglobovima i krvnim žilama su bolovi slični reumatskim i parestezije.

Johnson i sur. (2017.) mjerili su razinu vibracija pneumatskih alata, točnije strojnog čekića za razbijanje betona (slika 3.). Konvencionalni strojni čekić mase 41 kg najčešće se koristi u građevinskoj industriji, vjeruje se da će lakši strojni čekić za razbijanje betona biti manje učinkovit ili nesposoban za obavljanje određenih zadataka. Usporedili su konvencionalni i 35% lakši strojni čekić pri razbijanju armirane betonske ploče od 15 cm. Došli su do zaključka da je prednost korištenja lakšeg alata smanjenje aktivnosti mišića, no lakši alat je rezultirao povišenom razinom vibracija, uglavnom zbog povećanja vremena za obavljanje zadatka, iako nisu postojale velike promjene u razini vibracija koje su mjerene na ruci. Na temelju tih rezultata, lakši alat može i do dva puta smanjiti rizik od ozljeda leđa uslijed podizanja kao i omogućiti radnicima više snage i bolje obavljene posao.



Slika 3. Rad sa pneumatskim alatima

(Neugebauer i sur., 2010.)

McDowell i sur. (2017.) navode da neki ručni alati mogu generirati značajne vibracije na frekvencijama ispod 25 Hz. U njihovom istraživanju sudjelovalo je 8 ljudi, te za razliku od mnogih studija, testirali su prenošenje vibracija na desnu i lijevu ruku istovremeno. Utvrdili su da je u području gornjeg dijela ruke frekvencija vibracija bila 7-12 Hz, u području ramena 7-9 Hz, te u području vrata i kralježnice između 6-7 Hz.

Azmir i sur. (2016.) navode da je dugotrajna izloženost vibracijama koje se prenose sa sustav ruka-šaka rukovatelja strojeva za rezanje trave povezana sa pojavama simptoma i znakova profesionalnih bolesti povezanih sa sindromom vibracija ruku (HAVS). Proveli su istraživanje o izloženosti vibracijama koje utječu na sustav ruka-šaka na 168 muških radnika iz industrije održavanja travnjaka koji koriste ručne strojeve za rezanje trave kao dio njihovog rada. Rezultati su pokazali da je bilo pozitivnih HAVS simptoma i znakova između nisko umjerene skupine izloženosti i skupine sa visokom izloženošću među radnicima za rezanje trave. Veliki postotak testirane skupine radnika je pokazao da su prsti postali bijeli nakon nekoliko godina izloženosti vibracijama na radnom mjestu te su počeli osjećati ukočenost u prstima. Manje od 14,3% radnika je izjavilo da su bili svjesni vibracija na radnom mjestu.

Cederlund i sur. (2001.) navode kako se malo zna o učincima koji izloženost vibracijama ručni alat može dati sposobnost obavljanja svakodnevnog života. Cilj ovog istraživanja je bio analiziranje posljedica izloženosti vibracijama na obavljanje dnevnih aktivnosti. Istraživali su 105 izloženih muških radnika. Rezultat je bio da je 44 radnika (42%) izrazilo jednu ili više poteškoća u obavljanju dnevnih aktivnosti. Podaci su također pokazali da bol i smanjena snaga prihvata pokazuje povezanost s poteškoćama u obavljanju dnevnih aktivnosti. Kao zaključak su iznijeli da se rad u hladnom okruženju, korištenje vibrirajućih alata, podizanje malih predmeta, otvaranje poklopaca, podizanja i nošenja predmeta bile aktivnosti koje se smatraju najtežim.

Pobedin i sur. (2016.) navode kako se u kabini poljoprivrednog traktora mogu ugraditi prigušivači vibracija kako bi se smanjila količina vibracija koja utječe na rukovatelja stroja. Prigušivači predstavljaju uređaje koji su korišteni zajedno sa strukturom sustava vibracija koje se koriste kako bi se smanjile količine vibracija specifičnih frekvencija i parcijalno primili energiju samih vibracija.

Goglia i sur. (2012.) navode kao činjenicu da je kod radnika čije je sustav ruka-šaka redovito izložen vibracijama većeg intenziteta, koje se prenose preko dlanova i prstiju, može doći do oštećenja s nizom posljedica koje se obično nazivaju zajedničkim imenom “vibracijski sindrom šake i ruke“.

Poplašen i Kerner (2013.) navode kako vibracije koje utječu na sustav ruka-šaka smanjuju udobnost i učinkovitost rukovatelja, a izlaganje vibracijama može izazvati trajne i nepovratne posljedice na zdravlje čovjeka. Kod rukovatelja koji su redovito izloženi vibracijama koje se sa strojeva prenose na sustav ruka-šaka nakon nekog vremena može doći do niza oštećenja, odnosno poremećaja u krvožilnom, živčanom ili mišićno-koštanom sustavu šake ili ruke. Čitava skupina profesionalnih bolesti koje su posljedica dugotrajnog izlaganja povišenim razinama vibracija naziva se „vibracijski sindrom“ ili češće engleski izraz HAVS – *Hand Arm Vibration System*.



Slika 4. Bljedilo prstiju zbog poremećaja krvotoka
(Poplašen i Kerner, 2013.)

Goglia i sur. (2012.) upozoravaju na još dva parametra za ocjenu opasnosti izlaganja vibracijama, a to su:

- Razine vibracija ili intenzitet
- Vrijeme izlaganja.

Vukorepa i Burger (2011.) navode da je za zaštitu od štetnih utjecaja vibracija moguće provoditi sljedeće zaštitne mjere:

- Redovito održavanje sredstava za rad,
- Amortiziranje rukohvata sredstava kako bi se ublažio prijenos vibracija,
- Smanjiti izloženost vibracijama u vidu smanjenja radnog vremena,
- Radnicima koji obavljaju posao na strojevima koji stvaraju vibracije osigurati osobna zaštitna sredstva i opremu (antivibracijske rukavice, antivibracijsko sjedište, antivibracijsko stajalište i slično),
- Provesti adekvatna arhitektonska i konstrukcijska rješenja prema pravilima za smanjenje vibracija i slično.

Prema europskoj direktivi (2002/44/EC) intenzivne vibracije niskih frekvencija koje se prenose na ruke i šake mogu uzrokovati degenerativne promjene u kostima šake, zglobovima prstiju i ručnog zgloba, u području lakta i ramena. Opterećenje zglobova može zahvatiti ručne zglobove, zglobove lakta i akromioklavikularne zglobove.

Tablica 2. Pet grupa poremećaja povezanih sa utjecajem vibracija koje se prenose na sustav ruka-šaka (HRN ISO 5349-1:2001(E))

GRUPA	POREMEĆAJ
A	Poremećaj krvožilnog sustava
B	Poremećaji u koštanom sustavu
C	Poremećaji u perifernom živčanom sustavu
D	Poremećaji u mišićima
E	Ostali poremećaji (npr. vezani uz čitavo tijelo i centralni živčani sustav)

Pan i sur. (2018.) proveli su dvije serije istraživanja za odnos između snage prijanjanja ruku i biodinamičkog odgovora sustava ruka-šaka. U prvom istraživanju, provodljivost vibracija kroz sustav ruka-šaka izmjeren je kao kontinuirana funkcija sile prihvata dok je ruka podvrgnuta izazvanim vibracijama. U drugom istraživanju, biodinamički odgovor sustava

podvrgnut je širokopojasnim slučajnim vibracijama koji su izmjereni pod pet razina sila držanja i kombinacijom sila držanja i guranja. Ustvrdili su da se provodljivost na svakoj frekvenciji povećava s povećanjem sile prijanjanja prije postizanje maksimalne razine izazvane vibracije.

Prema europskoj direktivi (2002/44/EC) kako bi se smanjio negativan utjecaj vibracija na sustav ruka-šaka rukovatelja, potrebno je prilikom boravka u vibrirajućoj sredini koristiti razna zaštitna sredstva koja će ublažiti utjecaj vibracija kao što su antivibracijske rukavice (slika 5.), radne cipele, odijela i slično.



Slika 5. Antivibracijske rukavice (URL4)

Rezali i Griffin (2016.) su pretpostavili da bi povećanje debljine materijala rukavice smanjilo vibracije prenesene na sustav ruka-šaka. Tri materijalna uzorka zaštitnih rukavica protiv vibracija su debljine 6,4 mm, 12,8 mm i 19,2 mm. Mjerene su dinamičke krutosti na sva tri materijalna uzorka, prividnu masu na dlanu i prstu rukovatelja te prijenos vibracija na dlan i prst rukovatelja stroja. Na frekvencijama od 20 do 350 Hz, materijal je smanjio vibracije na dlan, ali je povećao utjecaj mehaničkih vibracija na prst. Prijenos vibracija kroz zaštitne rukavice ovisi o dinamičkom odgovoru ruke i dinamičkoj krutosti materijala rukavice, što ovisi o debljini materijala. Mjerenje prijenosa vibracija kroz rukavice na dlan ruke dao je pogrešnu naznaku prijenosa vibracija na prste rukovatelja stroja.

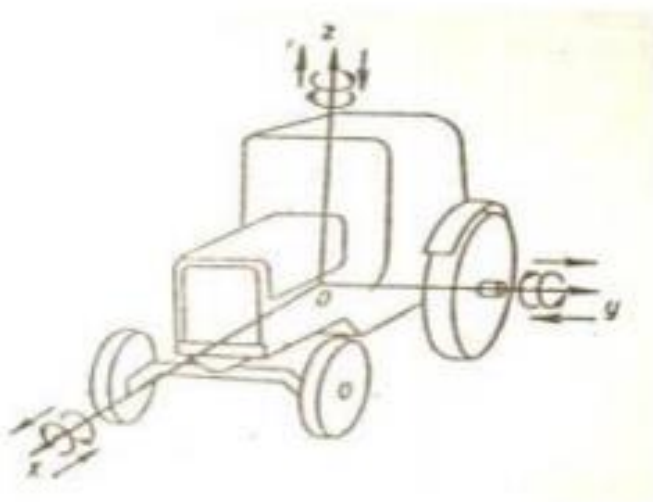
Rezali i Griffin (2017.) su uspoređivali tri uzorka materijala zaštitnih rukavica (promjera 12,5 mm, 25,0 mm i 37,5 mm) iz svake od tri testirane rukavice. Mjerili su njihove dinamičke krutosti i provodljivost mehaničkih vibracija materijala na dlan ruke odnosno na sustav ruka-šaka koje su zatim mjerili na frekvencijama od 10 do 300 Hz. Daljnja mjerenja pokazala su očite utjecaje na ruku-šaku rukovatelja stroja te je bila neovisna od područja kontakta na frekvencijama manjim od 40Hz, no krutost i prigušenje vibracija povećao se s povećanjem površine prihvata zaštitnih rukavica. Zaključeno je da veličina kontakta ima veliki utjecaj na prijenos vibracija kroz rukavicu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja. Prijenos vibracija kroz zaštitne rukavice ovisi o dinamičkoj krutosti materijala rukavica i dinamičkom odgovoru ruke. Ustvrdili su da prijenos vibracija ovisi o dodirnoj površini između materijala rukavice i ruke.

McDowell i sur. (2013.) navode da se kao sredstvo zaštite od vibracija koje se prenose na susstav ruka-šaka najčešće koriste rukavice za smanjenje vibracija koje služe za kontrolu izloženosti prenesenim vibracijama generiranim ručnim alatima. U njihovom istraživanju sudjelovalo je sedam odrasnih muškaraca u procjeni sedam modela rukavica pomoću biodinamičkog sustava za ispitivanje vibracija. Ovo istraživanje je pokazalo da su, u pravilu antivibracijske rukavice najučinkovitije u smanjenju vibracija prenesenih na dlan te uz duž podlaktice.

2.3. Vibracije na poljoprivrednom traktoru

Brkić i sur. (2005.) utvrdili su da se vibracije na traktoru stvaraju kako posljedica gibanja traktora, rada motora, rada elemenata transmisije te rada priključnog stroja. Osim štetnog djelovanja na elemente pojedinih sustava traktora te vibracije prenose se i na čovjeka te utječu na njegovo zdravlje te utječu na njegovo zdravlje, trenutnu koncentraciju i slično.

Prema Brkić i sur. (2005.) mehaničke vibracije se javljaju u smjeru tri koordinatne osi (x, y i z) – translacijske vibracije ili oko koordinatne osi – rotacijske vibracije (slika 6.).



Slika 6. Rotacijske i translacijske vibracije u koordinatnim osima

(Brkić i sur., 2005.)

Scarlett i sur. (2007.) navode da su svi traktori starije generacije, kao i novi traktori manje poznatih proizvođača bez elastičnog ogibljenja i sa običnim mehaničkim sjedalima. Procjene govore da je čak 95% vozača ovih traktora, tijekom osmosatnog radnog vremena izloženo povišenim razinama vibracija.

Gomez-Gil i sur. (2014.) navode kako su moderni traktori često opremljeni raznim komponentama kako bi se smanjile vibracije koje se prenose na rukovatelja stroja. Npr. moderni pneumatici niskog tlaka, kako se smanjuje tlak u pneumaticima, smanjuje se i razina vibracija, zatim zračni sustav ovjesa sjedala i kabine, te suspenzija prednje osovine, koja je od svih mjera naučinkovitija u smanjenju vibracija prenesenih na rukovatelja i to čak do 30%.

Cvetanović i sur. (2014.) navode kako pojedine studije ukazuju da je oko 10% svih vozača traktora, tijekom osmosatnog radnog vremena, izloženo razinama iznad dnevne granične vrijednosti izloženosti. Ukoliko je slučaj da je prekoračeno radno vrijeme od navedenog taj postotak raste na 27%. Djelovanja vibracija na zdravlje čovjeka su brojna, ali se često zbog udruženosti vibracija sa drugim profesionalnim opasnostima i štetnostima, ne može uspostaviti uzočno-posljedična veza između djelovanja vibracija i ugrožavanja zdravlja čovjeka. Štetno svojstvo vibracija naročito je izraženo kod starijih poljoprivrednih strojeva kod kojih ne postoji efikasan sustav amortiziranja vibracija i udaraca.

Almeida i sur. (2015.) su uspoređivali poljoprivredne traktore sa kabinom i bez kabine. Utvrdili su kako se vibracije bolje apsorbiraju unutar kabine nego kod traktora bez kabine. Nadalje, navode kako je kabina važan element kod traktora iz razloga što štiti rukovatelja od vibracija, unatoč tome što čuva i od nepovoljnih vremenskih uvjeta, prašine i mogućih objekata koji bi mogli ozlijediti rukovatelja pri obavljanju agrotehničkih operacija.

Prema URL8, cilj upotrebe kompozitnih barijera u odjeljcima motora je smanjenje buke, vibracija i toplinskog prijenosa u kabinu do rukovatelja stroja. Rješenja koja se tipično koriste u ovim primjenama su akustične pjene. Osim toga, toplinski štitnici i ostale materijali toplinske izolacije mogu se koristiti za zaštitu od visokih izvora temperature kao što su ispušne cijevi i turbopunjači. Ako povećana količina vibracija uzrokuje nelagodu za rukovatelje poljoprivrednog traktora ili se oštećuje oprema, antivibracijski nosači pružaju optimalnu izolaciju za generatore, motore i kompresore. Otirači na podovima kabine traktora smanjuju buku i vibracije koje se prenose kroz pod vozila ili kabine za upravljanje, a dostupne su s jako izdržljivim površinama otporne na trošenje materijala.

Cvetanović i sur. (2014.) mjerili su vibracije koje utječu na rukovatelja stroja u realnim radnim uvjetima, na različitim tipovima poljoprivrednih traktora. Utvrdili su da noviji traktori renomiranih proizvođača imaju znatno manji utjecaj vibracija na rukovatelja u odnosu na starije traktore proizvođača IMT. Navode da se također nakon osmosatnog radnog vremena postoji mogućnost da će doći do tzv. profesionalnih bolesti. Isti autori dalje navode kako se prve posljedice konstantnog izlaganja visokoj razini vibracija primjećuju tek nakon 5 godina rada.

Seliž (2016.) je mjerila vibracije na kolu upravljača skidera ECOTRAC V koji se koristi u šumarstvu na pet režima rada (prazni hod, na 1500 min⁻¹, na 1800 min⁻¹, 2200 min⁻¹, te puni gas) i za svaku koordinatnu os (x, y i z) obavljeno je po pet mjerenja. Na osnovi izmjerenih vrijednosti izračunata je aritmetička sredina kako je prikazano u tablici 3.

Tablica 3. Izmjerene vrijednosti vibracija na kolu upravljača skidera ECOTRAC V (Seliž 2016.)

Režim rada	Koordinatna os		
	x	y	z
Prazni hod	1,37	2,00	1,57
1500 min ⁻¹	0,84	0,28	0,35
1800 min ⁻¹	0,50	0,28	0,25
2200 min ⁻¹	0,42	0,30	0,28
Puni gas	0,44	0,39	0,25

Seliž (2016.) je na osnovi rezultata mjerenja zaključila da su vibracije na volanu uz izuzetak vibracija u praznom hodu dobro prigušene. Zaključila je da će se kod 10% vozača izloženih izmjerenim razinama vibracija pojaviti znakovi trajnih posljedica nakon relativno dugog vremena uz pretpostavku da bi se tijekom punog radnog vremena održavao približno najmanji broj okretaja. Pri ostalim režimima rada, razina vibracija je još niža. Može se sa sigurnošću utvrditi da su vibracije koje se prenose sa volana na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja dovoljno niske da je ovaj traktor potpuno sigurno sredstvo rada.

Cilj istraživanja je utvrditi razinu vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja pri gibanju poljoprivrednog traktora po različitim agrotehničkim podlogama. Pretpostavka je da će se sa povećanjem broja radnih sati traktora povećati i razina vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja.

3. MATERIJAL I METODE

Istraživanje je obavljano 2015., 2016. i 2017. godine s ciljem mjerenja vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja pri gibanju po različitim agrotehničkim podlogama (asfalt, makadam i trava) u odnosu na radne sate poljoprivrednog traktora. Mjerenje razine vibracija obavljeno je na traktoru proizvođača LANDINI tipa POWERFARM 100 (slika 7.). Traktor je prve godine istraživanja imao 5800 radnih sati, druge godine 6800 radnih sati, a treće godine 7800 radnih sati.

Tehničke karakteristike traktora LANDINI tipa POWERFARM 100 (URL5):

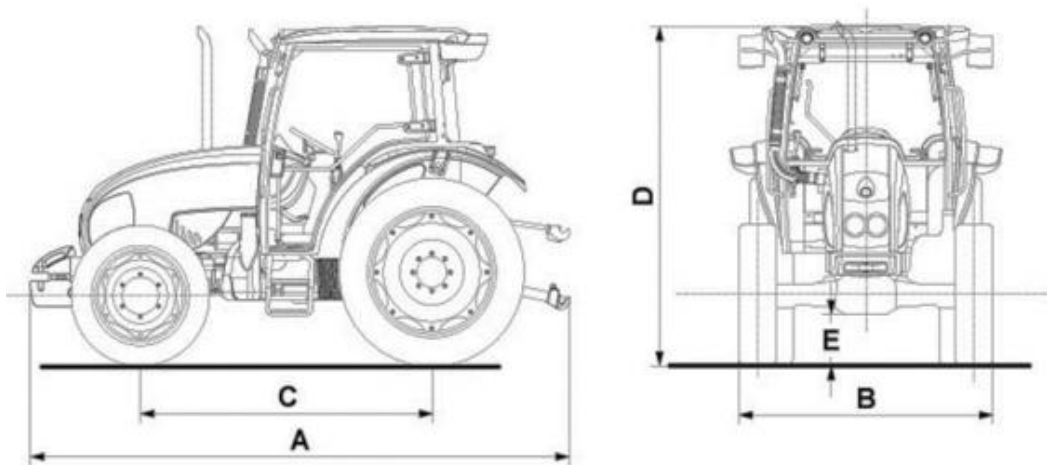
- Maksimalna snaga motora (kW)/(KS) – 68/93
- Maksimalni obrtni moment (Nm) – 363
- Broj cilindara/zapremnina (komada)/(cm³) – 4/4400
- Brzine – 12 naprijed + 12 unazad
- Kapacitet podizanja (kg) – 2600
- Zapremnina spremnika goriva (l)- 102



Slika 7. Poljoprivredni traktor LANDINI POWERFARM 100 (vlastita fotografija)

Dimenzije traktora LANDINI POWERFARM 100 (slika 8.):

- Pneumatici – 18,4-R30
- A – dužina (mm) – 4136
- B – širina (mm) – 2063
- C – razmak između osovina (mm) – 2341/2316
- D – visina s ramom (mm) – 2550
- D – visina s kabinom (mm) – 2550
- E – klirens (mm) – 453
- Masa (bez utega i kabine) (kg) – 3330



Slika 8. Prikaz dimenzija traktora LANDINI POWERFARM 100 (URL6)

Istraživanja su obavljena u skladu sa propisanim normama HRN ISO 5349-2 i HRN ISO 2631-1 u kojima su zadana ograničenja izlaganja vibracijama i njihov učinak na zdravlje rukovatelj stroja. Mjerenje razine vibracija je obavljeno prema smjernicama za mjerenje na radnom mjestu koje se nalazi u normama HRN ISO 5349-2. Mjerenja su obavljena pripadajućim uređajem za mjerenje vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka MMF VM30 (slika 9.).

Istraživanja su eksploatacijskog tipa, tj. mjerenja su obavljena u radu. Ispitivanja su obavljena na proizvodnim površinama i pristupnim cestama srednje Poljoprivredne i veterinarske škole Osijek. Mjerene su mehaničke vibracije koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja.



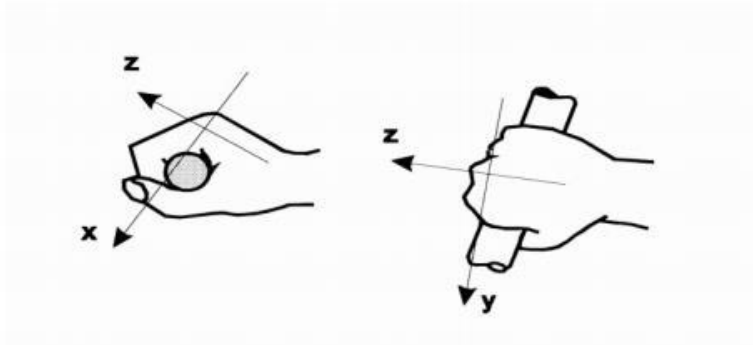
Slika 9. Uređaj za mjerenje vibracija MMF VM30 (vlastita fotografija)

Svako mjerenje je trajalo 30 minuta i ponovljeno je tri puta. Na osnovi ta tri mjerenja izračunata je srednja vrijednost koja je upotrebljena dalje u radu.

Sva mjerenja obavljena su u skladu sa normama HRN ISO 2631-1 i HRN ISO 5349-1:2001 koje su primjenjive na ljude normalnog zdravlja izložene vibracijama po njihovoj x, y i z osi (slika 10.).



Slika 10. Prikaz pravaca djelovanja vibracija na određene djelove tijela u sjedećem položaju (HRN ISO 2631-1)



Slika 11. Shematski prikaz koordinatnog sustava vezanog za sustav ruka-šaka
(HRN ISO 5349-1)

Prema normi HRN ISO 5349-1 razina vibracija iskazuje se akceleracijom ponderiranom s obzirom na frekvenciju, izmjerenom na površini ručke alata ili predmetu rada, koji su u izravnom doticaju sa šakom, a mjerna jedinica u kojima se ista izražava jesu metri po sekundi na kvadrat (m/s^2). Mjerenjem je potrebno dobiti vrijednosti koje prikazuju prosječni intenzitet vibracija tijekom cjelokupne upotrebe određenog alata ili obavljanja određenog radnog procesa.

U svakoj od tri osi mjeri se prosječna vrijednost, ponderirana sa obzirom na frekvenciju, a označava se sa a_{hw} . Pri procjeni izloženosti vibracijama koristi se ukupna vrijednost vibracija koja uključuje mjerenja u osi x, y i z, a dobivena je sljedećim izračunom:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Prema normi HRN ISO 5349-1:2001 preporuča se mjerenje u sve tri koordinatne osi kako je to prikazano na slici 11. Na temelju vremenskih zapisa signala karakterističnih perioda izlaganja vibracijama provodi se daljnja analiza. Za svaku os vrednuje se vremenski signal vibracija pomoću filtera (analogne ili digitalne izvedbe) propisane prijenosne funkcije koje je za sve osi isti ili množenjem razina vibracija u pojedinim intervalima s odgovarajućom faktorima prema relaciji:

$$a_{hw(x,y,z)} = \sqrt{\sum_{i=1}^h (W_{hi} \times a_{hi})^2}$$

Gdje je: a_{hw} – vrednovana razina vibracija u pojedinoj osi u m/s^2 ; W_{hi} – faktor vrednovanja za pojedine intervale u frekvencijskom rasponu od 6,3 do 1250 Hz; a_{hi} – odgovarajuća razina vibracija u pojedinom intervalu dobivenom analizom vremenskog signala vibracija u m/s^2 .

S obzirom na postavljene zahtjeve, akcelerometar je pričvršćen za kolo upravljača (slika 13.) za koje se ispostavilo da ima zadovoljavajuća prihvatna svojstva za rukovatelja stroja tijekom mjerenja te je kao takav postavljen između ruke i kola upravljača stroja. Mjerenja vibracija su provedena istovremeno u sve tri osi koje su bile postavljene sukladno biodinamičkom koordinatnom sustavu (slika 11.) preporučenom u normi HRN ISO 5349-1:2001(E).

Na slici 12. prikazan je akcelerometar koji je pričvršćen na kolo upravljača stroja. Prema URL7, akcelerometar je uređaj za mjerenje akceleracije tijela u navigaciji, aeronautici, seizmologiji i slično. Pri mjerenju se kućište akcelerometra pričvrsti na tijelo kojemu se mjeri razina vibracija.



Slika 12. Položaj akcelerometra na kolu upravljača (vlastita fotografija)

Dana 5. lipnja 2017. godine obavljena su mjerenja traktorskih vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja na asfaltu (slika 13.). Izmjerena temperatura zraka iznosila je $27^{\circ}C$, a relativna vlažnost zraka 67%. Vjetar je zanemariv.



Slika 13. Mjerenje razine traktorskih vibracija na asfaltu (vlastita fotografija)

Dana 7. lipnja 2017. godine obavljena su mjerenja vrijednosti proizvedenih traktorskih vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja na makadamu (slika 14.) i na travnatoj podlozi (slika 15.). Izmjerena temperatura zraka je iznosila 28°C , a relativna vlažnost zraka 65%. Vjetar je zanemariv.



Slika 14. Mjerenje razine vibracija na makadamu (vlastita fotografija)



Slika 15. Mjerenje razine traktorskih vibracija na travi (vlastita fotografija)

4. REZULTATI I RASPRAVA

Nakon svih mjerenja uočena su manja variranja na svim agrotehničkim podlogama (asfalt, makadam i trava) i u smjeru sve tri osi (x, y i z). Izmjerene te izračunate vrijednosti i usporedbe istih za različite agrotehničke podloge prikazane su pomoću pripadajućih tablica i grafikona.

Tablica 4. Izmjerene vrijednosti na asfaltnoj podlozi

Operacija	x			y			z		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Asfalt	0,075	0,076	1,500	0,066	0,068	1,000	0,063	0,065	0,100
	0,080	0,082	1,700	0,070	0,072	1,000	0,070	0,072	0,200
	0,084	0,085	1,400	0,078	0,080	0,700	0,074	0,077	0,100
Srednja vrijednost	0,079	0,081	1,533	0,071	0,073	0,900	0,069	0,071	0,133

Najviše izmjerene vrijednosti u trećoj godini istraživanja su:

- Za os x – 1,700 m/s²
- Za os y – 1,000 m/s²
- Za os z – 0,200 m/s²

Tablicom 4. prikazana su mjerenja proizvedenih mehaničkih vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja pri gibanju traktora po asfaltnoj podlozi.

Tablica 5. Izmjerene vrijednosti na makadamskoj podlozi

Operacija	x			y			z		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Makadam	0,058	0,060	1,300	0,067	0,068	0,700	0,050	0,070	0,100
	0,060	0,063	1,500	0,070	0,069	0,700	0	0,050	0,100
	0,063	0,066	1,300	0,076	0,073	0,700	0,060	0,090	0,100
Srednja vrijednost	0,060	0,063	1,367	0,071	0,074	0,700	0,037	0,070	0,100

Najviše izmjerene vrijednosti u trećoj godini istraživanja su sljedeće:

- Za os x – 1,500 m/s²
- Za os y – 0,700 m/s²
- Za os z – 0,100 m/s²

Rezultati mjerenja proizvedenih mehaničkih vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja pri gibanju traktora po makadamskoj podlozi prikazana je tablicom 5. Srednje vrijednosti za sve osi zaokružene su na tri decimalna mjesta. Sve vrijednosti navedene u tablici izražene su u m/s².

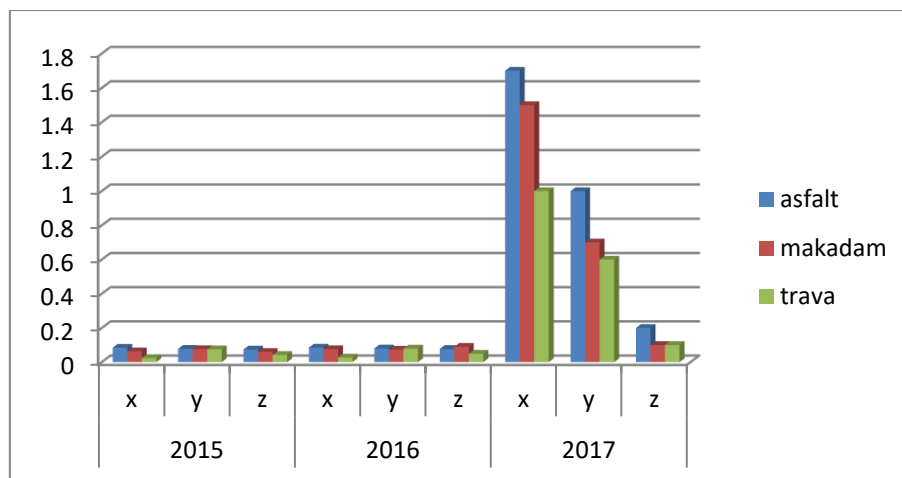
Tablica 6. Izmjerene vrijednosti na travnatoj podlozi

Operacija	x			y			z		
Godina	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Trava	0,018	0,020	0,900	0,062	0,068	0,600	0,038	0,040	0,090
	0,020	0,023	1,000	0,070	0,073	0,600	0,040	0,043	0,100
	0,024	0,027	0,900	0,075	0,079	0,600	0,042	0,049	0,090
Srednja vrijednost	0,020	0,023	0,933	0,069	0,073	0,600	0,040	0,044	0,093

U tablici 6. su prikazana mjerenja mehaničkih vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja pri gibanju traktora na travnatoj podlozi. Kao i za prethodne podloge izvedena su tri mjerenja na osnovu kojih je izračunata srednja vrijednost. Najveće izmjerene vrijednosti u trećoj godini istraživanja za osi bile su kako slijedi:

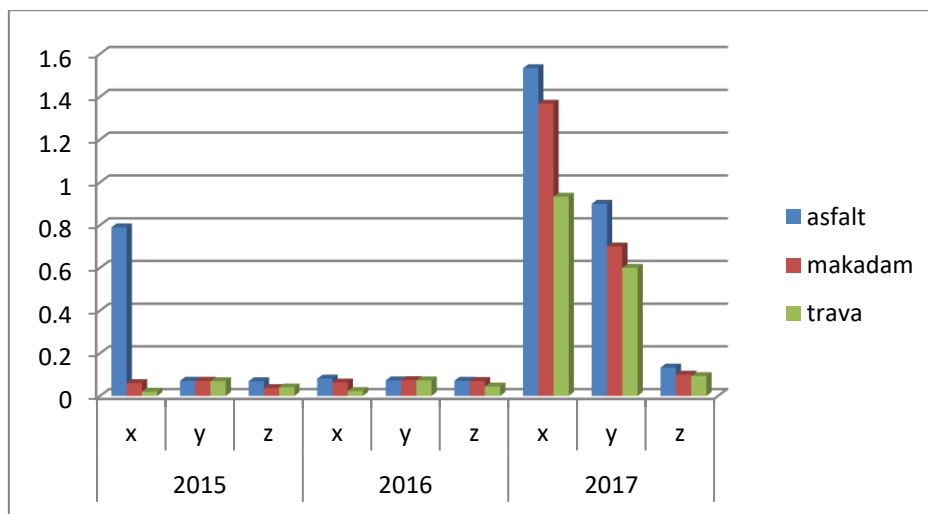
- Za os x – 1,000 m/s²
- Za os y – 0,600 m/s²
- Za os z – 0,100 m/s²

Srednje vrijednosti za sve osi određene su na tri decimalna mjesta. Sve vrijednosti navedene u tablici izražene su u m/s².



Grafikon 1. Prikaz najviših vrijednosti za svaku ispitivanu podlogu po godinama

Grafikon 1. prikazuje najviše izmjerene vrijednosti po svim osima (x, y i z) za svaku ispitivanu agrotehničku podlogu (asfalt, makadam i trava) koje su dobivene kroz tri godine (2015., 2016. i 2017.). Prema europskoj direktivi (2002/44/EC) određene su granične upozoravajuće vrijednosti izloženosti vibracijama koje utječu na sustav ruka-šaka. Granična vrijednost izloženosti je 5 m/s^2 , a upozoravajuća vrijednost izloženosti je $2,5 \text{ m/s}^2$. Iz grafikona se može uočiti kako ni najviše izmjerene vibracije ne prelaze propisanu graničnu vrijednost ni na jednoj od ispitivanih podloga. Najviše vrijednosti mjerenjem vibracija su dobivene na asfaltnoj podlozi, a najniže na travnatoj podlozi.



Grafikon 2. Prikaz srednjih vrijednosti za sve podloge po ispitivanim godinama

Grafikon 2. prikazuje srednje vrijednosti vibracija za sve ispitivane podloge po sve tri osi za svaku godinu mjerenja vibracija. Vibracije na asfaltnoj podlozi su najveće u odnosu na ostale ispitivane podloge (makadam i trava) u svim mjernim osima djelovanja (x, y i z) za svaku od ispitivanih godina. Također, može se uočiti kako su vibracije na travnatoj podlozi najmanje u odnosu na ostale ispitivane podloge (asfalt i makadam) u svim mjernim osima (x, y i z) za svaku od ispitivanih godina (2015., 2016. i 2017.).

Heidary i sur. (2014.) istraživali su količinu vibracija na jednoosovinskom traktoru odnosno motokultivatoru snage 13 KS. Mjerili su vibracije sa 5 različitih brzina motora i 6 vrsta goriva koje stroj koristi tijekom mjerenja vibracija. Rezultati su pokazali da su recipročni učinci goriva i brzina motora istaknuti u 1%. U manje od 4 godine sindrom bijelih prstiju (White Finger Syndrome) pojavio se kod 10% ispitivanih rukovatelja stroja. Rezultati istraživanja su pokazali da se vrijeme izloženosti vibracijama smanjuje povećanjem brzine motora, posebno između 1800 i 2200 o/m. Također rezultati istraživanja pokazali su manju količinu vibracija na ručkama jednoosovinskog traktora kada se upotrebljavao biodizel kao pogonsko gorivo u odnosu na dizel.

Deboli i sur. (2008.) mjerili su proizvedene vibracije na četiri traktora koja su imala različite tipove pneumatika na tri različite podloge (asfalt, makadam te kombinacija makadama i asfalta u kojoj su prilikom vožnje traktora i mjerenja dva kotača vozila po makadamu, a druga dva po asfaltu). Bez obzira na tip pneumatika sve izmjerene vibracije pokazale su se najmanjima na asfaltnoj podlozi, ali nisu prelazile dopuštene granične vrijednosti.

Rezultati mjerenja vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja na tri različite agrotehničke podloge (asfalt, makadam i trava) mogu se usporediti sa drugim autorima. Pretpostavka je kako izmjerene vibracije neće štetno utjecati na rukovatelja, ali prilikom rada u osmosatnom radnom vremenu komfor i koncentracija rukovatelja biti će znatno smanjena. Izmjerene vrijednosti vibracija dobivene na sve tri ispitivane agrotehničke podloge te vrijednosti dobivene u sve tri godine istraživanja ne prelaze preporučene granične vrijednosti za sustav ruka-šaka rukovatelja stroja, no razina vibracija se povećava brojem radnih sati poljoprivrednog traktora.

4.1. Usporedni statistički prikaz izmjerenih vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine

Tablica 7. Deskriptivna statistika srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine za sustav ruka-šaka po x osi

Izvor	Suma kvadrata	df	Srednja vr. kvadrata	F	Sig.	Djelomična suma kvadrata
Ispravljen model	9,562	8	1,195	268,412	0,000	0,992
Presjek	5,772	1	5,772	1296,214	0,000	0,986
Godine	8,976	2	4,488	1007,829	0,000	0,991
Agrotehničke podloge	0,273	2	0,136	30,617	0,000	0,773
Godine * agrotehničke podloge	0,314	4	0,078	17,601	0,000	0,796
Pogreška	0,080	18	0,004			
Ukupno	15,415	27				
Ispravljeno ukupno	9,642	26				

Tablica 7. prikazuje deskriptivne statistike izmjerene razine vibracija unutar navedene tri godine istraživanja koje se odnose na x os smjer djelovanja vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja poljoprivrednog traktora.

Izračunata suma kvadrata između tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) iznosi 8,976, dok je srednja vrijednost kvadrata 4,488. Stupnjevi slobode „df“ (eng. „Degrees of Freedom“) iznose 2, a dobiveni su tako što se od broja godina istraživanja oduzela vrijednost 1 po formuli:

$$df = k - 1$$

gdje „k“ predstavlja broj tretmana odnosno godina istraživanja u ovom slučaju.

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija, što znači da će se u 95% slučajeva podaci ponoviti.

Izračunata suma kvadrata tijekom tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) između tri agrotehničke podloge (asfalt, makadam i trava) iznosi 0,273, dok je srednja vrijednost kvadrata 0,136. Stupnjevi slobode „df“ iznose 2, a dobiveni su tako što se od broja agrotehničkih podloga oduzela vrijednost 1 po formuli:

$$df = k - 1$$

gdje „k“ predstavlja broj tretmana odnosno agrotehničkih podloga u ovom slučaju.

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija, što znači da će se u 95% slučajeva podaci ponoviti.

Izračunata suma kvadrata u međusobnom odnosu tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) i tri agrotehničke podloge (asfalt, makadam i trava) iznosi 0,314, dok je srednja vrijednost kvadrata 0,078. Stupnjevi slobode („df“) iznose 4.

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija, što znači da će se u 95% slučajeva podaci ponoviti.

Tablica 8. Deskriptivna statistika srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine za sustav ruka-šaka po y osi

Izvor	Suma kvadrata	df	Srednja vr. kvadrata	F	Sig.	Djelomična suma kvadrata
Ispravljen model	2,770	8	0,346	103,251	0,000	0,979
Presjek	2,302	1	2,302	686,610	0,000	0,974
Godine	2,629	2	1,315	392,121	0,000	0,978
Agrotehničke podloge	0,048	2	0,024	7,089	0,005	0,441
Godine * agrotehničke podloge	0,092	4	0,023	6,896	0,002	0,605
Pogreška	0,060	18	0,003			
Ukupno	5,132	27				
Ispravljeno ukupno	2,830	26				

Tablica 8. prikazuje deskriptivne statističke podatke izmjerene količine vibracija unutar navedene tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) koja se odnose na y os smjera djelovanja vibracija koja utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja poljoprivrednog traktora.

Izračunata suma kvadrata između tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) iznosi 2,629, dok je srednja vrijednost kvadrata 1,315. Stupnjevi slobode „df“ (eng. „Degrees of Freedom“) iznosi 2, a dobiveni su tako što se od broja godina istraživanja oduzela vrijednost 1 po formuli:

$$df = k - 1$$

gdje „k“ predstavlja broj tretmana odnosno godina istraživanja u ovom slučaju.

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija, što znači da će se u 95% slučajeva podaci ponoviti.

Izračunata suma kvadrata tijekom tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) između tri različite agrotehničke podloge (asfalt, makadam i trava) iznosi 0,048, dok je srednja vrijednost kvadrata 0,024. Stupnjevi slobode („df“) iznose 2, a dobiveni su tako što se od broja agrotehničkih podloga oduzela vrijednost 1 po formuli:

$$df = k - 1$$

gdje je „k“ broj tretmana odnosno agrotehničkih podloga u ovom slučaju.

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija, što znači da će se u 95% slučajeva podaci ponoviti.

Izračunata suma kvadrata u međusobnom odnosu tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) sa tri različite agrotehničke podloge (asfalt, makadam i trava) iznose 0,092, dok je srednja vrijednost kvadrata 0,023. Stupnjevi slobode „df“ iznosi 4.

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija, što znači da će se u 95% slučajeva podaci ponoviti.

Tablica 9. Deskriptivna statistika srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine za sustav ruka-šaka po z osi

Izvor	Suma kvadrata	df	Srednja vr. kvadrata	F	Sig.	Djelomična suma kvadrata
Ispravljen model	0,039	8	0,005	0,906	0,533	0,287
Presjek	0,201	1	0,201	37,680	0,000	0,677
Godine	0,010	2	0,005	0,936	0,410	0,094
Agrotehničke podloge	0,004	2	0,002	0,412	0,669	0,044
Godine * agrotehničke podloge	0,024	4	0,006	1,139	0,370	0,202
Pogreška	0,096	18	0,005			
Ukupno	0,336	27				
Ispravljeno ukupno	0,135	26				

Tablica 9. prikazuje deskriptivnu statistiku izmjerene količine vibracija unutar navedene tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) koja se odnose na z os smjer djelovanja vibracija koja utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja.

Izračunata suma kvadrata između tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) iznosi 0,010, dok je srednja vrijednost kvadrata 0,005. Stupnjevi slobode „df“ (eng. „Degrees of Freedom“) iznosi 2, a dobiveni su tako što se od broja godina istraživanja oduzela vrijednost 1 po formuli:

$$df = k - 1$$

gdje je „k“ broj tretmana odnosno godina istraživanja u ovom slučaju.

Analizom varijance nije utvrđena statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija.

Izračunata suma kvadrata tijekom tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) između tri različite agrotehničke podloge (asfalt, makadam i trava) iznosi 0,004, dok je srednja vrijednost kvadrata 0,002. Stupnjevi slobode „df“ iznose 2, a dobiveni su tako što se od broja agrotehničkih podloga oduzela vrijednost 1 po formuli:

$$df = k - 1$$

gdje „k“ predstavlja broj tretmana odnosno agrotehničkih podloga u ovom slučaju.

Analizom varijance nije utvrđena statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija.

Izračunata suma kvadrata u međusobnom odnosu tri godine istraživanja (2015., 2016. i 2017.) i tri različite agrotehničke podloge (asfalt, makadam i trava) iznosi 0,024, dok je srednja vrijednost kvadrata 0,006. Stupnjevi slobode „df“ iznose 4.

Analizom varijance nije utvrđena statistički značajna razlika u iznosima srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija.

5. ZAKLJUČAK

Najveće vrijednosti vibracija za svaku godinu istraživanja (2015., 2016. i 2017.) izmjerene su na asfaltnoj podlozi po svim koordinatnim osima (x, y i z). Iz navedenih podataka vidljive su i najniže izmjerene razine traktorskih vibracija koje djeluju na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja. Najniže vrijednosti za svaku godinu istraživanja izmjerene su na travnatoj podlozi.

Na osnovi tablica i grafikona prikazanih u radu može se uočiti da su najveće vibracije na svim agrotehničkim podlogama izmjerene u 2017. godini, što odgovara hipotezi da sa povećanjem radnih sati poljoprivrednog traktora dolaze i veće vrijednosti vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja.

Pretpostavlja se kako traktorske vibracije neće ugroziti zdravlje rukovatelja stroja, ali ovo je istraživanje ukazalo na to kako se povećanjem broja radnih sati poljoprivrednog traktora povećava i razina vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja. Rukovatelj ovog poljoprivrednog stroja nema potrebu za korištenje zaštitnih sredstava, ali prilikom rada u osmosatnom radnom vremenu postoji mogućnost smanjenja komfora i koncentracije.

Bitno je naglasiti kako niti jedna od ispitivanih podloga ne proizvodi vibracije koje prelaze preporučene granične vrijednosti (5 m/s^2) djelovanja na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja.

6. POPIS LITERATURE

Poplašen, D., Kerner, I. (2013.): Vibracije koje se prenose na šake i ruk; Sigurnost 55 (4).

Galović J. (2013.): Vibracijske značajke motornih pila i morfološka raščlamba motornih pila; Diplomski rad

Brkić, D., Vujčić, M., Šumanovac, L., Lukač, p., Kiš, D., Jurić, T., Knežević, D. (2005.): Eksploatacija poljoprivrednih strojeva. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.

Stanković, D., Tričković, K. (1984.): Vibracije u Stanković D. Medicina rada. Medicinska knjiga Beograd-Zagreb; 411-19

Šarić, M., Žuškin, E. (2002.). Vibracije u Bogadi-Šare A., Goglia V. Medicina rada i okoliša. Medicinska naklada, Zagreb 2002.

Neugebauer, G., Jancurova, L., Martin, M., Manek, T. (2010.): Opasnosti od vibracija koje se prenose na cijelo tijelo i na šake-ruke; Prepoznavanje i vrednovanje opasnosti; Poduzimanje mjera

Gomez-Gil, J., Gomez-Gil, F. J., Martin-de-Leon, R. (2014.): The Influence of Tractor Seat Height above the Ground on Lateral Vibrations, department od Signal Theory, Vommunications and Telematics Engineering, Univesity of Valladolid, Valladolid 47001, Spain, Department of Electromechanical Engineering, University of Burgos, Burgos 09006, Spain.

Cvetanović, B. T. (2015.): Optimiziranje oscilatorne udobnosti sjedišta traktora u funkciji redukcije vibracija; Doktorska disertacija.

Scarlett, A. J., Price, J. S., Steyner, R. M. (2007.): Whole-body vibrations: Evaluation od emission and exposure levels arising from agricultural tractors. Journal of Terramechanics 44, 65-73.

Viera de Almeida, S., Sperotto, F.C.S., Doimo, L. D. S., Correia, T.P.S., dos Santos, J.E.G., Silva, P.R.A. (2015.): Analysis of vibration levels in agricultural tractor with and without cabin; African Journal of Agricultural Research; Vol. 10(53).

Cvetanović, B., Cvetković, M., Cvetković, D. (2014.): Procjena rizika po zdravlje vozača od vibracija nastalih pri eksploataciji traktora. Poljoprivedna tehnika, 39(3), 21-29.

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)

HRN ISO 5349-1:2001 (E): Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.

Rezali, K.A., Griffin M.J. (2017.): Transmission of Vibration through gloves; Effect of contact area; pages 69-81; Volume 60, 2017 – Issue 1; Ergonomics Journal.

Rezali, K.A., Griffin, M.J. (2016.): Transmission of Vibration through gloves; Effect of contact area; Volume 59, 2016., Ergonomics Journal.

Johnson, B., Otieno, W., Campbell-Kyureghyan, N. (2017.): Influence of Jackhammer weight on grip pressure, Muscle activity and hand-arm vibration of the Operator: Volume 5, 2017.; IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human factors.

Vukorepa, K., Burger, A. (2011.): Priručnik – Sigurnost i osnove zaštite na radu; Društvo za osiguranje kvalitete, Zagreb.

McDowell, T.W., Xu, S.X., Dong, D.R., Welcome, E.D., Warren, C., Wu, J.Z. (2017.): Vibrations transmitted from human hands to upper arm, shoulder, back, neck and head; International Journal of Industrial Ergonomics; Volume 62, 2017.

Heidary, B., Hassan-Beygi, S.R., Ghobadian, B. (2014.): Investigating operator vibration exposure time of 13 hp power tiller fuelled by diesel and biodiesel blends; Vol. 60, 2014, No. 4: 134-141

Pobedin A.V., Dolotov A. A., Shekhovtsov V. V. (2016.): Decrease of the Vibration Load Level on the Tractor Operator Working Place by Means of Using of Vibrations Dynamic Dampers in The Cabin Suspension; International Conference on Industrial Engineering ICIE 2016

Seliž, A. (2016.): Specifičnosti sigurnosti pri radu skidera u fazi II. iskorištavanja šuma; Završni rad; Odjel Sigurnosti i zaštite, Veleučilište u Karlovcu

Deboli, R., Calvo, A., Preti, C., Paletto, G. (2008.): Whole Body Vibration (WBV) transmitted to the operator by tractors equipped with radial tires. Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems.

Pan, D., Xu, X.S., Welcome, D.E., McDowell, T.W., Warren, C., Wu, J., Dong, R.G. (2018.): The relationships between hand coupling force and vibration biodynamic responses of the hand-arm system; Ergonomics Journal; Volume 61, 2018.

Azmir, N.A., Ghazali, M.I., Yahya, M.N., Ali, M.H. (2016.): Hand-arm vibration disorder among grass-cutter workers in Malaysia; International Journal of Occupational Safety and Ergonomics; Volume 22, 2016.

McDowell, T.W., Welcome, D.E., Warren, C., Wu, J., Dong, R.G. (2013.): Vibration-reducing gloves: transmissibility at the palm of hand in three orthogonal directions; Ergonomics Journal, Volume 56, 2013.

Cederlund, R., Nordenskiöld, U., Lundborg, G. (2001.): Hand-arm vibration exposure influences performance of daily activities; Disability and Rehabilitation Journal; Volume 23, 2001.

Goglia, V., Suchomel, J., Žgela, J., Đukić, I. (2012): Izloženost vibracijama šumarskih radnika u svjetlu directive 2002/44/EC; Šumarski list, 5-6: 283-289.

URL1

https://fpm.hr/images/sadrzaj/Premium_products/6103_CD/6103uzorci_10st/preview/Zdravstveni_rizici_u_poljoprivredi.pdf 04.07.2018.

URL2

<http://hr.mymedinform.com/occupational-diseases/how-to-recognize-the-vibration-disease.html> 04.07.2018.

URL3 - <http://www.vasdoktor.com/medicina-rada/1353-vibracije> 04.07.2018.

URL4 - <https://www.eurovrt.hr/husqvarna-zastitne-rukavice.html> 06.07.2018.

URL5 - <http://www.farmtrader.co.nz/spec/detail/landini-dt100-32269> 06.07.2018.

URL6 - <http://argotracors.cms.arscolor.com/storage/sito2/5-cpy-2.jpg> 06.07.2018.

URL7 - <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=1089> 03.09.2018.

URL8 - <https://www.polytechinc.com/industries/agriculture-construction> 03.09.2018.

URL9 - <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vibracije> 10.09.2018.

7. SAŽETAK

U radu su prikazani rezultati istraživanja mjerenja razine traktorskih vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja kroz tri godine (2015., 2016. i 2017.) pri različitim agrotehničkim podlogama (asfalt, makadam i trava) u skladu sa propisanim normama HRN ISO 2631-1 i HRN ISO 5349-1:2001(E). Mjerenja su obavljena na traktoru proizvođača LANDINI tipa POWERFARM 100 na proizvodnim i pristupnim cestama srednje Poljoprivredne i veterinarske škole Osijek. Sva mjerenja su izvedena uređajem za mjerenje vibracija MMF VM30 te akcelerometrom koji je pričvršćen za kolo upravljača. Cilj istraživanja je bilo utvrditi razinu vibracija koja utječe na sustav ruka-šaka rukovatelja poljoprivrednog traktora. Iz dobivenih rezultata je vidljivo kako sa radnim satima poljoprivrednog traktora raste i razina vibracija. Najviše vrijednosti su izmjerene na asfaltu, a najmanje vrijednosti vibracija koje se prenose na sustav ruka-šaka rukovatelja izmjerene su na travnatoj podlozi kroz sve tri ispitivane godine.

Ključne riječi: vibracije, agrotehničke podloge, radni sati traktora, sustav ruka-šaka

8. SUMMARY

This paper presents the results of measuring produced level of tractor vibrations that affects the hand-arm system of machine operator for three years (2015., 2016. and 2017.) on different agricultural surfaces (asphalt, macadam and grass) in accordance with the prescribed norms HRN ISO 2631-1 and HRN ISO 5349-1 2001(E). The measurements were performed on the tractor LANDINI type POWERFARM 100 on the production and access roads of Agricultural and veterinary high school in Osijek. All measurements were performed with vibration device MMF VM30 and accelerometer attached to the steering wheel. The aim of research was to determine the level of vibration that affects hand-arm system of tractor operator. From the obtained results, it can be seen that both the working hours of an agricultural tractor and vibration level increase. The highest values were measured on asphalt, and the lowest values of vibrations transmitted to the operator hand-arm system were measured on the grass surface during all three years.

Key words: vibrations, agricultural surfaces, tractors working hours, hand-arm system

9. POPIS TABLICA

Tablica 1. Dopuštena razina vibracija koja se prenosi na sustav ruka-šaka (stranica 4.)

Tablica 2. Pet grupa poremećaja povezanih sa utjecajem vibracija koje se prenose na sustav ruka –šaka (stranica 8.)

Tablica 3. Izmjerene vrijednosti vibracija na kolu upravljača skidera ECOTRAC V (stranica 13.)

Tablica 4. Izmjerene vrijednosti na asfaltnoj podlozi (stranica 21.)

Tablica 5. Izmjerene vrijednosti na makadamskoj podlozi (stranica 21.)

Tablica 6. Izmjerene vrijednosti na travnatoj podlozi (stranica 22.)

Tablica 7. Deskriptivna statistika srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine za sustav ruka-šaka po x osi (stranica 25.)

Tablica 8. Deskriptivna statistika srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine za sustav ruka-šaka po y osi (stranica 27.)

Tablica 9. Deskriptivna statistika srednjih vrijednosti izmjerene količine vibracija iz 2015., 2016. i 2017. godine za sustav ruka-šaka po z osi (stranica 29.)

10. POPIS SLIKA

Slika 1. Mehanički utjecaj vibracija na ljudsko tijelo (stranica 2.)

Slika 2. Koordinatni sustavi za cijelo tijelo u stojećem, sjedećem i ležećem položaju (stranica 3.)

Slika 3. Rad sa pneumatskim alatima (stranica 5.)

Slika 4. Bljedilo prstiju zbog poremećaja krvotoka (stranica 7.)

Slika 5. Antivibracijske rukavice (stranica 9.)

Slika 6. Rotacijske i translacijske vibracije u koordinatnim osima (stranica 11.)

Slika 7. Poljoprivredni traktor LANDINI POWERFARM 100 (stranica 14.)

Slika 8. Prikaz dimenzija traktora LANDINI POWERFARM 100 (stranica 15.)

Slika 9. Uređaj za mjerenje vibracija MMF VM30 (stranica 16.)

Slika 10. Prikaz pravaca djelovanja vibracija na određene dijelove tijela u sjedećem položaju (stranica 16.)

Slika 11. Shematski prikaz koordinatnog sustava vezanog za sustav ruka-šaka (stranica 17.)

Slika 12. Položaj akcelerometra na kolu upravljača (stranica 18.)

Slika 13. Mjerenje razine traktorskih vibracija na asfaltu (stranica 19.)

Slika 14. Mjerenje razine vibracija na makadamu (stranica 19.)

Slika 15. Mjerenje razine traktorskih vibracija na travi (stranica 20.)

11. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prikaz najviših vrijednosti za svaku ispitivanu podlogu po godinama (stranica 23.)

Grafikon 2. Prikaz srednjih vrijednosti za sve podloge po ispitivanim godinama (stranica 23.)

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište J.J. Strossmayera

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Diplomski rad

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Vibracije koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja pri gibanju poljoprivrednog traktora po različitim agrotehničkim podlogama

Josip Laslo

Sažetak: U radu su prikazani rezultati istraživanja mjerenja razine traktorskih vibracija koje utječu na sustav ruka-šaka rukovatelja stroja kroz tri godine (2015., 2016. i 2017.) pri različitim agrotehničkim podlogama (asfalt, makadam i trava) u skladu sa propisanim normama HRN ISO 2631-1 i HRN ISO 5349-1:2001. Mjerenja su obavljena na traktoru proizvođača LANDINI tipa POWERFARM 100 na proizvodnim i pristupnim cestama srednje Poljoprivredne i veterinarske škole Osijek. Sva mjerenja su izvedena uređajem za mjerenje vibracija MMF VM30 te akcelerometrom koji je pričvršćen za kolo upravljača. Cilj istraživanja je bilo utvrditi razinu vibracija koja utječe na sustav ruka-šaka rukovatelja poljoprivrednog traktora. Iz dobivenih rezultata je vidljivo kako sa radnim satima poljoprivrednog traktora raste i razina vibracija. Najviše vrijednosti su izmjerene na asfaltu, a najmanje vrijednosti vibracija koje se prenose na sustav ruka-šaka rukovatelja izmjerene su na travnatoj podlozi kroz sve tri ispitivane godine.

Rad izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: doc.dr.sc. Ivan Plaščak

Broj stranica: 44

Broj grafikona i slika: 2, 15

Broj tablica: 9

Broj literaturnih navoda: 27

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: vibracije, agrotehničke podloge, radni sati traktora, sustav ruka-šaka

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. Prof.dr.sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. Doc.dr.sc. Ivan Plaščak, mentor
3. Željko Barač, mag.ing.agr., član

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

J.J. Strossmayer University of Osijek

Faculty of Agriculture

Masters Thesis

University Graduate Studies, course mechanization

Vibrations affecting operator's hand-arm system when tractor is moving on different agrotechnical surface

Josip Laslo

Summary: This paper presents the results of measuring produced level of tractor vibrations that affects the hand-arm system of machine operator for three years (2015., 2016. and 2017.) on different agricultural surfaces (asphalt, macadam and grass) in accordance with the prescribed norms HRN ISO 2631-1 and HRN ISO 5349-1 2001(E). The measurements were performed on the tractor LANDINI type POWERFARM 100 on the production and access roads of Agricultural and veterinary high school in Osijek. All measurements were performed with vibration device MMF VM30 and accelerometer attached to the steering wheel. The aim of research was to determine the level of vibration that affects hand-arm system of tractor operator. From the obtained results, it can be seen that both the working hours of an agricultural tractor and vibration level increase. The highest values were measured on asphalt, and the lowest values of vibrations transmitted to the operator hand-arm system were measured on the grass surface during all three years.

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek

Mentor: Ph.D Ivan Plaščak

Number of pages: 44

Number of figures: 2, 15

Number of tables: 9

Number of references: 27

Original language: croatian

Keywords: vibrations, agricultural surfaces, tractors working hours, hand-arm system

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. Ph.D prof. Tomislav Jurić, president
2. Ph.D doc. Ivan Plaščak, mentor
3. Željko Barač, mag.ing.agr., member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Vladimir Prelog 1.