

PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA OPTIMIZIRANJE OSCILATORNE UDOBNOSTI SEDIŠTA TRAKTORA MULTI CRITERIA ANALYSIS APPLICATION IN OPTIMIZATION OF VIBRATION-RELATED COMFORT OF TRACTOR SEATS

Mr Boban Cvetanović, Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš, Aleksandra Medvedeva 20, Niš
Dr Dragan Cvetković, Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu, Čarnojevića 10 A, Niš
Miljan Cvetković, dipl.maš.inž., Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu, Čarnojevića 10 A, Niš

Rezime: Problem izloženosti vozača traktora visokim nivoima vibracija, konstantno je prisutan tokom obavljanja poloprivrednih operacija i naročito je izražen kod traktora starije generacije. Broj mogućih rešenja problema, kod ovakvih traktora je sveden gotovo na minimum, nešto zbog tehničkih razloga (izvodljivosti), a nešto i iz ekonomskih razloga (previsoka cena). Jedno tehnički jednostavno i ekonomski opravdano rešenje, išlo je u pravcu da neki materijali ili fluidi bolje izoluju vibracije nego običan sunđer, koji je uobičajen materijal za oblaganje sedišta. Kao moguće alternative originalnom sedištu sa jastukom od sunđera, ispitivani su jastuci ispunjeni memorijskom penom, vunom, tvrdo presovanim sunđerom, vodom i vazduhom. Određivanje kvaliteta svakog jastuka pojedinačno, vršeno je višekriterijumskom analizom, pri čemu su osim redukcije vibracija, kao kriterijumi izabrani još i cena, stabilnost vozača i opšta udobnost. S obzirom da je glavni zadatak bio optimiziranje oscilatorne udobnosti, kriterijumu smanjenja vibracija, data je najveća važnost. Kao najbolja alternativa pokazao se jastuk ispunjen vazduhom, koji je po većini postavljenih kriterijuma imao zadovoljavajuće rezultate.

Ključne reči: traktor, vibracije, višekriterijumska analiza.

Summary: The problem of tractor drivers' exposure to high level vibrations is permanent during farming activities and is significant in older tractors. The number of solutions to this problem, in these tractors, is minimal, partly because of technical reasons (design), and partly because of economic reasons (too expensive). A cheap and simple-designed solution was seen in some materials which are better vibration absorbers than sponge (commonly used in seat production). Cushions filled with memory foam, wool, compressed sponge, water and air were tested as possible alternatives. The quality of each cushion was determined by multi criteria analysis, during which vibration reduction, price, driver's stability and comfort were chosen to be criteria. Since the main objective was optimizing vibration-related comfort, the criterion of vibration reduction was the most important. As the best alternative, an air-filled cushion was determined, which showed satisfactory results by majority of the criteria.

Keywords: tractor, vibrations, multi criteria analysis

UVOD

Traktori su, kao jedno od najčešćih sredstava poljoprivredne mehanizacije, značajno uticali na povećanje proizvodnosti i efikasnosti poljoprivrednih radova i direktno olakšanje, a negde i potpuno eliminisanje fizičkog rada poljoprivrednih radnika. Sa druge strane, tokom svojih svakodnevnih radnih aktivnosti, vozači traktora su izloženi mnogobrojnim nepovoljnim uticajima koji imaju kompleksno štetno dejstvo na zdravlje čoveka i efikasno obavljanje radnih zadataka. Pored fizičkog naprezanja, buke, atmosferskih padavina, velike vlažnosti, visokih ili niskih temperatura, prašine i različitih hemijskih zagađenja, kao jedna od značajnih štetnosti pojavljuju se i vibracije [1].

Vibracije nastaju kao posledica rada motora samog traktora, a u interakciji sa neravninama terena. Celo vozilo je, u radnim uslovima, izloženo složenim oscilatornim procesima koji se od motora, preko transmisije i šasije, prenose do kabine i dalje preko poda, sedišta i radnih komandi do tela vozača.

Često se, zbog udruženosti vibracija sa drugim profesionalnim opasnostima i štetnostima, ne može jasno uspostaviti uzročno-posledična veza između dejstva vibracija i oštećenja zdravlja. Ipak, brojne studije i

*Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš, Srbija
boban.cvetanovic@vtsnis.edu.rs

istraživanja, pokazuju da dejstvo vibracija na zdravlje čoveka postoji i da kraća, ali konstantna, izloženost visokim vrednostima vibracijama, može izazvati bol u stomaku i grudima, nedostatak daha, mučninu, i vrtoglavicu, dok dugotrajna i konstantna izloženost može dovesti do poremećaja psihomotornog, fiziološkog i psihološkog sistema radnika. Većina vozača, uglavnom, nije svesna štetnog dejstva vibracija, pre svega zbog istovremenog dejstva niza negativnih faktora [2,3].

Štetno dejstvo vibracija naročito je izraženo kod starijih traktora, kod kojih ne postoji efikasan sistem amortizovanja vibracija i udaraca jer su pravljani bez kvalitetnih sistema elastičnog oslanjanja [4]. U Republici Srbiji, prema Popisu poljoprivrede iz 2012.godine, ima 410.894 dvoosovinskih traktora [5]. Najveći broj tih traktora je stariji od petnaest godina i proizveden, uglavnom, u našoj fabrici IMT (Industrija mašina i traktora – Beograd). Većina modela traktora ovog proizvođača je upravo bez sistema elastičnog oslanjanja [6].

Zbog toga je neophodno, kod ovih traktora, razviti mehanizme kako bi se vozači zaštitili od štetnog uticaja vibracija. Zaštitni mehanizmi mogu biti u obliku tehnoloških unapređenja, kojima se smanjuju nivoi vibracija na samom izvoru vibracija, ili unapređivanja sredstava kojima se dodatno sprovodi prigušenje vibracija. Ugradnja kvalitetnog sistema elastičnog oslanjanja, na kabini ili na osovinama, kod starih modela traktora, je tehničko rešenje sa neizvesnim uspehom. Sa finansijske strane to rešenje je neprihvatljivo jer bi vrednost izvedene opreme višestruko premašila cenu polovnog traktora.

U takvim uslovima, bolje je, sa ekonomskog i tehničkog aspekta, prići usavršavanju sedišta, čime se postiže poboljšanje komfora vozača i smanjenje uticaja vibracija na njegovo telo. Pojedine studije ukazale su da neka jednostavnija rešenja u dizajnu sedišta mogu da budu efikasnija u redukciji nivoa izloženosti vozača vibracijama, od mnogo kompleksnijih rešenja [7]. Pri tome, jednostavne modifikacije koje mogu biti napravljene na traktorskom sedištu su privlačne za mnoge poljoprivrednike zbog niske cene.

Ovaj rad razmatra mogućnost optimiziranja oscilatorne udobnosti sedišta traktora, dodavanjem vibroizolacionih elemenata - jastuka, na postojeće sedište. Praćenje odgovarajućih parametara vršeno je na originalnom sedištu, traktora IMT 539, srpskog proizvođača IMT Beograd, tokom operacije oranja. Ispitivana je sposobnost različitih fluida i materijala da izoluju nastale vibracije i spreče njihovo širenje do vozača, te obezbede komfor vozača. S obzirom na moguće alternative (jastuk ispunjen pojedinačno vazduhom, vodom, tvrdo presovanim sunderom, vunom, memorijskom penom) i na osnovu postavljenih kriterijuma (udobnost, stabilnost, cena, redukcija vibracija) izvršena je višekriterijumska analiza u cilju izbora optimalnog rešenja, pri čemu je redukcija vibracija bila primarni kriterijum. U svrhu analize korišćena je metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), a najbolje rešenje po zadatim kriterijumima dobijeno je uz pomoć softvera Expert choice 11.

KRITERIJUMI I ALTERNATIVE

AHP metoda (*eng. Analytical Hierarchy Process*) spada u najpoznatije i poslednjih godina najviše korišćene metode za višekriterijumsko odlučivanje. U osnovi, radi se o višekriterijumskoj tehnici koja se zasniva na razlaganju složenog problema u hijerarhiju. Cilj se nalazi na vrhu hijerarhije, dok su na nižim nivoima kriterijumi, podkriterijumi i alternative. Metoda koristi tablični zapis podataka za upoređivanje i rangiranje alternativa pri odlučivanju koja je od alternativa u prednosti u odnosu na ostale. Metoda upoređuje prednosti i nedostatke pojedinih alternativa i kao konačni rezultat daje prioritete alternativa u obliku jednog broja. Kriterijumi za odabir određene alternative mogu imati različite važnosti zbog čega im se dodeljuju težine (težinski koeficijenti). Težine pojedinih kriterijuma određuju se upoređivanjem kriterijuma u parovima te određivanjem koliko je prvi kriterijum važniji od drugog kriterijuma. Donosilac odluke koristi mehanizam parcijalno-parnog poređenja Satijevom (Saaty) skalom sa vrednostima od 1 do 9 [8].

Konkretna analiza za optimiziranje oscilatorne udobnosti sedišta traktora, vršena je na bazi kriterijuma za pet alternativa - jastuka sa različitim punjenjem. Ispitivane su sledeće alternative (Slika 1.):

1. jastuk ispunjen vazduhom
2. jastuk ispunjen vodom

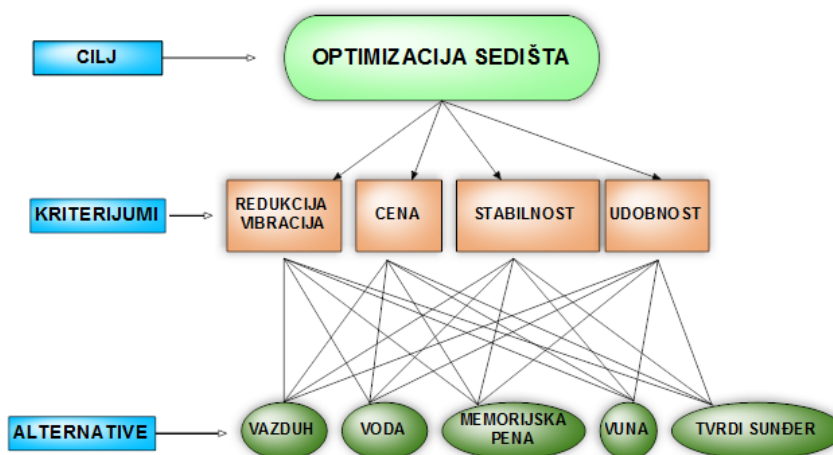
3. jastuk od memorijske pene
4. jastuk od tvrdo presovanog sunđera
5. jastuk ispunjen vunom



Slika 1.- Alternative

Izabrani su kriterijumi s obzirom na njihovu važnost pri radu sa traktorom i to: udobnost pri vožnji (U), redukcija vibracija (R), cena jastuka (C) i stabilnost pri vožnji (S). Tokom optimiziranja, neke od ovih kriterijuma treba maksimizirati (udobnost, stabilnost i redukcija), a neke minimizirati (cena). Iako su svi kriterijumi značajni, rangiranje njihove važnosti, određiće se prema težinskim faktorima kriterijuma, a u zavisnosti od početnog zadatka proučavanja. S obzirom da je postavljeni cilj povećanje oscilatorne udobnosti sedišta, kriterijumu redukcije vibracija na sedištu vozača daće se, pri analizi, najveći značaj, odnosno težina ovog kriterijuma imaće najveću brojčanu vrednost. Iako će težine ostalih kriterijuma biti manje, visoke ocene (rejtinzi) po tim kriterijumima takođe će uticati na krajnji rezultat tj. dobijanje optimalnog rešenja.

Pet vrsta jastuka su alternative koje se analiziraju, u pokušaju da se dobije optimalno rešenje (Slika 2.).



Slika 2. - Konkretni elementi hijerarhije u višekriterijumskoj analizi

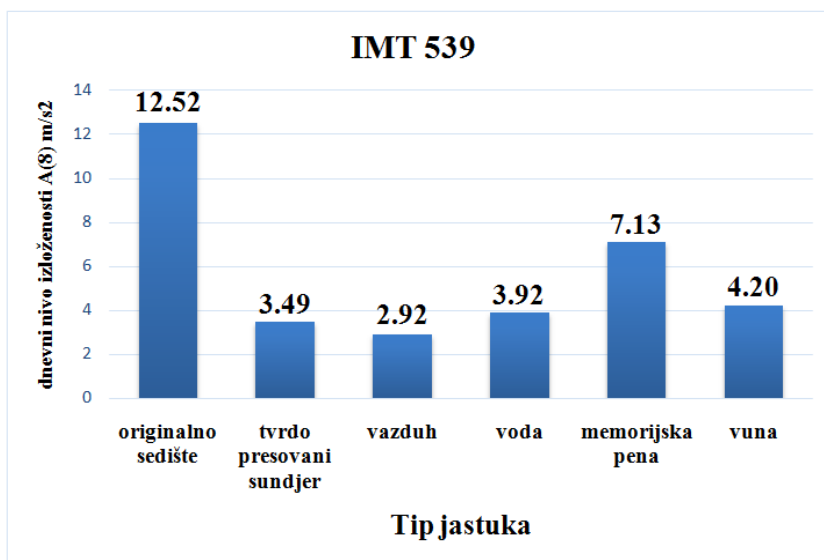
ANALIZA

Redukcija vibracija: Sposobnost sedišta da redukuje vibracije verifikuje se na osnovu merenja ubrzanja vibracija na sedištu i njihovog vrednovanja da bi se dobili dnevni nivoi izloženosti vozača vibracijama. Redukcija vibracija je kvantitativni kriterijum jer postoje konkretne vrednosti, koje pokazuju kvalitet jastuka u pogledu ovog kriterijuma. Postupak merenja obavljen je po standardu ISO 2631 [9], na traktoru IMT 539, a korišćen je uređaj Brüel & Kjær 4447 (Slika 3.). Ovom kriterijumu se u analizi daje najveći značaj, s obzirom na postavljeni zadatak, pa će u konkretnoj analizi on imati veću važnost u odnosu na ostale kriterijume.



Slika 3. - Traktor korišćen u merenju i analizator vibracija Brüel & Kjær 4447

Ukoliko se analiziraju dnevni nivoi izloženosti vozača vibracijama za svaki od jastuka pojedinačno, može se konstatovati da je najbolje rezultate u pogledu redukcije vibracija na sedištu traktora, pokazao jastuk ispunjen vazduhom. Kao najslabiji materijal (ukoliko se isključi originalno sedišta koje je služilo kao polazna tačka u istraživanju) pokazala se memorijska pena (Slika 4.). Sedište ispunjeno vazduhom, smanjilo je nivoe izloženosti vozača vibracijama, u odnosu na originalno sedišta, više od četiri puta. Zato će ovaj jastuk imati prednost u odnosu na ostale alternative.



Slika 4. – Dnevni nivoi izloženosti vozača vibracijama za različite alternative

Cena jastuka. I cena jastuka predstavlja kvantitativni i objektivni podatak, sa napomenom da cene fabričkih jastuka variraju u zavisnosti od proizvođača i kvaliteta. Neki jastuci se ne nalaze u masovnoj proizvodnji i do cene se došlo proračunom cene materijala i radnih sati za njihovu izradu (kao npr. jastuk od vune ili tvrdo presovanog sunđera). Najviša cena jastuka sa vazduhom i vodom doprinela je najnižoj njihovoj oceni prema ovom kriterijumu. Najvišu ocenu dobio je jastuk od tvrdo presovanog sunđera, čija je cena bila najniža (Tabela 1.).

Tabela 1. – Cene jastuka

Tip jastuka	Cena jastuka (€ / jastuku)
Vazduh	≈ 60-150
Voda	≈ 85-100
Memorijska pena	≈ 40
Tvrdo presovani sunđer	≈ 10-15
Vuna	≈ 20

Stabilnost: Ovo je kvalitativni kriterijum jer su vrednovanja alternativa, u potpunosti, rezultat subjektivne procene vozača. Vozač nije imao većih primedbi na stabilnost prilikom vožnji sa različitim jastucima, tako da ne postoje velike razlike u vrednovanju ovog kriterijuma među jastucima.

Udobnost: I ovo je kvalitativni kriterijum jer se vrednovanja opet vrše na osnovu subjektivne procene vozača. Osećaj opšte udobnosti vozača, kao kriterijum, je vrednovan najmanjom ocenom u slučaju jastuka od memorijske pene, a najvišom ocenom u slučaju jastuka od vazduha (tabela). Pod težinom vozača, jastuk od memorijske pene, brzo se elastično deformisao, tako da se u vrlo tankom sloju nalazio između vozača i samog sedišta, te je vozač imao osećaj kao da sedi na metalnoj osnovi sedišta, bez ikakvog jastuka. U slučaju jastuka ispunjenog vodom subjektivni osećaj udobnosti nije bio optimalan jer su vozači prijavljivali temperaturnu nelagodnost tj. jastuci su bili suviše hladni. Merenje je vršeno u zimskom periodu, pri spoljašnjoj temperaturi između 5 i 10°C, a s obzirom da traktori nisu imali kabine, voda u jastucima je vrlo brzo dobijala temperaturu okoline i predstavljala smetnju vozačima. Iako bi u traktoru sa kabinom i pri boljim temperaturnim uslovima osećaj udobnosti bio verovatno bolji, istraživanje se vezuje za najslabije, a ne najbolje uslove rada, pa je ovaj kriterijum, za jastuk ispunjen vodom, vrednovan relativno slabom ocenom. Po ovom kriterijumu najbolje je, od strane vozača, ocenjen jastuk ispunjen vazduhom.

REZULTATI I DISKUSIJA

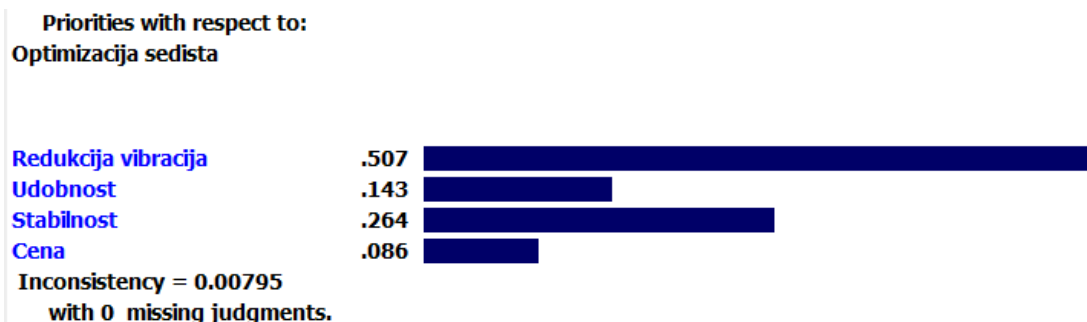
U poređenju kriterijuma „Redukcija vibracija“ i „Udobnost“, prvi kriterijum je umereno važniji (ocena 4 u Satijevoj skali 1 do 9) u odnosu na drugi. Referenca za poređenje kriterijuma „Udobnost“ i „Stabilnost“ je crvene boje (u zagradi), jer softver na taj način označava inverzne vrednosti (drugim rečima važnija je „Stabilnost“ u odnosu na „Udobnost“) (Slika 5.).

Compare the relative importance with respect to: Optimizacija sedista

	Redukcija v	Udobnost	Stabilnost	Cena
Redukcija vibracija		4.0	2.0	5.0
Udobnost			(2.0)	2.0
Stabilnost				3.0
Cena	Incon: 0.01			

Slika 5. - Određivanje relativnih važnosti kriterijuma primenom Sitijeve skale u programu Expert Choice

Softver vrši normalizaciju i računa srednje vrednost za svaki kriterijum. Tako su dobijene vrednosti težina kriterijuma cilja „Optimizacija sedišta“. Najdominantniji je kriterijum „Redukcija vibracija“ (0,507), a najmanje značajan kriterijum je „Cena“ (0,086) (Slika 6.).



Slika 6. - Vrednosti težina kriterijuma po prioritetu

Nekonzistentnost donositelja odluke u procesu upoređivanja i vrednovanja kriterijuma je 0,00795, što se smatra više nego prihvatljivim (<0,10).

Sledeći korak je određivanje relativnih preferencija alternativa u odnosu na zadati kriterijum. Na osnovu informacija o alternativama formira se tablica preferencija (Slika 7.). I ovde se koristi Sitijeva skala. U poređenju alternativa, na primer, prema kriterijumu "Redukcija vibracija", alternativa "Vazduh" je preferentnija u odnosu na ostale alternative.

Compare the relative preference with respect to: Redukcija vibracija

	Vazduh	Voda	Memorijska	Tvrdo presovani	Vuna
Vazduh		2.0	7.0	2.0	4.0
Voda			5.0	1.0	2.0
Memorijska pena				(5.0)	(3.0)
Tvrdo presovani sundjer					2.0
Vuna	Incon: 0.01				

Slika 7. - Preferentnost alternativa prema kriterijumu "Redukcija vibracija"

Kada su u pitanju ostali kriterijumi preferentnosti alternativa dati su na slici 8.

Compare the relative preference with respect to: Udobnost

	Vazduh	Voda	Memorijska	Tvrdo presovani	Vuna
Vazduh		5.0	8.0	3.0	3.0
Voda			2.0	(3.0)	(3.0)
Memorijska pena				(4.0)	(4.0)
Tvrdo presovani sundjer					1.0
Vuna	Incon: 0.01				

Compare the relative preference with respect to: Stabilnost

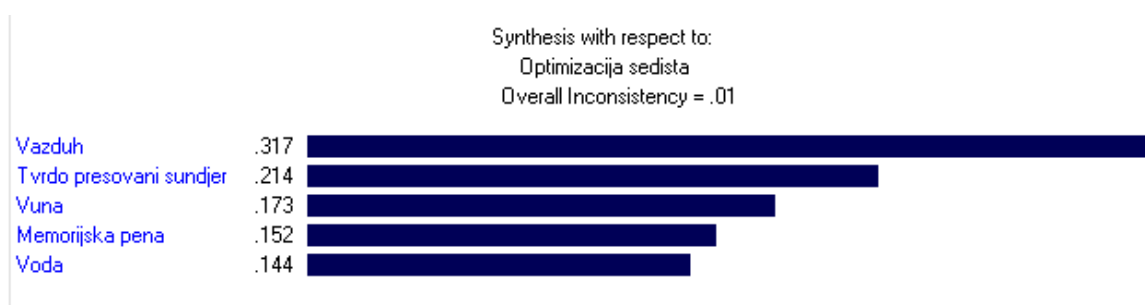
	Vazduh	Voda	Memorijska	Tvrdo presovani	Vuna
Vazduh		3.0	(3.0)	1.0	(2.0)
Voda			(5.0)	(3.0)	(4.0)
Memorijska pena				3.0	2.0
Tvrdo presovani sundjer					(2.0)
Vuna	Incon: 0.01				

Compare the relative preference with respect to: Cena

	Vazduh	Voda	Memorijska	Tvrdo presovani	Vuna
Vazduh		1.0	(3.0)	(7.0)	(5.0)
Voda			(3.0)	(7.0)	(5.0)
Memorijska pena				(4.0)	(2.0)
Tvrdo presovani sundjer					2.0
Vuna	Incon: 0.01				

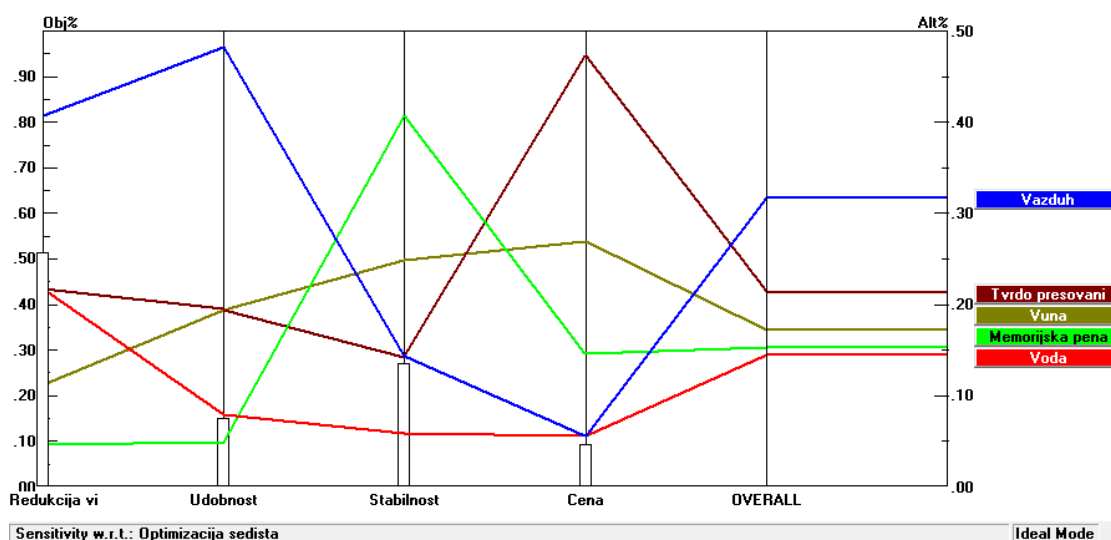
Slika 8. - Preferentnosti alternativa prema različitim kriterijumima

Konačne vrednosti prioriteta alternativa, sa ukupnom greškom nekonzistentnosti od 0,01 prikazane su na slici 9., prema kojoj je najpovoljnija alternativa "Vazduh" sa ukupnim prioritetom 0,317 (31,7%), a najslabija alternativa "Voda" sa 0,144 (14,4%).



Slika 9. Konačne vrednosti alternativa

Stabilnost dobijenog rešenja, u slučaju promena ulaznih podataka, utvrđuje se postupkom analize osetljivosti. Softver omogućuje ovakvu analizu na više načina. Jedan od njih je primena dijagrama performansi osetljivosti (*eng. performance sensitivity*). Na slici 10. dat je prikaz uticaja kriterijuma na svaku alternativu za konkretan slučaj. Ovaj dijagram je, u softveru *Expert Choice*, dinamički jer omogućuje povlačenje stubaca kriterijuma i menjanje vrednosti njihovih težina na y osi dijagrama. Kao odgovor ovim promenama vrednosti težina javljaju se promene vrednosti prioriteta alternativa na pomoćnoj (desnoj) y osi dijagrama.



Slika 10. - Dijagram performansi osetljivosti

ZAKLJUČAK

Kao rezultat izvršene višekriterijumske analize dobijeno je optimalno rešenje po zadatim kriterijumima. Kriterijumu sposobnosti jastuka da redukuje vibracije, data najveća važnost zbog postavljenog zadatka optimizacije oscilatorne udobnosti traktora. U tako postavljenim uslovima, kao optimalno rešenje pokazao se jastuk ispunjen vazduhom.

Analiza omogućava da se važnost pojedinih kriterijuma menja. Ukoliko bi se želeli pomiriti svi postavljeni zahtevi tj. ukoliko bi bila jednaka važnost svih kriterijuma, najbolje ili optimalne alternative bi bile jastuk ispunjen vazduhom i jastuk od tvrdo presovanog sundera. Između ove dve alternative, izbor pada na tvrdo presovani sunder, zbog ujednačenih ocena po svim zadatim kriterijumima.

LITERATURA

- 1) A.J.Scarlett, J.S.Price, R.M.Stayner, (2007) Whole – body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors, *Journal of terramechanics*, 44, str. 65-73.
- 2) H.C.Boshuizen, et al., (1990) Self-Reported Back Pain in Tractor Drivers Exposed to Whole-Body Vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 62, str. 109-115.
- 3) B.Cvetanović, J. Jovanović, (2013) A review of harmful effects to the health of tractor drivers from the impact of whole body vibration, *Tractors and power machines*, 18(3), str. 58-65.
- 4) B. Cvetanović, B. M.Cvetković, D.Cvetković, M.Ristić, (2014) Effect of the Suspension on Whole Body Vibration: Comparison of High Power Agricultural Tractors, VIII International conference Heavy machinery-HM 2014, Srbija, G7-11
- 5) Republički zavod za statistiku (2012). Popis poljoprivrede 2012 – Poljoprivredna mehanizacija, oprema i objekti u Republici Srbiji.
- 6) B.Cvetanović, D.Zlatković, (2013) Evaluation of whole-body vibration risk in agricultural tractor drivers, *Bulg. J. Agric. Sci.*, 19, str. 1161-1166.
- 7) N.Ozkaya, D.Goldheyder, B.Willems, (1996) Effect of operator seat design on vibration exposure, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 57, str.837–842.
- 8) B.Agarski, (2014) Razvoj sistema za inteligentnu višekriterijumsku procenu opterećenja životne sredine kod ocenjivanja životnog ciklusa proizvoda i procesa, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom sadu, Fakultet tehničkih nauka.
- 9) International Organization for Standardization (1997) ISO2631-1:1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements.