

**MODEL GENERIRANJA KARTE BUKE PRI RADU  
TEHNIČKOG SUSTAVA ZA USITNJAVANJE BILJNE MASE  
POINT KRIGGING METODOM**

**THE MODEL OF CREATING NOISE MAPS IN THE OPERATION  
OF TECHNICAL SYSTEMS FOR SHREDDING PLANT MASS BY  
THE POINT KRIGGING METHOD**

**I. Plaščak, Ž. Barač, M. Jurišić, B. Đurđević**

**SAŽETAK**

U radu su prikazane neke od mogućnosti primjene geostatističkih modela u području analize buke na radnom mjestu. Istraživanje je obavljeno u okruženju tehničkog sustava, sitnilice biljne mase „Willibald 2800“ i kombiniranog radnog stroja (traktorski utovarivač s dubinskom žlicom) proizvođača „JCB“ tipa „4CX“ koji je punio sitnilicu biljnom masom. Istraživanje je provedeno tijekom uobičajene eksploatacije strojeva. Mjerenje emitirane razine buke obavljeno je uređajem za mjerenje buke proizvođača „METREL“ tipa „Multinorm MI 6201 EU“ s pripadajućom zvučnom sondom (mikrofonom klase B) istog proizvođača. Krajnji je rezultat istraživanja model generiranja dvodimenzionalne i trodimenzionalne karte buke „Point Krigging“ metodom koja na svima razumljiv način prikazuje rezultate mjerenja buke i omogućava stručnjacima lakše donošenje odluka glede sigurnog rada. Karte buke su neophodne za adekvatno praćenje i monitoring štetnih utjecaja na čovjeka u radnom okruženju.

Ključne riječi: Point Krigging, 3D karta buke, usitnjavanje biljne mase

**ABSTRACT**

The paper describes some of the possible applications of geostatistical models in the analysis of noise in the workplace. This study was conducted in an environment of technical system, the shredder of plant mass "Willibald 2800" and the combined processing machine (tractor loader shovel) manufactured by "JCB", type "4CX" which was filling the shredder with plant mass. The survey was conducted during the normal operation of machines. Measuring emitted noise levels was carried out with the device for measuring

noise produced by "METREL" type "Multinorm MI 6201 EU" with a corresponding sound transducer (microphone Class B) of the same manufacturer. The final result of the research is a model of generating two-dimensional and three-dimensional maps of noise "Point Krigging" method which in an easily understood manner presents the results of noise measuring and allows experts to help you make decisions regarding safe operation. Noise maps are essential for adequate observations and monitoring of harmful effects on humans in the working environment.

Keywords: Point Krigging, 3D noise map, shredding of plant mass

## UVOD

Buka je zagađenje okoliša nastalo zvukom koji nepovoljno utječe na ljudsko audativno zdravlje, fiziološku i psihološku ravnotežu, smanjuje produktivnost (Klaeboe i suradnici 2000.). Razina buke od 90 dB, izaziva trajna oštećenja sluha, ako neprestano djeluje više od osam sati tijekom dana, a veličina koja opisuje buku naziva se razina buke i izražava se u decibelima (dB). Za mjerenje buke najčešće se koriste filteri A tipa, (Čorak 2001.). Kempen i suradnici (2002.) istražuju utjecaj buke na ljudski organizam meta-analizom te njen učinak na razne kardiovaskularne rizike uključujući i hipertenzije.

Bies i Hansen (2009.) navode kako se zvuk smanjuje s udaljenošću, ali to ovisi o vrsti izvora. Za točkasti izvor, intenzitet zvuka varira obrnuto s kvadratom udaljenosti. Zagađenje bukom veće je u razvijenim zemljama zbog suvremenih tehnologija, a kao takvo utječe negativno na život. Činjenica je da za tu, štetnu razinu buke, zna vrlo malo stanovnika (Kalipci and Arslan 2007.). Potočnik i Poje (2010.) istražujući zagađenost okoliša bukom analiziraju tri čimbenika koji imaju utjecaj na širenje buke, pri radu s motornom pilom „Stihl“ Najveći utjecaj na smanjenje buke ima oblik izvora buke te godišnje doba (uvjeti okoliša) napominju autori. Barač i suradnici (2015.) istražujući razinu buke na tri traktora „Fendt 410“ utvrdili su kako je razina emitirane vanjske buke u uvjetima kretanja bila veća kod traktora s manjim brojem radnih sati za razliku od izmjerene razine emitirane buke na mjestu rukovatelja u uvjetima kretanja koje je viša kod traktora s većim brojem radnih sati. Isti autori napominju kako je održavanje bitan čimbenik koji utječe na pojavu i razinu buke.

Podaci o buci mogu se smjestiti u okruženje „Geoinformacijskih sustava (GIS okruženju). Karte buke izrađene u GIS-u mogu se koristiti za analizu i proces upravljanja. Učinak buke može se odrediti u GIS-u kombinacijom razine buke s položajem ljudi koji žive u tom području i njihove osjetljivosti na buku (Kluijver i Stoter 2003.). Karta buke može koristiti za određivanje područja koja su izložena visokoj razini buke. (Stoter i sur. 2008.). Murphy i sur. (2006.) navode kako je u posljednjih nekoliko godina, okolišna buka postala glavni čimbenik politike EU za zaštitu okoliša. ArcMap je GIS-ov programski paket kartiranja u ArcGIS-u koji ima mogućnost centralizacije podataka upravljanim objektima koji su kompatibilni s komercijalnim softverom buke kao što je Predictor. Poboļšane karte buke, zajedno s 3D animacijom u GIS-u, mogu pružiti vizualizaciju karte buke. Cortes i sur. (2004.) navode da kombinacija GIS-ove tehnologije i računalnih metoda omogućuje uključivanje informacija u kartu buke te njihovo ažuriranje, ali i integraciju upravljanja bukom u većem globalnom okolišnom konceptu buke, te integraciju u strateški proces pri stvaranju politike vezane za buku.

## CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj je istraživanja bio prikazati model stvaranja karte buke pomoću „Point Krigging“ metode. U tu svrhu utvrđena je stvarna emitirana razina buke koju proizvodi tehnički sustav za usitnjavanje biljne mase tijekom uobičajenog rada te izrađene pripadajuće karte emitirane buke s odgovarajućim zonama opasnosti za sluh rukovatelja.

## MATERIJAL I METODE

Istraživanje je obavljeno glede utvrđivanja emitirane razine buke koju proizvodi tehnički sustav za usitnjavanje biljne mase Willibald tipa 2800 (slika 1.) i kombinirani radni stroj proizvođača JCB tipa 4CX koji je izvodio postupak punjenja transportera sitnilice biljnom masom. Izrađena je 2D i 3D karta emitirane buke s odgovarajućim zonama opasnosti za sluh rukovatelja i drugih djelatnika koji se mogu naći u radnom prostoru navedenog sustava pri tehnološkom procesu sitnjenja otpadne biljne (drvne) mase. Mjerenje je emitirane razine buke obavljeno integrirajućim uređajem za mjerenje buke proizvođača „METREL“ tipa „Multinorm MI 6201 EU“ s pripadajućom zvučnom sondom (mikrofonom klase B) istog proizvođača. Proizvoljno je odabrano ukupno 26 točaka, kojima su određene njihove koordinate u

prostornom koordinatnom sustavu koje su utvrđene mjernim trakama i laserskim uređajem za mjerenje udaljenosti s obzirom na izvor buke. Visina uređaja za mjerenje buke kod svih 26 mjernih točaka iznosila je 1,5 m. Za svaku točku su tijekom radnog procesa sitnjenje/punjenje obavljena tri mjerenja. Svako mjerenje je imalo tri ponavljanja, a jedno ponavljanje je trajalo 60 sekundi (ukupno tri minute). Pri svakom mjerenju izračunata je srednja vrijednost emitirane razine buke. Pod razinom emitirane buke smatra se ekvivalentna razina buke ( $L_{eq}$ ) težinskog filtera A koja pokazuje prosječnu vrijednost razine zvuka u određenom vremenskom razdoblju.

Za izradu 2D i 3D karte buke korištena je aplikacija „Golden Software Surfer v12“ (Surfer) koja ima sve tražene funkcije poput 3D vizualizacije, oblikovanja i modeliranja plohe pod okriljem „Microsoft Windowsa“. Ova se aplikacija često koristi za modeliranje terena, batimetrijsko modeliranje, vizualizaciju krajolika, površinske analize, konture, 3D površinsko mapiranje, volumetriju i još mnogo toga. Za geostatističko modeliranje korištena je metoda „Ordinary Kriging“. Procjena „Krigingom“ temelji se na upotrebi postojećih (tzv. kontrolnih točki) čiji je utjecaj na procjenu izražen odgovarajućim težinskim koeficijentima. Pod izrazom „kontrolne točke“ u ovom radu se podrazumijevaju lokacije (koordinate) zvukomjera s pripadajućim izmjerenim vrijednostima. Procjena načinjena „Krigingom“ podrazumijevala je zadovoljavanje određenih kriterija. Procjena je bila nepristrana te je načinjena tako da je varijanca razlike između stvarnih i procijenjenih vrijednosti u odabranim točkama najmanja moguća - varijanca „Kriginga“. Nakon završetka procjene na odabranom je gridu algoritam „Kriginga“ također izračunao predviđenu i stvarnu grešku procjene. Te vrijednosti su uspoređene s mjerenom vrijednošću na kontrolnoj točki koja je upotrijebljena kao ulazni podatak. Na taj je način određena pouzdanost procjene te kvaliteta odabranog prostornog modela. „Kriging“ metoda kao geostatistička „Griding“ metoda pokazala se popularnom i korisnom na mnogim područjima. Ova metoda kreira vizualno dopadljive mape iz neravnomjerno raspoređenih podataka. Jako je fleksibilna i može se koristiti za „Griding“ na skoro bilo kojem skupu podataka. U aplikaciji „Surfer Kriging“ je ishodišna metoda, jer kreira dobre mape bez obzira na gustoću skupa podataka. Pri korištenju ove metode moguće je u većini slučajeva koristiti početne postavke kako bi rezultat bile precizne grid strukture podataka ili se „Kriging“ metoda može prilagoditi skupu podataka prema potrebama koristeći odgovarajući model variograma. Ta metoda objedinjuje anizotropiju i karakteristične trendove unutar skupa podataka na djelotvoran i prirodan način u

svrhu stvaranja što vjernije grid mreže. Razlikuju se dva tipa „Kriging“ metode: „Point Kriging“ i „Block Kriging“. „Point Kriging“ metoda procjenjuje vrijednosti točaka na grid čvorovima, dok „Block Kriging“ procjenjuje prosječnu vrijednost pravokutnog bloka centriranog na grid čvorovima. „Block Kriging“ stvara „uglačanije“ konture, ali budući da ne procjenjuje vrijednosti na točkama ne spada u „savršene“ interpolatore pa se stoga „Point Kriging“ metoda koristi kao početna. Za veće skupove podataka „Kriging“ metoda je spora, ekstrapolira grid vrijednosti izvan dosega datih podataka i spada u egzaktne i „Smooth Gridding“ interpolatore, ovisno o želji korisnika. U radu je korištena „Point Kriging“ metoda.



*Slika 1. Sitnilica biljne mase Willibald 2800*

*Figure 1. Plant shredder machine Willibald 2800*

Uređaj „METREL“ tipa „Multinorm MI 6201 EU“ s pripadajućom zvučnom sondom (mikrofonom klase B) istog proizvođača, kojim je obavljeno navedeno mjerenje prema normi HRN ISO 4872, kao rezultat mjerenja sljedeće vrijednosti:

$L_{eq}$  - vremenski usrednjena ili ekvivalentna trajna zvučna razina mjeri se u oba mjerna kanala. To je najtraženija i najupotrebljavanija veličina koja je ujedno i srednja vrijednost zvučne razine za cijelo vrijeme mjerenja.

$L_{Fmin}$  - najniža vremenski usrednjena zvučna razina koja se mjeri u brzom kanalu odziva (F, fast:  $r = 125$  ms).

$L_{Fmax}$  - najviša vremenski usrednjena zvučna razina mjeri se u brzom (F) kanalu.

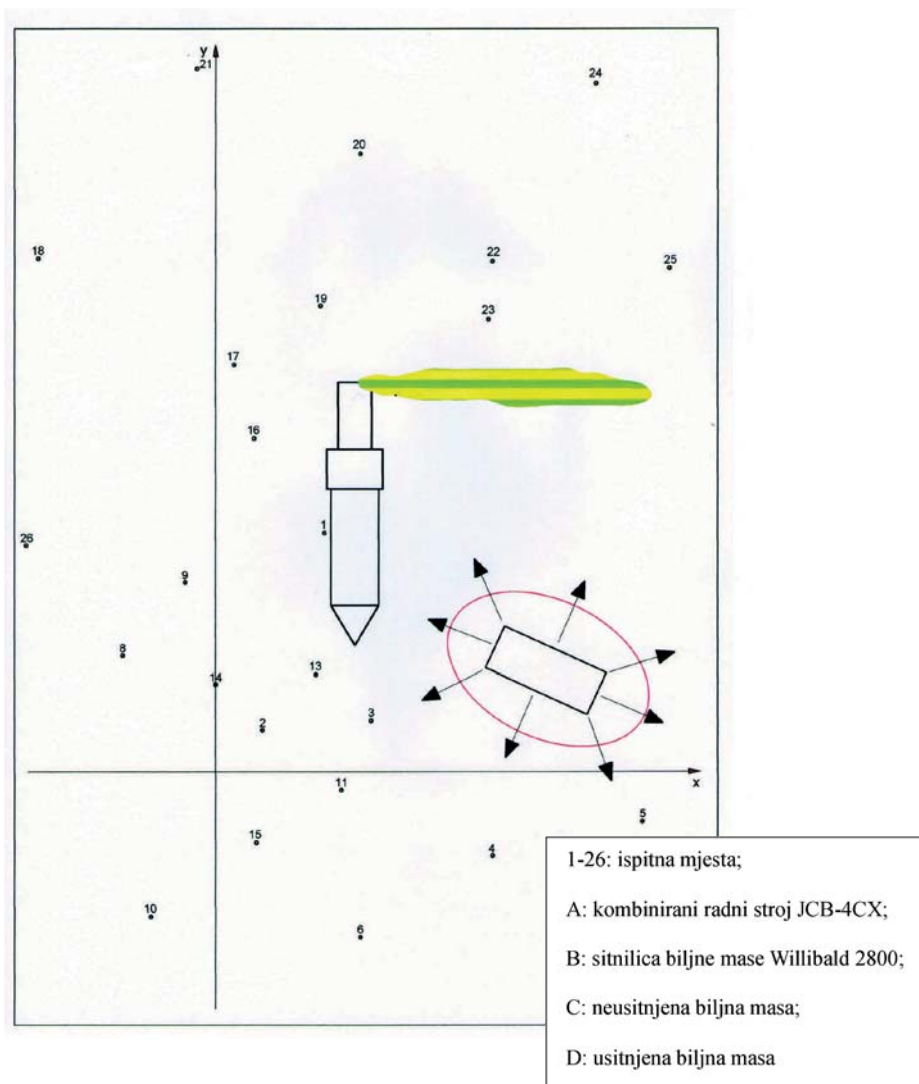
Izmjerene vrijednosti statistički su obrađene koristeći se dodatkom za statističku obradu podataka programskog paketa „MS Office Excel 2007“ i programom „IBM SPSS Statistics v.19.0.1.“

U svim mjerenjima jačina je vjetra zanemariva dok su temperatura i tlak zraka bili pogodni za mjerenje buke.

## REZULTATI

Za vrijeme eksploatacije i tehnološkog procesa sitnjenja otpadnih biljnih ostataka tehnički sustav sitnilice postavljen je stacionarno dok se tehnički sustav kojim se izvršava punjenje uvlačnog transportera sitnilice (kombinirani stroj) kretao u određenom području koje je prikazano na slici 2.

I. Plaščak i sur.: Model generiranja karte buke pri radu tehničkog sustava za usitnjavanje biljne mase Point Krigging metodom



Slika 2. Tlocrt radnog područja ispitivanog tehničkog sustava (AutoCAD)

Figure 2. Working area ground plan (AutoCAD)

Srednje vrijednosti izmjerenih karakterističnih veličina prikazane su u tablici 1. Izmjerena razina buke u točkama: 1, 3, 9 i 12 veća je od dozvoljene granične buke koja iznosi 85 dB i kreće se u rasponu od 85,23 dB do 92,7 dB. U ostalim točkama izmjerene vrijednosti buke zadovoljavaju propisanu sigurnosnu razinu za rad.

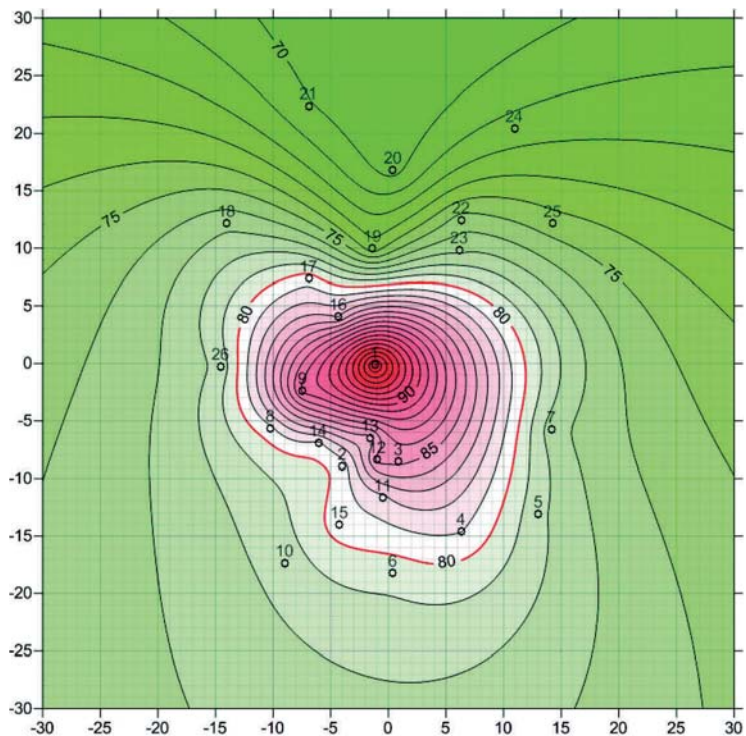
**Tablica 1. Srednje vrijednosti karakterističnih veličina**

**Table 1. The average values of characteristic sizes**

Točka	$L_{eq}$ , dB	$L_{Fmax}$ , dB	$L_{Fmin}$ , dB
1	97,27	102,20	92,73
2	80,47	87,67	76,87
3	85,23	95,10	76,33
4	81,03	86,83	75,53
5	78,27	85,23	71,10
6	79,37	85,07	72,20
7	77,43	85,83	72,73
8	80,73	87,33	77,70
9	88,27	93,73	83,23
10	78,47	84,00	73,30
11	81,73	87,87	75,13
12	85,33	94,43	78,63
13	83,57	90,00	81,47
14	80,80	92,63	78,10
15	80,57	87,37	76,03
16	83,00	88,90	80,57
17	80,60	85,80	77,13
18	76,73	82,07	72,17
19	73,40	87,13	65,70
20	69,63	78,30	64,53
21	70,10	80,43	65,20
22	75,53	82,77	72,43
23	76,77	82,97	74,50
24	71,43	77,90	68,10
25	74,43	81,40	71,00
26	78,37	83,77	74,93

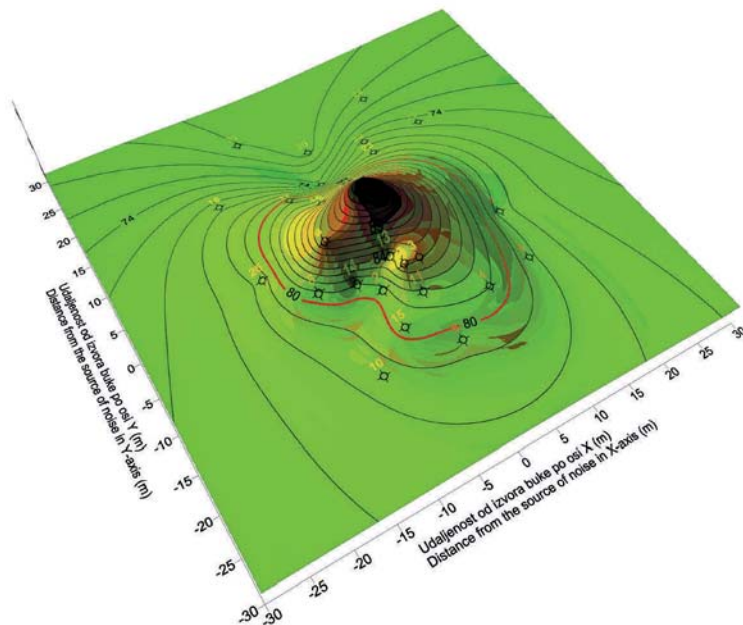


Kako je prikazivanjem podataka u tablicama relativno teško definirati sigurnosne zone za rad rukovatelja i ostalih djelatnika koji sudjeluju u procesu usitnjavanja biljne mase pokušalo ih se riješiti izradom karte - mapiranjem. Stoga je izrađena dvodimenzionalna (2D) i trodimenzionalna (3D) karta, slike 3 i 4. Karte su izrađene „Ordinary Point Krigging“ modeliranjem u aplikaciji „Golden Software Surfer v122“. Ishodišna točka na kartama koordinatnog sustava predstavlja izvor buke. Linije prikazuju područja djelovanja buke iste razine, ovisno o udaljenosti od izvora buke po osi x i po osi y. Lako su uočljive zone djelovanjem buke od 80, 85 i 90 dB te udaljenosti od ishodišta. Crvena zona predstavlja po zdravlje opasno područje za dugotrajnije zadržavanje rukovatelja, dok zelena zona predstavlja sigurno područje za rad.



Slika 3. Dvodimenzionalna (2D) karta buke

Figure 3. Two-dimensional (2D) noise map



Slika 4. Trodimenzionalna (3D) karta buke  
Figure 4. Three-dimensional (3D) noise map

## ZAKLJUČCI

U ovom radu prikazan je način primjene geostatističkih modela u području analize buke na radnom mjestu. „Kriging“ je jedna od najnaprednijih metoda za interpolaciju. Nudi brojne prednosti pred ostalim metodama, no ima i određenih nedostataka. Radi se o matematički zahtjevnijoj i naprednijoj metodi koja zahtijeva izvođenje velikoga broja operacija, odnosno veliki utrošak vremena. S vremenom je razvijeno više varijanti ili podmetoda „Kringinga“ uglavnom kako bi se izvorni algoritam prilagodio različitim skupovima ulaznih podataka, odnosno različitim željenim izlazima. Obavljena je podjela okoline u odgovarajući broj zona ili sektora unutar odabranog radijusa te su određene granične minimalne ili maksimalne vrijednosti koje će ući u procjenu odabrane točke.

Pri tehnološkoj operaciji sitnjenja biljnih ostataka izvedena su mjerenja buke u 26 mjernih točaka radi određivanja intenziteta proizvedene buke te njezinog praćenja sukladno Zakonu o zaštiti na radu (NN 154/14) i ostalim pozitivnim zakonskim aktima koji reguliraju to područje. Korištenjem suvremene tehnologije i kombiniranim postupcima mjerenja dobiveni su pouzdani podatci koji su korišteni za daljnju analizu. Krajnji je cilj bio izraditi dvodimenzionalni i trodimenzionalni model buke koji će na razumljiv način prikazati rezultate mjerenja buke.

Mapiranjem u radni okoliš emitirane buke dobivaju se neophodne podloge za potrebe analiza i procjena rizika od suvišne buke u cilju ublažavanja neželjenih posljedica. Karte buke su neophodne za odgovarajuće praćenje i monitoring štetnih utjecaja na čovjeka u radnom okruženju te za zaštitu njegova zdravlja.

#### LITERATURA

1. Barač, Ž., Plaščak, I., Jurić, T., Jurišić, M., Zimmer, D. (2015): Starost traktora kao čimbenik proizvedene razine buke, *Agronomski glasnik* 76(3): 151-161.
2. Bies, D. A., Hansen, C. H. (2009): *Engineering Noise Control: Theory and Practice*, Fourth Edition, New York: Taylor & Francis, New York.
3. Cortes, A., Apuru, I., Tellado, N. (2004): *Environmental Noise Management Systems in Large Towns Integrating GIS Technological Centre*, Bilbao, Spain. Home page address: <http://lib.ioa.ac.cn/ScienceDB/18THICA/pdf/We2.X1.5.pdf> (2015-10-11)
4. Čorak, T. (2001): Sustav automatiziranog ispitivanja asinkronog stroja u tvornici, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Zagreb.
5. DZNM (2000), Akustika - mjerenje buke građevnih strojeva namijenjenih vanjskoj uporabi - metoda za provjeru zadovoljavanja dopuštenih granica buke, HRN ISO 4872, Zagreb.
6. Kalipci, E., Arslan, F. (2007): Determination of noise pollution knowledge in the sport centres of Konya city, *Journal of International Environmental Application & Science*, 2(3-4): 63-69.
7. Kempen, E. E. M. M., Kruize, H., Boshuizen, H. C., Ameling, C. B., Staatsen, B. A. M., Hollander, A. E. M. (2002): The association between noise exposure and blood pressure and Ischemic heart disease: a meta - analysis, *Environmental Health Perspectives* 110(3): 307-317.

8. Klæboe, R., Kolbenstvedt, M., Clench – Aas, J., Bartonova, A. (2000): Oslo traffic study - part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance, *Atmospheric Environment* 34(27): 4727-4736.
9. Kluijver, H., Stoter, J. (2003): Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies, *Computers, Environment and Urban Systems* 27(1): 85-102.
10. Murphy, E., Rice, H. J., Meskell, C. (2006): Environmental noise prediction, noise mapping and GIS integration: the case of inner Dublin, Ireland, 8th International Symposium Transport Noise and Vibration, 4. - 6. June 2006, St. Petersburg, pp. 1-10.
11. Potočnik, I., Poje, A. (2010): Noise Pollution in Forest Environment Due to Forest Operations, *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(2): 137-148.
12. Stoter, J., De Kluijver, H., Kurakula, V. (2008): 3D noise mapping in urban areas, *International Journal of Geographical Informaton Science* 22(8): 907-924.
13. \*\*\*Zakon o zaštiti na radu NN (154/2014), Zagreb.

**Adresa autora - Authors' address**

Željko Barač, mag.ing.agr.  
e-mail: zbarac@pfos.hr,  
Doc.dr.sc. Ivan Plaščak,  
Prof.dr.sc. Mladen Jurišić,  
Doc.dr.sc. Boris Đurđević,

**Primljeno-received:**

25.04.2015.

Poljoprivredni fakultet Osijek,  
Sveučilište J. J. Strossmayera,  
Kralja Petra Svačića 1d, 31000 Osijek, Hrvatska