Dr Predrag Petrović,
dipl. inž.
Industrija motora Rakovica,
Beograd

PROSTIRANJE POBUDNIH POREMEĆAJA KROZ STRUKTURU DIZEL MOTORA

UDC: 621.436.1:534.831.08

Rezime:

U ovom radu prikazan je deo rezultata istraživanja procesa generisanja strukturne buke dizel motora. Sam proces rada motora sa unutrašnjim sagorevanjem inicira stvaranje energije u svojim sklopovima, koja pobuđuju sopstvene modalne oscilacije pojedinih komponenata preko čijih površina se emituje zvuk u okolini. Takva istraživanja obavljena su uz sopstveni razvoj metoda za primenu intenziteta zvuka i eksperimentalne modalne analize, a rezultati su prikazani za blok motora i jednodelno korito.

Ključne reči: motor, buka, modalna analiza, zvučni intenzitet, korito motora, blok motora.

PROPAGATION OF EXCITATION DISTURBANCES THROUGH THE DIESEL ENGINE STRUCTURE

Summary:

A part of research results concerning the process of the Diesel engine structural noise generation is presented in the article. The very process of the internal combustion engine functioning initiates the energy creation in its parts which, then, excitate their own modal oscillations of particular components and through their surfaces the sound is emitted into the environment. The researches are done by the author's own method for the application of sound intensity and experimental modal analysis. The results relating to the engine block and the single-part engine oil sump are presented.

Key words: engine, noise, modal analysis, sound intensity, engine oil sump, engine block.

Uvod

Zbog ubrzanog razvoja industrije, saobraćaja, energetike i drugih delatnosti sve je prisutniji problem buke, kao aktivni parametar čije kontinualno, impulsno ili neko drugo dejstvo nepovoljno utiče na populaciju stanovništva. Motor sa unutrašnjim sagorevanjem, kao pogonski agregat motornih vozila, predstavlja značajan izvor vibracija i buke, što se može veoma nepovoljno odraziti na vozilo, vozača, putnike i okolinu.

Motor predstavlja višepobudni izvor vibracija i buke inicirane od sklopova i pomoćnih agregata čijim radom se mehanička energija i pritisak gasova pretvara u energiju talasnog kretanja. Pobudni talas pri kretanju kroz strukturu motora pobuđuje sekundarne talase usled modalnog oscilovanja većih delova motora (blok, korito, glava i dr.). Pored toga, teško je raščlaniti pobudu od odziva, mada su oni u međusobnoj interakciji.

Predmet istraživanja ovog rada jeste utvrđivanje izvora pobude, ose-

tljivosti delova na pobudu i karakter akustičke emisije na različitim režimima rada, sa posebnim osvrtom na rad motora na maksimalnom broju obrtaja i pri punom opterećenju. Rezultati takvih istraživanja omogućavaju uspostavljanje zakonitosti u procesu generisanja buke brzohodnog dizel motora S54 proizvedenog u Industriji motora Rakovica, koji je bio predmet istraživanja.

Uz teorijske analize istraživanja su se zasnivala na eksperimentalnim ispitivanjima. Za te potrebe u Institutu industrije motora Rakovica iz Beograda razvijene su metode primene intenziteta zvuka i eksperimentalne modalne analize. Prva metoda primenjena je pri merenju buke motora pri maksimalnom broju obrtaja i punom opterećenju, a druga pri utvrđivanju osetljivosti na pobudu pojedinih komponenata motora (blok, korito i glava motora).

Primenom ovih metoda moguće je utvrditi akustičku aktivnost pojedinih komponenata ili zona motora, što predstavlja dobru osnovu za optimizaciju delova, sa aspekta smanjenja emitovane buke. U ovom radu prikazane su osnove navedenih metoda i međusobne korelacije dobijenih rezultata za blok i jednodelno korito ispitivanog dizel motora S54 IMR.

Poremećajni procesi u strukturi dizel motora

Motor sa unutrašnjim sagorevanjem predstavlja višepobudni izvor vibracija i buke. Tu spadaju svi sklopovi i pomoćni agregati pri čijem radu se deo mehaničke energije i pritiska gasova pretvara u energiju talasnog kretanja. Na mestima nastanka poremećaja mogu nastati primarni zvučni talasi koji se neposredno prenose na akustički prostor. Drugi deo energije izaziva talasni proces unutar delova motora koji može biti pojačan modalnim oscilovanjem (blok, glava, korito i dr.).

Poremećajni procesi u dizel motorima mogu se svrstati u tri grupe. U prvu grupu spadaju dinamičke sile izazvane radom motora (sile procesa sagorevanja, neuravnotežene inercijalne sile, promenljivi obrtni momenti, sile neujednačenosti radnog procesa i dr.) Drugu grupu čine udari nastali zbog konstrukcionih zazora (klipni sklop, klipni mehanizam, ventilski mehanizam i dr.), a treću, pobude koje mogu biti izazvane radom pojedinih podsklopova i komponenata (pumpa visokog pritiska, razvodni mehanizam, pumpe za vodu i ulje, ventilator, usisni i izduvni sistem, alternator i dr.).

Energija poremećaja apsorbuje se u unutrašnjost delova sudarima, klizanjem, kotrljanjem, vrtložnim strujanjem i dr. Jedan deo ove energije pretvara se u zvučne talase (primarni), drugi deo se emituje u okolinu u vidu zvučnih talasa preko spoljnih površina motora, a treći deo pobuđuje modalne (sopstvene) vibracije delova koji pobuđuju (pojačavaju) sekundarne zvučne talase.

Komponente motora (klipovi, zglobovi, ventili, pumpe i dr.) stvaraju primarne talase, ali je kod njih važnija energija koja se apsorbuje u strukturi motora i koja pobuđuje pojedine delove, pa se zbog toga tretiraju kao pobuđivači. Blok, glava i korito su delovi sa velikim površinama preko kojih se emituju zvučni talasi u okolinu. Na taj način emituje se deo apsorbovane i deo energije pobuđenih sopstvenih vibracija. Ovi delovi, osim apsorbovanih, generišu i energiju sopstvenih — modalnih vibracija.

Količina energije koju apsorbuju delovi motora proporcionalna je veličini elastičnih deformacija, zapremini koja je obuhvaćena deformacijama i frekvenciji ponavljanja poremećaja. Ova energija podstiče talasno kretanje čija brzina, talasna dužina i frekvencija zavise od gustine ρ i modula elastičnosti E . Talasi se mogu prostirati longitudinalno, fleksiono, smičuće

ili torziono, zavisno od pravca deformacija.

Talas koji stigne do spoljne površine mašinskog dela odbija se ka unutrašnjosti, pri čemu se površina pomera prema spoljašnosti, a stvorena energija talasnog kretanja prenosi na okolinu u vidu zvučnog talasa ili se prenosi na druge delove.

Prostiranje elastičnih deformacija izazvanih ekspanzijom u komori za sagorevanje prikazano je na slici 1, čije se odbijanje vrši do potpunog prigušenja — reverberacije.

Sl. 1 — Prostiranje elastičnih deformacija izazvanih ekspanzijom u komori za sagorevanje

Primena eksperimentalne modalne analize bloka i jednodelnog korita motora

Apsorbovana energija pod dejstvom elastičnih poremećaja prenosi se kroz elastičnu sredinu strukture motora u vidu talasa. Elastično telo, po-

buđeno energijom udarnog talasa, generiše jednu ili više sopstvenih frekvencija koje zavise od materijala (mase, krutosti i sl.). Svako od frekvencija odgovara određeni oblik deformacija (glavni oblik) ili tzv. modalni oblik.

Određivanje maksimalne amplitude i frekvencije glavnih oblika oscilovanja vrši se pobudom posredstvom udarne sile. Osim udarnih oscilacija, udarom se pobuđuju i sopstvene oscilacije različitih frekvencija.

Za eksperimentalno određivanje modalnih odziva delova motora korišćena je metoda udara pomoću modalnog čekića. Ponavljanjem i varira-

Sl. 2 — Pobudni i merni sistem za eksperimentalnu modalnu analizu

njem mesta pobuđivanja i merenja odziva dobija se pouzdanija slika o modalnoj aktivnosti komponenata moto-

ra. Odnos intenziteta odziva i intenziteta pobude za pobudnu frekvenciju definiše atenuaciju između tačaka udara i pobude. Za ostale frekvencije dobija se intenzitet odziva.

Na slici 2 prikazan je merni sistem za eksperimentalnu modalnu analizu, koji čine pobudni i odzivni deo.

Vremenske funkcije pobudne sile i ubrzanja na mestu odziva uvode se u analizator i nakon transformacije (FFT) upoređuje se odnos odziva i pobude za svaku frekvenciju u spektru. Takvim postupkom utvrđuje se odnos koji pokazuje kojim frekvencijama osciluje unutrašnja masa nekog mašinskog dela.

Izmerene vremenske funkcije ubrzanja, preko A/D konvektora, brzinom od 35 000 očitavanja u sekundi uz pomoć softvera DRAVE i personalnog

Sl. 3 — Merna mesta na bloku motora (materijal SL. 26)

računara podvrgavaju se postakvizicionoj obradi. Ona se sastoji od FFT analize i formiranja grafičkih prikaza funkcije odziva ili prenosne funkcije u frekvencijskom domenu. Ovi kratkotrajni (trenutni) vremenski signali FFT analizom se transformišu u Furijeov red elementarnih sinusnih funkcija različitih frekvencija. Za svaku frekvenciju zatim se upoređuje veličina amplitude elementarne funkcije izmerenog ubrzanja (a) i amplitude elementarne funkcije pobudne sile (F).

Primenom ove metode ispitivanja su obavljena na bloku, glavi i koritu motora, a prikazani su rezultati za blok

Sl. 4 — Merna mesta na jednodelnom koritu motora (materijal SL. 26)

i jednodelno korito. Prikaz mernih mesta za blok dat je na slici 3, a za jednodelno korito na slici 4.

Modalne vrednosti date su u tabelama 1 i 2.

S obzirom na to da blok motora predstavlja kompaktnu konstrukciju celinu, mase 46,8 kg, ispresecane kanalima, otvorima i rebrima, frekvencijski spektar izmerenih vibracija je relativno visokog nivoa. Do frekvencija 2348 Hz nivoi amplitudnog odziva (a/F) relativno su niski, a najizraženiji je na mestu Pc4 i iznosi 159 m/Ns², odnosno 112 m/Nm² na mestu Pc2 i pri frekvenciji 2000 Hz. Najve-

će vrednosti amplitudnih odziva su za 2826 Hz, 2155 m/Ns² (Pb1), 1733 m/Ns² (Pb4). Za frekvencije 3040 Hz nivo amplitudnog odziva je nešto niži i iznosi 1289 m/Ns² (Pa3), 967 m/Ns², (Pa5), 506 m/Ns² (Pa1), 423 m/Ns² (Pc1). Najveći intenzitet odziva je u području 2826 do 4040 Hz dok frekvencije izvan tog opsega nisu interesantne za analizu zbog relativno niskih vrednosti amplituda.

Tabela 1

R. br.	M.M. Hz	Pa ₁	Pa ₂	Pa ₃	Pa ₄	Pa ₅	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃	Pb ₄	Pb ₅	Pc ₁	Pc ₂	Pc ₃	Pc ₄	Pc ₅
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	1783	41	31	—	—	—	—	41	—	—	—	—	—	85	85	—
2.	2000	—	53	—	—	—	—	38	—	73,5	—	—	112	—	159	—
3.	2348	82	—	—	—	—	—	26,5	—	47	—	—	—	—	—	—
4.	2478	165	—	—	—	—	436	—	—	35	120,5	—	—	—	—	—
5.	2826	420	109	311	1733	255	2155	71	453	57	100	488	220,5	309	132	—
6.	3040	506	—	1289	—	967	261	29	141	—	63	423	—	159	—	215
7.	3131	185	37	—	—	—	—	—	—	—	—	141	—	—	—	—
8.	3478	—	54	—	—	—	—	43	—	48,5	73,5	—	—	—	—	—
9.	3696	147	—	—	—	—	324	51,5	118	76,5	112	—	—	—	—	—
10.	3913	—	—	—	—	—	—	—	—	50	54	276	—	—	—	106
11.	4087	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	279	—	—
12.	4304	—	—	—	—	—	—	—	—	65	81	141	—	—	588	—
13.	4522	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	235	285	165
14.	4696	—	—	—	—	—	—	—	197	—	37	—	—	—	—	—
15.	5392	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	247	—	—	—	—
16.	6348	97	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17.	7087	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	—	—	—
18.	7696	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29,5	—	—	—	—
19.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabela 2

R. br.	M.M. Hz	Pa ₁	Pa ₂	Pa ₃	Pa ₄	Pa ₅	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃	Pb ₄	Pb ₅	Pc ₁	Pc ₂	Pc ₃	Pc ₄	Pc ₅	Pd ₁	Pd ₂	Pd ₃	Pd ₄	Pd ₅
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.	1217	296	—	—	444	—	—	—	—	415	—	518	622	—	—	—	—	—	—	—	—
2.	1478	489	—	—	—	81	—	—	—	—	—	—	—	—	1882	355	—	—	—	474	363
3.	1739	—	—	—	—	—	—	—	—	859	—	473	726	—	7529	—	—	—	—	—	—
4.	2087	548	618	200	933	215	—	522	—	—	200	—	1540	400	3706	326	618	—	—	1303	1044
5.	2174	252	—	—	467	—	—	—	—	1022	—	—	1659	—	—	—	3353	4556	578	—	—
6.	2522	1644	3765	156	500	240	2111	2644	400	963	522	2054	548	1259	1259	696	—	2222	311	859	1081
7.	2783	—	—	—	—	152	—	867	—	652	311	454	666	—	—	—	—	—	296	—	—
8.	2913	—	—	—	455	—	—	—	—	385	222	473	1008	—	—	—	—	1444	—	622	—
9.	3044	—	—	—	389	122	—	—	—	—	367	—	1185	—	—	—	823	—	—	444	—
10.	3217	326	—	185	—	148	733	—	—	415	217	582	948	—	—	—	1000	1296	—	—	548
11.	3478	555	—	188	744	189	—	—	—	444	267	1163	503	341	1588	977	1147	—	889	1807	711
12.	3630	—	—	—	—	—	933	—	—	889	750	636	1185	—	—	—	—	—	—	—	518
13.	3800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	878	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14.	4131	—	—	—	—	137	2266	—	—	—	—	473	—	912	—	—	—	—	—	—	—
15.	4609	267	—	—	—	74	933	—	—	—	—	1509	—	726	—	1200	—	—	400	—	—
16.	4809	—	—	—	—	—	1022	—	474	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17.	5609	—	—	—	—	89	—	—	—	—	—	—	592	1081	—	933	—	—	326	—	—
18.	5783	—	—	—	—	—	—	—	—	—	411	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19.	6190	—	—	—	—	170	—	—	504	—	744	—	—	474	—	—	—	—	—	—	—
20.	6500	—	—	763	—	118	—	—	1096	—	222	—	—	696	—	—	—	—	—	—	—
21.	7000	—	—	207	—	229	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22.	7478	—	—	—	—	159	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23.	7870	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	444	1022	—	—	—	—	—	—	—
24.	8087	—	—	—	—	129	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Jednodelno korito izrađeno je od SL. 26, mase 11 kg, sa relativno velikim ravnim površinama koje mogu preneti akustičku energiju na okolinu. Zbog toga je izbor mernih mesta pobude bio na četiri mesta (a, b, c, d), a odziva na pet mesta (1, 2, 3, 4, 5).

Pa2, 618 m/Ns², Pc2, 1540 m/Ns² Pd5, 1044 m/Ns².

Povećane amplitude odziva su i na mestu Pd2 gde je registrovan visok nivo amplituda i to pri 2174 Hz, 4556 m/Ns², 2522 Hz, 2222 m/Ns², 2913 Hz, 1444 m/Ns².

I za pobude na drugim mernim mestima pojačan je intenzitet odziva pri visokim frekvencijama od kojih su najkarakterističnije 3765 m/Ns², na 2522 Hz (Pa2), 2644 m/Ns², (Pb2).

Karakteristična je i frekvencija 3478 Hz sa odnosom amplituda 555 m/Ns², (Pa1); 744 m/Ns², (Pa4); 1163 m/Ns², (Pc3), 1807 m/Ns², (Pa4) i dr.

Od viših, frekvencija 4009 Hz je sa relativno visokim nivoom amplitude odziva, dok je iznad ove frekvencije nivo amplituda niži od prethodnih.

Generalno se može reći da jednodelno korito od SL. 26 vibrira visokim amplitudama ubrzanja pri navedenim karakterističnim frekvencijama. Pri tome se posebno izdvajaju ona koja se dešavaju oko 2000 Hz i oko 2500 Hz.

Modalna analiza obavljena je radi utvrđivanja sopstvene frekvencije delova, odnosno korita motora. Ovim frekvencijama ostvarene su slobodne i prigušene vibracije koje pojačavaju zvučne talase. Energija pobude kod ovih učestanosti može biti pojačana, pa su sopstvene frekvencije zbog toga veoma značajan parametar u analizi buke dizel motora.

Na slici 5 prikazane su maksimalne vrednosti izmerenih modalnih odziva kao i njihove frekvencije.

Primena metode intenziteta zvuka

Metoda zvučnog intenziteta je novije datuma a njena primena je višestruka sa aspekta istraživanja buke zvučnih objekata i određivanja dopri-

Sl. 5 — Maksimalni modalni odziv jednodelnog korita motora

Pobude na mestu c izazivaju vibriranje šireg i dubljeg dela korita koje se prenose po celoj zapremini pobuđujući preostale zone. Amplitudni odziv na tom mernom mestu najizraženiji je pri 2087 Hz i iznosi 933 m/Ns² (Pa4), odnosno 1303 m/Ns². Za ovu frekvenciju i na drugim mestima su izmereni relativno visoki nivoi amplitude. Na mestu Pa1, utvrđen je odnos amplitude odziva i pobude 548 m/Ns²

nosa pojedinih zona izvora u ukupnoj emisiji zvučne energije.

U principu, zvučni intenzitet predstavlja fluks zvučne energije kroz elementarnu površinu i označava se kao $\bar{I} = p \cdot \bar{v}$.

Merenje zvučnog pritiska ne predstavlja problem u praksi, dok definisanje trenutne brzine čestica nije jednostavno, pa se pribegava merenju gradijenta promene pritiska u definisanoj tački, tako da je:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial r}; \quad v = \frac{1}{\rho} \int \frac{\partial p}{\partial r} \cdot dt$$

$$I = -\frac{p_A + p_B}{2\rho\Delta r} \int (p_B - p_A) dt$$

Na slici 6 prikazana je merna šema toka signala intenziteta zvuka sa dva uparena mikrofona na rastojanju Δr u pravcu r . Uz uslov istovremenog uvođenja signala iza pojačivača dobijaju se trenutne vrednosti zvučnog pritiska u tačkama A i B. Nakon toga sledi definisanje zvučnog pritiska, kao aritmetičke sredine izmerenih vrednosti i definisanje brzine prema jednačini za zvučni intenzitet (I). Posle usrednjavanja u vremenu dobija se intenzitet komponente vektora I u tački C u pravcu r (slika 6).

Definisanjem zvučnog objekta (motora), uslova rada, merne površine (mreže) i rastojanja mikrofona, meri se zvučni intenzitet upravno na referentnu površinu na različitim frekvencijama, kao i po A i Lin skali.

Nivo zvučnog intenziteta za levu stranu motora S54 IMR pri maksimalnom opterećenju i nominalnom broju obrtaja ($n=4200 \text{ min}^{-1}$), meren je za frekvencije 500 Hz, 1 kHz i po A skali.

Pri frekvenciji od 500 Hz nivo zvučnog intenziteta je nešto viši u odnosu na 250 Hz sa tendencijom povećanja na desnoj strani motora u delu (Y4 do Y8) i (X4 do X8).

U predelu desnog dela korita i zamajca do povećanja dolazi usled relativnog proširenja korita zbog smeštaja pumpe i sita za ulje, kao i uti-

Sl. 6 — Šema toka mernog signala zvučnog intenziteta

caja zamajca na elastične deformacije kolenastog vratila koje utiču na udare u ležajima, čija se pobudna energija prenosi radilicom, odnosno duž spoja bloka i korita motora.

Pri frekvenciji od 1 kHz područje visokih nivoa intenziteta zvuka izraženo je na levoj strani motora gde dolazi do izražaja zona spoja bloka i korita motora skoro po celoj dužini. Pri istoj frekvenciji prisutan je i uticaj prednje strane motora sa pobudom zvuka od dela razvoda motora i njenog poklopca, prigušivača torzionih vibracija, alternatora i dr.

Karakter opšteg nivoa zvučnog intenziteta sličan je karakteru mape za

frekvenciju od 2 kHz, sa dominantnom zonom u središnjem donjem delu motora (Y5 do Y7) i (X4 do X6), sa vrednošću 108 do 109 dB(A), i nešto manjim vrednostima (107—108 dB(A)) duž spoja korita i bloka motora.

Na osnovu izmerenog zvučnog intenziteta izračunava se zvučna snaga emisije zračenja u zavisnosti od referentne površine.

Iz analiza se može zaključiti da zone poklopca glave, glave motora i gornjeg dela bloka emituju niže nivoe zvučnog intenziteta od zona spoja ko-

rita i bloka, kao i samog korita. Odnos tih površina je približno 5/3, ali bez obzira na tu činjenicu nameće se konstatacija da se opšti nivo buke može smanjiti, pre svega smanjenjem nivoa u zonama (Y6 do Y8). Nivoi zvučnog intenziteta $L_I^{5,8}$ i zvučne snage $L_W^{5,8}$ (Y5 do Y8) viši su od $L_I^{1,1}$ i $L_W^{1,4}$ (Y1 do Y4). To znači da je najaktivnija zona radilice (spoj bloka i korita uključujući i korito motora).

Sa slike 7 pod a vidi se da je u zoni spoja bloka i jednodelnog korita (Y1 do Y5) nivo zvučne snage viši (102,3 dB) u odnosu na nivo snage korita (101,4 dB) dok je zvučni intenzitet manji u zoni Y1 do Y5 (106,3 dB) u odnosu na korito 107,6 dB. Iz analize proizilazi da zona spoja bloka i jednodelnog korita motora, odnosno zona radilice, ima veliki uticaj na ukupni nivo buke motora.

Zaključak

Pri istraživanju procesa generisanja strukturne buke dizel motora neophodno je uspostaviti korelaciju mehanizma nastanka i emitovanja buke dizel motora. Na taj način dolazi se do realnijih analiza nastanka, prostiranja, apsorbovanja i emitovanja zvučnih talasa. Razvojem i primenom eksperimentalne modalne analize utvrđene su sopstvene modalne frekvencije bloka motora i uspostavljena je korelacija sa emitovanim zvukom u okolinu, primenom metode intenziteta zvuka. Dobijeni rezultati veoma su značajni sa aspekta rekonstrukcije pojedinih komponenata, primene različitih prigušnih materijala i drugih aktivnosti radi smanjenja opšteg nivoa buke dizel motora.

Sl. 7 — Zvučni intenzitet i zvučna snaga zona bloka motora i jednodelnog korita od SL 26 pri punoj snazi ($n=4200 \text{ min}^{-1}$) $S^{1,5} = 0,4 \text{ m}^2$ i $S^{6,8} = 0,24 \text{ m}^2$

L i t e r a t u r a :

- [1] Petrović, P.: Istraživanje procesa generisanja strukturne buke dizel motora, Doktorska disertacija, 1996. Mašinski fakultet Beograd.
- [2] Fahu, F. J.: Sound intensity, Univ. Southampton, UK, 1990.
- [3] Petrović, P., Janković, S., Zrnić, D.: Praktične primene metode merenja zvučnog intenziteta, VII simpozijum NMV '92 Kragujevac.
- [4] Janković, S., Petrović, P., Zrnić, D.: Determining of the sound power and dominant sound sources of the object by measuring sound intensity (an example of engine), VII Conat 93, Rumunija — Braşov, vol II.
- [5] Cyril M. Harris: Shock vibration, Handbook third edition, library of Congress Cataloging in Publication Data, 1987.
- [6] Bracdesi, C., Carfagni, M.: Using experimental modal analysis to simulate structural dynamic modifications, Univ. Firenze, Italy, 1990.
- [7] Petrović, P.: Pobuda buke dizel motora i pravci delovanja ka njenom smanjenju, Savremena poljoprivredna tehnika, tematska oblast — pravci razvoja dizel motora XII 1995. Novi Sad, vol. 21 i 1—2.