

1996.

motorna vozila i motori
MVM '96
motor vehicles and engines

zbornik radova - proceedings



IX međunarodni naučni skup
IX International scientific meeting

Kragujevac, 2.- 4. oktobar 1996. god.

PREDSEDNIŠTVO SKUPA

Predsednik skupa: Srboljub Vasović, dipl. ing.,

Predsednik izvršnog odbora Grupe "ZASTAVA"

Zamenik predsednika: Ratko Mitrović, prof. Dr ing.,

Dekan mašinskog fakulteta u Kragujevcu

NAUČNI ODBOR

Predsednik: Stevan Veinović, prof. Dr.ing.,

Mašinski fakultet u Kragujevcu

Dušan Gruden, NEMAČKA, Prof.Dr.Ing.,

"Porsche", Stuttgart

Tadija Jurković, NEMAČKA, Dipl.Ing.,

Razvojni centar "Opel"

Gerhard Rinne, NEMAČKA, Prof.Dr.Ing.,

FH Wolfsburg

Kazimir Golec, POLJSKA, Prof.Dr.Ing.,

Politehnička, Krakov

Endru Pasztor, MAĐARSKA, Prof.Dr.Ing.,

TU Budimpešta

Virgil Negrea, RUMUNIJA, Prof.Dr.Ing.,

TU Temišvar

Mrđa Jovo, REPUBLIKA SRPSKA, Prof.Dr.Ing.,

MF Banja Luka

Slobodan Arsić, REPUBLIKA SRPSKA, Prof.Dr.Ing.,

Rafinerija Modriča

Rajko Radonjić, prof.Dr.ing., MFK

Dragoljub Radonjić, prof.Dr.ing., MFK

Aleksandra Janković, v.prof.Dr.ing., MFK

Aleksandar Grujović, v.prof.Dr.ing., MFK

Radivoje Pešić, docent Dr.ing., MFK

Božidar Krstić, docent Dr.ing., MFK

Milosav Đorđević, dipl.ing., Institut za automobile, Kragujevac

Vaso Pindović, dipl.ing., IMR, Beograd

Miroslav Pušonja, Dr.ing., DMB, Beograd

Mile Orlović, dipl.ing., NIS - Rafinerija Beograd

Dragoljub Dabić, dipl.ing., NIS - Rafinerija Pančevo

Ružica Milić, dipl.ing., NIS - FAM, Kruševac

Miodrag Popović, dipl.ing., FAP Priboj

ORGANIZACIONI ODBOR

Predsednik: Milosav Đorđević, dipl.ing., IA "ZASTAVA"

Stevan Veinović, prof.Dr.ing., MFK,

Svetolik Joković, Mr.ing., VTŠ Kragujevac

Vladeta Kostić, dipl.ing., IA "ZASTAVA"

Zoran Živković, dipl.ecc., "ZASTAVA"

Dejan Jegdić, dipl.ing., IA "ZASTAVA"

Dragan Begović, dipl.ing., IA "ZASTAVA"

Ornela Zekavica, dipl.ing., IA "ZASTAVA"

SADRŽAJ

1	Dipl.inž. TADIJA JURKOVIĆ KONSTRUKTIVNE I TEHNOLOŠKE NOVINE KOD FIRME "OPEL"	
1	- Novi ECOTEC turbodiezel motora sa direktnim ubrizgavanjem i 4 ventila-	
2	Prof. Dr.-Ing. GERHART RINNE DOPRINOS POMOĆNIH AGREGATA EKONOMIČNOSTI VOZILA	5
3	KAZIMIERZ GOLEC, MACIEJ MAKOWSKI, TADEUSZ PAPUGA DETERMINATION OF HEAT RELEASE FUNCTION IN NATURAL GAS FUELLED ENGINES BASED UPON PRESSURE PROCESS IN THE WORKING SPACE	10
4	FRANCESCO CAPPELLO, ANTONIO PANTANO, GABRIELE VIRZÌ MARIOTTI THERMOMECHANICAL FEM ANALYSIS OF A DISK BRAKE WITH PADS AND PRESSURE CYLINDERS	13
5	Prof. Dr.-Ing ENDRE PASZTOR METODE MERENJA MEHANIČKIH GUBITAKA U MOTORIMA SUS	19
6	WIESŁAW CICHOCKI, ANDRZEJ GARBACIK, KAZIMIERZ GOLEC NUMERICAL MODELLING OF HEATING - STARTING SYSTEMS FOR HEAVY DUTY MACHINES WITH THE USE OF BOND GRAPH NOTATION	24
7	SNEŽANA PETKOVIĆ, dipl. inž., asistent, Prof. dr JOVO MRĐA, Prof. dr. STEVAN VEJINOVIĆ, Prof. dr. DRAGOLJUB RADONJIĆ, Doc. dr RADIVOJE PEŠIĆ, Asistent mr ALEKSANDAR DAVINIĆ MOGUĆNOST UTVRĐIVANJA STEPENA PUNJENJA KOD MOTORA	29
8	Prof. dr MILAN ĐUDUROVIĆ, SNEŽANA PETKOVIĆ, dipl. inž., asistent EKSPLOATACIONA ISPITIVANJA MOTORNIH VOZILA	33

962001	Prof. dr. Stevan VEJINOVIĆ, dipl. ing., V. prof. dr. Aleksandar GRUJOVIĆ, dipl. ing Docent dr. Radivoje PEŠIĆ, dipl. ing. Milosav ĐORĐEVIĆ, dipl. ing., Mile ORLOVIĆ, dipl. ing., Dragoljub DABIĆ, dipl. ing. PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA AUTOMOBILA PO KRITERIJUMU EKONOMIČNOSTI	39
962002	Dr Milan Milovanović STANJE I PRAVCI RAZVOJA PUTNIČKIH AUTOMOBILA	43
962003	M. Đorđević, dipl. ing. SISTEM ZA OBEZBEĐENJE RECILKAŽE MATERIJALA U FAZI PROJEKTOVANJA AUTOMOBILA	46
962004	Zoran Papić, dipl. ing., Vuk Bogdanović, dipl. ing., Milenko Raković, dipl. ing, Vasiljević Vladimir, dipl. ing. ANALIZA PROMENA SPOLJNIH DIMENZIJA VOZILA PRILIKOM NALETA NA NEPOKRETNE PREPREKE	50
962005	Ornela Zekavica, dipl. ing., Vladeta Kostić, dipl. ing. ERGONOMSKA ISTRAŽIVANJA UNUTRAŠNOSTI AUTOMOBILA U POJEDINIM FAZAMA NJEGOVOG NASTANKA	54
962006	Lazarević Aleksandar, dipl. ing., Sarić Aleksandar, dipl. ing. KONCEPT UNAPREĐENJA PROJEKTOVANJA AUTOMOBILA PRIMENOM RAČUNARA U DIREKCIJI RAZVOJA PROIZVODA "INSTITUT ZA AUTOMOBILE"	58
962007	Mr. Čedomir Prokić, dipl. ing., Dušan Nedeljković, dipl. ing., Dr. sci. med. Milan Vorkapić, Doc. dr. sci. med. Snežana Ignjatović TEHNIČKI I MEDICINSKI NORMATIVI SANITETSKOG VOZILA ZA KUĆNO LEĆENJE I NEGU	62
692008	mr Živorad Milić , mr Jovanka Lukić, Andrija Savčić dipl.ing., Borisav Baralić, Zoran Grbović PRILOG POBOLJŠANJU KOMFORA SANITETSKIH VOZILA IZVEDENIH IZ KOMBI VOZILA	66
962009	Nestorović Blagoje dipl. ing., Dr Kokić Miljko dipl. ing TREND PRIMENE MODERNIH REŠENJA ZA NADGRADNJE KAMIONA	69
962010	Asis. B. Rakićević, Prof. Dr. D. Janković VERIFIKACIJA PRORAČUNSKIH ODZIVA U IDENTIFIKACIJI PONAŠANJA NOŠEĆIH STRUKTURA PRIKLJUČNIH VOZILA	72

962011	<i>Asist. mr Branislav Rakićević, Prof. dr Dimitrije Janković</i>	
	ANALIZA DINAMIČKOG PONAŠANJA NOSEĆIH	
	STRUKTURA PRIKLJUČNIH VOZILA	76
962012	<i>Dr Dragan I. Milosavljević, v. prof. Mr Gordana Jovičić, asistent</i>	
	MAKROMEHANIČKE KARAKTERISTIKE KOMPOZITnih LAMINATA PRIMENJENIH	
	NA DELOVIMA ŠKOLJKE MOTORNih VOZILA	80
✓ (K) 962013	<i>Prof. Dr Rajko Radonjić</i>	
	IDENTIFIKACIJA KARAKTERISTIKA PONAŠANJA VOZILA	
	PRI NESTACIONARNOJ VOŽNJI	84
✓ 962014	<i>Prof. Dr Miroslav DEMIĆ, dipl. inž.</i>	
	PRILOG IDENTIFIKACIJI OSCILATORNIH PARAMETARA MOTORNih VOZILA	88
✓ 962015	<i>Jasna Glišović, dipl. inž. maš., Danijela Đokić, dipl. inž. maš., Aleksandar Dunkić, dipl. inž. maš., Dr Rajko Radonjić, red. prof.</i>	
	SOFTVERA ZA OBRADU EKSPERIMENTALNIH PODATAKA DOBIJENIH SNIMANJEM	
	NERAVNINA PUTA	92
962016	<i>Mr Jakovljević Prvoslav, dipl. ing., Mr Arsić Života, dipl. ing.</i>	
	ANALIZA VALJANOSTI PADE APROKSIMACIJE	96
962017	<i>Andrija Savčić, dipl. inž., Mr. Miroslav Ravlić, dipl. inž., Milan Tomić, dipl. inž., Saša Jovanović, dipl.</i>	
	METODOLOGIJA I TEHNIKA ISPITIVANJA VIBRACIJA VOZILA U CILJU OCENJIVANJA	
	KOMFORA VOŽNJE	100
962018	<i>Miloš Radisavljević, dipl. ing., Zorica Pantelić-Milinković</i>	
	UTICAJ DINAMIČKIH KARAKTERISTIKA VOZILA NA BUKU	104
962019	<i>Miloš Radisavljević, dipl. ing., Mr. Jasna Radulović, dipl. ing., Prof. dr. Ž. Petronijević, dipl. ing.</i>	
	EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE UTICAJA OSLONACA POGONSKOG AGREGATA NA	
	VIBRACIJE VOZILA	108
962020	<i>Asist. mr Mirjana Dinić, dipl. inž., Prof. dr Rajko Radonjić, dipl. inž., Mr Milinko Aksić, dipl. inž.</i>	
	MODEL PNEUMATIKA -Pregled, međusobne korelacije, preporuke	112
962021	<i>Prof. dr Dragan Golubović</i>	
	MODEL PNEUMATIKA ZA OCENU STABILNOSTI UPRAVLJANJA VOZILA	
	- NELINEARAN NESTACIONARAN MODEL	116
962022	<i>Dr Žarko Stevanović, dipl. inž. maš., Mr Milan Bojanović, dipl. inž. maš.</i>	
	PRIMENA SOFTVERSKOG PAKETA PHOENICS U PRORAČUNIMA	
	STRUJNOG POLJA OKO AUTOMOBILA	120
962023	<i>Dr Milan Milovanović</i>	
	RAZVOJ METODA ZA ISPITIVANJE I PRORAČUN KAROSERIJE	
962024	<i>Prof. dr Vera Nikolić, dipl. ing. maš., Branislav Stojadinović, dipl. ing. maš., Rade Đukić, dipl. ing. maš., Ivana Atanasovska, dipl. ing. maš., Snežana Božović, dipl. ing. maš.</i>	
	ANALIZA I ISPITIVANJE HOMOKINETIČKIH ZGLOBOVA	129
962025	<i>Dr. Vera Nikolić, Mr. Gordana Bogdanović, Zoran Bogdanović, dipl. ing., Branislav Stojadinović dipl. ing.</i>	
	EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE NAPONA U PODNOŽJU ZUPCA ZUPČANIKA	133
962026	<i>Prof. Dr Nenad Janićević, dipl. inž. maš</i>	
	AUTOMATIZACIJA ZUPČANIČKIH SINHRO-MENJAČA	137
962027	<i>Dr. inž. Božidar Krstić, docent</i>	
	MATEMATIČKO MODELIRANJE KARAKTERISTIKA HIDRODINAMIČKIH PREOSNIKA	
	SNAGE ZA MOTORNA VOZILA U USLOVIMA NESTACIONARNOG DEJSTVA	142
962028	<i>Dr. inž. Božidar Krstić, docent</i>	
	ISTRAŽIVANJA PRIGUŠUJUĆEG DEJSTVA HIDRODINAMIČKIH	
	PREOSNIKA U TRANSMISIJAMA MOTORNih VOZILA	145
962029	<i>Dr. inž. Božidar Krstić, docent</i>	
	OPTIMIZACIJA PARAMETARA ZAJEDNIČKOG RADA	
	POGONSKOG MOTORA I TRANSMISIJE MOTORNih VOZILA	149
962030	<i>mr Mladen Pantić dipl.maš.inž., mr Milorad Radetić</i>	
	PRIMENA PREOSNIKA TIPO RAVIGNEAUX U SISTEMIMA ZA	
	PRENOS SNAGE SAVREMENIH BRZOHODNIH GUSENIČNIH VOZILA	152

*Jasna Glišović, dipl. inž. maš., Danijela Đokić, dipl. inž. maš., Aleksandar Dunkić, dipl. inž. maš.,
Dr Rajko Radonjić, red. prof.*

RAZVOJ SOFTVERA ZA OBRADU EKSPERIMENTALNIH PODATAKA DOBIVENIH SNIMANJEM NERAVNINA PUTOA

IZVOD Cilj ovoga rada je proširenje programske podrške problemima obrade eksperimentalnih podataka dobivenih snimanjem neravnina puta. Kao polaz, korišćeni su rezultati snimanja karakteristika profila kolovoza dobiveni upotrebotom adekvatno opremljenih eksperimentalnih putničkih automobila. Na osnovu tako razvijenog modela površine kolovoza za slučaj pobuđivanja vozila u dva traga, razvijen je softver za identifikaciju i analizu statističkih zavisnosti baziranih na konceptu auto- i kros- korelacionih funkcija, funkcije koherencije i odgovarajućih auto- i kros-spektara pobude.

KLJUČNE REČI: neravnine puta, softver, korelacione funkcije, funkcija koherencije, spektri.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR PROCESSING OF EXPERIMENTAL DATA ACQUIRED BY RECORDING THE ROAD ROUGHNESS

ABSTRACT The objective of this paper is to broaden the programming support of the problems of processing the experimental data acquired by recording the road roughness. The results acquired by recording the road trucks characteristics, with the use of adequately acquired experimental passenger vehicle, were used as a start. A software for identification and analysis of statistical dependencies based on a concept of auto- and cross- correlation functions, coherence function and corresponding excitation auto- and cross- spectra was developed on the bases of adopted model of a road surface in the case of vehicle excitation from two trucks.

KEY WORDS: road roughness, software, correlation functions, coherence function, spectra

1. UVOD

Neravnine puta prouzrokuju oscilatorne procese motornog vozila. Intenzitet oscilacija zavisi od statističkih karakteristika kolovoza, konstruktivnih parametara vozila i brzine kretanja. Proučavanje dinamičkog odgovora vozila na dejstvo neravnina puta ima posebnog značaja pri rešavanju problema dinamičke izdržljivosti elemenata i sklopova, oscilatorne udobnosti, upravljivosti i stabilnosti kretanja, opterećenja i veka kolovoza. Iz ovih razloga, merenje neravnina kolovoza, kao i matematička interpretacija njihovog pobudnog dejstva i interakcije sa motornim vozilima bile su teme velikog broja istraživača različitih specijalnosti u proteklom vremenu. U tom smislu posebno ističemo četiri rada /1-4/ iz ranijeg perioda, čiji su rezultati bitno uticali na kasnija teorijsko-eksperimentalna istraživanja u ovoj oblasti.

Istraživanja pobude vozila od neravnina kolovoza započeta su u Laboratoriji za motorna vozila Mašinskog fakulteta u Kragujevcu u saradnji sa Institutom za

automobile "Zastava", 1972. godine u okviru naučno-istraživačkog projekta "Ispitivanje i klasifikacija puteva s obzirom na neravnine podužnog profila puta". U proteklom periodu održan je kontinuitet istraživačkih aktivnosti u ovoj oblasti u saradnji Mašinskog fakulteta i Instituta za automobile, što se može zaključiti iz kratkog prikaza referenci, koji sledi. U radu /5/ prikazana je sopstvena metodologija za identifikaciju baznih statističkih karakteristika kolovoza i formiranje ekvivalentnih pobuda dvoosovinskog vozila. Odnosi ponašanja putničkog automobila pri istovremenom dejstvu neravnina kolovoza i vozača preko točka upravljača prikazani su u radu /6/.

Problem modeliranja oblika pobude vozila od neravnina puta i istraživanje njihove sprege razmotren je u radu /7/. U radu /9/ formirani su dopunski kriterijumi za proveru homogenosti i izotropnosti slučajnog polja neravnina površine kolovoza i ukazano je na neke zajedničke osnove

pri identifikaciji pobudnih sila drumskih i šinskih vozila. Mogućnosti simuliranja pobude od neravnina za laboratorijska ispitivanja vozila i sklopova prikazane su u radu /10/.

Treba ukazati na aktuelne probleme u ovoj oblasti. Kvalitet kolovoza i njegovo pobudno dejstvo na vozilo su predmet aktivnosti radnih grupa i tehničkog komiteta međunarodnih standarda ISO/TC108/SC2 što podrazumeva angažovanje većeg broja stručnjaka, istraživačko-razvojnih ustanova i asocijacije, /11/. U domenu naučno-istraživačkog i razvojnog rada hipoteza o homogenosti i izotropnosti slučajnog polja neravnina kolovoza, postavljena u radu /4/, prihvatljiva je uz određene modifikacije statističkih karakteristika pobude /12/ i korišćenje savremenih mernih sistema /13/, /14/.

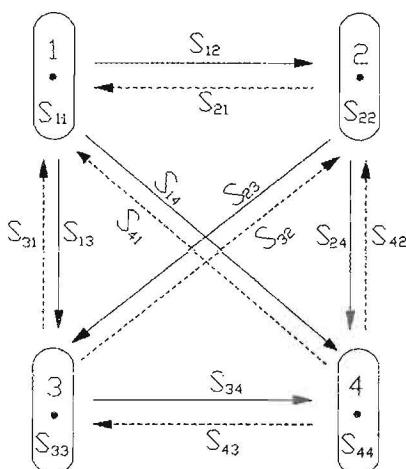
Imajući u vidu napred rečeno, nastojali smo da u predmetnom radu razvijemo proceduru za formiranje ekvivalentnih pobuda vozila na osnovu polaznih podataka merenja pojedinačnih profila ili standardizovanih karakteristika pojedinih kategorija kolovoza. Kratak pregled istraživanja dat je u narednim poglavljima.

2. ISTICANJE PROBLEMA

Na osnovu modela pobude dvoosovinskog vozila /7/, na sl.1, može se odrediti spektar odgovora u posmatranoj tački sistema:

$$S_{kk}(f) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 H_i^*(f) H_j(f) S_{ij}(f) \quad (1)$$

gde su $H_i^*(f)$, $H_j(f)$ - karakteristike prenosne strukture vozila, a $S_{ij}(f)$ - spektri pobude od neravnina kolovoza. Prema sl. 1, u opštem slučaju pobude dvoosovinskog vozila, treba poznavati 16 pojedinačnih komponenata pobude, $S_{ij}(f)$. U smislu uprošćenja ovog problema biće istaknuti zahtevi koje treba imati u vidu pri definiciji, identifikaciji i korišćenju baznih statističkih karakteristika kolovoza.



Sl.1 Model pobude dvoosovinskog vozila od neravnina kolovoza /7/

3. MATEMATIČKE OSNOVE ZA OPIS POVRŠINE KOLOVOZA

Površina kolovoza se posmatra kao slučajna funkcija dve nezavisne promenljive, po dužini i širini, x , y . Uz pretpostavku homogenosti, korelaciona funkcija neravnina površine kolovoza ne zavisi od koordinata x , y , već samo od korelacionih koraka, $\delta_x = x_{i+k} - x_i$, $\delta_y = y_{i+k} - y_i$:

$$R(\delta_x, \delta_y) = E[z(x, y)z(x + \delta_x, y + \delta_y)] \quad (2)$$

Odgovarajuća dvodimenzionalna gustina spektra snage određuje se kao Furijeova transformacija izraza (2):

$$S(\Omega_x, \Omega_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R(\delta_x, \delta_y) \exp[-i2\pi(\Omega_x \delta_x + \Omega_y \delta_y)] d\delta_x d\delta_y \quad (3)$$

Statističke karakteristike pojedinačnih podužnih ili poprečnih profila (preseka), mogu se dobiti iz statističkih karakteristika površine (2), (3), za fiksne vrednosti argumenata, $\delta_x = \text{const}$ i $\delta_y = \text{const}$, odnosno $\delta_x = 0$, $\delta_y = 0$. Na osnovu toga se uspostavlja relacija između gustine spektra snage neravnina pojedinačnog profila i gustine spektra snage neravnina površine kolovoza:

$$S(\Omega_x) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\Omega_x, \Omega_y) d\Omega_y \quad (4)$$

Pretpostavka o homogenoj i izotropnoj slučajnoj površini kolovoza podrazumeva kružnu simetriju dvodimenzione gustine spektra snage, $S(\Omega_x, \Omega_y)$ u odnosu na koordinatni početak, što je saglasno prikazu u polarnim koordinatama:

$$S(\Omega, \phi) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\pi} |R(\delta, \theta)| \exp[-i2\pi\Omega\delta] \cos(\theta - \phi) d\theta d\delta \quad (5)$$

gde su: Ω, ϕ i δ, θ - polarne koordinate gustine spektra snage, odnosno korelacione funkcije, respektivno. Izraz (5) se može svesti na sledeći oblik:

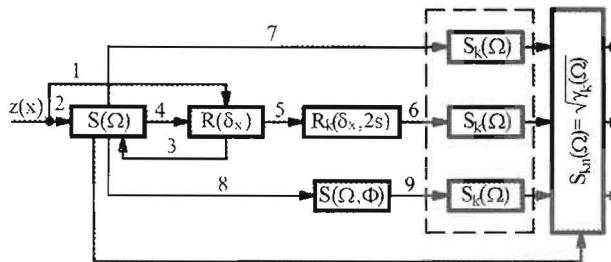
$$S(\Omega, \phi) \equiv S^*(\Omega) = 2\pi \int_0^{\infty} \delta R^*(\delta) J_0(2\pi\Omega\delta) d\delta \quad (6)$$

gde je simbolom $J_0(2\pi\Omega\delta)$ označena Beselova funkcija prve vrste i nultog reda, a sa $S^*(\Omega)$ i $R^*(\delta)$ gustina spektra snage i korelaciona funkcija površine kolovoza, nezavisne od ugaonih koordinata, ϕ i θ , respektivno.

Na osnovu prethodnih odnosa, formirali smo na sl. 2 algoritam mogućnosti opisa relevantnih statističkih karakteristika površine kolovoza na osnovu izmerenih, odnosno raspoloživih karakteristika podužnog profila neravnina kolovoza.

Prema blok šemi na sl. 2, za izmerene visine neravnina podužnog profila, $z(x)$, određuje se autokorelaciona funkcija, 1, ili gustina spektra snage, 2. Ove dve karakteristike su spregnute direktnom, 3, i inverznom, 4,

Furijeovom transformacijom. Za poznatu autokorelacionu funkciju podužnog profila homogene i izotropne površine kolozoa, $R(\delta_x)$, određuje se kroskorelaciona funkcija $R_k(\delta_x, 2s)$, 5, paralelnih podužnih profila na rastojanju traga (točkova), $2s$, i odgovarajući krosspektar, $S_k(\Omega)$, 6. Alternative ove procedure su obeležene brojnim oznakama 7 i 8 na sl. 2.



Sl. 2 Sprege statističkih karakteristika neravnina podužnog profila i neravnina površine kolozoa

U prvom slučaju, 7, određuje se direktno krosspektar snage

$S_k(\Omega)$, paralelnih tragova, na rastojanju $2s$:

$$S_k(\Omega) = \int_{|\Omega|}^{\infty} \left[\frac{dS\Omega_1}{d\Omega_1} \right] J_0(4\pi s \sqrt{\Omega_1^2 - \Omega^2}) d\Omega_1 \quad (7)$$

U drugom slučaju, 8, određuje se dvodimenzionalna gustina spektra snage površine kolozoa, $S(\Omega, \phi)$:

$$f(\Omega) = \int_0^{\pi} S(\Omega, \phi) |\Omega| d\Omega = - \frac{d}{d\Omega} \int_{\Omega}^{\infty} S(\Omega_1) \frac{\Omega_1 d\Omega_1}{\sqrt{\Omega_1^2 - \Omega^2}} \quad (8)$$

U sva tri slučaja (4, 7, 8), ulazna karakteristika je raspoloživi spektar snage podužnog profila neravnina kolozoa, $S(\Omega)$, a izlazna karakteristika normirani krosspektar snage $S_{nk}(\Omega) = \sqrt{\gamma_k(\Omega)}$, koji je povezan sa funkcijom koherencije $\gamma_k(\Omega)$. Sa raspoloživom karakteristikom $S(\Omega)$ i na osnovu nje određenom karakteristikom $\gamma_k(\Omega)$, mogu se formirati ekvivalentne pobude motornog vozila od neravnina saglasno modelu prikazanom u radu [5]. Za određivanje funkcije koherencije paralelnih profila neravnina kolozoa koristili smo u ovom radu proceduru, označenu na sl. 2 brojnim simbolima 2-4-5-6.

4. KONKRETIZACIJA PROCEDURE

U nastojanju da predložena procedura ima i praktičnu primenu, obratili smo posebnu pažnju pri izboru matematičkog modela za opis gustine spektra snage podužnog profila neravnina. Eksponečijalni oblik:

$$S(\Omega) = C \Omega^{-w} \quad (9)$$

u odnosu na oblik racionalne funkcije, bio je prihvatljiviji s obzirom na postavljeni zahtev kompatibilnosti rezultata

sa bazom normiranih podataka prema ISO standardima /11/. U izrazu (9), $S(\Omega)$ je odgovarajuća jednostrana gustina spektra snage, a C i w , parametri karakteristika kolozoa.

Prema algoritmu na sl. 2, za poznatu karakteristiku $S(\Omega)$, određuje se autokorelaciona funkcija, $R(\delta_x)$ inverznom Furijeovom transformacijom. Interpolacijom argumenta, računa se kroskorelaciona funkcija paralelnih profila:

$$R_k(\delta_x, 2s) = R(\sqrt{\delta_x^2 + 4s^2}) \quad (10)$$

a u narednom programskom koraku i odgovarajući krosspektar:

$$S_k(\Omega) = S_k \left(\frac{k\Omega_g}{m} \right) = \frac{1}{\Omega_g} \left[R_k(0) + 2 \sum_{r=1}^{m-1} R_k(r) D(r) \cos \frac{\pi rk}{m} \right] \quad (11)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, m$$

sa karakteristikom digitalnog filtera:

$$D(r) = \frac{1}{2} (1 + \cos \frac{\pi r}{m}), \quad r = 0, 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

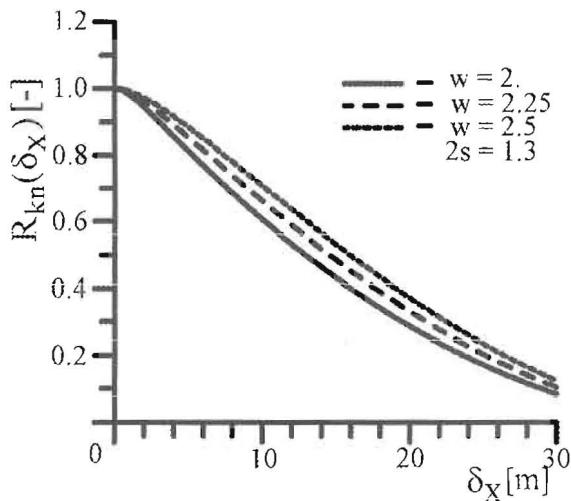
Konačno, normirani krosspektar računa se prema modelu:

$$S_{kn} \left(\frac{k\Omega_g}{m} \right) = \begin{bmatrix} \frac{S_k(\frac{k\Omega_g}{m})}{m} \\ \frac{S(-\frac{k\Omega_g}{m})}{m} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Saglasno algoritmu na sl. 2, i formiranom matematičkom modelu, prema izrazima (9) do (13), razvili smo odgovarajući softver za identifikaciju karakteristika krossprege podužnih paralelnih tragova neravnina površine kolozoa, na osnovu poznatih karakteristika pojedinačnog podužnog traga (profila). Pri tome se pokazalo da je matematički model dat izrazom (9), saglasno interpretaciji /11/, po svom obliku neprikladan za izvršenje direktnih operacija prema algoritmu sa sl. 2. U tom smislu, bilo je neophodno prethodno uvođenje graničnih uslova u domenu niskih i domenu viših učestanosti talasa neravnina puta, Ω . Osim toga, oblik modela (9) zahteva uvođenje numeričke procedure proračuna već u programskom koraku (4), što utiče na stabilnost rezultata proračuna ukupnog ciklusa (4)-(5)-(6).

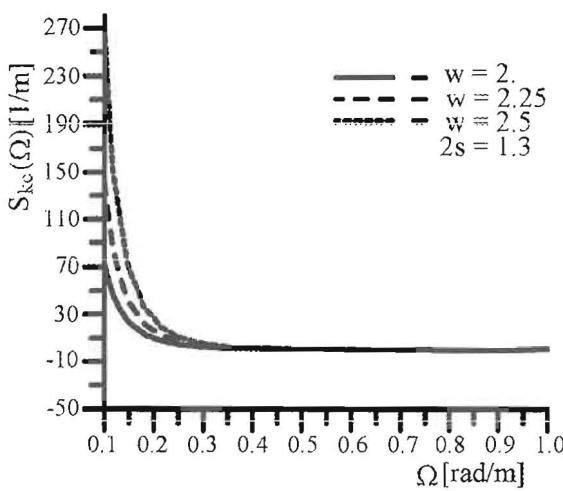
5. ANALIZA REZULTATA

Kao primer za ilustraciju mogućnosti korišćenja predložene procedure uzet je model (9), sa konkretnim parametrima. Kako parametar C ne utiče na vrednosti normiranih karakteristika u svim proračunima je posmatran samo uticaj parametara valovitosti kolozoa, w . Na sl. 3, prikazane su krive normirane kroskorelacione funkcije za podužne paralelne tragove na rastojanju $2s=1.3$ m i sa parametrima valovitosti kolozoa $w=2$; 2.25 ; 2.5 . Odgovarajući "ekvivalentni krosspektri snage" prikazani su na sl. 4, a "normirani krosspektri snage" na sl. 5.

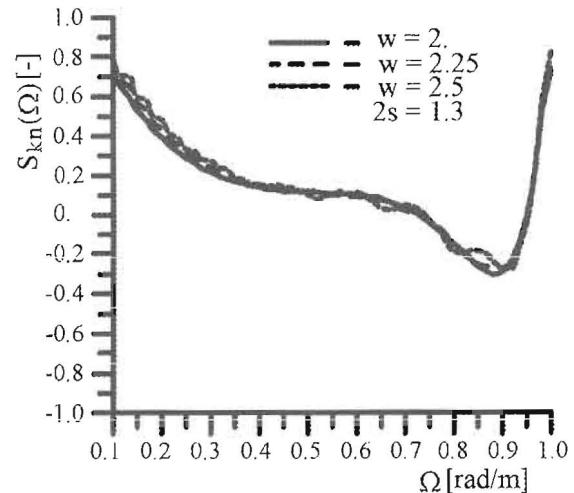


Sl. 3 Normirane krosskorelace funkcije paralelnih tragova neravnina kolovoza

Sa definicijom "ekvivalentni krosspektri snage" normirali smo apsolutne nivoe krosspektara sa parametrom C, i time eliminisali njegov uticaj pri analizi relativnih odnosa pojedinih kategorija kolovoza. U slučaju "normirani krosspektri snage", normiranje je izvršeno sa autospektrom snage pojedinačnog traga i time formirana baza podataka funkcije koherence paralelnih tragova. Porast vrednosti parametra w utiče na nivoe karakteristika krossprege (na sl. 3, 4) i stepen njihove sprege (sl. 5). U odnosu na tradicionalni metod prikaza karakteristika podužnog profila u frekventnom domenu, (9), predložena procedura omogućava proširenje modela i formiranje karakteristika sprege paralelnih tragova u prostornom (sl. 3) i frekventnom domenu (sl. 4 i sl. 5), u skladu sa potrebama modeliranja pobude vozila prema sl. 1.



Sl. 4 Ekvivalentni krosspektri snage paralelnih tragova neravnina kolovoza



Sl. 5 Normirani krosspektri snage paralelnih tragova neravnina kolovoza

6. LITERATURA

- /1/ H. Braun: "Untersuchungen über Fahrbahnunebenheiten", Deutsche Kraftfahrtforschung und Strassenverkehrstechnik 186, 1996,
- /2/ I. Parhilovskij: "Isledovanje verojatnostnih harakteristik poverhnosti rasprostranenih tipov dorog", Avtomobilnaja promišlenost 8, 1968,
- /3/ R. Labarre, R. Forbes, S. Andrew: "The measurement and analysis of road surface roughness", Motor Industry Research Association Report 5/1970,
- /4/ C. Dodds, J. Robson: "The description of road surface roughness", Journal of Sound and Vibration 2, 1973,
- /5/ R. Radonjić: "Uticaj neravnina puta na ponašanje vozila", Zbornik radova Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, 1/1981,
- /6/ R. Radonjić: "Istraživanje odnosa ponašanja motornog vozila na putu", Nauka i motorna vozila '81, Kragujevac, 1981,
- /7/ R. Radonjić, A. Dunkić: "Definisanje pobude vozila od neravnina puta", Motorna vozila i motori 68/69, 1986,
- /8/ A. Dunkić: "Metodologija za identifikaciju pobudnih karakteristika kolovoza", Diplomski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1987,
- /9/ R. Radonjić, A. Dunkić: "Prilog problemima identifikacije eksploatacionih režima opterećenja drumskih i šinskih vozila", Teška mašinogradnja, TM'93, Vrnjačka Banja, 1993,
- /10/ R. Radonjić, A. Savčić, M. Živković, B. Stojadinović: "Povećanje tačnosti i ekonomičnosti simuliranja režima opterećenja putničkih automobila", Nauka i motorna vozila '93, Beograd, 1993,
- /11/ ISO/TC 108/SC2: "Proposal for generalized road inputs to vehicles", 1984,

* Rad predstavlja deo istraživanja u okviru realizacije projekta "Naučne podloge za inženjerstvo motora i motornih vozila" koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.