

UPOREDNA ANALIZA OPTEREĆENJA GLAVNIH LEŽIŠTA KOLENASTOG VRATILA KOD STANDARDNOG LINIJSKOG I BOKSER MOTORA**COMPARATIVE ANALYSIS OF LOAD ON CRANKSHAFT MAIN BEARING BETWEEN IN-LINE AND BOXER ENGINE**

Stefan Čikoš, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Glavni rukavci motora SUS su jedni od najopterećenijih delova motora. Sile koje deluju na rukavac kolenastog vratila menjaju se veoma intenzivno tokom jednog radnog ciklusa. Cilj ovog istraživanja je dobijanje dijagrama habanja glavnog ležišta za dve različite konfiguracije motora, standardne-linijske i bokser sa istim kinematskim parametrima kako bi se vizuelno prikazao uticaj same konfiguracije na opterećenje glavnog ležišta. U radu je prikazana primena grafoanalitičke metode određivanja dijagrama habanja pomoću AutoCAD Mechanical-sofvera.

Ključne reči: Motor SUS, standardni-linijski motor, bokser motor, uporedna analiza, kolenasto vratilo

Abstract – The main crankshaft bearings of the IC engine are one of the most loaded parts of the engine. The forces acting on the crankshaft bearings change very intensely over one engine operating cycle. The aim of this research is to obtain a wear diagram of the main bearing for two different engine configurations, In-line and boxer with the same kinematic parameters, to visually show the effect of the configuration itself on the load of the main bearing. The paper presents the application of graphoanalytic method for determining wear diagrams using AutoCAD Mechanical software.

Keywords: IC Engine, In-line engine, boxer engine, comparative analysis, crankshaft

1. UVOD

Postoje tri osnovne konstrukcije motora koje se razlikuju a to su: linijski motori, V-motori, bokser motori [1]. Konstruktivno se razlikuju po rasporedu cilindara duž ose motora. Pošto je tema ovog rada uporedna analiza dva tipa konstrukcije odnosno linijska i bokser konstrukcija motora, u nastavku će se spominjati samo linijski i bokser motor.

Kao što bi se i očekivalo, u linijskom rasporedu su svi cilindri montirani u pravoj liniji duž kolenastog vratila, što daje stepen mehaničke jednostavnosti [2]. Za ovu posebnu ugradnju motora sa cilindrima u liniji, prednosti se obično navode uključuju smanjenje ukupne visine instalacije i uvećanu dostupnost redovnog servisiranja.

Osim prostora, mehaničko ograničenje se postavlja na prihvatljivu dužinu cilindričnog motora, zbog poteškoća u kontroli torzionih vibracija kolenastog vratila.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Nebojša Nikolić.

Horizontalno suprotni motori (bokser motori) imaju svoje cilindre montirane na kućištu kolenastog vratila u dva suprotna reda (ugao između dva reda je 180°), a ponekad ih nazivaju i ravni ili bokser motori.

Glavne prednosti koje se za njih obično povezuju su inherentno dobar balans delova koji se okreću i nisko težište, što doprinosi stabilnosti automobila i manju dužinu motora.

Zahvaljujući svojoj maloj ukupnoj visini, horizontalno suprotni motor omogućuje da prednji deo automobila ima veću kosinu poklopca motora u automobilima sa motorom ugrađenim napred [3]. U automobilima sa motorom ugrađenim nazad mogu pružiti dodatni prostor za odlaganje prtljaga iznad njega.

Pored toga, bokser motori dobro prihvataju sistem hlađenja vazduhom, jer je pomoću linijskog rasporeda cilindra teško postići da se zadnji cilindri hlade kao i prednji, osim ako motor nije postavljen poprečno. Nedostaci povezani sa bokser motorima uključuju potrebu za dupliranje ulaznih i izlaznih priključaka rashladne tečnosti u slučaju tečnog hlađenja, i znatno smanjenu dostupnost glava cilindra i mehanizma ventila.

Njegova veća širina takođe može ograničiti raspoložive pokrete volana na točkovima.

U cilju provere mehaničkih naprezanja elemenata motora i rešenja problema kao što su: uravnoteženje, ravnomernost rada, torzione oscilacije kolenastog vratila, slika opterećenja i istrošenja zglobnih veza klipnog mehanizma (ležišta i rukavca), neophodno je izvršiti analizu sila koje se javljaju u klipnom mehanizmu.

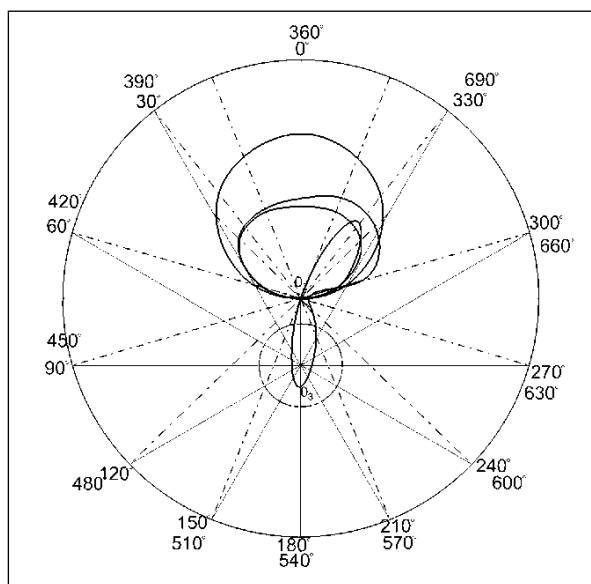
Pri tome se mora razjasniti suština nastajanja svih sila, zakon njihove promene u toku radnog ciklusa i način ispoljavanja njihovog dejstva pri radu motora [4].

Kako su ležišta zapravo mesta gde se prenose sile sa klipnog mehanizma na sam blok motora, od značaja je dobro pretpostaviti njihov intenzitet i zonu gde su najviše opterećeni a samim tim i koliko je očekivano habanje u tim zonama [5, 6].

Da bi se uporedio uticaj konstrukcije motora, koriste se isti kinematski parametri (Tabela 1) za oba motora a samim tim i isti polarni dijagram letećeg rukavca (Slika 1).

Tabela 1. Kinematički parametri oto motora

Kinematički parametri četvorotaktnog oto-motora	
Kinematički faktor	$\lambda_k = 0.28$
Hod klipa	$S = 80 \text{ mm}$
Nominalni br. obrtaja	$n_e = 5500 \text{ min}^{-1}$
Poluprečnik kolena kolenastog vratila	$R = L \cdot \lambda_k = 143.3 \cdot 0.28 = 40,124 \text{ mm}$
Dužina klipnjače	$L = \frac{S}{2 \cdot \lambda_k} = \frac{80}{2 \cdot 0.28} = 143.3 \text{ mm}$
Ugaona brzina	$\omega = \frac{n_e \cdot \pi}{30} = \frac{5500 \cdot \pi}{30} = 575.95 \text{ s}^{-1}$

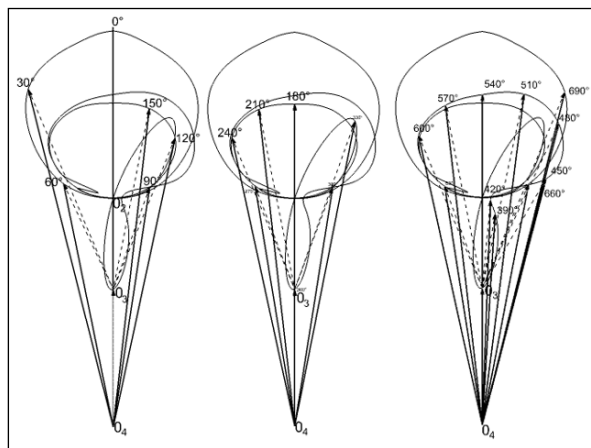


Slika 1. Polarni dijagram letećeg rukavca za četvorocilindrični oto motor

2. KONSTRUISANJE POLARNOG DIJAGRAMA OPTEREĆENJA GLAVNOG LEŽIŠTA

Da bi konstruisali dijagram habanja oslonačkog ležišta, potrebno je za početak odrediti sile kojom oslonački rukavac deluje na svoje ležište (F_{or_i}).

Određuje se vektorskim zbirom sile F_{lr_i} i F''_{lr_i} . Radi bolje preglednosti, vektori su sabrani u tri različita grafika (Slika 2).



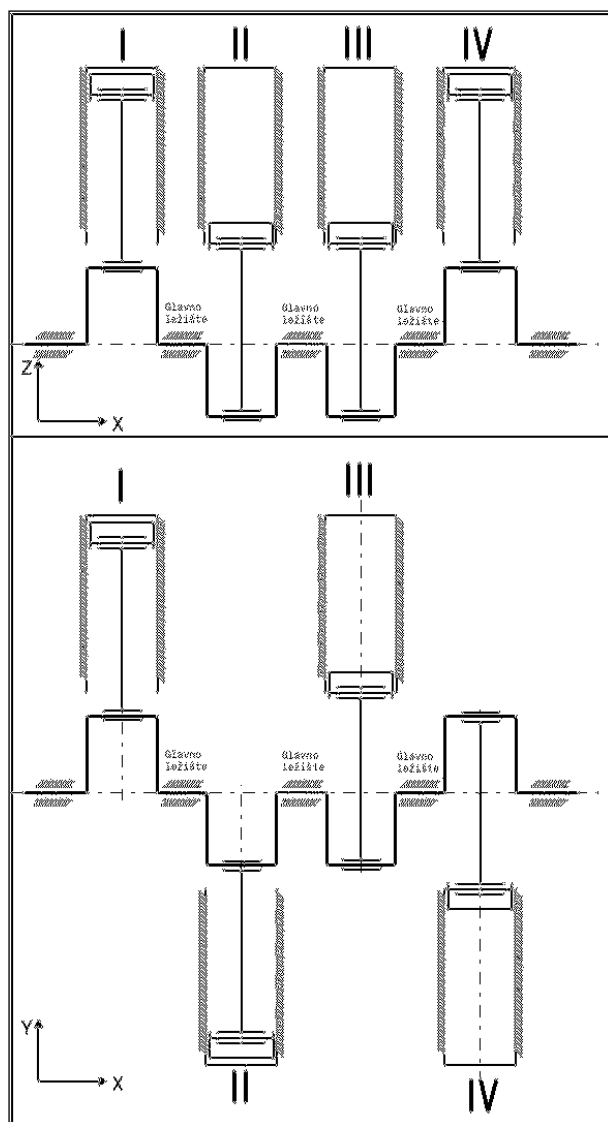
Slika 2. Polarni dijagrami sile kojom oslonački rukavac deluje na svoje ležište (F_{or_i}) u rasponu 0-150° (levo), 180-360° (sredina) i 390-720° (desno)

2.1. Konstrukcija dijagrama habanja glavnog ležišta kod linijskog motora

U prethodnom koraku određeni su svi vektori sile kojom oslonački rukavac (F_{or_i}) za jedan cilindar. Kako je potrebno odrediti dijagram habanja oslonačkog ležišta potrebno je odrediti rezultantnu silu koja opterećuje ležište između dva cilindra.

Za određivanje rezultantne sile treba uzeti u obzir razmak paljenja koji je ujedno povezan sa redosledom paljenja. Kako se radi o četvorocilindričnom motoru, razmak paljenja je:

$$\alpha_p = \frac{720}{i} = \frac{720}{4} = 180^\circ \quad (1)$$

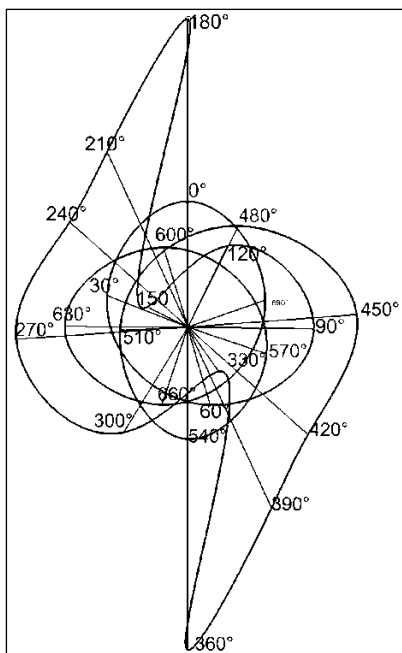


Slika 3. Raspored cilindara za linijsku konfiguraciju motora (gore) i bokser konfiguraciju motora (dole)

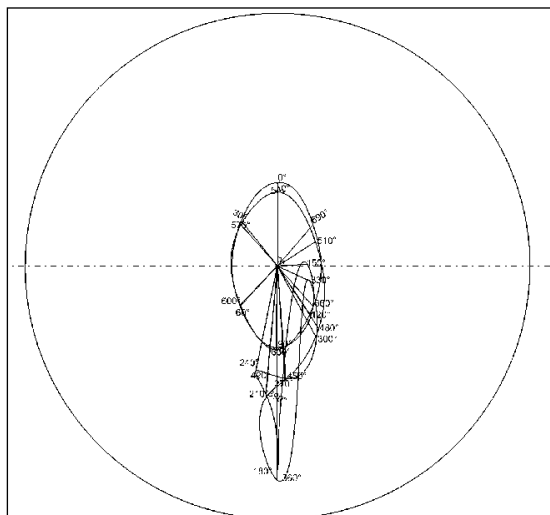
Isto tako treba uzeti u obzir i sam raspored cilindara prikazan na slici odnosno, kako će biti usmeren polarni dijagram susednog cilindra u odnosu na posmatrani. Pravilo je da prilikom posmatranja dva susedna cilindra, polarni dijagram prvog cilindra uvek stoji usmeren kao na početku radnog ciklusa odnosno na gore.

U nastavku na slici 4. prikazan je polarni dijagram opterećenja glavnog ležišta između prva dva cilindra.

Nakon što je određen polarni dijagram opterećenja glavnog rukavca, da bi se konstruisao dijagram habanja glavnog ležišta, potrebno je polarni dijagram koji se rotira zajedno sa kolenastim vratilom i crtan je u kordinatnom sistemu rukavca transformisati u nepokretni koordinatni sistem, tj. koordinatni sistem koji je vezan za glavno ležište, slika 5.



Slika 4. Polarni dijagram opterećenja glavnog rukavca između cilindra jedan i dva.



Slika 4. Dijagram opterećenja glavnog ležišta između cilindara jedan i dva kod linijskog motora

Kako su sada svi vektori svedeni da nepokretni koordinatni sistem, poslednji korak pred određivanje dijagrama habanja glavnog ležišta, potrebno je intenzitete sila skalirati radi dobijanja što boljeg prikaza slojeva habanja.

Kako će dolaziti do superponiranja ovih slojeva, potrebno je odabrati odgovarajuću razmeru. Kako je usvojena razmera za silu:

$$m_{scale} = \frac{mm_{crteza}[mm]}{F_{...}[N]} = 0.03 \quad (2)$$

Za slojeve habanja se koristi prethodna razmera, umanjena za 0.025:

$$mh_{scale} = m_{scale} \cdot 0.025 = 0.03 \cdot 0.025 = 0.00075 \quad (3)$$

Sve vrednosti sila izmerene su i skalirane, i prikazane su nastavku u Tabela 2:

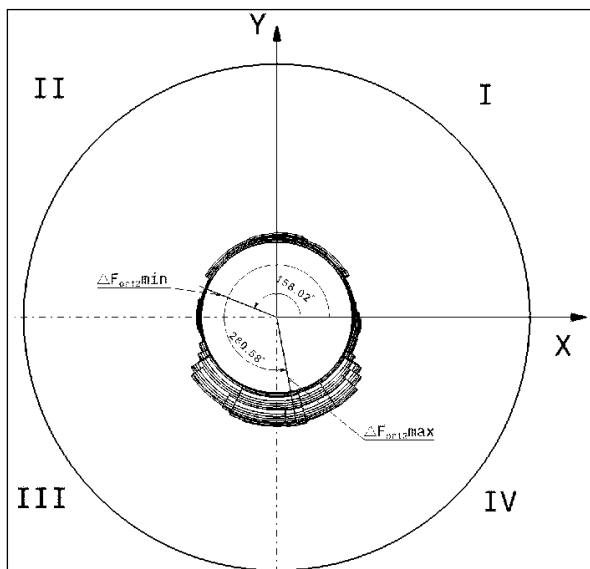
Tabela 2. Izmerene vrednosti sila sa dijagrama opterećenja glavnog ležišta i vrednosti visine slojeva habanja istih za 1,2 ležište linijskog motora

LM	Ležište 1,2	
	Izmerena vrednost sile u [mm]	Visina habajućeg sloja u [mm]
0	22	0.55
30	15	0.38
60	14.1497	0.35
90	22.0818	0.55
120	15.8073	0.40
150	7.9255	0.20
180	53.9447	1.35
210	33.8058	0.85
240	27.731	0.69
270	30.1663	0.75
300	21.543	0.54
330	9.4137	0.24
360	56.4764	1.41
390	34.8697	0.87
420	28.2305	0.71
450	29.6975	0.74
480	19.7757	0.49
510	11.9005	0.30
540	19.5235	0.49
570	14.5561	0.36
600	14.5852	0.36
630	21.6005	0.54
660	14.2591	0.36
690	14.374	0.36
720	22	0.55

Sada se pomoću Slika 4 i Tabela 2 konstruiše dijagram habanja glavnog ležišta. Dobijeni dijagram habanja glavnog ležišta prikazan je na Slika 5.

Sa dijagrama habanja (Slika 5) se može videti da je ležište najopterećenije između III i IV kvadranta a da je najveće dejstvo pod uglom od 280.58°.

Sa druge strane, ležište je najmanje opterećeno u II kvadrantu sa najmanjim dejstvom pod uglom od 158.02°. Na isti način se određuju i dijagrami habanja za sva ostala ležišta linijskog i bokser motora.



Slika 5. Dijagram habanja glavnog ležišta između prvog i drugog cilindra kod linijskog motora

3. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena grafoanalitička metoda dobijanja dijagrama habanja glavnog ležišta, po dijagramima habanja možemo da uporedimo kako sama konstrukcija utiče na opterećenje glavnog ležaja.

Ovakvom analizom primećuje se da su kod bokser motora procesi upareni tako da se dejstvo sila usmeri ka cilindrima jer se sa dijagrama habanja istog ležišta može primetiti da postoji mala zona i gore i dole pri kojoj nema ni jednog sloja habanja.

Na prvi pogled to može biti slučaj ali i ne mora, jer su se samo analizirale sile na svakih 30° kako bi se izbeglo pretrpavanje grafika.

U obe konstrukcije motora, čak i sa različitim redosledom paljenja i rasporedom cilindara, procesi su identično upareni. Uparivanjem procesa u susednim cilindrima kojima dejstvu veliki intenziteti sila i u kojima deluju niski intenziteti sila dobija se izbalansiran rezultujući intenzitet na glavni ležaj između dva cilindra, uzimajući u obzir i usmerenje rukavca.

U obe konfiguracije sa dijagrama habanja primećuje se da se najveći intenziteti sila se javljaju između drugog i trećeg cilindra čak i sa izbalansiranim procesima zbog usmerenja rukavca.

Na dijagramima habanja između prvog i drugog cilindra primećuje se da je kod bokser motora habanje skoro simetrično, imajući u vidu kretanje klipa u paru (ka UMT ili SMT) što je jedna od većih razlika u odnosu na linijsku konfiguraciju.

Kao predmet daljeg istraživanja bio bi verifikovanje oba tipa motora kroz programski softver ADAMS i poređenje rezultata sa rezultatima dobijenim grafoanalitičkim putem.

4. LITERATURA

- [1] M. J. Nunney (1988), Light and Heavy Vehicle Technology, ISBN 0 434 91473 8, Halley Court, Jordan Hill, Oxford.
- [2] Heywood, J.B.: Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1988.
- [3] E. Koehler, R. Flierl, Internal Combustion Engines—Motor Mechanics, Calculation and Design of the Reciprocating Engines. (in German) 4th edition Vieweg & Sohn Verlag, GWV Wiesbaden, 2006.
- [4] Živković M. (1990), Motori sa unutrašnjim sagorevanjem II deo, II sveska, Mašinski Fakultet Univerziteta U Beogradu, 27. marta br.80.
- [5] Nebojša Nikolić, Tripo Torović, Života Antonić - A procedure for constructing a theoretical wear diagram of IC engine crankshaft main bearings, Mechanism and Machine Theory, Vol. 58, pp. 120-136. 2012.
- [6] Nebojša Nikolić, Tripo Torović, Života Antonić, Jovan Ž. Dorić—An Algorithm for Obtaining Conditional Wear Diagram of IC Engine Crankshaft Main Journals, FME Transactions, Vol. 39, pp. 157-164, 2011

Kratka biografija:



Stefan Čikoš - Dipl. Inž. Mašinstva na fakultetu tehničkih nauka. Diplomirao na temi "Analiza raspodele kočnih sila na prednjoj i zadnjoj osovini kod teretnog vozila" 2017-te godine. Zaposlen je kao konstruktor fluidnih sistema u automobilske industriji..

kontakt: stefancikos1994@gmail.com