

SIMULACIJA RADA DIZELSKOG MOTORA PRI PREKIDANJU DOBAVE GORIVA JEDNOM CILINDRU

Simulation of Performances of the Diesel Engine while Cutting off Fuel Delivery in one Cylinder

dr. sc. Nikola Račić

Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu (Faculty of Maritime Studies University of Split)
e-mail: nikola.racic@pfst.hr

Zdeslav Jurić, dipl. ing.

Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu (Faculty of Maritime Studies University of Split)
e-mail: zjuric@pfst.hr

Marin Žanić, student

e-mail: marinzanic@st.htnet.hr

UDK 621.436 : 519.87

Sažetak

Raspoloživost propulzijskoga dizelskog motora u pogledu snage ili bilo koje druge značajke, pri raznim eksploatacijskim uvjetima utvrđuje se proračunima, a potvrđuje empirijskim metodama. Računalno-simulacijski modeli veoma su važni za takve analize. Računalno-simulacijski model brodsikoga propulzijskog dizelskog motora osnovan na matematičkom modelu, prikazan je u ovom radu [1]. Model je upotrijebljen za analizu stacionarnih i dinamičkih uvjeta rada sporohodnoga propulzijskog dizelskog motora s prednabijanjem i brodsikoga vijčanog propulzora s nepomičnim krilima. Model je izrađen uz uporabu računalne aplikacije MATLAB 7.0.4.- SIMULINK, na osnovi detaljnoga matematičkog nultodimenzionalnog modela.

U ovome radu navedeni model je poslužio za raščlambu utjecaja promjene snage u pojedinim cilindrima na radne značajke motora. Promjena snage simulirana je prekidanjem dobave goriva jednome cilindru pri različitim opterećenjima motora i različitim ograničenjima poluge goriva. Analizom rezultata simulacije utvrđene su granice radnih značajka motora i sigurna pogonska stanja.

Ključne riječi: dizelski motor, simulacija, dobava goriva.

Summary

Availability of propulsion diesel engine such as power or any other characteristics, under different exploitation conditions is determined by calculations, and is confirmed by empirical methods. Computer simulation models are very important for such analyses. The computer-simulation model of ship propulsion diesel engine based on mathematical model has been presented in the work [1].

The model is applied in the analysis of the static and dynamic operating conditions of the turbo-charged slow-speed diesel propulsion engine and the fixed blade propeller. The model was created by applying computer program MATLAB 7.0.4.-SIMULINK, and according the detailed mathematical zero-dimensional model.

In this paper, the aimed model is used for analyzing the influence of the power changing of one of the cylinder on the engine performance. The power changing has been simulated by cutting of fuel delivery to one cylinder under different loading conditions and by the different limit of fuel rack. By analyzing the results of the simulation, the limits of engine working parameters and safety boundary conditions have been determined.

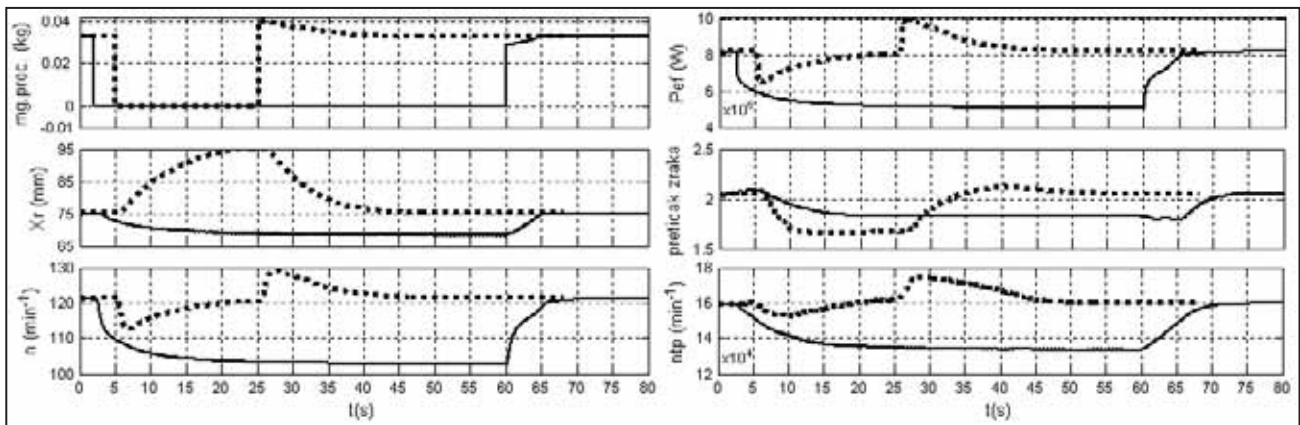
Keywords: diesel engine, simulation, fuel delivery

UVOD / Introduction

Prekidanje dobave goriva cilindru motora izvodi se pri snimanju dijagrama kompresije i ekspanzije. Poluga se goriva pritom ručno postavlja u nulti položaj, što potpuno prekida dobavu goriva tom cilindru. Nekada se i u praksi događa da neki od cilindara radi sa smanjenom dobavom goriva zbog kvara, ili čak dobava goriva može potpuno izostati. U praksi se u takvim situacijama smanjuje opterećenje motora tako da se smanji zadana brzina vrtnje, i to prema uputama proizvođača motora [2]. Za motore s manjim brojem cilindara, kao što su sporohodni dvotaktni motori, ograničenja prema uputama proizvođača uglavnom su postavljena zbog vibracija i zbog nepovoljnih okolnosti koje bi nastale pri graničnom opterećenju ostalih

prekretnog tipa s prednabijanjem i veoma dugim stapajem, koji pogoni vijak sa stalnim usponom. Motor tipske oznake 6S50MC, izrađen je u tvornici dizelskih motora u Splitu prema licenci MAN B&W. Sve značajke odabranoga propulzijskog sustava potrebne za simulacijski model prikazane su u [1]. Na simulacijskom modelu koji simulira rad propulzijskoga sustava pri 100 %-tnom opterećenju, analizira se prekidanje dobave goriva jednome cilindru.

Na slici 1. punom crtom predočene su promjene u trenutnom prekidanju dobave goriva prvome cilindru, pri čemu motorom upravlja regulator uz postavljene granice maksimalnog pomaka poluge goriva. Granice su postavljene prema momentu i tlaku zraka za ispiranje pri 100 %-tnom opterećenju motora.



Slika 1. Promjena značajka motora kad se prekine dobava goriva jednome cilindru pri 100 %-tnom opterećenju (Napomena: značenje pojedinih crta objašnjeno je u tekstu.)

Figure 1 Change of engine characteristics while cutting off fuel delivery in one cylinder under 100 % of load (Note: meaning of particular lines is described in text)

cilindara. U ovom radu analiziraju se radne značajke motora kad se prekida dobava goriva jednome cilindru, uz različita opterećenja motora. Pri tome se posebno razmatra položaj poluge goriva prema postavljenim granicama s obzirom na maksimalni moment motora i tlak zraka za ispiranje cilindara. Ta se analiza provodi s pomoću računalno- -simulacijskog modela broskog propulzijskog dizelskog motora, detaljno prikazanoga u radu [1].

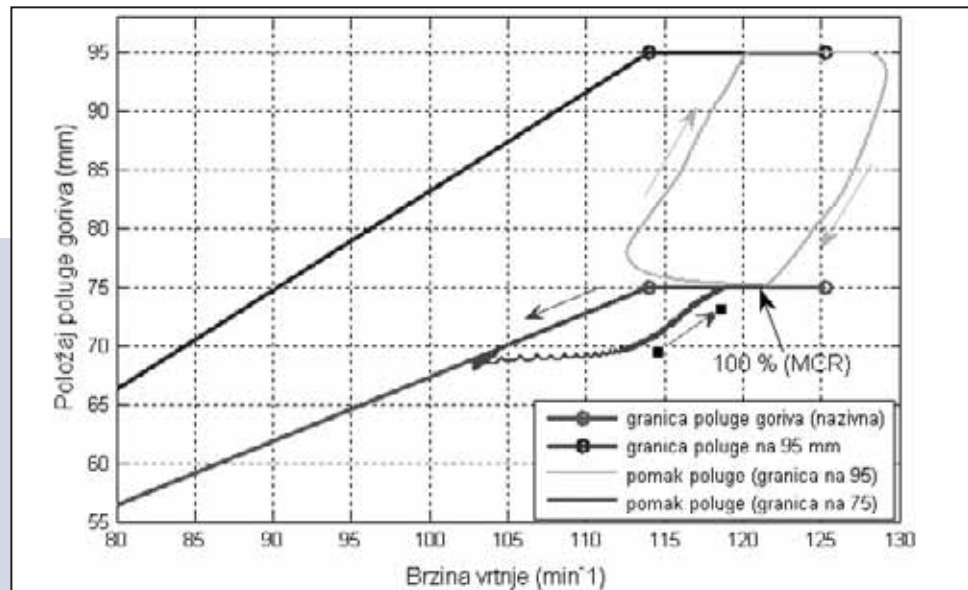
RADNE ZNAČAJKE MOTORA PRI PREKIDANJU DOBAVE GORIVA JEDNOME CILINDRU / Engine Characteristics while Cutting of Fuel Delivery in one Cylinder

Simulacijski model prema [1] primijenjen je na propulzijskom sustavu jednog tankera za prijevoz kemikalija. Pogonski je stroj sporohodni dizelski motor

Isprekidanim crtama prikazane su promjene kad su isključene granice maksimalnog pomaka poluge goriva, to jest dopušten je maksimalan pomak od 95 mm. Pri takvu pomaku, ako se ponovno uključi gorivo, brzina vrtnje neće prekoračiti granicu uključivanja modula zaštite od prevelike brzine vrtnje. Prije prekidanja dobave goriva, efektivna snaga odgovara 100 %-tnom opterećenju motora pri 121,4 min⁻¹. Nakon dvije sekunde prekinuta je dobava goriva jednome cilindru, to jest masa je goriva skokovito smanjena na nulu. Pomak poluge goriva se zadržava na vrijednosti 75 mm jer je daljnji porast ograničen. Snaga motora, koji tada radi bez ekspanzije jednog cilindra, naglo opada, što uzrokuje pad brzine njegove vrtnje. Pri brzini nižoj od 114 min⁻¹, pomak poluge goriva počinje se također smanjivati zbog postavljene granice prema slici 2. Granica pomaka poluge goriva postavljena je u odnosu prema brzini vrtnje kako bi zaštitila motor od prevelikih opterećenja.

Slika 2. Pomak poluge goriva u odnosu prema brzini vrtnje, s ograničenjem na 75 i 95 mm

Figure 2. Shift of fuel rack depending on engine speed, with limits on 75 and 95 mm

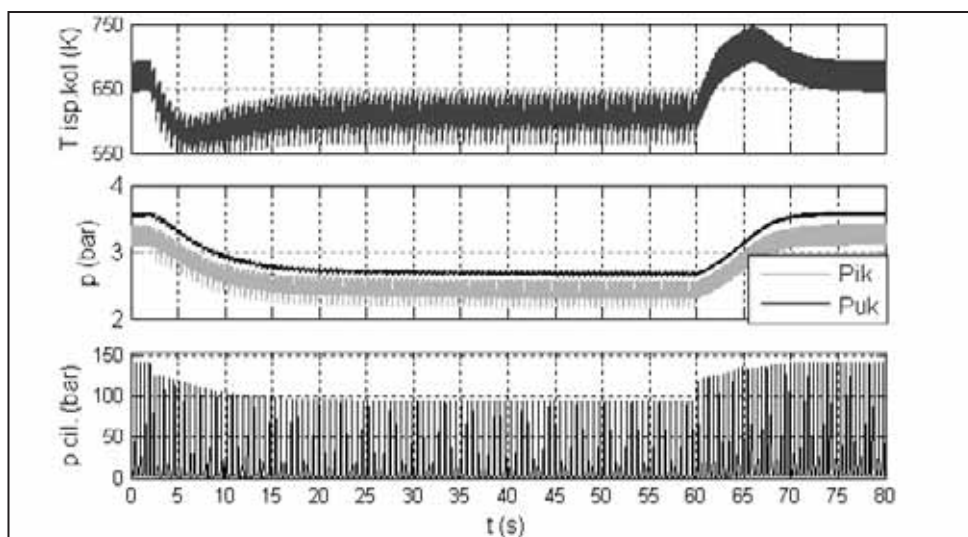


Na slici 3., zbog manje količine ispušnih plinova, zapaža se i pad tlaka u kolektoru ispušnih plinova. Brzina vrtnje puhala smanjuje se zbog manjeg momenta na osovini, pa je i protok zraka na puhalu manji. Pada tlak zraka u kolektoru zraka za ispiranje a zbog dobave veće količine goriva u preostalim cilindrima, smanjuje se pretlak zraka, i to uzrokuje otežane uvjete izgaranja. Na slici 3. prikazana je i promjena tlaka u cilindru kojemu je prekinuta dobava goriva.

Na slici 4. predočeno je pomicanje poluge goriva za vrijeme promatranih režima rada motora. Granice poluge goriva su postavljene ovisno o tlaku zraka za ispiranje cilindra. Pri prekidanju dobave goriva jednome cilindru pomak poluge nije bio ograničen tlakom zraka za ispiranje sve do položaja 70 mm. S prekinutom dobavom goriva jednome cilindru, motor postiže brzinu vrtnje od 102,7 min⁻¹, pri pomaku poluge od 67,7 mm. Radna je točka na granici s obzirom na

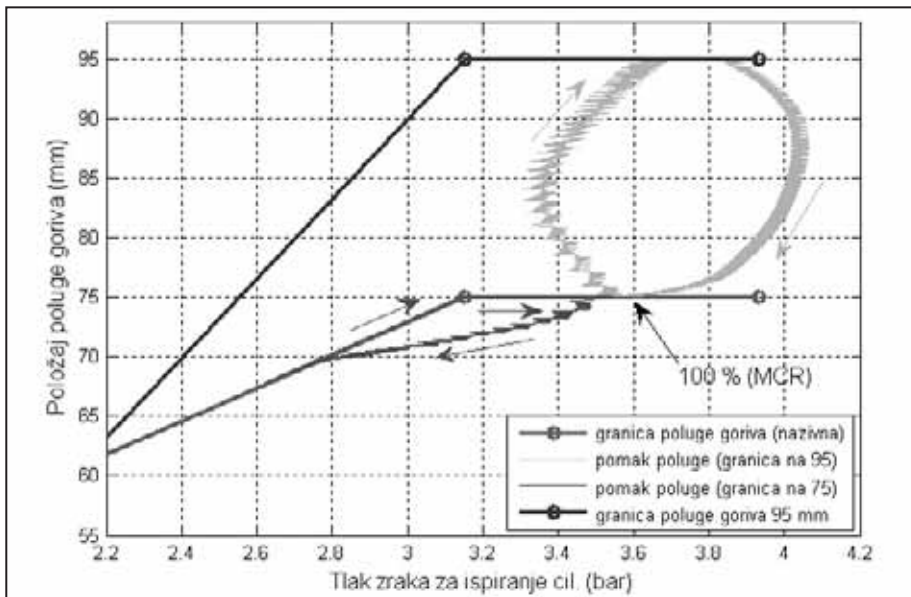
tlak zraka za ispiranje cilindra, a moment je motora malo ispod granične veličine. U šezdesetoj sekundi, to jest nakon 53. sekunde rada motora s prekinutom dobavom goriva jednome cilindru, pušta se poluga goriva i pumpa trenutno počinje dobavu goriva u cilindar. Prema slici 1. snaga motora raste za iznos snage priključenog cilindra. Brzina vrtnje brzo se povećava do 114 min⁻¹, a zatim, nešto sporije, dostiže 121,4 min⁻¹. Takav odziv značajka uvjetovan je pomakom poluge goriva, koja je ograničena tlakom zraka za ispiranje cilindra, prema slici 4.

Za vrijeme promatranih prijelaznih pojava, radna točka puhala mijenjala se prema slici 5. Stupanj djelovanja puhala je za vrijeme promatranih promjena bio uglavnom konstantan oko 84%. Opažaju se veće promjene u padu brzine vrtnje turbopuhala, te tlaka ispijnoga zraka, a time i zapreminskog protoka zraka.



Slika 3. Promjena značajka motora prekidanjem dobave goriva jednome cilindru

Figure 3. Change of engine characteristics while cutting off fuel delivery in one cylinder



Slika 4. Pomak poluge goriva ovisno o tlaku zraka za ispiranje, s ograničenjem na 75 i 95 mm

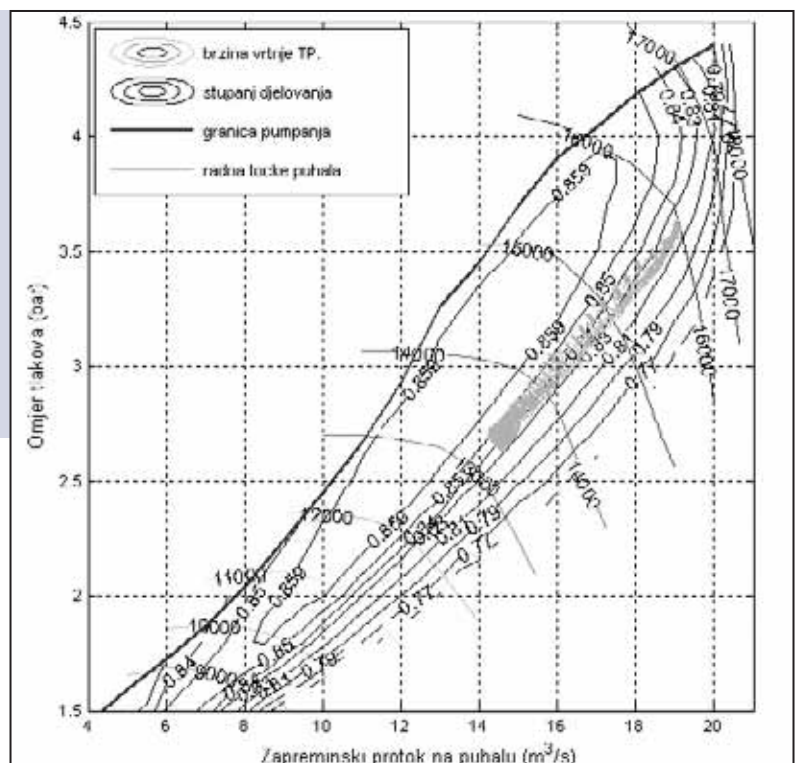
Figure 4. Shift of fuel rack depending on scavenging air pressure, with limits on 75 and 95 mm

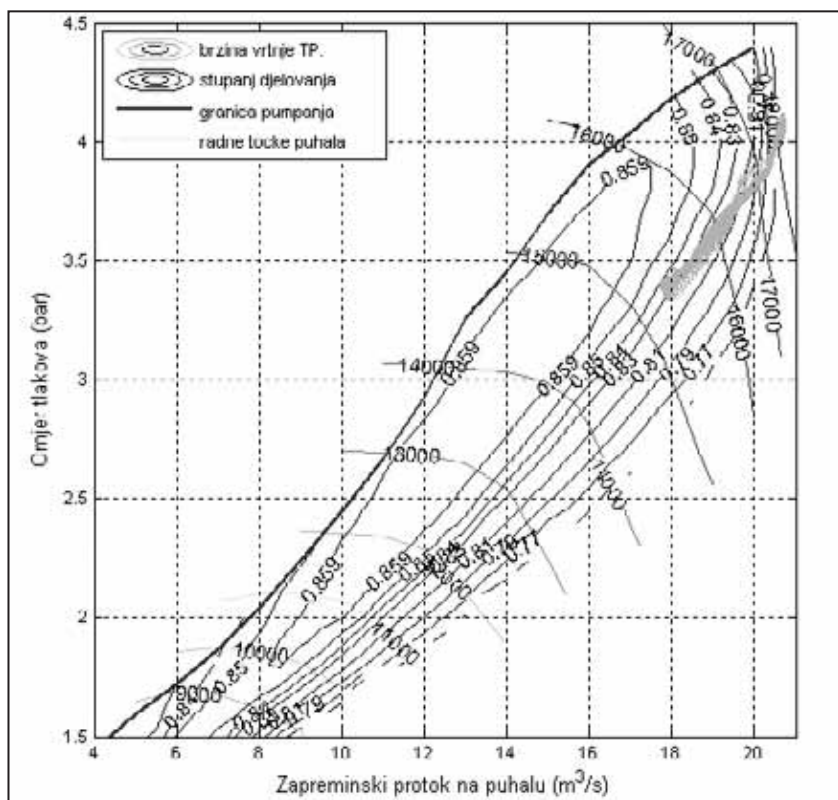
U drugom primjeru, nakon pet sekunda prekinuta je dobava goriva jednome cilindru. Zbog pada efektivne snage motora, te pada brzina vrtnje, regulator povećava dobavu goriva. Na slikama 2. i 4. poluga se goriva pomiče prema većoj dobavi, i to do maksimalne vrijednosti od 95 mm, što je novopostavljena granica. Motor je nakon 20 sekunda gotovo postigao zadanu brzinu vrtnje, uz znatno veću dobavu goriva ostalim cilindrima. Opterećenje cilindara motora je povećano, a pretižak je zraka manji nego u prethodnom primjeru, pa se mogu pretpostaviti poteškoće u izgaranju.

Nakon 20 sekunda rada motora s prekinutom dobavom goriva jednome cilindru, pušta se poluga goriva i trenutno pumpa započinje dobavu goriva u cilindru. Na slici 1. opaža se znatno prekoračenje brzine vrtnje, ali ispod granice uključivanja modula zaštite od prevelike brzine vrtnje. Regulator u povratnoj vezi dobiva signal za akciju smanjenja dobave goriva, nakon čega počinje opadati brzina vrtnje motora. Nakon 20 sekunda brzina je vrtnje stabilizirana i jednaka je zadanoj. Na slici 6. za to se vrijeme opaža znatan porast omjera tlakova, zapreminskog protoka i brzine vrtnje, a pad stupnja djelovanja turbopuhala.

Slika 5. Promjena radne točke turbopuhala za vrijeme prekidanja i ponovne uspostave dobave goriva jednome cilindru pri 100%-tnom opterećenju motora (granice postavljene na 75 mm)

Figure 5. Changes of operation point in the charger during cutting off and restoring again fuel delivery in one cylinder under 100% of engine load (Limit set up at 75 mm)



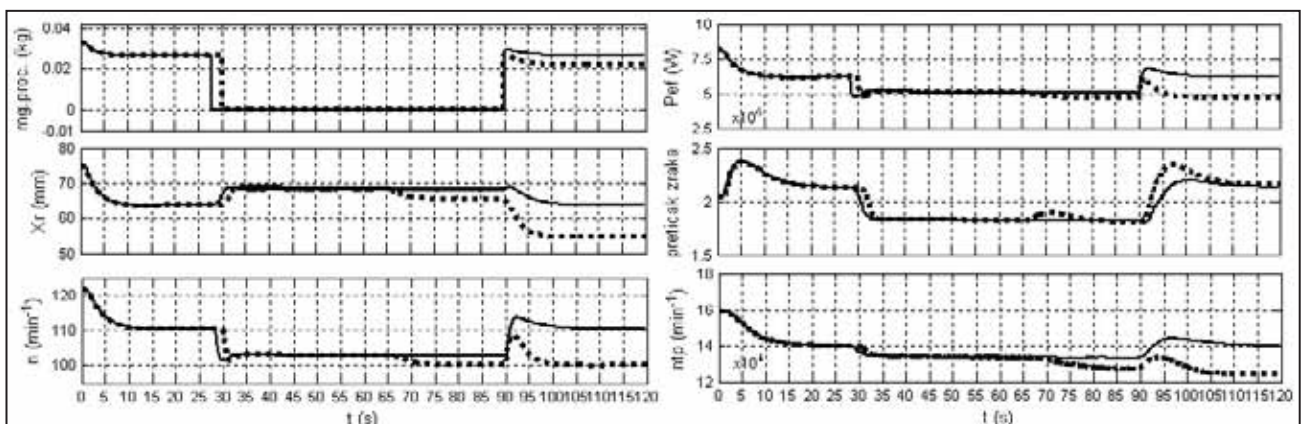


Slika 6. Promjena radne točke puhalu za vrijeme prekidanja i ponovne uspostave dobave goriva jednome cilindru pri 100%-tnom opterećenju motora (granice postavljene na 95mm)
 Figure 6. Changes of operation point in the charger during cutting off and restoring again fuel delivery in one cylinder under 100 % of engine load Limit set up at 95 mm)

Na sljedećem primjeru analizirano je prekidanje dobave goriva jednome cilindru motora, koji radi pri 75%-tnom opterećenju, to jest brzini vrtnje od 110,4 min⁻¹. Prema slici 7. najprije je smanjeno opterećenje motora sa 100% na 75%. U dvadeset i osmoj sekundi prekinuta je dobava goriva jednome cilindru, što je prikazano punom crtom, i masa je goriva skokovito smanjena na nulu.

Prekidanjem goriva u jednome cilindru uzrokuje se nagli pad snage motora. Zbog razlike između

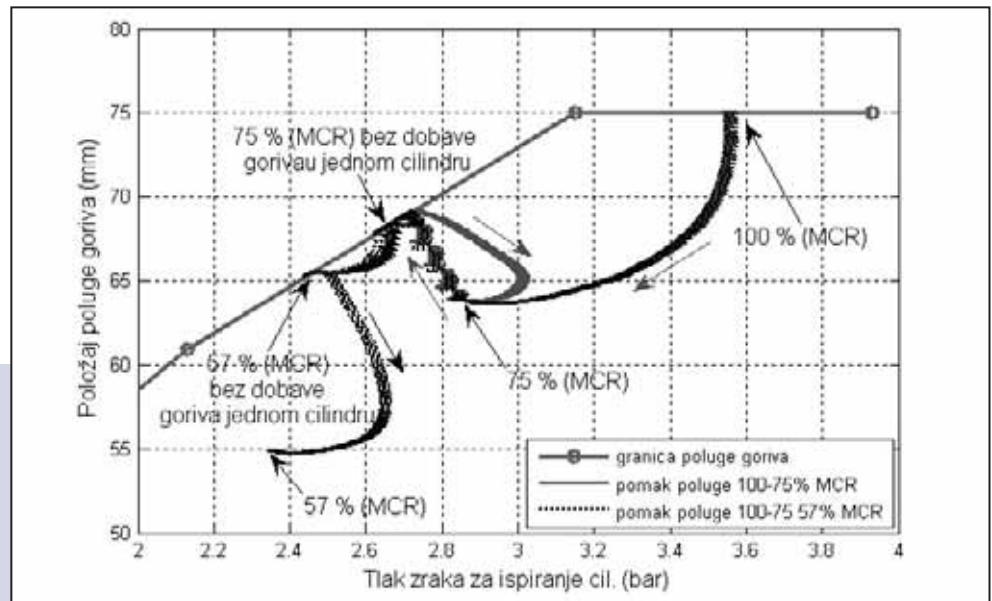
opterećenja vijka i motora, smanjuje se brzina vrtnje, pa se aktivira sustav regulacije koji daje signal za povećanu dobavu goriva. S manjom količinom ispušnih plinova, pada tlak zraka za ispiranje, pa se poluga goriva pomiče prema slici 8. Zaustavlja se na granici, to jest na položaju 68,5 mm, a tlak se ispirog zraka smanjuje na 2,68 bara. Na slici 9. opaža se da je poluga zauzela položaj na granici maksimalnoga dopuštenog momenta za postignutu brzinu vrtnje.



Slika 7. Promjena značajka motora prekidanjem dobave goriva jednome cilindru pri 75%-tnom opterećenju motora (Napomena: značenje pojedinih crta objašnjeno je u tekstu.)

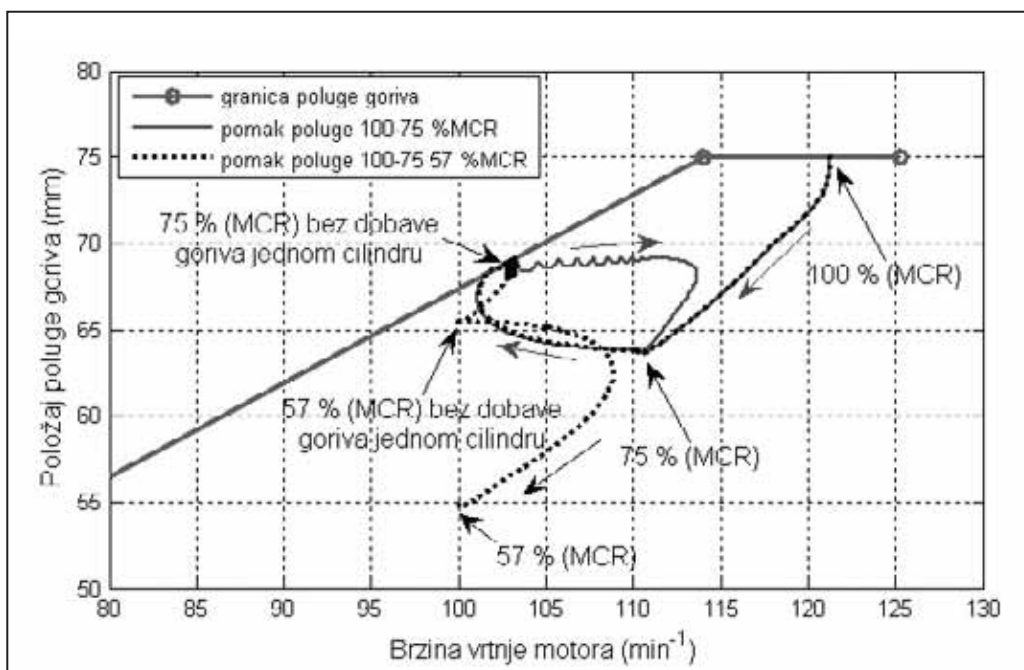
Figure 7. Change of engine characteristics while cutting off fuel delivery in one cylinder under 75 % of engine load (Note: meaning of particular lines is described in text)

Slika 8. Pomak poluge goriva, prema tlaku zraka za ispiranje
Figure 8. Shift of fuel rack depending on scavenging air pressure

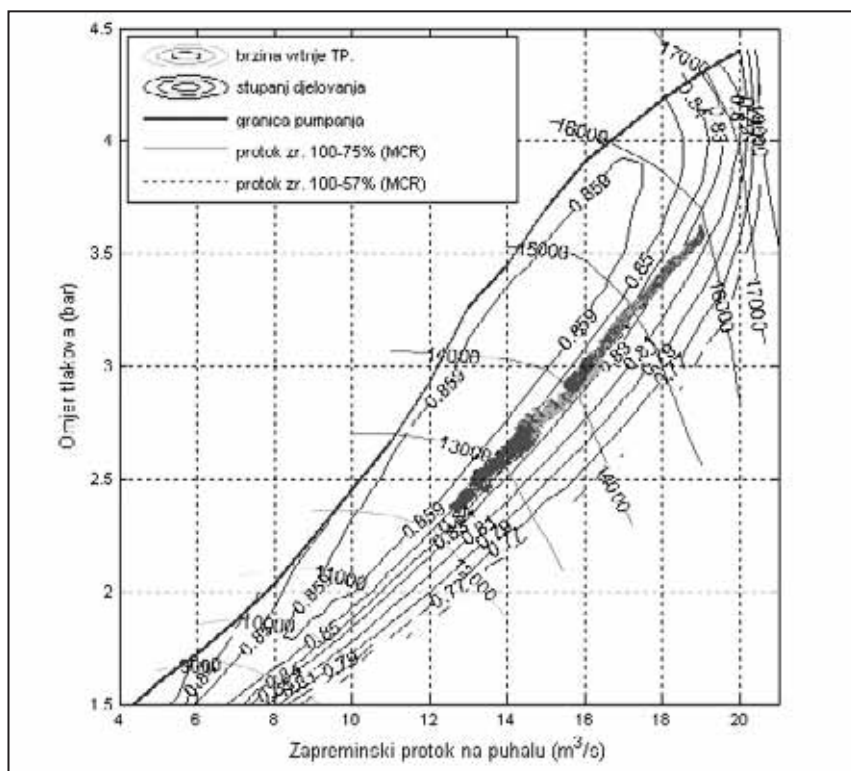


U šezdeset petoj sekundi smanjuje se zadana brzina vrtnje na 100 min^{-1} . Promatrane značajke označene su isprekidanim crtama na slici 7. Regulacijski sustav pomiče polugu goriva prema manjoj dobavi, pa se nova stacionarna točka nalazi na 57%-tnom opterećenju motora. Poluga se goriva zaustavlja na položaju 65,5 mm. Prateći pomak poluge na slici 7. opaža se da je poluga ograničena tlakom zraka za ispiranje cilindara. Na slici 9. uočava se da motor nije dosegnuo ograničenje maksimalnog momenta. U devedesetoj sekundi ponovno se, u oba promatrana slučaja, uspostavlja dobava goriva svim cilindrima, nakon čega brzina vrtnje naglo raste i stabilizira se na zadanim vrijednostima.

Za vrijeme promatranih prijelaznih pojava, radna točka turbopuhala mijenjala se prema slici 10. Stupanj djelovanja turbopuhala je za vrijeme promatranih promjena bio uglavnom konstantan oko 84%, a u radu pri 100%-tnom opterećenju iznosio je 82%. Za vrijeme prekidanja dobave goriva jednome cilindru nastaje pad vrijednosti: omjera tlaka, brzine vrtnje puhalo i zapreminskog protoka. Opažaju se nešto veće oscilacije za vrijeme dok je motor radio bez dobave goriva jednome cilindru, što je posljedica veće oscilacije tlaka u kolektoru ispušnih plinova.



Slika 9. Pomak poluge goriva, prema brzini vrtnje motora
Figure 9. Shift of fuel rack depending on engine speed



Slika 10. Promjena radne točke puhalu za vrijeme prekidanja i ponovne uspostave dobave goriva jednome cilindru i promjene opterećenja od 100% do 75 i do 57%

Figure 10. Changes of operation point in the charger during cutting off and restoring again fuel delivery in one cylinder and changes of load from 100% to 75% and to 57%

ZAKLJUČAK / Conclusion

Prema analiziranim primjerima zaključuje se da se u prvom slučaju, pri prekidanju dobave goriva jednome cilindru, znatno smanjuju snaga i brzina vrtnje motora. Ne dolazi do preopterećenja zbog ograničenja poluge goriva, ali motor radi s maksimalnim trajnim opterećenjem preostalih cilindara.

U drugom primjeru, kad su granice poluge goriva povišene, pri prekidanju dobave goriva jednome cilindru motor postiže zadanu brzinu vrtnje, ali je opterećenje preostalih cilindara nedopušteno. Prekidanje goriva jednome od cilindara treba izvesti bez poništavanja ili povišenja granica pomaka poluge goriva, i to na opterećenju koje pri ponovnoj uspostavi dobave goriva neće izazvati preopterećenje.

Kad se smanji ili prekine dobava goriva nekome od cilindara, preporučuje se smanjenje opterećenja motora,

smanjenjem zadane brzine vrtnje. Analizom istraženih primjera preporučuje se smanjenje opterećenja ispod 75%. Time bi bila manja mogućnost nastajanja problema povezanih s radom motora na graničnome momentu, koji je u okolnostima neravnomjerne dobave goriva neravnomjerno raspoređen po cilindrima.

LITERATURA / References

- [1] Račić, N., „Simulacija rada brodskog propulzijskog sustava sa sporohodnim dizelskim motorom u otežanim uvjetima, doktorska disertacija“, Tehnički fakultet Rijeka, Rijeka, 2008.
- [2] MAN B&W A/S, S50MC Mk6 Project Guide, MAN B&W A/S, Copenhagen, 6th edition, 2005

Rukopis primljen: 7. 12. 2008.