Ljubiša Marković,
dipl. inž.
Dr Predrag Petrović,
dipl. inž.
Institut IMR, Beograd

ISTRAŽIVANJA NISKOTEMPERATURNIH KARAKTERISTIKA DIZEL-GORIVA U USLOVIMA HLADNOG STARTA MOTORA

UDC: 621.436.1.019.001.573

Rezime:

Eksploatacija dizel-motora u uslovima niskih temperatura okoline, gde je veoma izražen uticaj goriva, uvek je aktuelna. Interakcija gorivo-motor, sa aspekta upotrebnog kvaliteta u uslovima niskih temperatura okoline, predstavlja složenu funkcionalnu zavisnost. Konceptija optimalnih relacija ove veze zahteva istraživanja koja su opsežna i studiozna. Optimalizacija karakteristika dizel-goriva prema zahtevima proisteklih iz uslova korišćenja motora u eksploataciji, kao i uticajima okruženja, daje konkretne rezultate koji svoje pozitivne efekte iskazuju primenom na tržištu, sa obostranim zadovoljstvom proizvođača goriva i korisnika motora. Realizacija istraživanja niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva u uslovima hladnog starta motora daje mogućnosti poboljšanja upotrebnog kvaliteta motora i goriva ka zadovoljenju globalnih potreba za povećanjem resursa energije.

Ključne reči: niskotemperaturne karakteristike, hladan start, dizel-gorivo, ispitivanja, hladan test goriva.

EXAMINATION OF DIESEL FUEL PROPERTIES AT LOW TEMPERATURES DURING COLD STARTING

Summary:

The paper treats the problem of permanently current interest: the use of Diesel fuel at low ambient temperatures when the fuel influence is very important. The interaction fuel-engin presents a complex functional dependence from the aspect of usability at low ambient temperatures. The optimization of Diesel fuel properties according to operational demands and ambient influences brings the effects recognized at the market. The realization of the examination of Diesel fuel properties at low temperatures during cold starting opens the possibilities to improve engin and fuel usability while satisfying global needs for energy resources increase.

Key words: Diesel fuel, low temperature properties, cold starting, examination.

Uvod

Eksploatacija dizel-motora u uslovima sniženih temperatura okoline traži ispunjavanje više zahteva koji se odnose na uređaje i sisteme motora, kao što su:

- uređaj za startovanje,
- uređaj za olakšanje startovanja,

- sistem za napajanje niskog pritiska,
- sistem za ubrizgavanje goriva,
- sistem za sagorevanje.

Zahtevi su proizašli iz funkcionalnih i konstrukcionih karakteristika dizel-motora, tj. njegovih mogućnosti startovanja i rada u uslovima niskih temperatura okoline. Dosadašnja istraživanja pokazuju da presudan uticaj

na hladan start motora ima dizel-gorivo sa svojim niskotemperaturnim karakteristikama.

Sprovedena vanmotorska i motorska ispitivanja, startovanja i rada dizel-motora daju mogućnost indentifikacije parametara koji pružaju sliku

o upotrebi dizel-motora u uslovima niskih temperatura okoline. Težište istraživanja bilo je na niskotemperaturnim karakteristikama goriva, radi ocene mogućnosti i donošenja zaključaka o temperaturnim granicama primene goriva.

Tabela 1

Fizičko-hemijske karakteristike dizel-goriva

Karakteristike	Gorivo 1	Gorivo 2	Metoda ispitivanja
Gustina na 15°C (kg/m ³)	835,3	876,6	ISO 3675
Poč. destilacije (°C)	188	210	ISO 3405
10 vol. %	229	255	
30 vol. %	250	295	
50 vol. %	270	322	
70 vol. %	292	339	
80 vol. %	308	346	
90 vol. %	329	354	
95 vol. %	348	362	
kraj	368	373	
Ostatak zapremine (%)	2	2	
Sadržaj sumpora mas. (%)	0,14	0,22	ISO 8754
Zamućenje (°C)	+2	—6	
Tačka stinjavanja (°C)	—10	—15	
Filtrabilnost (°C)	—6	—6	
CI	52,8	47,9	ISO 4264
Korozija na bakru	1	1	ISO 2160
Kiselost (mg KOH/gr)	0,153	0,78	
Sadržaj koksa mas. (%)			
Sadržaj koksa (10%) mas.	0,0192		
Sastav IR (Brand.)			
% C _p	63,16	55,92	
% C _n	25,06	26,41	
% C _a	11,78	17,67	
Viskoznost (mm ² /s) na 20°C	4,74	11,71	
na 40°C	3,13	6	ISO 3104
Sadržaj smola (mg/100 ml)	52,8	174,6	

Eksperimentalna metodologija

Pri definisanju programa ispitivanja niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva vodilo se računa o sagorevanju dizel-motora, koje je definisano svim uticajnim parametrima (konstrukciono izvođenje motora, karakteristike sistema za ubrizgavanje, i dr.), i o dizel-gorivu koje svojim fizičko-hemijskim karakteristikama utiče na hladan start i rad dizel-motora u uslovima niskih temperatura.

Program ispitivanja obuhvatio je vanmotorska i motorska ispitivanja, i to:

— ispitivanje dotoka goriva do sistema za ubrizgavanje dizel-motora (vanmotorska),

— ispitivanje hladnog starta motora (motorska).

Ispitivanje je obavljeno sa više uzoraka dizel-goriva, ali su u radu prezentirani rezultati za dva uzorka. Fizičko-hemijske karakteristike goriva date su u tabeli 1. Istraživanja su obavljena u mernim komorama za vanmotorska i motorska ispitivanja.

Vanmotorska ispitivanja

Dosadašnja iskustva stečena analizom niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva, određenih u laboratorijskim uslovima prema standardnim metodama za tri karakteristične tačke zamućenja, filtrabilnosti i stinjanja goriva, pokazala su raskorak između temperaturnih granica i temperatura do kojih startuje i radi dizel-motor u realnim eksploatacionim uslovima. Ispitivanja hladnog starta dizel-motora pokazala su da ključni faktor predstavlja nemogućnost dotoka goriva do sistema za ubrizgavanje, ili tzv. operativnost goriva na napojnim instalacijama dizel-motora. Da bi se pojednostavilo ispitivanje niskotemperaturnih

karakteristika razvijen je postupak vanmotorskog laboratorijskog ispitivanja koji je nazvan »hladan test goriva« — HTG [1].

HTG je zasnovan na merno-regulacionoj opremi kojom su simulirani uslovi rada napojnih instalacija niskog pritiska dizel-motora kojih ima najviše u primeni na dizel-motorima na teritoriji Jugoslavije. Fleksibilnost HTG, utemeljena na mernoregulacionoj opremi, daje mogućnost registrovanja velikog broja parametara koji su značajni za određivanje niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva. Ispitivanjem po ovom testu uz definisanje kriterijuma, određuju se temperaturne granice primene opitnog goriva pri niskim temperaturama okoline. Metoda HTG predstavlja sažeta iskustva i rezultate sopstvenih istraživanja i usvojena je za standardnu metodu Instituta IMR-a.

Uslovi i metodologija ispitivanja hladnog testa goriva

Program ispitivanja obuhvata ispitivanja na temperaturama hladne komore, počevši od viših temperatura sa tendencijom snižavanja, do granične temperature do koje gorivo ispoljava operativnost na merno-regulacionoj instalaciji. Ispitivanje počinje nakon stabilizacije temperature goriva u instalaciji, a merenja uključenjem pumpe za gorivo. Karakteristične merne veličine beleže se od trenutka uključivanja pumpe na svaka tri minuta. Ispitivanje traje 18 minuta. Na osnovu parametara napojnih instalacija niskog pritiska dizel-motora, pritiska i protoka goriva, izvedeni su karakteristični parametri pritiska goriva $p=0,5$ bar ispred filtera goriva i protoka koji iznosi $Q=30$ do 40 l/h.

Merno-regulaciona instalacija HTG i tok goriva prikazani su na slici 1. Regulacija pritiska ostvaruje se prelivnim ventilom.

Parametri i merna mesta su:

- merenje pritiska goriva ispred i iza prečistača goriva (p_1 , p_2),
- merenje protoka goriva (Q),
- merenje temperature u rezervo-

ta, prikazane su karakteristične vrednosti razlike pritiska na filteru goriva i protoka goriva, izmerene na različitim temperaturama merne komore. Tokom svakog merenja pri konstantnoj temperaturi merne komore regis-

Sl. 1 — Merno-regulaciona instalacija hladnog testa goriva (HTG)
1 — pumpa za gorivo, 2 — prelivni ventil, 3 — filter za gorivo, 4 —
merač protoka, 5 — rezervoar za gorivo

voaru za gorivo (T_1), ispred prečistača goriva (T_2), neposredno iza prečistača goriva (T_3) i u mernoj komori (T_4).

U zavisnosti od niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva, određenih u laboratoriji, pristupa se određivanju početne temperature merne komore, kao i određivanju koraka njenog snižavanja. Kriterijum HTG je granična vrednost razlike pritiska na filteru goriva od 0,2 bara i veća, kao i nemogućnost protoka goriva kroz vodove merne instalacije. Saglasno sa ovim kriterijumom, rezultati ispitivanja van njegovih granica daju graničnu temperaturu primene opitnog goriva pri niskim temperaturama okoline.

Analiza rezultata merenja

Rezultati merenja operabilnosti goriva metodom HTG prikazani su dijagramski. Radi preglednosti rezulta-

truju se karakteristične veličine kontinualno u vremenskom intervalu od jednog minuta posle uključenja pumpe za gorivo. Pošto je to veliki broj podataka, u radu su prikazane karakteristične veličine registrovane posle jednog minuta uključenja pumpe za gorivo, tj. početka merenja pri konstantnoj temperaturi merne komore.

Na slici 2 prikazani su rezultati ispitivanja razlike pritiska goriva ispred i iza filtera, i protoka goriva u zavisnosti od temperature merne komore za uzorke dizel-goriva 1 i 2. Sagledavajući rezultate ispitivanja goriva 1 može se zaključiti da je granična temperatura primene -12°C . Naime, može se uočiti da nakon temperature -11°C razlika pritiska na filteru znatno raste, a protok goriva opada. Ispitivanja su obavljena i na temperaturi merne komore od -13°C , ali na toj temperaturi od uključenja pumpe

za gorivo protok nije ostvaren. Prema rezultatima testa granična temperatura primene goriva 1 iznosi -12°C .

Sl. 2 — Rezultati ispitivanja uzoraka dizel-goriva

Ispitivanja goriva 2 pokazala su da je granična temperatura primene -8°C . Na slici 2 može se uočiti da nakon temperature -5°C počinje da opada protok goriva, a raste razlika pritiska na filteru. Na temperaturi merne komore -9°C nije ostvaren protok goriva 2, a vrednost razlike je iznad kriterijuma od 0,2 bara. To znači da granična temperatura primene goriva 2 iznosi -8°C .

Upoređujući ove rezultate ispitivanja sa niskotemperaturnim karakteristikama goriva, prikazanim u tabeli 1, dolazi se do evidentnog raskoraka. Temperatura filtrabilnosti za gorivo 1 viša je za 6°C , a za gorivo 2 za 2°C u odnosu na graničnu temperaturu dobijenu metodom HTG.

Temperatura stinjanja goriva 1 je iznad granične temperature za 2°C , a goriva 2 je za 7°C niža u odnosu na graničnu temperaturu HTG. Upoređujući karakteristike goriva 1 i 2 (tabela 1) mogu se uočiti osnovne razlike u gustini, viskoznosti, cetanskom indeksu, destilaciji i sadržaju smola. Ne ulazeći detaljnije u analizu karakteristika goriva 1 i 2 a iz navedenih razlika, može se zaključiti da na niskotempe-

rature karakteristike utiču, prema HTG, gustina goriva, viskoznost i sadržaj smola, što je karakteristično kod goriva 2. Samim tim, mogu se opravdati različita odstupanja granične temperature po metodi HTG i karakteristika prikazanih u tabeli 1.

Motorska ispitivanja

Motorska ispitivanja startnih karakteristika i rada dizel-motora u uslovima sniženih temperatura obavljena su u mernoj komori, na definisanim temperaturama ispitivanja. Metoda ispitivanja definisana je standardom koji je saglasan sa SNO i BOSCH standardom [2].

Pod startnim karakteristikama motora na niskoj temperaturi okoline podrazumeva se sposobnost pokretanja hladnog motora, opremljenog uređajima za startovanje, na temperaturi okoline ispod 0°C , korišćenjem energije druge mašine ili uređaja (elektropokretača). Pod probom startovanja motora podrazumeva se jedna operacija startovanja koja obuhvata sve radnje, od pripreme do uspešnog pokretanja.

Posebna pažnja posvećena je izboru dizel-motora za istraživanje. Motor treba da bude reprezentativni uzorak dizel-motora sa izrazito nepovoljnim karakteristikama u pogledu hladnog starta.

Za ispitivanje je izabran motor M33I, varijanta industrijske primene, sa pripadajućom opremom definisanom tehničko-funkcionalnim zahtevima koje je propisao proizvođač motora. Motor M33I pripada seriji M motora Industrije motora iz Rakovice, kojih ima najviše na teritoriji Jugoslavije. Ova serija motora ima indirektni sistem za ubrizgavanje, što se nepovoljno odražava na hladni start. Takođe, sistem za napajanje gorivom izveden je tako da predstavlja ograničavajući faktor u primeni ovih motora na niskim temperaturama okoline.

Za potrebe istraživanja postavljena je veoma složena merna oprema koja je povezana sa personalnim računarom.

Uslovi i metodologija ispitivanja

Prema standardu za ispitivanje hladnog starta motora u Institutu IMR, definisani su sledeći uslovi i metodologija ispitivanja:

- ispitivanja startnih karakteristika motora na niskoj temperaturi okoline sprovode se u hladnoj komori koja svojim dimenzijama i opremom obezbeđuje uslove za smeštaj motora sa pripadajućim uređajima. Vazduh u komori se kontroliše i ne sme imati veću vlažnost od 60%;

- na svakoj temperaturi okoline obavljaju se do tri opitna startovanja;

- pauza između svakog pokušaja startovanja iznosi jedan minut;

- trajanje pokušaja startovanja dizel-motora iznosi 20 sekundi. Pre svakog startovanja obavlja se grejanje usnog vazduha automatskim zagrejačem u trajanju od 20 sekundi;

- ispitivanje startnih karakteristika motora obavlja se hladnim akumulatorima čija je napunjenost, kod motora opremljenog alternatorom, 75% (0,75 C₂₀) od 20-satnog nazivnog kapaciteta. To se postiže pražnjenjem 100% napunjenog akumulatora konstantnom strujom jačine $I=0,2 C_{20}$ u toku 1,25 sati.

Hlađenje motora sa pratećim uređajima vrši se do trenutka izjednačavanja temperatura motora (ulja u sistemu za podmazivanje, tečnosti u sistemu za hlađenje i elektrolita u akumulatoru) sa zadatom temperaturom vazduha u komori, sa produženjem 3 do 6 časova.

U toku ispitivanja pri svakom pokušaju startovanja motora treba registrovati sledeće parametre:

- vreme zagrevanja automatskog zagrejača;

- vreme trajanja startovanja (uključivanja elektropokretača);

- broj obrtaja motora;

- jačinu struje elektropokretača;

- napon struje na priključcima elektropokretača.

Za potrebe ispitivanja razvijena je merna oprema sa mogućnošću kontinualne akvizicije mernih veličina personalnim računarom. Pored navedenih mernih veličina izvedeni su merni uređaji koji prate veličinu pritiska u sistemu za napajanje motora gorivom, ispred i iza filtera goriva, pritiska ulja u sistemu za podmazivanje motora, kao i karakterističnih mernih mesta temperatura rashladne tečnosti, ulja u motoru, elektrolita u akumulatoru i temperatura hladne komore. Na slici 3 prikazana je blok-šema merne opreme koja je razvijena za ispitivanje hladnog starta motora.

Jedinicu za broj obrtaja motora čini optički davač broja obrtaja koji je povezan preko uobličivača signala i pojačavača sa A/D konvertorom. Konvertor je povezan sa personalnim računarom. Konverzija mernog signala napona i jačine struje uređaja za startovanje motora sa mernih mesta u digitalni signal, vrši se u A/D konvertoru. Merne linije za temperature sačinjavaju: temperatura komore, temperatura goriva u pumpi visokog pritiska, temperatura rashladne tečnosti na ulazu u pumpu za vodu, temperatura elektrolita u akumulatoru, temperatura goriva u rezervoaru, temperatura goriva neposredno ispred filtera goriva, i temperatura ulja za podmazivanje motora. Radi identifikacije karakteristične veličine pritiska u napojnoj instalaciji niskog pritiska, ugrađena je merna oprema koja registruje vrednosti pritiska ispred i iza filtera goriva. Za ova ispitivanja potrebno je imati u vidu da ispitivani motor M33I sa pri-

padajućom opremom uspešno startuje do temperature -15°C , pa su ispitivanja ograničena do te granične temperature merne komore.

nična temperatura primene ispitivnog goriva na dizel-motoru usvaja se ona na kojoj je motor uspešno startovao i radio.

Sl. 3 — Blok-šema merne opreme

Analiza rezultata ispitivanja

Ispitivanja hladnog starta motora u mernoj komori obuhvatila su veći broj startovanja za oba goriva. Prema niskotemperaturnim karakteristikama goriva, određenim vanmotorskim ispitivanjima usvajane su temperature merne komore pri kojima se izvodi start. Sa dozom rezerve pre ispitivanja je usvojena početna temperatura merne komore za 1°C viša od granične temperature određene metodom HTG. Tendencija snižavanja temperatura bila je za 1°C . Ispitivanja su obavljana do one temperature merne komore na kojoj motor nije startovao. Kao gra-

U ovom radu prikazan je samo deo rezultata ispitivanja. Pri izboru karakterističnih parametara za prikazivanje težilo se da se daju oni parametri koji direktno utiču na zadovoljenje hladnog starta motora (broj obrtaja motora, jačina struje, napon akumulatora). Osnovni parametar koji figuriše na svim dijagramima je vreme, i ono je prikazano na apscisi. Rezultati prikazani na slikama 4, 5 i 6 odnose se na uspešan hladan start motora pri temperaturi merne komore -12°C sa gorivom 1. Na slici 4 prikazan je pritisak u glavnoj uljnoj magistrali i broj obrtaja motora tokom izvođenja testa. Prilikom startovanja di-

zel-motora pri niskim temperaturama okoline, važno je da dođe do adekvatnog porasta pritiska ulja. Uočava se da je do porasta pritiska došlo, pa se mo-

slikama 5 i 6. Mogu se uočiti, u zavisnosti od broja obrtaja motora, vrednosti jačine struje i napona tokom startovanja motora. Proračunom tih

Sl. 4 — Promena pritiska ulja i broja obrtaja motora

že zaključiti da ulje koje se nalazilo u motoru svojim niskotemperaturnim karakteristikama zadovoljava primenu u motorima do temperature -12°C .

Merni parametri jačine struje i napona akumulatora prikazani su na

vrednosti dolazi se do parametra snage uređaja utrošene za startovanje motora. Takođe, uočava se vreme za koje je motor uspešno startovao. U ovom slučaju motor je uspešno startovao u prvom pokušaju za 4 sekunde. Vreme

Sl. 5 — Promena jačine struje i broja obrtaja motora

za predgrevanje usisnog vazduha bilo je u skladu sa standardom, tj. iznosilo je 20 sekundi.

je iznad ove vrednosti otežano ili nemoguće napajanje motora gorivom, što navodi na zaključak da je ta poja-

Sl. 6 — Promena napona akumulatora i broja obrtaja motora

Na slici 7 prikazana je razlika pritiska na filteru goriva tokom neuspelog prvog pokušaja startovanja sa gorivom 1, pri temperaturi merne komore -13°C . Uočava se da razlika pritiska ide do 0,5 bara u početku, a da kasnije dolazi do smanjenja razlike. Ova

Sl. 7 — Razlika pritiska na filteru za gorivo

pojava je karakteristična, i bila je registrovana u vanmotorskim ispitivanjima metodom HTG. Razlika pritiska na filteru iznad 0,2 bara pokazuje da

va uticala na neuspeo hladan start motora.

Generalno sagledavajući rezultate motorskih ispitivanja u mernoj komori, može se zaključiti da granična temperatura primene za gorivo 1 iznosi -12°C , a za gorivo 2 -8°C . Istraživanja niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva, u uslovima hladnog starta motora, potvrdila su da, u osnovi, postoji odstupanje od granične temperature primene goriva u eksploataciji, i karakterističnih niskotemperaturnih osobina određenih u laboratoriji prema standardu za dizel-goriva. Zbog toga su veoma značajni zaključci koji ukazuju do koje temperature okoline je moguća primena ispitivanih uzoraka dizel-goriva.

Rezultati ispitivanja pokazuju da nesumnjivo glavni problem neuspelog hladnog starta motora predstavlja nemogućnost protoka goriva u sistemu za napajanje motora gorivom, ili tzv. operatibilnost goriva.

Poboljšanje niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva pružiće veće mogućnosti primene u zimskim uslovima, i samim tim povećati upotrebnu vrednost dizel-goriva.

Zaključak

Rezultati vanmotorskih i motorskih ispitivanja dizel-goriva u uslovima hladnog starta motora pokazali su da se:

— gorivo 1 može koristiti za pogon dizel-motora na temperaturama do -12°C ,

— gorivo 2 može koristiti za pogon dizel-motora na temperaturama do -8°C .

Kriterijum uspešnosti starta bio je veoma strog i prilagođen kriteriju-

mima drugih proizvođača motora, IMR-a, kriterijumima proizvođača opreme za ubrizgavanje goriva (BOSCH) i postojećim vojnim standardima.

Rezultati ispitivanja dizel-goriva odnose se na postojeće dizel-motore, koji su tehnički ispravni, posebno u pogledu pravilnog funkcionisanja elektroinstalacije (uključujući i akumulator), sistema za olakšanje hladnog starta i instalacije za napajanje gorivom (što se naročito odnosi na filter za gorivo koji mora biti po deklaraciji proizvođača motora). Razvijena merna oprema, prilagođena personalnom računaru, pokazuje niz prednosti u odnosu na dosad primenjivani sistem merenja. Ona omogućava registrovanje velikog broja mernih veličina, kao i njihovo praćenje u toku testa, čime je bitno poboljšan kvalitet ispitivanja.

Literatura:

- [1] Marković, Lj., Petrović, P., Veselinović B., Dželović, S.: Laboratorijsko ispitivanje goriva dizel motora u uslovima sniženih temperatura, JUGOMA '94. oktobar 1994. Novi Sad.
- [2] Janković, S., Petrović, P., Marković, Lj. i dr., (Institut — IMR), Unković, D., Bogojević, S. i dr. (NIS), Istraživanje niskotemperaturnih karakteristika dizel-goriva, Naučnoistraživački projekat, septembar—decembar '94. Beograd.

- [3] Paramins, Diesel fuel cold flow tests status update, PBF. No: 2512Y — 93, novembar 1993.
- [4] Concawe motor vehicle emission regulations and fuel specifications 1994. update, report No. 4/94.