

MOGUĆNOST POBOLJŠANJA IZDUVNE EMISIJE TRAKTORSKOG DIZEL MOTORA DOMAĆE PROIZVODNJE PRIMENOM SISTEMA RECIRKULACIJE IZDUVNIH GASOVA (EGR)

Mr Dragan Knežević, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

Prof. dr Stojan Petrović, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

Željko Bulatović, dipl. inž.
Vojnotehnički institut, Beograd

U radu se daju rezultati eksperimentalnog istraživanja uticaja recirkulacije izduvnih gasova – EGR na kvalitet izduvne emisije dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem IMR DM34/t, domaće proizvodnje. Izvršeno je sveobuhvatno veoma kompleksno ispitivanje efekta sistema EGR na sve bitnije izlazne parametre motora, a naročito na tok i promenu glavnih toksičnih komponenti izduvnih gasova dizel motora (NO_x, HC, CO i dima), kao i specifične efektivne potrošnje goriva, zavisno od intenziteta recirkulacije, odnosno EGR odnosa, broja obrtaja i opterećenja motora. Primenom sistema EGR na istraživanom motoru moguće je postići veoma visok stepen redukcije azotovih oksida, uz izvesno povećanje nivoa dimnosti motora. Emisije nesagorelih ugljovodonika HC, i ugljenmonoksida CO, se takođe povećavaju i uglavnom prate tok rasta dimnosti.

Ključne reči: dizel motor, izduvna emisija, recirkulacija izduvnih gasova

UVOD

Konstruktivna koncepcija primene sistema recirkulacije izduvnih gasova ili u uobičajenoj oznaci EGR (Exhaust Gas Recirculation), podrazumeva primenu uređaja (podsklopa) na motoru (otto ili dizel ciklusa) koji svojom funkcijom omogućava uvođenje odgovarajuće, definisane, količine izduvnih gasova u njegov usisni sistem. Teorijski, laboratorijski i praktično je dokazano da idejni koncept EGR predstavlja jednu od najefikasnijih, najjednostavnijih i najjeftinijih tehnika koje su danas dostupne za značajnu redukciju emisije NO_x kod otto i dizel motora. Kada je reč o dizel motorima poslednje generacije svi su konstruisani kao motori sa

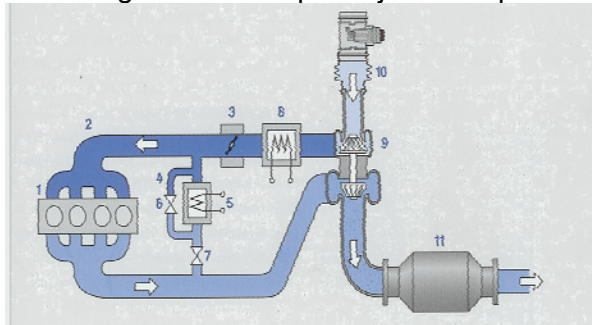
direktnim ubrizgavanjem i opremljeni sa visokopritisnim sistemima ubrizgavanja (bilo da je reč o *common rail* sistemima ili sistemu *pumpa brizgač*).

Takođe se i dalje ulažu značajni naponi i sredstva za njihov razvoj a ti motori pored propisanog niskog nivoa toksičnosti izduvnih gasova, kao ograničavajućeg faktora, treba da omogućе ostvarenje i još dva kjučna uslova: još veću ekonomičnost nego danas i istovremeno postizanje visokih performansi.

Glavni problem proizvođača ovakvih pogon-skih agregata je iznalaženje načina da se uz bitnu redukciju emisije azotovih oksida ne poveća, ili barem ne značajno, emisija dima, čestica, i nesagorelih ugljovodonika HC a uz povećanje snage i sniženje potrošnje pogonskog goriva. Načelno posmatrano postoje dva moguća koncepta izvođenja sistema EGR na motorima. To su koncept visokopritisnog EGR čija je koncepcija načelno prikazana na slici 1 i

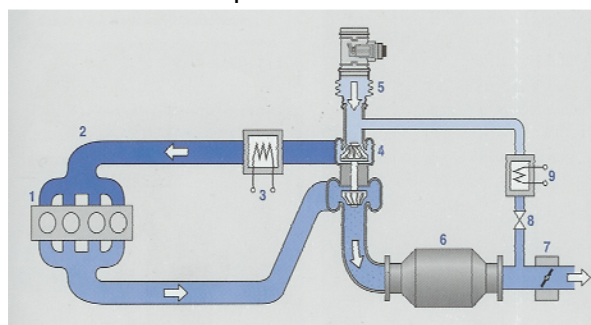
koncept niskopritisnog EGR prikazan na slici 2. Na navedenim slikama su pokazane konfiguracije sklopa uređaja za recirkulaciju izduvnih gasova u opštem slučaju, odnosno kod dizel motora sa nadpunjenjem.

Konkretni istraživani motor (DM 34/t, četvorocilindrični, radne zapremine 3,33 lit.) je relativno zastarele konstrukcije sa prilično malim mogućnostima aplikacije visokopritisnog



Slika 1. Koncept visokopritisnog EGR-a

sistema ubrizgavanja i sistema nadpunjenja, tako da je istražen samo efekat primene koncepta EGR na usisnoj varijanti motora opremljenog sa klasičnim sistemom ubrizgavanja na bazi rotacione DPA pumpe. Analizirana je mogućnost smanjenja toksičnosti izduvnih gasova u uslovima postojeće koncepcije i to paralelnom primenom sistema recirkulacije tipa nehlađeni EGR i tipa hađeni EGR.



Slika 2. Koncept niskopritisnog EGR-a

UTICAJ EGR GASOVA NA PROCES U KOMORI

Način na koji sistem recirkulacije utiče na sniženje koncentracije NO_x u izduvnim gasovima dizel motora, sastoji se pre svega u činjenici da EGR gasovi istiskuju određenu količinu vazduha iz usisnog sistema, a koji bi inače dospeo u motor, smanjujući koncentraciju kiseonika u cilindrima. Ovako smanjena koncentracija kiseonika dovodi do redukcije brzine sagorevanja, izvesnog razvlačenja sagorevanja, nižeg maksimalnog cilindarskog pritiska i globalno niže srednje teperature ciklusa. S obzirom na veoma veliku osetljivost reakcije formiranja NO_x na temperaturu procesa, sniženje te temperature u značajnoj meri obara koncentraciju NO_x u cilindru a samim tim i u izduvnim gasovima.

Sa druge strane specifični toplotni kapacitet usisne smeše **EGR + izduvni gasovi + vazduh** se povećava, što kasnije u toku procesa sagorevanja dovodi do veće "potrošnje" toplote oslobođene u samom procesu sagorevanja na zagrevanje nastalih produkata, nego kada motor radi sa čistim vazduhom, što dodatno obara prosečnu temperaturu ciklusa. Postavlja se pitanje kako konkretno na nivou procesa koji se dešava u komori motora smanjena koncentracija kiseonika pri nekom EGR odnosu ometa formiranje NO_x i njegovu emisiju i istovremeno povećava emisiju nesagorelih ugljovodonika – HC, dima i čestica. Moguće

objašnjenje ove pojave, potpomognuto slikom 3 sastoji se u sledećem: procesi i pojave koji se dešavaju u dva mlaza dizel-goriva se razlikuju zavisno od toga da li je gorivo ubrizgano u sredinu u kojoj se ne nalaze (slika 3 gore) ili se nalaze (slika 3 dole) EGR gasovi. Ako se pretpostavi da se prvo upaljenje goriva dešava u oblasti oboda mlaza u kojoj je približno stehiometrijski odnos *vazduh / gorivo* ($\lambda = 1$) onda je sa slike očigledno da se širina ove oblasti znatno razlikuje zavisno od toga da li je radna materija u komori sa ili bez EGR gasova. Ako nema recirkulisanih gasova ova oblast je uža.

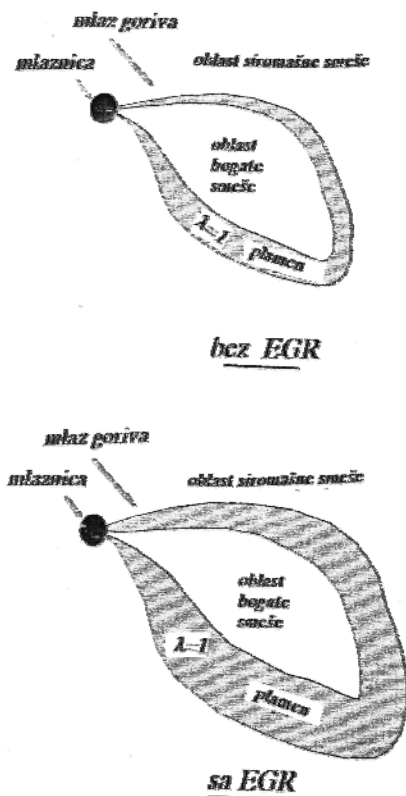
Međutim, ako se u cilindar uvedu EGR gasovi (CO_2 , i vodena para H_2O), ubrizgana količina goriva je prinuđena da se difuzno proširi po širem području komore, pre nego što se dovoljno kiseonika iz okolne smeše uključi u proces formiranja stehiometrijskog odnosa *gorivo / vazduh* i pojave prvih centara upaljenja, što šematski prikazuje slika 3.

Zbog toga se na obodu mlaza formira šira oblast isparelog goriva u kojoj će se pojaviti stehiometrijski odnos sa približno $\lambda = 1$, ali u kojoj se nalaze i odgovarajuće količine gasova CO_2, N_2 , i vodene pare. Dodatne količine ovih inertnih gasova većeg toplotnog kapaciteta, apsorbuju energiju koja se oslobađa u procesu sagorevanja, vodeći na taj način nižim temperaturama plamena u ovoj stehiometrijskoj oblasti, pa tako i nižem stepenu formiranja NO_x. Iz prethodne analize je verovatno moguće

objasniti i produženje perioda pritajenog sagorevanja – pps sa povećanjem EGR stepena.

Naime, od trenutka dospeća prvih čestica goriva u komoru (slika 3), pa do pojave prvih centara upaljenja protekne više vremena zbog teže dostupnosti kiseonika i njegovog sporijeg i otežanog ulaska u zonu reakcije. Ovo je jedan od razloga zbog koga se povećava emisija HC pri radu motora sa EGR, jer je dobro poznata i istražena činjenica da se emisija nesagorelih HC intenzivira pri produženju perioda pritajenog sagorevanja (pps).

Kada je reč o dimnosti, sopstvena istraživanja su pokazala da se sa povećanjem EGR odnosa na svim režimima opterećenja i pri svim brojevima obrtaja – dimnost izduvnih gasova motora povećava.



Slika 3. Mlaz goriva ubrizgan u komoru sa i bez EGR atmosfere

Poznata je činjenica da je gledano po fazama procesa sagorevanja, *treća faza* najkritičnija jer se tokom nje pod dejstvom visokih temperatura i zbog otežanog pristupa kiseonika u zonu reakcije, ugljovodonični molekuli dizel-goriva, raspadaju formirajući čisti ugljenik u obliku čestica čađi. Pri radu sa EGR ovaj problem se još više potencira po pitanju pojačane emisije dima i čestica, jer je pristup kiseonika u zonu reakcije sa ugljovodoničnim gorivom dodatno otežan a i količina kiseonika je manja jer je deo

usisnog vazduha istisnut i zamenjen sa EGR gasovima. Tako na relativno veliko povećanje emisije dima i čađi sa visokim EGR odnosima, verovatno utiče i značajno smanjenje temperature plamena, što redukuje procese naknadne oksidacije čađi u posplamenoj zoni tokom procesa sagorevanja.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U cilju utvrđivanja mogućeg potencijala u optimiranju izduvne emisije dizel motora DM 34/t, domaće proizvodnje, putem primene sistema EGR na navedenom motoru, u Institutu za motore Mašinskog fakulteta u Beogradu, formirana je odgovarajuća istraživačka instalacija. Na dijagramima koji slede prikazani su delimični rezultati istraživanja uticaja sistema recirkulacije izduvnih gasova (EGR) na kvalitet i sastav izduvne emisije, kao i specifične efektivne potrošnje goriva, sprovedenog na opitnom dizel motoru DM 34/t iz redovne proizvodnje, namenjenog za pogon poljoprivrednih traktora. Izvršen je prikaz rezultata za slučajeve nehladjenog i hladjenog EGR-a i to za više brzinskih režima i za po dva nivoa opterećenja (1245 o/min i 1800 o/min i 50% odnosno 75% opterećenja, kao i za 1600 o/min i 75% opterećenja).

Prilikom ovih istraživanja od velikog je značaja bilo tačno i precizno određivanje količine recirkulisanih izduvnih gasova u usisni sistem motora, odnosno EGR stepena.

Načelno je moguće definisati nivo (količinu) recirkulisanih gasova, iz izduva u usis na više načina, a najčešće se primenjuju zapreminska definicija, određivanje količine na molarnoj osnovi, maseno, preko koncentracije ugljen-dioksida ili kiseonika u usisnom i izduvnom sistemu motora.

Zapreminska definicija je veoma pogodna jer se količina EGR-gasova definiše kao procentualno smanjenje odnosa zapreminskog protoka vazduha na usisu u određenoj fiksnoj radnoj tački motora, bez i sa uključenim sistemom EGR.

$$\%EGR = \frac{V_v - V_{v,EGR}}{V_v} \times 100 \dots \dots \dots [\%] \quad (1)$$

u gornjoj jednačini su:

V_v -zapreminski protok vazduha na usisu motora bez uključenog EGR-sistema

$V_{v,EGR}$ -zapreminski protok vazduha na usisu motora sa uključenim EGR-sistemom.

Kod dizel motora se pod fiksnom radnom tačkom podrazumeva režim rada pri *const* brzini *i/ili* nepromenljivoj ciklusnoj količini goriva ili konstantnom obrtnom momentu. Analizom gornje jednačine dolazi se do zaključka da se količina EGR gasova određuje na osnovu činjenice da određena količina recirkulisanih gasova pri uvođenju u usisni sistem motora, istiskuje srazmernu količinu vazduha zamenjujući njegovo mesto, pri čemu se protok čistog vazduha proporcionalno smanjuje, a što se registruje pomoću protokomera. Ova metoda je veoma pogodna i jednostavna za primenu.

Druga moguća metoda određivanja EGR protoka je metoda merenja koncentracije CO_2 u usisnom i izduvnom sistemu motora, pa kasnije posrednim sračunavanjem određuje se količina EGR gasova preko tih koncentracija. Detaljno izvođenje odgovarajuće jednačine korišćene za ova izračunavanja prikazano je u /3/.

Količina recirkulisanih gasova određena na ovaj način sračunavana je pomoću jednačine:

$$\%EGR = \frac{x_{2,s}}{x_{EGR,s}} \left(\frac{x_1 + x_{EGR,s}x_3}{x_1 + x_{2,s}x_3} \right) \times 100 \dots [\%] \quad (2)$$

U ovoj jednačini su:

$x_{2,s}$ - masena koncentracija ugljendioksida u usisu računato u odnosu na suve produkte sagorevanja

$x_{EGR,s}$ - masena koncentracija ugljendioksida u izdovu (EGR-grani), računato u odnosu na suve produkte sagorevanja

x_1 - masena koncentracija ugljendioksida u realnim produktima sagorevanja

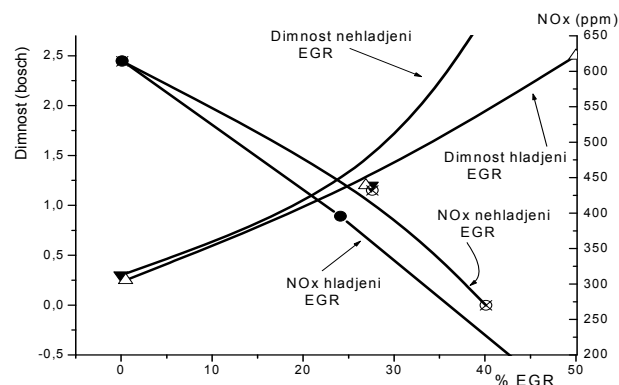
x_3 - masena koncentracija vodene pare u realnim produktima sagorevanja

Ako se odgovarajuće koncentracije izraze preko procentualnog sadržaja, u suvim produktima sagorevanja kiseonika, ugljendioksida i ugljenmonoksida, a što inače daju gasni analizatori, onda se uz izračunatu vrednost sadržaja azota masene koncentracije CO_2 mogu izračunati preko formula datih u /3/. Smenom tih vrednosti i njihovim uvrštavanjem u gornju formulu za količinu EGR gasova, moguće je direktno dobiti stepen recirkulacije analizom sadržaja izduvnih i usisnih gasova motora.

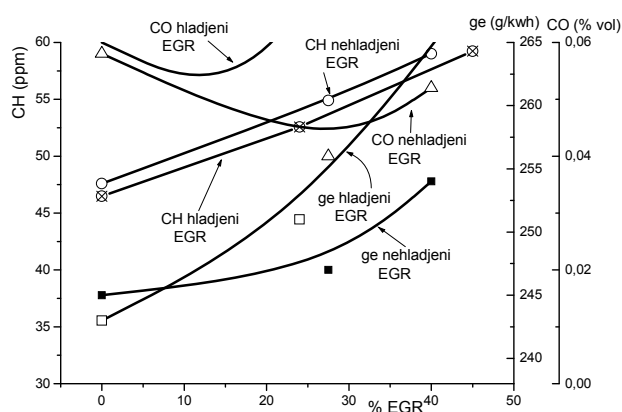
Pri sprovođenju istraživanja prezentiranih u ovom radu korišćene su obe napred navedene metodologije merenja vrednosti EGR stepena čime je bilo omogućeno poređenje izmerenih vrednosti.

Dijagrami prikazani na slikama 4 do 12 pokazuju rezultate istraživanja uticaja sistema EGR na promenu koncentracije glavnih toksičnih komponenti izduvne emisije dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem DM 34/t.

Dve najtoksičnije komponente izduvne emisije dizel motora su azotovi oksidi – NO_x i dim odnosno čestice u izduvnom gasu. Sa dijagrama se vidi na je primenom sistema EGR moguće veoma veliko sniženje emisije NO_x uz manji ili veći rast dimnosti izduvnih gasova.



Slika 4. Emisija dima i NO_x za režim 1245 o/min i 50% opterećenja ($P_e = 13,4kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 3,87bar$)

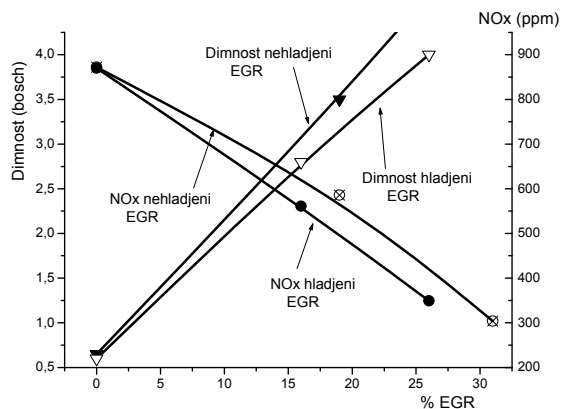
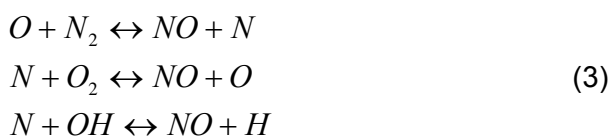


Slika 5. Emisija CH, CO i specifična efektivna potrošnja goriva g_e , za režim 1245 o/min i 50% opterećenja ($P_e = 13,4kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 3,87bar$)

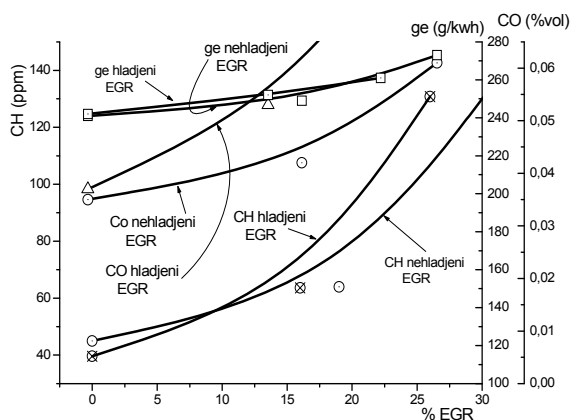
Smanjenje emisije NO_x kod istraživanog oksida, primećeno je ponekad znatno povećanje dimnosti izduvnih gasova, što

korelaciju NOx - dim čini dosta nepovoljnom. Teškoća u definisanju mehanizma kojim EGR utiče na nivo toksičnosti izduvne emisije dizel motora prvenstveno nastaje usled veoma kompleksne prirode procesa sagorevanja u motoru koja podrazumeva sagorevanje raspršenog tečnog goriva u izrazito promenljivim i turbulentnim uslovima strujanja radne materije u cilindru motora.

Emisija NOx odnosno formiranje NO iz atmosferskog azota može biti predstavljeno proširenim *Zeldovich* – evim mehanizmom koji uključuje sledeće jednačine:



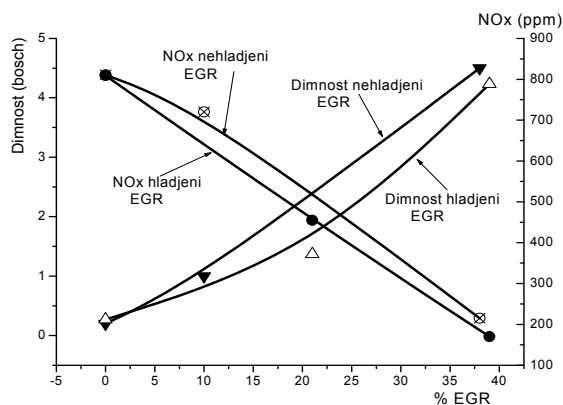
Slika 6. Emisija dima i NOx za režim 1600 o/min i 75% opterećenja ($P_e = 24,3kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 5,47bar$)



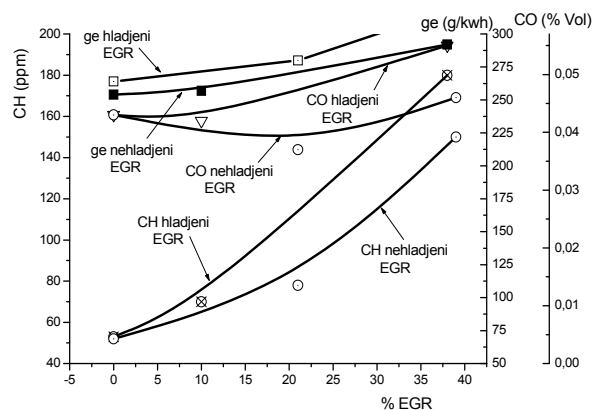
Slika 7. Emisija CH, CO i specifična efektivna potrošnja goriva g_e , za režim 1600 o/min i 75% opterećenja ($P_e = 24,3kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 5,47bar$)

Efekat sistema EGR u smislu sniženja emisije azotovih oksida – NOx, najverovatnije treba dovesti u vezu sa maksimalnom temperaturom difuznog plamena, a takođe i kao rezultat sniženja koncentracije kiseonika u usisnom punjenju motora.

Ovo drugo je, međutim, uzrok odgovarajućeg porasta emisije čađi i promena u strukturi plamena, tako da se tokom procesa sagorevanja skraćuje vreme boravka čestice čađi u zonama sagorevanja koje su optimalne za njihovu oksidaciju, odnosno očigledno da su u tim zonama temperature isuviše niske pa ogroman broj čestica ne uspe da oksidiše i tako neoksidisan dospeva u izduvni sistem motora.



Slika 8. Emisija dima i NOx za režim 1800 o/min i 50% opterećenja ($P_e = 21,2kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 4,24bar$)



Slika 9. Emisija CH, CO i specifična efektivna potrošnja goriva g_e , za režim 1800 o/min i 50% opterećenja ($P_e = 21,2kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 4,24bar$)

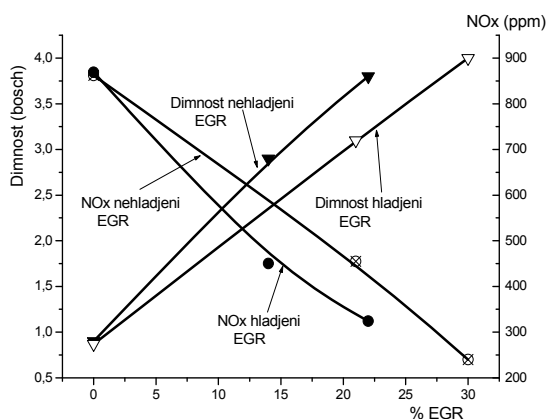
Istovremeno, sa povećavanjem EGR stepena, dolazi do rasta temperature usisnog punjenja i vrlo je moguće da i to podiže nivo čađi prisutne u komori za sagorevanje tokom procesa sagorevanja zato što viša temperatura punjenja teži da podigne temperaturu radne materije u

cilindru na kraju kompresije i tokom sagorevanja.

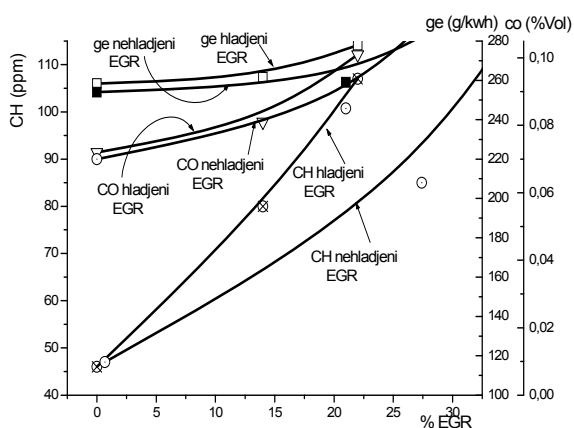
Ovo za uzvrat pospešuje isparavanje mlaza goriva ubrizganog u cilindar motora, kako za vreme perioda pritajenog sagorevanja – *pps*, tako i tokom kasnijih faza sagorevanja.

Međutim, veoma brzo i preobilno isparavanje može rezultirati pojavom oblasti prebogatih isparelim gorivom, u kojima je prodor aktivnog vazduha ograničen usled povišenog viskoziteta vrelog vazduha [2].

U ovakvim oblastima kombinacija smeše bogate gorivom i visokih temperatura okolnog gasa ima tendenciju ubrzavanja pirolize goriva i proizvodnje čađi, koja ne uspeva da sagori zbog niske koncentracije kiseonika.



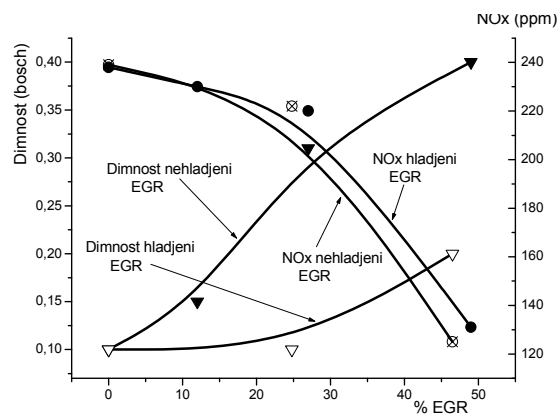
Slika 10. Emisija dima i NOx za režim 1800 o/min i 75% opterećenja ($P_e = 27,2kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritisk ($p_e = 5,44bar$)



Slika 11. Emisija CH, CO i specifična efektivna potrošnja goriva g_e , za režim 1800 o/min i 75% opterećenja ($P_e = 27,2kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 5,44bar$)

Prema tome korišćenje sistema EGR kod dizel motora, može bitno da utiče na kvalitet izduvne emisije:

- snižavanjem temperature plamena tokom procesa sagorevanja
- snižavanjem koncentracije O_2 usisnom vazduhu i cilindru motora
- povećanjem temperature usisnog punjenja
- promenama u strukturi plamena u komori motora
- povećanjem nivoa koncentracije toksičnih materija u usisnoj atmosferi motora
- smanjenjem ukupne mase usisnog punjenja
- sastav punjenja se menja
- specifični toplotni kapacitet usisnog punjenja se menja



Slika 12. Emisija dima i NOx za režim 1245 o/min i 10% opterećenja ($P_e = 5,4kW$), vrednost srednjeg efektivnog pritiska ($p_e = 1,56bar$)

Uporedo sa primenom sistema EGR recirkulacije izduvnih gasova na motoru moguće je primeniti i tehnologiju hlađenja tih recirkulisanih gasova na njihovom putu od izduva ka usisu. Efekat koji se ovim hlađenjem postiže u praksi je veoma povoljan, čak mnogo povoljniji nego što bi se u prvi mah moglo očekivati. Pri datom broju obrtaja i opterećenju motora, hlađenjem EGR povećava se gustina usisne smeše vazduha i izduvnih gasova, kao i stepen punjenja motora - η_v , u poređenju sa slučajem korišćenja vrelog EGR-a. Hlađenjem se, kako pokazuju dijagrami na prethodnim slikama, znatno poboljšava izduvna emisija u smislu daljeg sniženja emisije NOx a takođe i dima u odnosu na nehladjenu varijantu. Takođe hlađenje poboljšava korelaciju NOx – dim kod ispitivanog motora, iako je u konkretnom slučaju kod istraživanog motora bio moguć relativno nizak nivo hlađenja od oko 40^0 C na

režimu najvećeg opterećenja, zbog tehničkih karakteristika samog rashladnog sistema.

Odstupanje od napred iznetih činjenica je primećeno kod veoma niskih opterećenja, bliskih praznom hodu, a što pokazuju dijagrami na slici 12. Kod ovako niskih opterećenja pri visokim EGR odnosima nema bitnog povećanja dimnosti, zbog dovoljne količine vazduha u cilindrima odnosno visokog koeficijenta viška vazduha - λ , uz istovremeno veoma intenzivno snižavanje emisije NO_x. Hlađenje recirkulisanih gasova dovodi do daljeg sniženja emisije dima, što je i očekivano zbog činjenice da na ovim radnim režimima čestice sadrže čak i do 90% rastvorivih organskih delova (od motornog ulja i gorivih komponenti) i vrlo malo čvrste čađi. Međutim, istovremeno dolazi i do naizgled paradoksalnog i neočekivanog efekta na emisiju NO_x u hlađenoj varijanti na niskim opterećenjima. Iz dijagrama je vidljivo da hlađenje EGR gasova ne smanjuje već povećava emisiju NO_x. Ovaj fenomen je primećen i opisan i u radovima drugih autora a moguće objašnjenje se sastoji u tome da se ovo povećanje verovatno događa zbog toga što se sa hlađenjem EGR gasova snižava temperatura usisnog punjenja i produžava period pritajenog sagorevanja odnosno povećava udeo sagorevanja „prethodno izmešanim plamenom“, koji je inače odgovoran za intenzivnije formiranje azotovih oksida. Ovo povećanje koncentracije NO_x za ovaj i slične režime (niskog opterećenja) pri hlađenju i nije toliko bitno jer su na navedenim režimima mogući vrlo visoki nivoi recirkulacije koji ukupno gledano vrlo efikasno obaraju NO_x emisiju a koja je za ove režime i inače izvorno niska.

Kod specifične efektivne potrošnje goriva – g_e može se zapaziti stalno sniženje potrošnje sa rastom EGR stepena pri najnižim opterećenjima, kao i stalni blagi rast potrošnje sa rastom EGR odnosa pri višim i najvišem istraživanom opterećenju. Kod niskih nivoa opterećenja motor radi sa izuzetno visokim koeficijentom viška vazduha, tako da bez obzira na stepen EGR nema naročitog pogoršavanja uslova sagorevanja. Sa druge strane usled zagrevanja usisnog punjenja EGR gasovima, temperatura radne materije na početku, pa samim tim i na kraju sabijanja je viša što možda dovodi do povećanja udela sagorevanja pri $V_h = const.$ (izohorsko dovođenje toplote) čime se poboljšava termodinamička efikasnost motora i na taj način malo snižava potrošnja goriva. Kod srednjih i viših nivoa opterećenja može se konstatovati stalni rast specifične

efektivne potrošnje sa porastom EGR stepena što je prouzrokovano pogoršanjem uslova sagorevanja u cilindru. Takođe, sa dijagrama se može zapaziti da hlađenje EGR gasova ima negativan efekat na specifičnu efektivnu potrošnju, tako što je povećava. Ovo povećanje dolazi najverovatnije otuda što se hlađenjem recirkulisanih gasova, a samim tim i usisnog punjenja produžava period pritajenog sagorevanja i proces sagorevanja se razvlači na takt ekspanzije čime se smanjuje termodinamička efikasnost motora što posredno u maloj meri dovodi do povećanja specifične efektivne potrošnje goriva. Najveća povećanja potrošnje goriva kreću se u granicama 4% do 6% zavisno od radnog režima za istraživanu oblast do nivoa od 75% opterećenja.

Ranije je već napomenuto, a što se može videti iz dijagrama 4 do 12 emisije nesagorelih ugljovodonoka – CH i ugljen monoksida - CO sa povećanjem EGR stepena konstantno se povećavaju i uglavnom u tom rastu prate rast emisije dima. Međutim, interesantno je zapaziti da za razliku od intenziteta dimnosti koji se snižava hlađenjem EGR gasova, kod nesagorelih ugljovodonoka postoji upravo suprotan efekat.

Emisije CH i CO su nešto veće u hlađenoj nego u nehladaenoj varijanti EGR. To povećanje nije veliko ali je iz priloženih dijagrama uočljivo i mora se prokomentarisati. Razlog ovog povećanja je u tome što se hlađenjem EGR gasova postiže nešto niža temperatura usisne smeše vazduha i izduvnih gasova (tokom eksperimenta mereno u usisnoj grani motora), što dovodi do povećanja perioda pritajenog sagorevanja, na šta je emisija nesagorelih ugljovodonika CH naročito osetljiva. Međutim, naknadni katalitički tretman izduvnih gasova dizel motora lako i efikasno eliminiše štetne komponente tipa CH i CO iz izduva, a osim toga sadržaj te dve komponente u izduvu dizel motora je dosta nizak i načelno ne predstavlja bitniji problem.

ZAKLJUČAK

Na osnovu svih sprovedenih, kompleksnih i sveobuhvatnih istraživanja primene sistema EGR u hlađenoj i nehladaenoj varijanti na konkretnom istraživanom dizel motoru IMR DM 34/t, moguće je konstatovati sledeće:

- primenom sistema EGR postiže se veoma visok stepen redukcije azotovih oksida – NO_x. U odnosu na bazni nivo (0% recirkulacije)

lacije), i zavisno od stepena opterećenja motora i stepena recirkulacije, ovo sniženje se kreće od oko 25% do oko 75%.

- svaka redukcija emisije NO_x, izazvana uvođenjem recirkulisanih gasova u usis, dovodi do izvesnog povećanja dimnosti motora iz razloga koji su ranije komentarisani
- emisija dima na višim opterećenjima je veća nego na nižim za isti stepen EGR
- emisije nesagorelih ugljovodonika CH i ugljenmonoksida CO se takođe povećavaju sa rastom EGR stepena
- specifična efektivna potrošnja goriva – g_e , raste sa povećanjem EGR stepena na svim opterećenjima i brzinskim režimima, osim na najnižim bliskim praznom hodu, na kojima ciklus čak postaje ekonomičniji i potrošnja goriva se smanjuje
- Očigledno da konkretni istraživani dizel motor nije pogodan za aplikaciju sistema EGR u ovoj usisnoj varijanti. Moguća poboljšanja bi trebalo očekivati u eventualnom razvoju turbo nadpunjene varijante predmetnog motora, ali pre toga se mora izvršiti veoma detaljna i sveobuhvatana analiza konstruktivne sposobnosti ovog motora za primenu nadpunjenja, s obzirom na, za današnje uslove objektivno zastarelu konstruktivnu koncepciju motora. Konstruktivna rekonstrukcija bloka, glave, klipno-cilindarskog sklopa, kolenastog vratila i ležišta kao i primena savremenog visokopritisnog sistema ubrizgavanja goriva je moguća ali bi znatno poskupela sam motor, tako da je verovatno bolje rešenje pokušaj aplikacije sistema EGR na postojećim turbo motorima „S“ familije iz tekuće proizvodnje IMR ili razvoj potpuno novog domaćeg dizel motora ove klase.

LITERATURA

- /1/ D. Knežević: Istraživanje radnog ciklusa dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem niske toksične emisije, magisterski rad, Mašinski fakultet u Beogradu, 2000.
- /2/ N. Ladommatos i dr.: Effects of Exhaust Gas Recirculation Temperature on Diesel-Engine Combustion and Emissions, Journal of Automobile Engineering, Vol. 212
- /3/ D. Knežević, S. Petrović : Metodologija određivanja količine EGR gasova, XIII međunarodni naučni simpozijum Motorna Vozila i Motori, Kragujevac, 2004., MVM04-B15
- /4/ J. B. Heywood: Internal Combustion Engine Fundamentals, New York, 1988.

POSSIBILITY FOR IMPROVEMENT OF DOMESTIC TRACTOR DIESEL ENGINE EXHAUST EMISSION BY APPLYING EXHAUST GAS RECIRCULATION (EGR)

The results of the experimental research of EGR (Exhaust Gas Recirculation) effects on the direct injection diesel engine IMR DM 34/t are presented in this paper. The research of EGR system effects on the course and change of the basic toxic components in the exhaust gases of diesel engine (NO_x, HC, CO and smoke) are included, as well as the specific effective fuel consumption, depending on the quantity of the recirculated gases, engine speed and engine load. By applying the EGR system on the considered engine, it is possible to achieve very high nitrogen-oxides reduction degree with a certain increase of the engine smoke quantity. Unburned HC and carbon monoxide CO emissions also increase and generally follow the smokeability increase course.

Key words: diesel engines, exhaust emission, exhaust gas recirkulation