

EFIKASNOST I EKONOMIČNOST REPARACIJE „COMMON RAIL“ PIEZO BRIZGALJKE

Prof. dr Muhamed Sarvan, e- mail: muksar@hotmail.com

Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku

MA Nermin Čelović, e- mail: nermincelovic@gmail.com

Proven d.o.o., 71000 Sarajevo

Prof. dr Milan Plavšić, e- mail: milan.plavsic2013@gmail.com

Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku

Doc. dr Fuad Klisura, e- mail: fuad.k@ipi.ba

IPI – Institut za privredni inženjering, 72000 Zenica

Pregledni članak

Sažetak: „Common rail“ sistem ubrizgavanja goriva predstavlja sistem sa direktnim ubrizgavanjem goriva, kojim je postignuto optimalno ubrizgavanje goriva u cilindre motora. Sastoji se od pumpe visokog pritiska, zajedničkog voda goriva (rezervoar) u kome se stvara visok pritisak (maksimalni pritisak je 1800 bara i više u zavisnosti od motora) - COMMON RAIL, injektora (brizgaljke) – elektronski kontrolisane i instalacije koja spaja sve ove dijelove. U toku eksploatacije motora, brizgaljke su podložne mnogim kvarovima. Neki su vezani direktno za greške proizvođača, kvalitet izrade dijelova, ili čak prerane potrošnje dijelova uslijed kontaminacije goriva i time dijelova brizgaljke.

Alternativa koja može smanjiti cijenu održavanja sistema ubrizgavanja goriva u modernim dizel motorima je popravka „Common rail“ brizgaljki. Fokus interesovanja, u ovom slučaju, stavljen je na piezo brizgaljke. Prikazan je postupak pripreme, ispitivanje i reparacija brizgaljke „Bosch 0 445 116 030“. Data je usporedba karakteristika reparirane brizgaljke sa fabrički zadanim vrijednostima uz ostvareni nivo efikasnosti i ekonomičnosti.

Ključne riječi: Common rail, piezo brizgaljka, efikasnost, ekonomičnost

EFFICIENCY AND ECONOMICITY OF “COMMON RAIL” REPAIR OF PIEZO INJECTORS

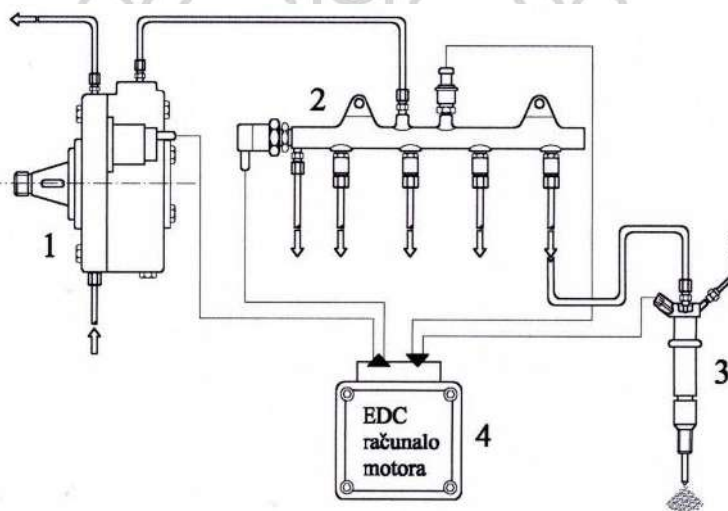
Abstract: The "Common rail" fuel injection system is a system with direct fuel injection, which achieves optimal fuel injection into the engine cylinders. It consists of a high pressure pump, a common fuel line (tank) in which high pressure is created (maximum pressure is 1800 bar and more depending on the engine) - COMMON RAIL, injectors (injectors) - electronically controlled and installation that connects all these parts. During engine operation, the injectors are subject to many failures. Some are directly related to the manufacturer's errors, the quality of the parts, or even premature wearing of the parts due to the contamination of the fuel and thus the parts of the injector. An alternative that can reduce the cost of maintaining the fuel injection system in modern diesel engines is the repair of "Common rail" injectors. The focus of interest, in this case, is on piezo injectors. This paper presents procedure for preparation, testing and repair of the "Bosch 0 445 116 030" injector. A comparison of the characteristics of the repaired injector with the factory default values with the achieved level of efficiency and economy is given.

Key words: Common rail, piezo injector, efficiency, economy

1. UVOD

Sistem „Common Rail (CR)“ predstavlja jedan od načina direktnog ubrizgavanja goriva u cilindar motora. Common-rail nije baš nova tehnologija. Njen koncept je započet još u šezdesetim godinama prošlog stoljeća, dok je prva šira upotreba istog započela prije nekih dvadesetak godina (1997. godina, Alfa Romeo JTD i Mercedes-Benz CDI). Od tada se je razvilo nekoliko generacija

Sistem se sastoji od pumpe visokog pritiska, zajedničkog voda goriva (rezervoar-zajednička razdjelna cijev) u kome se stvara visok pritisak (maksimalni pritisak je i do 2500 bara i više u zavisnosti od motora) - COMMON RAIL, injektora (brizgaljke) – elektronski kontrolisane i instalacije koja spaja sve ove dijelove (slika 1).



Slika 1. “Common-rail sistem ubrizgavanja goriva”¹⁷⁹; 1- pumpa visokog pritiska, 2- razdjelna cijev, 3- brizgaljke, 4 – EDC računar

Glavna prednost CR-ubrizgavanja goriva leži u tome što taj sistem nudi veliku mogućnost mijenjanja, prilagođavanja pritiska i vremena trajanja ubrizgavanja nezavisno od broja obrtaja motora. Već kod malog broja obrtaja motora na raspolaganju je visok pritisak u razdjelnoj cijevi. To je moguće postići jer je odvojena proizvodnja pritiska (pumpa visokog pritiska) od ubrizgavanja (brizgaljke goriva). Brizgaljke (injektori) su kratkim vodovima povezane s razdjelnom cijevi. Zadatak brizgaljke je raspršiti gorivo kojeg komprimira pumpa visokog pritiska i tako stvoriti optimalnu smjesu goriva i zraka za određeni oblik prostora izgaranja. Brizgaljke utiču na: rad motora, proces sagorjevanja, buku motora (posebno u praznom hodu), emisiju štetnih materija. Održavanje ovih visoko sofisticiranih sistema zahtjeva kvalitetno obučenog i educiranog rukovatelja stroja odnosno radioničko – servisnog osoblja.

Međutim jedan od nedostataka savremenih sistema ubrizgavanja je da su znatno osjetljiviji na nečistoće u gorivu obzirom na starije konstrukcije sistema.

¹⁷⁹ <http://auto.ivrep1.ru/common-rail-sustav-ubrizgavanja/>

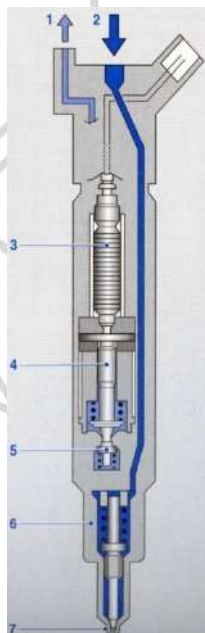
2. KONSTRUKCIJA PIEZO-BRIZGALJKE I PRINCIP RADA

Novije generacije CR-sistema umjesto magnetskih koriste injektore s piezo elementima (slika 2). Serijska ugradnja piezo-brizgaljki u dizel motore počela je sredinom 2003. godine; od tada sve više počinju izbacivati klasične brizgaljke s magnetnim ventilima.

Prednost piezo brizgaljki u odnosu na magnetske brizgaljke ogleda se u maloj težini (270 g u odnosu na 490 g), manjem unutarnjem trošenju i smanjenim masama u pokretu, što omogućuje realiziranje višefaznog ubrizgavanja (do čak 7 ubrizgavanja u jednom ciklusu), povećanju snage (+7%), manjoj emisiji štetnih gasova (-20%), smanjenju potrošnje goriva (-3%), smanjenju buke motora (-3%), itd.

Piezo-brizgaljka sastoji se od sljedećih dijelova (slika 2):

- priključak za odvod viška goriva iz brizgaljke (1)
- priključak visokog pritiska (2)
- piezo-modul ili aktuator (3)
- hidraulički prijenosnik 1:1,5 (4)
- servoventil (5)
- modul sapnice s iglom brizgaljke (6)
- izlazne rupice na sapnici koje se proizvode skupocjenim postupkom erodiranja (7)



Slika 2. Piezo brizgaljka¹⁸⁰

¹⁸⁰ „MODELIRANJE I REGULACIJA MODERNOG DIZELSKOG MOTORA S TURBONABIJANJEM“
Magistarski rad, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE, Mario Sjekavica, dipl. ing. Zagreb 2019, str 53.

3. KVAROVI „COMMON RAIL“ SISTEMA

Kao i svaki sistem dobave goriva, „Common Rail“ sistem je također podložan mnogim kvarovima i nedostacima.

Česti kvarovi vežu se za dijelove:

- kvar pumpe visokog pritiska
- kvar brizgaljke
- kvar regulacionog ventila količine goriva
- kvar rasteretnog ventila na razdjelnoj cijevi
- kvar senzora pritiska goriva na razdjelnoj cijevi
- razne vrste kvarova na električnim instalacijama ili samim računarima

3.1 Kvar CR brizgaljke

Jedan od najčešćih kvarova su piezo aktuatori na brizgaljkama, koji vremenom počinju gubiti kapacitet i time gube snagu podizadnja igle, što rezultira nemogućnošću ubrizgavanja dovoljne količine goriva. Tako se gubi stehiometrijski odnos i u cilindru odvija nepravilno sagorjevanje smjese. Iz navedenih razloga dolazi do gubitka snage motora i ujedno se oštećuju ostale komponente (ventili cilindra, turbokompresor, DPF-filter, itd).

Drugi najčešći kvar je kontaminacija sistema dobave goriva koja direktno oštećuje iglu brizgaljke u ulošku injektora i prelivni ventil. Prelivni ventil vraća višak goriva iz injektora u prelivni vod, a ovaj u rezervoar. Cirkulacijom goriva kroz sistem prolaze također i kontaminacije (*prljavština, komadi metala*). Na slici 3 prikazan je oštećen prelivni ventil brizgaljke Bosch „0 445 115 024“



Slika 1. Oštećeni prelivni ventil i kućište ventila Bosch "0 445 115 024" brizgaljke¹⁸¹

Iskustva govore da je uložak brizgaljke kao i njoj pripadajuće igle najčešći uzrok kvara brizgaljke. Često se dešava da kroz dugi rad brizgaljke dođe do različitih vrsta opterećenja na iglu, pa oštećenja mogu biti: mehaničko habanje uloška brizgaljke, ostaci ugljika, propuštanje (curenje) goriva iz uloška, pregrijavanje, sjedište igle u ulošku potrošeno, pojava kavitacije na sjedištu uloška i sl.

¹⁸¹ Izvor: autori rada

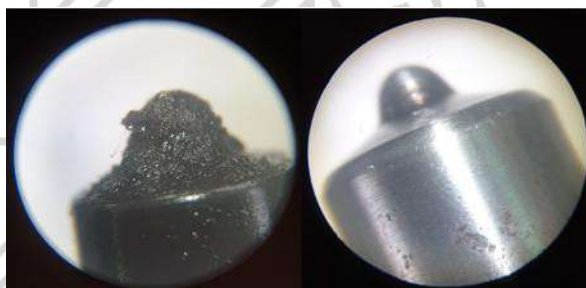
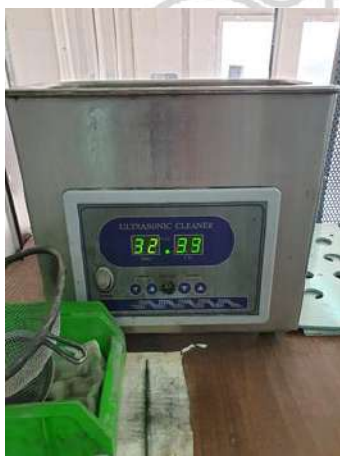
Za svaki od navedenih slučajeva oštećenja postoje i odgovarajući uzroci, a to mogu biti: potrošenost motora, motorno ulje u ulošku brizgaljke, upotreba bio-dizela, povećan protok goriva, kontaminacija goriva, upotreba neodgovarajućih aditiva i sl.

4. POSTUPAK ISPITIVANJA I POPRAVKE „Bosch 0 445 116 030“ BRIZGALJKE

S obzirom na polaznu tvrdnju da je brizgaljka uzrok kvara na motoru (putem dijagnostičkog uređaja), potrebno je testirati i utvrditi tačan kvar na brizgaljki.

Postupak se svodi na sljedeće korake: čišćenje brizgaljke od grubih zaprljanja, vizuelni pregled manjih i većih fizičkih oštećenja, ispiranje zaostalog goriva i zaprljanja iz brizgaljke, električni test Piezo brizgaljke, testiranje rada brizgaljke na mašini „Rabotti Unitec“, analiza i popravka kvara, završno testiranje i kodiranje na mašini „Rabotti Unitec“.

Čišćenje brizgaljke od raznih kontaminanata vrši se u ultrazvučnoj kadi (slika 4), a sam proces traje cca 30 min. Na slici 5, dat je izgled vrha uloška razmatrane brizgaljke prije i nakon čišćenja.



Slika 4. Ultrazvučna kada kapaciteta 2L¹⁸² Slika 5. Lijevo-vrh uloška prije, desno-poslije čišćenja¹⁸³

Vizuelni pregled se vrši iz razloga da bi se uvjerali da injektor nema krucijalnih oštećenja i nepravilnosti radi daljeg testiranja. Dalja testiranja uključuju pritisak do čak 1800bar-a i protok struje od 110V do 1000V.

Sljedeći korak u ispitivanju i popravci razmatrane brizgaljke je **ispiranje zaostalog goriva i zaprljanja**. Ovaj postupak je veoma bitan radi mašine na kojoj će se, u sljedećem koraku, vršiti testiranje.

Prvi alat koji nam je potreban za ovaj postupak je univerzalni „Common Rail“ tester brizgaljki i njegova je uloga da simulira procesor motora i aktivira tj. upravlja elektronikom brizgaljke (otvara i zatvara). Na slici 6 prikazan je pomenuti uređaj.

Električni test Piezo brizgaljke - Ovim testom ustanovljeno je da li postoje određena oštećenja na električnim elementima brizgaljke. S obzirom da Piezo element pobuđaje napon od cca. 100-

¹⁸² Izvor: autori rada

¹⁸³ Izvor: autori rada

140V, treba biti veoma oprezan pri testiranju, da ne bi došlo do strujnog udara ispitivača brizgaljke. Preduslov za ovaj test bio je uređaj za ispitivanje izolacije. Uređaj koji je korišten je „Bosch FSA 050“ i prikazan je na slici 7. Test se sastoji iz dva dijela: test izolacije i provjera pražnjenja otpornika modula pokretača.



Slika 6. "Common Rail" tester brizgaljki (simulator)¹⁸⁴ izolacije¹⁸⁵



Slika 7. „Bosch FSA 050“ ispitivač

S obzirom da se unutar priključka nalaze dva pina, tako se i vrše dva testiranja. Mjerene vrijednosti otpora prvog pina su 10,5 MΩ (100V), a vrijednosti otpora drugog pina 10,7 MΩ. Zadana vrijednost od strane proizvođača „Bosch“ iznosi ($\geq 10\text{M}\Omega$).¹⁸⁶ Provjera pražnjenja otpornika modula pokretača vrši se mjerenjem otpora između dva pina unutar priključka brizgaljke. Potrebno je namjenski priključak priključiti na brizgaljku i podesiti na uređaju mjerenje otpora. Mjereni otpor otpornika između dva pina unutar brizgaljke iznosi 184kΩ. Zadana vrijednost otpora proizvođača „Bosch“ iznosi (210kΩ - 150kΩ).¹⁸⁷ Posmatranjem izmjerenih vrijednosti ispitivana brizgaljka bez problema ispunjava zadanu vrijednost. Završetkom ova dva testa završeno je i električno testiranje brizgaljke i time utvrđeno da ne postoje indicije da je kvar električne prirode.

Testiranje rada brizgaljke na mašini „Rabotti Unitec“ - Brizgaljka nakon što je prošla sva prijašnja testiranja, dolazi do glavnog testa u kojem se mogu posmatrati svi režimi rada brizgaljke. „Rabotti Unitec“ je testni uređaj „Common Rail“ brizgaljki italijanskog proizvođača „Rabotti“. Osobine uređaja na kojem je urađeno testiranje „Bosch 0 445 116 030“ piezo brizgaljke su: testni stol za ispitivanje jedne „Common Rail“ brizgaljke, kodiranje za „Bosch“, „Delphi“ i „Denso“ brizgaljke, preko 1000 parametara za testiranje brizgaljki, mogućnost printanja i spašavanja izvještaja testiranja.

Testiranja koja može sprovesti uređaj „Rabotti Unitec“: testiranje brizgaljki (Bosch, Denso, Delphi, Siemens), ozračivanje hidrauličkih sistema, mjerenje količine protoka preliva, mjerenje količine predubrizgavanja, mjerenje količine ubrizgavanja pri režimu rada praznog hoda,

¹⁸⁴ Izvor: autori rada

¹⁸⁵ <https://tec-stop.co.uk/shop/oscilloscopes-and-batteries/bosch-fsa-050-electirc-hybrid-drive-diagnostic-tester/>

¹⁸⁶ AA-AS/TSS51-EU- Le | 28.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen

¹⁸⁷ AA-AS/TSS51-EU- Le | 28.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen

mjerjenje količine ubrizgavanja pri režimu rada srednjeg opterećenja, mjerjenje količine ubrizgavanja pri režimu rada maksimalnog opterećenja, test propuštanja uloška brizgaljke. Za testiranje brizgaljki koristi se posebno kalibracijsko ulje po standardu (DIN ISO 4113). Pumpa visokog pritiska unutar mašine je sposobna da stvara i održava pritisak goriva unutar do max. 1800bar. Mijenjanjem testa režima rada mijenja se i pritisak koji pumpa visokog pritiska stvara. Parametri i testovi koji su mjereni na brizgaljci „Bosch 0 445 116 030“ su: test propuštanja uloška brizgaljke, mjerjenje količine protoka prelija, mjerjenje količine predubrizgavanja, mjerjenje količine ubrizgavanja pri režimu rada praznog hoda, mjerjenje količine ubrizgavanja pri režimu rada srednjeg opterećenja, mjerjenje količine ubrizgavanja pri režimu rada maksimalnog opterećenja. Na slici 8 prikazan je uređaj „Rabotti Unitec“. Nakon što se uključi uređaj, treba sačekati da se učita i otvori softverski program uređaja te unutar programa izabrati željeni injektor koji ćemo testirati. Kada se završi odabir brizgaljke moramo i samu brizgaljku pravilno postaviti na uređaju i pripremiti za testiranje. Na slici 9 prikazana je komora za testiranje na uređaju „Rabotti Unitec“, posmatranjem slike mogu se uočiti nosači, crijeva, el.priključak, prelivni odvodi itd. Test propuštanja uloška brizgaljke se izvodi u dva koraka. Prvi korak je testiranje propuštanja pod pritiskom od 250bar pritiska i drugi pod pritiskom od 1800 bar. Dobijeni su sljedeći rezultati:

Test 250bar : blago vlaženje vrha uloška

Test 1800bar: srednje jako vlaženje vrha uloška

Brizgaljka tj. uložak brizgaljke nije položio test, jer uložak ni u jednom trenutku ne smije propuštati gorivo dok je brizgaljka zatvorena. Zaključak testa je da uložak brizgaljke neispravan, odnosno oštećen i da svako sljedeće testiranje nema svrhe dok se ne otkloni kvar uloška brizgaljke.



Slika 2. „Rabotti Unitec“ Railmaster uređaj¹⁸⁸



Slika 3. Testna komora uređaja "Rabotti Unitec"¹⁸⁹

Analiza i popravka kvara brizgaljke Bosch „0445 116 030“ - U testu propuštanja uloška brizgaljke na uređaju „Rabotti Unitec“ utvrđeno je da uložak naše brizgaljke blago i srednje jako vlaži. Kroz dugogodišnje iskustvo servisa, u kojem je rađeno testiranje, da se zaključiti da problem leži u oštećenju ventila (igle) uloška i da ga je potrebno detaljno pregledati.

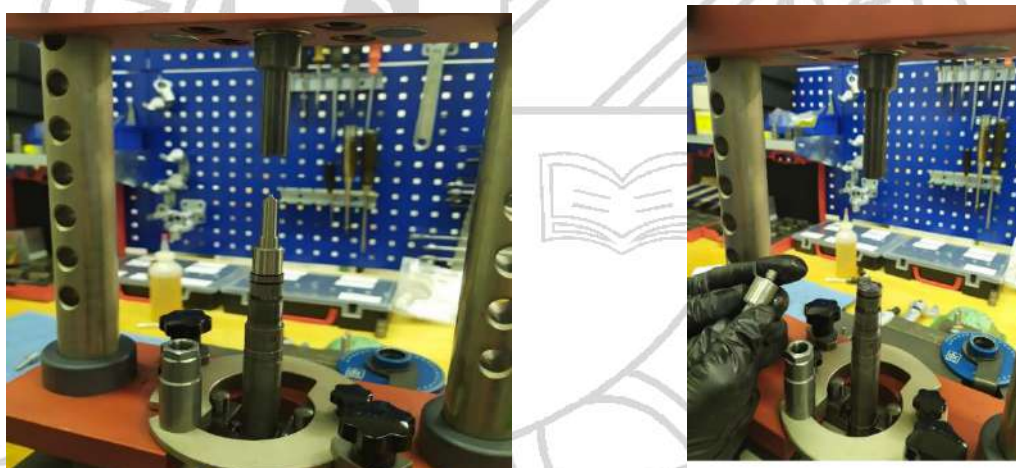
¹⁸⁸ Izvor: autori rada

¹⁸⁹ Izvor: autori rada

Da bi se izvršio pregled uložka brizgaljke, prvobitno se mora rastaviti brizgaljka i demontirati uložak brizgaljke. U nastavku, slikovno je prikazan postupak rastavljanja Bosch Piezo brizgaljke.



Slika 4. Lijevo - presa za rastavljanje Piezo brizgaljki; desno - potreban ručni alat (moment ključevi i nastavci).¹⁹⁰



Slika 11. Prikaz unutrašnjosti brizgaljke nakon demontaže matice¹⁹¹

Uzroci kvara u našem slučaju mogu biti dotrajalost materijala ili odskakanje igle uslijed pogrešne kalibracije. S obzirom da je brizgaljka prva ugradnja (tj. fabrička), isključiti ćemo da je uzrok kvara pogrešna kalibracija. Ostajemo pri tome da je najvjerojatnije uzrok kvara dotrajalost materijala, a razlog zašto smo ostale mogućnosti isključili je što bi se ostali uzroci odrazili također i na ostalim brizgaljama. Dijagnostičkim pregledom smo utvrdili jednu neispravnu brizgaljku, a ostale su bile unutar propisanih tolerancija. Iglasti ventil i kućište ventila (uložak) su nepopravljivo oštećeni i njih ćemo zamijeniti novim. Iglasti ventil i uložak se mijenjaju u kompletu i ne mogu se odvojeno ni zamijeniti niti poručiti.

¹⁹⁰ Izvor: autori rada,

¹⁹¹ Izvor: autori rada,

Nakon zamjene iglastog ventila i uloška, slijedi postupak sastavljanja brizgaljke i, ovdje će neće razmatrati.

Završno testiranje i kodiranje brizgaljke na mašini „Rabotti Unitec“ - Kao i kod testa proputanja uloška brizgaljke, brizgaljka se postavlja na isti način. Jedina razlika sad je što se uložak brizgaljke postavlja u otvor namjenjen za mjerenje količine protoka goriva. Kad se postavi brizgaljka u nosač i uložak brizgaljke ubaci do matice, tad se zateže vijak na kućištu otvora i time fiksira brizgaljka. Električni priključak postavlja na brizgaljku i ona je spremna za testiranje.

Pomoću računara mašine određujemo test listu za našu brizgaljku i ujedno označavamo opciju za kodiranje brizgaljke. Uređaj mora prvo ugrijati kalibracijsko ulje na minimalnu temperaturu od 37°C, a zatim ga održavati na takvoj temperaturi.

Parametri koji će se testirati su:

- Prelivna količina goriva (1800bar)
- Maksimalno opterećenje (1800bar)
- Srednje opterećenje (900bar)
- Prazni hod (300bar)
- Predubrizgavanje (1200bar)

5. USPOREDBA KARAKTERISTIKA REPARIRANE BRIZGALJKE SA FABRIČKIM VRIJEDNOSTIMA (EFIKASNOST)

Fabrički zadane vrijednosti vezane za našu brizgaljku možemo dobiti tako što ćemo minimalnu i maksimalnu količinu sabrati i podijeliti sa brojem dva (srednja aritmetička vrijednost). U našem slučaju po testovima zadane vrijednosti od strane proizvođača iznose:

- Količina preliva (**11cm³/min**), min (7cm³/min), max (15cm³/min)
- Maksimalno opterećenje (**44.3 cm³/min**), min (39.8 cm³/min), max (48.8 cm³/min)
- Srednje opterećenje (**18.7 cm³/min**), min (15.1 cm³/min), max (22.3 cm³/min)
- Prazni hod (**3.4 cm³/min**), min (1.2 cm³/min), max (5.6 cm³/min)
- Predubrizgavanje (**1.5 cm³/min**), min (0.2 cm³/min), max (2.8 cm³/min)

Izmjerene količine popravljene brizgaljke po testovima iznose:

- Količina preliva (**10.4 cm³/min**)
- Maksimalno opterećenje (**43.8 cm³/min**)
- Srednje opterećenje (**19.4 cm³/min**)
- Prazni hod (**3.7 cm³/min**)
- Predubrizgavanje (**1.9 cm³/min**)

Razlika između izmjereni količina popravljene brizgaljke i količina zadanih od proizvođača iznose:

- Količina preliva (**-0.6 cm³/min**)
- Maksimalno opterećenje (**-0.5 cm³/min**)
- Srednje opterećenje (**+0.7 cm³/min**)

- Prazni hod ($+0.3 \text{ cm}^3/\text{min}$)
- Predubrizgavanje ($+0.4 \text{ cm}^3/\text{min}$)

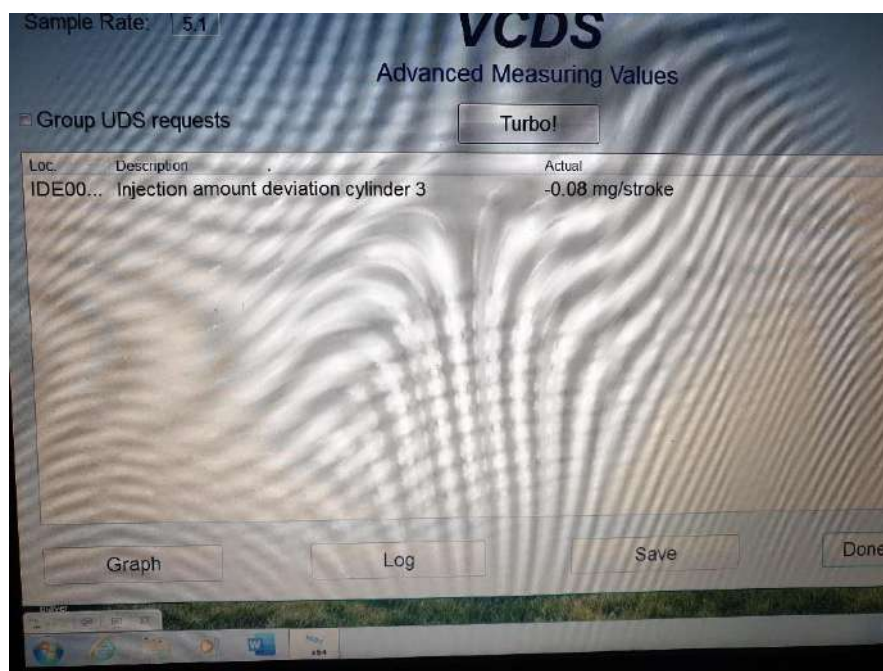
Kada pogledamo tolerancije zadane od strane proizvođača, možemo zaključiti da su odstupanja popravljene brizgaljke zanemariva. Brizgaljka je uspješno popravljena i sad je možemo ugraditi u vozilo.

Nakon ugradnje, a obavezno prije pokretanja motora, brizgaljka se mora pomoću dijagnostičkog uređaja kodirati. Kodiranje se vrši tako što se pomoću „VCDS“ dijagnostičkog uređaja pristupa motornom procesoru. Kada se pristupi motornom računar, ulazi se u postavke adaptacije i potražuje adaptacijski kanal za određeni cilindar. Tada se upisuje novi kod koji smo dobili od uređaja u adaptacijski kanal i spašava. Izlazom iz postavke adaptacije moramo također pomoću dijagnostike izvršiti ozračivanje sistema dobave goriva i ono se vrši u opciji osnovnih podešavanja. Završetkom ozračivanja prekidamo komunikaciju sa motornim računarom i startujemo vozilo.

Poslije probne vožnje izvršen je pregled parametra devijacije ubrizgane količine za cilindar u kojem je ugrađena popravljena brizgaljka. Pregled je prikazao **-0,01mg** sa blagom oscilacijom od $\pm 0,01\text{mg}$, što pokazuje da je problem riješen i kvar popravljen. Da bi prikazali da popravljena brizgaljka posjeduje kvalitet i pouzdanost kakvu bi imala i nova brizgaljka, izvršiti ćemo pregled parametra devijacije ubrizgane količine unutar istog cilindra.

Ekperimentalni test popravljene brizgaljke je izvršen nakon pređenih 50.000 kilometara, koji uključuju različite uslove vožnje (gradska vožnja, otvorena vožnja), kvalitete goriva (putovanja kroz različite države). Na vozilu je ugrađena brizgaljka kad je imalo 184.000 pređenih kilometara. U trenutku pregleda parametra devijacije ubrizgane količine goriva vozilo je prešlo 234.000km.

Kao što se može vidjeti na mjernom bloku slike 8.1, brizgaljka ima veoma mala odstupanja od **-0,08mg** i dužim posmatranjem parametra ne prelazi preko **-0,10mg**. To je dokaz da je brizgaljka i nakon 50000 pređenih kilometara i dalje u dozvoljenim količinama odstupanja, zadanih od proizvođača. Potrebno je još jednom napomenuti da brizgaljka, odnosno cilindar po pomenutom parametru imaju dozvoljeno odstupanje od $\pm 1,5\text{mg}$. *Sve ispod te navedene granice se može tolerisati.*



Slika 52. Prikaz parametra „devijacija količine ubrizgavanja“ na trećem cilindru nakon pređenih 50000km¹⁹²

6. EKONOMIČNOST POPRAVKE „Bosch 0 445 116 030“ BRIZGALJKE

Kako je u dosadašnjem izlaganju potvrđeno da reparirana brizgaljka u potpunosti zadovoljava kvalitetom, izdržljivošću i pouzdanošću, dakle, ostvarena je efikasnost na visokom nivou, postavlja se pitanje ekonomičnosti reparacije. Imajući u vidu spomenute dvije najčešće vrste kvarova (prva vrsta popravke je kvar uloška brizgaljke, druga vrsta popravke je kvar uloška brizgaljke i prelivnog ventila) troškovi popravke prve vrste kvara iznosili su 234,00 KM, dok su troškovi popravke druge vrste kvara iznosili 351,00 KM (sa uključenim PDV-om). Da bi se ocijenila ekonomičnost, autori su od više dobavljača rezervnih dijelova (četiri, čija imena se ovdje ne navode), dobili ponude novih brizgaljki sa sljedećim cijenama: 899,00 KM, 912,60 KM, 998,00 KM i 1.004,00 KM, odakle se dobija da je prosječna cijena navedenih ponuda iznosila 953,40 KM. Najveća cijena popravke brizgaljke iznosi 36.82% od prosječne cijene nove brizgaljke, što je nešto više od jedne trećine cijene nove brizgaljke. Najmanja cijena popravke brizgaljke iznosi 24,54% od cijene nove brizgaljke, što iznosi nešto manje od jedne četvrtine cijene nove brizgaljke. S obzirom da je popravljena brizgaljka prošla testiranje na mašini kao i na vozilu, možemo zaključiti da je popravljivanje relativno maksimalno oštećene brizgaljke odlična alternativa naspram kupovine nove brizgaljke.

7. ZAKLJUČAK

Brizgaljka koja je bila predmet reparacije pripadala je vozilu marke Audi, model A6 sa četverocilindričnim motorom, kubikaže 2.0 i snage od 190 ks. Nakon dijagnostičkog pregleda, utvrđivanja oštećenja i demontaže brizgaljke iz motora, postupkom čišćenja, električnog testa i

¹⁹² Izvor: autori rada

testiranja brizgaljke na uređaju „Rabotti Unitec“ ustanovljen je kvar uloška brizgaljke. Nakon zamjene oštećenog dijela, reparacije brizgaljke testirana je ponovo brizgaljka na uređaju.

Može se zaključiti sljedeće:

- a) Brizgaljka je prošla test sa potpuno odgovarajućim parametrima. Brizgaljka je nakon testa ugrađena u vozilo i urađena je probna vožnja. Nakon što je vozilo prešlo 50000km pomoću dijagnostičkog uređaja izvršena je provjera parametara „devijacije količine ubrizganog goriva“ i utvrđeno je da brizgaljka ima minimalne (zanemarive) količine devijacije ubrizganog goriva.
- b) Iz dobijenih rezultata ispitivanja vidi se da predmetna brizgaljka nakon reparacije u najvećoj mjeri ispunjava kriterije za kvalitet kakav bi imala i nova brizgaljka. Istraživanjem prodajnih cijena novih „Bosch 0 445 116 030“ brizgaljki, može se vidjeti da cijena reparacije ne prelazi 24,54% do 36,82% od prosječne cijene nove brizgaljke, te se time dokazalo da je isplativije relativno maksimalno oštećenu brizgaljku reparirati.
- c) Proizvođači brizgaljki (Bosch, Denso, Siemens, Delphi, itd.) bi trebali ažurnije proizvoditi i prodavati zamjenske dijelove novijih brizgaljki, jer je veliki problem pristupačnost zamjenskih originalnih dijelova kod novijih brizgaljki.
- d) Nekvalitetno, kontaminirano gorivo doprinosi manjku podmazivanja i smanjenju životnog vijeka sklopova.

Literatura

- [1] Sjekavica, M.: *Modeliranje i regulacija modernog dizelskog motora s turbonabijanjem*, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [2] Robert Bosch GmbH, „*Dieselmotor – Management*“, Vieweg Verlag, 2004.g, ISBN 3-528-23873-9
- [3] Čelović, N.: *Kvalitet i isplativost remonta „Common Rail“ brizgaljke*, Magistarski rad, Internacionalni univerzitet Travnika u Travniku, 2020.

Katalozi i prospekti proizvođača:

- [1] „Rabotti Unitec“ – testni uređaj
- [2] „Bosch FSA 050“ ispitivač izolacije
- [3] AA-AS/TSS51-EU- Le | 28.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen
- [4] AA-AS/TSS51-EU- Le | 28.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen

Internet stranice:

- [1] <http://auto.ivrep1.ru/common-rail-sustav-ubrizgavanja/>
- [2] <https://tec-stop.co.uk/shop/oscilloscopes-and-batteries/bosch-fsa-050-electirc-hybrid-drive-diagnostic-tester/>
- [3] <https://www.scribd.com/doc/196453811/Ubrizgavanje-Goriva-Kod-Dizel-Motora>

[4] <http://www.airandiesels.org/p/the-distributor-type-injection-pump.html>

[5] <https://fuelsafe.com/aeromotive-10-micron-fuel-filter-element-fe-12601>

Ostali izvori:

[1] Interni standardi, pravilnici, normativi

