

„COMMON RAIL“ ELEKTROMAGNETINIO PURKŠTUVO KONSTRUKCINIŲ PARAMETRŲ ĮTAKA ĮPURŠKIAMŲ DEGALŲ KIEKIUI

Lukas VARKALA, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: lukas.varkala@vdu.lt

Stasys SLAVINSKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: stasys.slavinskas@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje nagrinėjama „Common Rail“ elektromagnetinio purkštuvų konstrukcinių parametrų įtaka įpurškiamų degalų kiekiui. Dyzelinių variklių degalų įpurškimo sistemos tikslumas turi tiesioginę įtaką variklio ekonomiškamui, degimo proceso stabilumui ir išmetamųjų teršalų kiekiui, todėl purkštuvų konstrukcinių parametrų pokyčiai gali reikšmingai paveikti visos maitinimo sistemos veikimą. Tyrimo tikslas – ištirti, kaip purkštuvų konstrukcinių parametrų pokyčiai veikia įpurškiamų degalų kiekį skirtingais purkštuvų darbo režimais. Eksperimentiniai tyrimai atlikti naudojant „Common Rail“ purkštuvų testavimo standą „Open System CR-IP“, kuriuo buvo nustatyti įpurškiamų degalų kiekiai įvairiais purkštuvų darbo režimais. Tyrimo metu analizuota valdymo vožtuvo eigos, elektromagnetinio vožtuvo spyruoklės įvaržos ir purkštuko adatos spyruoklės įvaržos pokyčių įtaka degalų dozavimo charakteristikoms. Konstrukciniai parametrai buvo keičiami reguliavimo žiedų storio koregavimu, imituojuojant galimus purkštuvų elementų geometrinius nuokrypius, atsirandančius eksploatacijos metu. Tyrimų rezultatai parodė, kad net nedideli konstrukcinių parametrų pokyčiai gali sukelti reikšmingus įpurškiamų degalų kiekio svyravimus skirtingais darbo režimais. Nustatyta, kad purkštuvų veikimas yra ypač jautrus valdymo vožtuvo eigos pokyčiams, kurie gali lemti tiek degalų dozės padidėjimą, tiek purkštuvų darbo nestabilumą ar visišką įpurškimo sutrikimą. Gauti rezultatai patvirtina, kad tikslus purkštuvų konstrukcinių parametrų reguliavimas yra būtinas siekiant užtikrinti stabilų degalų įpurškimo procesą ir patikimą dyzelinių variklių maitinimo sistemos veikimą.

Reikšminiai žodžiai: Common Rail, purkštuvai, įpurškimas, dozavimas, elektromagnetas.

Įvadas

Dyzelinuose varikliuose degalų įpurškimo sistema yra viena svarbiausių techninės sistemos dalių, lemiančių variklio darbo efektyvumą, ekonomišumą ir išmetamųjų teršalų kiekį. Tobulėjant vidaus degimo variklių technologijoms ir griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams, vis didesnis dėmesys skiriamas degalų įpurškimo tikslumui ir degimo proceso optimizavimui. Viena pažangiausių šiuolaikinių dyzelinių variklių maitinimo sistemų yra „Common Rail“ degalų įpurškimo sistema, kurioje degalai aukštu slėgiu kaupiami bendrame akumuliatoriuje, o iš jo per elektromagnetinius arba pjezoelektrinius purkštuvus tiksliai įpurškiami į variklio cilindrus. Tokia sistema leidžia tiksliai valdyti degalų įpurškimo momentą, trukmę ir kiekį, nepriklausomai nuo variklio sūkių, todėl sudaromos sąlygos efektyvesniam degimo procesui ir mažesniai išmetamųjų teršalų kiekiui (Hillier et al., 2004).

Degalų įpurškimo proceso tikslumas daugiausia priklauso nuo purkštuvų konstrukcinių elementų ir jų tarpusavio sąveikos. Purkštuvų veikimą lemia tokie elementai kaip valdymo vožtuvas, purkštuko adata, elektromagnetinio vožtuvo mechanizmas ir jų spyruoklės. Šių komponentų geometriniai parametrai ir mechaninės savybės tiesiogiai veikia degalų srauto formavimą, įpurškimo pradžią bei įpurškiamų degalų kiekį. Tačiau eksploatacijos metu vidiniai purkštuvų elementai patiria hidraulinės, mechaninės ir terminės apkrovas, dėl kurių jie dyla ir vyksta konstrukcinių parametrų pokyčiai (Ignaciuk et al., 2014).

Moksliniuose tyrimuose pažymima, kad net ir labai nedideli purkštuvų konstrukcinių parametrų pokyčiai gali reikšmingai paveikti degalų įpurškimo procesą. Tai susiję su tuo, kad purkštuvų vidinių elementų judėjimo amplitudės dažnai siekia tik keliasdešimt mikrometrų, todėl net minimalūs geometriniai nuokrypiai gali pakeisti slėgio pasiskirstymą purkštuvų viduje ir įpurškiamų degalų kiekį (Yordanov et al., 2018).

Atsižvelgiant į tai, purkštuvų konstrukcinių parametrų pokyčių analizė yra svarbi, siekiant užtikrinti stabilų degalų įpurškimo procesą ir patikimą dyzelinių variklių eksploatavimą.

Tyrimo tikslas – ištirti „Common Rail“ elektromagnetinio purkštuvų konstrukcinių parametrų pokyčių įtaką įpurškiamų degalų kiekiui.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Parinkti tyrimams „Common Rail“ elektromagnetinį purkštuvą ir nustatyti pradinius jo darbo parametrus purkštuvų testavimo stende.
2. Atlikti purkštuvų konstrukcinių parametrų – valdymo vožtuvo eigos, elektromagnetinio vožtuvo spyruoklės įvaržos ir purkštuko adatos spyruoklės įvaržos – koregavimą.
3. Įvertinti šių parametrų pokyčių įtaką įpurškiamų degalų kiekiui skirtingais purkštuvų darbo režimais.

Teoriniai „Common Rail“ elektromagnetinių purkštuvų veikimo aspektai

„Common Rail“ degalų įpurškimo sistema yra viena pažangiausių šiuolaikinių dyzelinių variklių maitinimo technologijų, leidžiančių tiksliai reguliuoti degalų įpurškimo procesą įvairiais variklio darbo režimais. Pagrindinis šios sistemos veikimo principas – aukšto slėgio degalų kaupimas bendrame akumuliatoriuje ir jų paskirstymas į cilindrus per purkštuvus. Degalų slėgis sistemoje paprastai siekia kelis šimtus ar net daugiau kaip tūkstantį barų, todėl sudaromos sąlygos formuoti smulkų degalų purškimą ir pagerinti degimo proceso efektyvumą (Hillier et al., 2004).

Elektromagnetinio tipo purkštuvuose degalų įpurškimo procesą kontroliuoja elektromagnetinis vožtuvas. Valdymo blokui siunčiant elektrinį signalą, elektromagnetas pakelia vožtuvą ir sumažina slėgį purkštuvo valdymo kameroje. Dėl susidariusio slėgio skirtumo pakyla purkštuko adata ir degalai per purkštuko angas patenka į degimo kamerą. Pasibaigus valdymo signalui, vožtuvas užsidaro, slėgis valdymo kameroje padidėja, o purkštuko adata grįžta į pradinę padėtį ir įpurškimas nutraukiamas (Morris et al., 2015).

Degalų įpurškimo procesui didelę įtaką daro purkštuvo konstrukciniai parametrai, kurie lemia slėgio pasiskirstymą purkštuvo viduje ir purkštuko adatos judėjimo dinamiką. Vieni svarbiausių parametru yra valdymo vožtuvo eiga, elektromagnetinio vožtuvo spyruoklės įvarža ir purkštuko adatos spyruoklės standumas. Valdymo vožtuvo eiga lemia degalų nutekėjimo iš valdymo kameros intensyvumą, todėl turi tiesioginę įtaką slėgio skirtumui, kuris pakelia purkštuko adatą. Tuo tarpu spyruoklių standumas veikia vožtuvo ir adatos grįžimo į pradinę padėtį greitį bei bendrą purkštuvo reakcijos laiką.

Literatūroje pažymima, kad purkštuvo vidinių elementų judėjimo amplitudės yra labai mažos, todėl net ir nedideli konstrukcinių parametru pokyčiai gali turėti pastebimą įtaką degalų dozavimui. Dėl šios priežasties purkštuvo konstrukcinių parametru nuokrypiai gali pakeisti purkštuvo darbo charakteristikas ir įpurškiamų degalų kiekį skirtingais variklio darbo režimais (Ignaciuk et al., 2014; Yordanov et al., 2018).

Atsižvelgiant į šias purkštuvo veikimo ypatybes, konstrukcinių parametru pokyčių įtakos įpurškiamų degalų kiekiui eksperimentiniai tyrimai yra svarbūs siekiant geriau suprasti degalų dozavimo formavimosi procesą ir įvertinti purkštuvo darbo charakteristikų pokyčius.

Tyrimų objektas ir metodai

Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti naudojant „Common Rail“ purkštuvų testavimo stendą „Open System CR-IP“, kuris pavaizduotas 1 paveiksle, skirtą dyzelinių variklių degalų įpurškimo sistemos purkštuvų techninių parametru tikrinimui ir vertinimui. Šis stendas leidžia imituoti įvairius variklio darbo režimus ir tiksliai nustatyti purkštuvo darbo charakteristikas, tokias kaip įpurškiamų degalų kiekis, grįžtančių degalų kiekis ir purkštuvo sandarumas. Stendo konstrukciją sudaro aukšto slėgio degalų tiekimo sistema, purkštuvų tvirtinimo modulis, elektroninis valdymo blokas ir kompiuterinė duomenų registravimo sistema, leidžianti realiuoju laiku stebėti ir analizuoti purkštuvo darbo parametrus.



1 pav. Purkštuvų testavimo stendas „Open System CR-IP“
Fig. 1 Injector Test Bench “Open System CR-IP”

Bandymo stendo aukšto slėgio sistema leidžia generuoti reikiamą degalų slėgį, kuris tyrimų metu gali siekti iki 1600 bar. Purkštuvą tvirtinamas specialiaame laikiklyje, kuris užtikrina saugų aukšto slėgio vamzdelių ir matavimo linijų prijungimą. Elektroninis valdymo modulis generuoja purkštuvo valdymo impulsus, kurių trukmė ir dažnis nustatomi kompiuterinėje programoje. Matavimo sistema leidžia registruoti įpurškiamų degalų kiekį ir grįžtančių degalų srautą, o gauti rezultatai pateikiami kompiuterio ekrane naudojant specializuotą diagnostikos programinę įrangą. Prieš atliekant

eksperimentinius tyrimus bandymo stendas buvo patikrintas ir sukalibruotas pagal gamintojo pateiktas metodines rekomendacijas. Matavimo sistema užtikrina pakankamą rezultatų tikslumą ir leidžia patikimai registruoti purkštuvų darbo parametrus įvairiais darbo režimais.

Tyrimo objektas – BOSCH elektromagnetinis „Common Rail“ purkštuvų, kurio identifikacinis kodas yra 0445110209. Šio tipo purkštuvai plačiai naudojami šiuolaikiniuose dyzeliniuose varikliuose ir pasižymi tiksliai valdomu degalų įpurškimo procesu. Tyrimo metu buvo analizuojama purkštuvų konstrukcinių parametrų įtaka įpurškiamų degalų kiekiui. Didžiausias dėmesys skirtas trims pagrindiniams konstrukciniams parametrams: valdymo vožtuvo eigai, elektromagnetinio vožtuvo spyruoklės įvaržai bei purkštuko adatos spyruoklės įvaržai. Šie parametrai tiesiogiai veikia purkštuvų viduje vykstančius hidraulinius procesus ir lemia degalų įpurškimo charakteristikas.

Eksperimentinių tyrimų metu purkštuvus buvo tikrinamas keliuose degalų režimuose, imituojančiuose skirtingas variklio darbo sąlygas. Maksimalios apkrovos režimu ciklinis degalų kiekis buvo matuojamas esant 1600 bar įpurškimo slėgiui ir 800 µs valdymo impulso trukmei. Vidutinės apkrovos režimu degalų kiekis buvo nustatomas esant 600 bar slėgiui ir 630 µs valdymo impulso trukmei. Taip pat buvo vertinamas purkštuvų darbas tuščiosios eigos bei pagalbinio įpurškimo režimuose. Tokie bandymo režimai leidžia įvertinti purkštuvų veikimą skirtingomis variklio darbo sąlygomis. Tikrinimo metu gauti rezultatai pateikti 2 paveiksle.

Date: 11/17/2025

CR-JET Test report

Injector info:		Customer:	
Number: 0445110209 - --		originalus, prieš remonta	
Designation: CRI 2.2		Injectors serial number:	
Type: CRI-BOSCH		1: 3:	
Info:		2: 4:	

Injector code info						
Slot A: CK3EBNY						

Test parameters						
Point	Pressure, bar	Pulse, µs	IPM	Flow, mm ³ /st	Over, mm ³ /st	
Leak test	1700	0	1000		0,0 ... 80,0	
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, µs	Resp., µs	t, °C Status
	1		12,5	0	0	23,3 ✓

Tank=37,5° C

Point	Pressure, bar	Pulse, µs	IPM	Flow, mm ³ /st	Over, mm ³ /st	
VL	1600	800	1000	50,3 ... 58,3	18,0 ... 68,0	
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, µs	Resp., µs	t, °C Status
	1	50,9	26,8	0	382	25,3 ✓

Tank=39,7° C

Point	Pressure, bar	Pulse, µs	IPM	Flow, mm ³ /st	Over, mm ³ /st	
EM	600	630	450	13,3 ... 17,3		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, µs	Resp., µs	t, °C Status
	1	14,4		0	465	26,0 ✓

Tank=39,7° C

Point	Pressure, bar	Pulse, µs	IPM	Flow, mm ³ /st	Over, mm ³ /st	
LL	300	630	450	3,9 ... 6,5		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, µs	Resp., µs	t, °C Status
	1	4,5		0	843	26,3 ✓

Tank=40,1° C

Point	Pressure, bar	Pulse, µs	IPM	Flow, mm ³ /st	Over, mm ³ /st	
VE	1200	235	450	1,4		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, µs	Resp., µs	t, °C Status
	1	2,4		0	393	26,1

Tank=38,9° C

Point	Pressure, bar	Pulse, µs	IPM	Flow, mm ³ /st	Over, mm ³ /st	
VE	600	255	450	0,4 ... 1,9		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, µs	Resp., µs	t, °C Status
	1	1,1		0	443	25,9 ✓

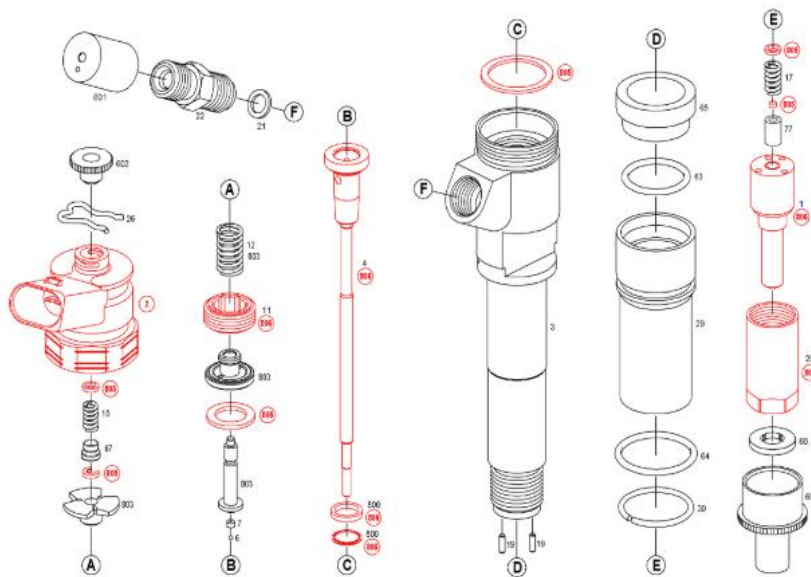
Tank=40,2° C



Crack Workbench - v5.92 (2.11.2023); Serial Hub v0.008 SN:580; CRI-LSP v1.023
SN:749; CRP v1.003 SN:2038; FlowMeter 1.1078 20230520test SN:749;
TachoCounter 12.56 HW2 20220215; TEPI v0.035 SN:3492;

2 pav. Tikrinimo stendo sugeneruotas protokolas
Fig. 2 Test bench generated report

Tyrimo metu purkštuvų konstrukciniai parametrai buvo keičiami reguliavimo žiedų, kurie pateikti 3 paveiksle, storio koregavimu, imituojant galimus purkštuvų konstrukcinių elementų geometrinius pokyčius, kurie gali atsirasti eksploatacijos metu arba atliekant purkštuvų reguliavimo darbus. Keičiant reguliavimo žiedų storį buvo koreguojama valdymo vožtuvo eiga, elektromagnetinio vožtuvo spyruoklės įvarža bei purkštuko adatos spyruoklės įvarža.



3 pav. Purkštuvų parametrų koregavimo žiedai
Fig. 3 Injector parameter adjustment shims

Pirmojo bandymo metu gauti purkštuvų darbo parametrai buvo laikomi atskaitos duomenimis, su kuriais buvo lyginami vėlesnių bandymų rezultatai. Siekiant užtikrinti matavimo rezultatų patikimumą, kiekvienas eksperimentas buvo atliekamas tris kartus. Gauti matavimo rezultatai buvo palyginami tarpusavyje, o tolimesnei analizei naudojamos vidutinės reikšmės. Toks metodas leidžia sumažinti atsitiktinių matavimo paklaidų įtaką ir padidina gautų rezultatų patikimumą.

Eksperimentinių tyrimų metu gauti duomenys buvo analizuojami lyginant skirtingų purkštuvų konstrukcinių parametrų pokyčių įtaką degalų dozavimo charakteristikoms. Tokia tyrimų metodika leidžia nustatyti purkštuvų konstrukcinių parametrų įtaką įpurškiamų degalų kiekiui bei įvertinti purkštuvų darbo stabilumą skirtingais darbo režimais.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Toliau pateikiami eksperimentinių tyrimų rezultatai, atskleidžiantys purkštuvų konstrukcinių parametrų pokyčių įtaką įpurškiamų degalų kiekiui skirtingais purkštuvų darbo režimais. Rezultatų analizė atlikta lyginant pradinis purkštuvų tikrinimo duomenis su rezultatais, gautais koregavus valdymo vožtuvo eigos reguliavimo žiedų storį.

Valdymo vožtuvo eigos reguliavimo žiedo pastorinimas 0,01 mm, palyginti su purkštuvų pirminio tikrinimo rezultatais, lėmė pastebimus degalų dozavimo charakteristikų pokyčius visuose tirtuose darbo režimuose. Pirminio tikrinimo metu gauti rezultatai šiame tyrime buvo laikomi atskaitos duomenimis, su kuriais buvo lyginami vėlesnių bandymų rezultatai. Toks palyginimo metodas sudarė galimybę objektyviai įvertinti valdymo vožtuvo eigos pokyčio įtaką purkštuvų darbo parametrams. Tikrinimo metu gauti rezultatai pateikti 4 paveikslė.

Padidinus valdymo vožtuvo eigą, buvo fiksuojamas intensyvesnis degalų nutekėjimas iš valdymo kameros per vožtuvą. Šis procesas tiesiogiai veikia slėgio pasiskirstymą purkštuvų viduje: sumažėjus slėgiui valdymo kameroje, purkštuko adata pakeliamą lengviau ir greičiau, todėl įpurškimo metu per purkštuko antgalį patenka didesnis degalų kiekis. Tokia valdymo vožtuvo veikimo schema paaiškina, kodėl jau nedidelis eigos pokytis lemia pastebimą įpurškiamų degalų kiekio padidėjimą. Maksimalios apkrovos režimuose, lyginant su pirminiu tikrinimu, įpurškiamų degalų kiekis padidėjo 3,54 %. Santykinai nedidelis šio režimo jautrumas valdymo vožtuvo eigos korekcijoms gali būti siejamas su dideliu bendru degalų slėgiu ir srautu, kurie riboja papildomą vožtuvo eigos įtaką. Esant tokioms sąlygoms, purkštuvų veikimą labiau lemia bendrieji hidrauliniai parametrai, todėl konstrukcinių elementų geometriniai pokyčiai turi mažesnę poveikį galutinei degalų dozei. Vidutinės apkrovos režime degalų dozavimo pokytis, palyginti su pirminiu tikrinimu, siekė 9,03 %. Šiame režime purkštuvų darbas yra jautresnis valdymo vožtuvo eigos pokyčiams, nes degalų srauto formavimą lemia ne tik slėgis, bet ir tiksli valdymo elementų tarpusavio sąveika. Dėl šios priežasties net nedideli valdymo vožtuvo eigos koregavimai tiesiogiai atsispindi įpurškiamų degalų kiekyje. Tuščiosios eigos režime nustatytas 11,11 % degalų dozės padidėjimas, lyginant su pradiniais matavimais. Nors absoliutus degalų kiekis šiame režime yra palyginti nedidelis, santykinis pokytis rodo, kad mažų dozių srityje purkštuvų veikimas tampa itin jautrus konstrukcinių parametrų korekcijoms. Tai ypač svarbu vertinant tuščiosios eigos stabilumą ir variklio darbo tolygumą realiomis eksploatacijos sąlygomis. Didžiausi santykiniai pokyčiai nustatyti pagalbinio įpurškimo režimuose. Lyginant su pirminiu tikrinimu, esant didesniai įpurškimo slėgiui, degalų kiekis padidėjo 41,7 %, o esant mažesniai slėgiui – 27,3 %. Šie rezultatai

rodo, kad pagalbinio įpurškimo metu purkštuvu darbas yra itin jautrus valdymo vožtuvo eigos koregavimams, nes šio režimo metu įpurškiamos labai mažos degalų dozės, o net nedidelis degalų srauto padidėjimas sudaro reikšmingą visos dozės dalį. Šis jautrumas yra svarbus vertinant degimo proceso valdymą ir išmetamųjų teršalų formavimąsi pradiniam degimo etape.

Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
Leak test	1700	0	1000		0,0 ... 80,0		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1		14,4	0	0	30,1	✓
Tank=40,1°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
VL	1600	800	1000	50,3 ... 58,3	18,0 ... 68,0		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1	52,7	28,9	0	380	31,9	✓
Tank=40,3°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
EM	600	630	450	13,3 ... 17,3			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1	15,7		0	465	32,6	✓
Tank=40,5°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
LL	300	630	450	3,9 ... 6,5			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1	5,0		0	814	32,5	✓
Tank=40,1°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
VE	1200	235	450	1,4			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1	3,4		0	392	31,0	
Tank=40,5°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
VE	600	255	450	0,4 ... 1,9			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1	1,4		0	437	31,4	✓
Tank=40,7°C							

4 pav. Rezultatai gauti pastorinus valdymo vožtuvo reguliavimo žiedą 0,01 mm

Fig. 4 Results obtained after thickening the control valve adjustment shim by 0.01 mm.

Valdymo vožtuvo eigos reguliavimo žiedo paploninimas 0,015 mm turėjo priešingą poveikį purkštuvu darbo charakteristikoms. Lyginant su pirminio tikrinimo rezultatais, purkštuvu darbas tapo nestabilus, o įpurškiamų degalų kiekis visuose darbo režimuose reikšmingai sumažėjo. Tikrinimo metu gauti rezultatai pateikti 5 paveiksle.

Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
Leak test	1700	0	1000		0,0 ... 80,0		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1		13,6	0	0	30,1	✓
Tank=40,7°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
VL	1600	800	1000	50,3 ... 58,3	18,0 ... 68,0		
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1	1,7	24,4	0	900	31,0	✗
Tank=40,4°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
EM	600	630	450	13,3 ... 17,3			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1	2,6		0	666	31,5	✗
Tank=40,4°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
LL	300	630	450	3,9 ... 6,5			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1			0	0	31,4	
Tank=40,8°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
VE	1200	235	450	1,4			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1			0	0	30,9	
Tank=39,8°C							
Point	Pressure, bar	Pulse, μ s	IPM	Flow, mm ³ /st	Over., mm ³ /st		
VE	600	255	450	0,4 ... 1,9			
Test 1	Slot	Fl, mm ³ /st	Ovr, mm ³ /st	BIP, μ s	Resp., μ s	t, °C	Status
	1			0	0	30,5	
Tank=40,1°C							

5 pav. Rezultatai gauti paploninus valdymo vožtuvo reguliavimo žiedą 0,015 mm

Fig. 5 Results obtained after reducing the control valve adjustment shim thickness by 0.015 mm.

Maksimalios apkrovos režime įpurškiamų degalų kiekis sumažėjo iki 1,7 mm³/st, o tai, lyginant su pirminio tikrinimo verte, sudaro apie 96 % sumažėjimą. Toks ryškus pokytis rodo, kad valdymo vožtuvo eiga tapo nepakankama užtikrinti reikiamą degalų nutekėjimą iš valdymo kameros, todėl purkštuko adata neatsidaro pilnai ir įpurškimas tampa

fragmentiškas. Vidutinės apkrovos režime įpurškiamų degalų kiekis sumažėjo iki 2,6 mm³/st, t. y. apie 80 %, palyginti su pirminiu tikrinimu. Šiame režime degradacija pasireiškia itin aiškiai, nes sumažėjęs slėgio skirtumas tarp purkštuvo darbo kamerų neleidžia stabiliai formuoti įpurškimo ciklo. Dėl to purkštovo darbas neatitinka nustatytų norminių ribų. Tuščiosios eigos režime įpurškiamų degalų kiekis sumažėjo nuo 4,5 mm³/st iki 0 mm³/st, t. y. 100 %, palyginti su pirminiu tikrinimu. Analogiški rezultatai nustatyti ir pagalbinio įpurškimo režimuose – tiek esant 1200 bar, tiek 600 bar įpurškimo slėgiui degalų įpurškimas nebuvo fiksuotas, o įpurškiamų degalų kiekio sumažėjimas sudarė 100 %.

Palyginus atliktų bandymų rezultatus nustatyta, kad valdymo vožtuvo eigos pokyčiai turi reikšmingą įtaką purkštovo degalų dozavimo charakteristikoms. Padidinus valdymo vožtuvo eigą buvo stebimas įpurškiamų degalų kiekio didėjimas visuose tirtuose darbo režimuose, o didžiausi santykiniai pokyčiai nustatyti pagalbinio įpurškimo režimuose, kuriuose įpurškiamos labai mažos degalų dozės. Tuo tarpu sumažinus valdymo vožtuvo eigą purkštovo darbas tapo nestabilus, o kai kuriais režimais degalų įpurškimas visiškai nutrūko. Tai rodo, kad net nedideli šio konstrukcinio parametro pokyčiai gali reikšmingai paveikti slėgio pasiskirstymą purkštovo valdymo kameroje ir purkštuko adatos judėjimo dinamiką. Gauti rezultatai patvirtina, kad valdymo vožtuvo eigos tikslus reguliavimas yra būtinas siekiant užtikrinti stabilų degalų įpurškimo procesą ir tinkamą purkštovo veikimą skirtingais darbo režimais.

Išvados

1. Nustatyta, kad „Common Rail“ elektromagnetinio purkštovo konstrukciniai parametrai turi tiesioginę įtaką įpurškiamų degalų kiekiui ir purkštovo darbo stabilumui skirtingais darbo režimais.

2. Tyrimo rezultatai parodė, kad valdymo vožtuvo eigos padidėjimas didina įpurškiamų degalų kiekį visuose tirtuose režimuose, o didžiausias šio parametro poveikis pasireiškia mažų degalų dozių srityje, kur purkštovo veikimas tampa ypač jautrus konstrukcinių parametrų pokyčiams.

3. Valdymo vožtuvo eigos sumažinimas reikšmingai pablogina purkštovo darbo charakteristikas ir gali sukelti degalų įpurškimo nestabilumą arba visišką įpurškimo sutrikimą, nes nebesusidaro pakankamas slėgio skirtumas purkštovo valdymo kameroje.

4. Tyrimo rezultatai rodo, kad tikslus purkštovo konstrukcinių parametrų reguliavimas yra būtina sąlyga siekiant užtikrinti stabilų degalų įpurškimo procesą ir patikimą dyzelinių variklių maitinimo sistemos veikimą.

Literatūra

1. Hillier V.A.W., Coombes P. (2004). *Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology*. Nelson Thornes Ltd.
2. Ignaciuk, P., & Gil, L. (2014). Damages to injectors in diesel engines. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 8(21), 58–61. <https://doi.org/10.12913/22998624.1091889>
3. Morris, C. E., & Rix, D. M. (2015). *Fuel injector with injection control valve spring preload adjustment device* (U.S. Patent No. 9,133,801 B2). U.S. Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US9133801B2>
4. Yordanov, N., Hadjiev, K., & Stankov, E. (2018). Experimental simulation of common rail electromagnetic injectors wearing. *Machines. Technologies. Materials*, 12(5), 208–211.

INFLUENCE OF STRUCTURAL PARAMETERS OF A COMMON RAIL ELECTROMAGNETIC INJECTOR ON INJECTED FUEL QUANTITY

Abstract

This article investigates the influence of structural parameters of a Common Rail electromagnetic injector on the quantity of injected fuel. The accuracy of diesel fuel injection systems has a direct impact on engine efficiency, combustion stability and exhaust emissions; therefore, changes in injector structural parameters may significantly affect the operation of the entire fuel supply system. The aim of this study was to investigate how variations in injector structural parameters influence the injected fuel quantity under different operating conditions. Experimental investigations were performed using a Common Rail injector testing bench “Open System CR-IP”, which allows measurement of injected fuel quantities at different injector operating modes. During the research, the influence of control valve lift, electromagnetic valve spring preload and injector needle spring preload on fuel dosing characteristics was analysed. Structural parameters were modified by adjusting the thickness of calibration shims in order to simulate possible geometric deviations of injector components that may occur during operation. The results showed that even small changes in structural parameters can cause significant variations in injected fuel quantity under different operating regimes. The study revealed that injector operation is particularly sensitive to variations in control valve lift, which may lead to both an increase in fuel quantity and unstable injector operation or complete interruption of fuel injection. The obtained results confirm that precise adjustment of injector structural parameters is essential to ensure stable fuel injection and reliable operation of diesel engine fuel systems.

Keywords: Common Rail, injector, fuel injection, fuel dosing, control valve.