

Tõnu Tooming

**MERCEDES–BENZ
DIISELMOOTORI OM613
JUHTMOODULI
ÜMBERSEADISTAMINE
HOBISÕIDUKIL
KASUTAMISEKS**

LÕPUTÖÖ

Transporditeaduskond

Autotehnika eriala

Tallinn 2016

Mina,

.....
.....,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Lõputöö autor

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Üliõpilase kood

Õpperühm

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Konsultandid

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Kaitsmisele lubatud „.....“20....a.

..... teaduskonna dekaan

Teaduskonna nimetus Nimi ja allkiri

SISUKORD

SISUKORD	3
SISSEJUHATUS.....	7
1. DIISELMOOTORI TEOORIA	9
1.1. Käesolevas lõputöös käsitletava diiselmootori tüüp.....	9
1.2. Diiselmootori pritseliigid.....	9
1.2.1. Kaudpritse	9
1.2.2. Otsepritse.....	10
1.3. Põlemise kulg diiselmootoris.....	11
1.3.1. Süüteviive.....	11
1.3.2. Sisemine segumoodustus.....	11
1.4. Segu jaotumine ja diiselmootori liigõhutegur	12
1.5. Eel-, põhi- ja järelpritse	12
1.5.1. Eelpritse.....	12
1.5.2. Põhipritse.....	12
1.5.3. Järelpritsed	12
1.6. Võimsuse reguleerimine diiselmootoril.....	13
1.7. Turboülelaadimine.....	13
1.7.1. Turboülelaaduri tööpõhimõte	13
1.7.2. Ülelaadeõhu jahutus	14
1.7.3. VTG turbolaaduri ülelaaderõhu reguleerimine	14
1.7.4. Elektropneumaatiline regulaator	15
1.8. Õhukanali ohje.....	15
1.8.1. Madal pöörlemissagedus ja väikesed koormused	16
1.8.2. Kõrge pöörlemissagedus või suur koormus	16
1.9. Heitgaasi retsirkulatsioon	16
1.10. Oksüdatsioonkatalüsaator	17
1.10.1. HC ning CO emissioonide oksüdatsioon.....	17

1.10.2.	NO oksüdeerimine lämmastikdioksiidiks (NO ₂)	17
1.10.3.	Partikulaarse komponendi vähendamine	17
2.	DIISELMOOTORI ELEKTROONILISE PRITSEREGULAATORI TEOORIA	18
2.1.	EDC - Tunnusväljapõhiselt töötav elektrooniline pritseseade	18
2.2.	Tunnusväljapõhiselt töötava elektroonilise pritseseade tööpõhimõte	18
2.2.1.	Peamised juhtsuurused	19
2.2.2.	Parandsuurused.....	19
2.2.3.	Lisafunktsioonid.....	19
2.3.	Tunnusväljapõhiselt töötava elektroonilise pritseseade koostisosad.....	20
2.3.1.	Andurid.....	20
2.3.2.	Juhtplokk	20
2.3.3.	Täiturid	20
3.	DIISELMOOTORI ELEKTROONILINE PRITSEREGULAATOR KÄSITLETAVA OM613 NÄITEL	21
3.1.	Madalrõhupool.....	22
3.2.	Kõrgrõhu pool.....	23
3.3.	Elektrooniline juhtseadis	24
3.3.1.	Andurid ja sisendsignaalid	24
3.3.2.	Täiturid ja väljundsignaalid.....	25
3.4.	OM613 mittevajalikud komponendid.....	27
3.4.1.	Õhukanali ohje	27
3.4.2.	Heitgaasi retsirkulatsioon.....	27
3.4.3.	Oksüdatsioonikatalüsaator	27
4.	KUIDAS SUURENDADA VÕIMSUST?.....	28
4.1.	Võimalused sissepritsitava kütusekoguse suurendamiseks	28
4.1.1.	Chip-box.....	28
4.1.2.	Chip-tuning.....	29
4.1.3.	Juhtmooduli ümberseadistamine	29
5.	OM613 JUHTMOODULI EDC15C6 ÜMBERSEADISTAMINE	30
5.1.	Eesmärgi saavutamiseks vajalik kütuse ja õhu kogus	30
5.1.1.	Eesmärgi täitmiseks vajaliku kütusekoguse leidmine.....	30
5.1.2.	Eesmärgi täitmiseks vajaliku õhukoguse ja ülelaaderõhu leidmine.....	32
5.2.	OM613 elektroonilise pritseregulaatori komponentide võimekuse hindamine.....	34
5.2.1.	Pihustid.....	34

5.2.2.	Ühisanuma rõhu andur	35
5.2.3.	Sisselaske rõhu andur	35
5.2.4.	Kõrgrõhu pump ja turboülelaadur	36
5.3.	Suurema läbilaskevõimega pihustite valik	36
5.3.1.	Originaal pihustite info.....	36
5.3.2.	Suurema läbilaskevõimega pihusti valiku alused.....	37
5.3.3.	Suurema läbilaskevõimega pihusti valik.....	38
5.4.	Suurema mõõtevahemikuga sisselaske rõhu anduri valik	39
5.5.	Juhtmoodulist info lugemise, muutmise ja kirjutamise vahendid	39
5.6.	EDC15C6 mittevajalike komponentide deaktiveerimine	40
5.7.	EDC15C6 pihustatava kütusekoguse ümberseadistamine.....	40
5.8.	EDC15C6 pihustite kalibratsiooni ja ühisanuma rõhu seadistamine.....	43
5.9.	Ülelaaderõhu seadistamine	45
5.10.	Pihustuse alguse seadistamine	50
5.11.	Dünamomeetrilise stendi mõõtetulemused ja järeldused.....	50
5.12.	Eelarve	53
KOKKUVÕTE.....		54
SUMMARY		56
VIIDATUD ALLIKAD.....		57
LISADE LOETELU.....		59
Lisa 1.	Juhi soovi sätteväärtused mm ³ teisendatud väändemomendiks Nm tehase seades.....	60
Lisa 2.	Väändemoment Nm teisendatud pihustatavaks kütusekoguseks mm ³ tehaseseades.....	61
Lisa 3.	Suitsususe piirang tehaseseades	62
Lisa 4.	Suitsususe piirang tehaseseades teisendatud kütuse ja õhu suhteks.....	63
Lisa 5.	Suitsususe piirang teisendatud kütuse - õhu suhteks ja lisatud kütust vastavalt teooriale ja hobisõiduki vajadustele	64
Lisa 6.	Suitsususe piirang seadistatud teooriale vastavalt ja teisendatud kütusekoguseks	65
Lisa 7.	Suitsususe piirang kütuse ja õhu suhtena (Lisa 5) kohandatud vastavalt vajalikule ülelaaderõhule	66
Lisa 8.	Suitsususe piirang (Lisa 7) teisendatud kütusekoguseks.....	67
Lisa 9.	Pihustite kalibratsioon pihustades koos eelpritsega OM613 tehaseseades µs.....	68
Lisa 10.	Pihustite kalibratsioon pihustades ilma eelpritseta OM613 tehaseseades µs	69
Lisa 11.	Pihustite kalibratsioon pihustades koos eelpritsega C30 AMG µs	70

Lisa 12. Pihustite kalibratsioon pihustades ilma eelpritseta C30 AMG μ s.....	71
Lisa 13. Ühisanuma rõhk OM613	72
Lisa 14. Ühisanuma rõhk C30 AMG	73
Lisa 15. Ühisanuma rõhk koos maksimaalse rõhu tõstmisega.....	74
Lisa 16. Põhipritse pihustuse algus tehaseseades kui kasutatakse eelpritset.....	75
Lisa 17. Põhipritse pihustuse algus tehaseseades ilma eelpritset kasutamata	76
Lisa 18. Eelpritse pihustuse algus tehaseseades.....	77
Lisa 19. Põhipritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele kui kasutatakse eelpritset.....	78
Lisa 20. Põhipritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele ilma eelpritset kasutamata	79
Lisa 21. Eelpritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele.....	80
Lisa 22. Heitgaaside tahmasuse testi sertifikaadi fotokoopia	81

SISSEJUHATUS

Mercedes-Benz vanemad diiselmootorid on leidnud laialdast kasutust hobisõidukitel. Selle põhjuseks on mehaanilise osa suured tugevusvarud, mis lubavad ka pärast sadadesse tuhandetesse kilomeetritesse ulatuvat läbisõitu mitmekordistada võimsust vaid toite- ja ülelaadeseadmete modifitseerimise abil. Valdavas enamuses kasutatakse selleks mehaanilise kütuse kõrgrõhupumbaga ja eelpõlemiskambriga mootoreid OM601, OM602, OM603, OM604, OM605 või OM606. Enamasti toodavad need hobisõidukid vähemalt osalistel koormustel suures koguses tahma!

Käesolevas lõputöös käsitletakse hobisõidukile paigaldatud Mercedes-Benz diiselmootori OM613 juhtmooduli seadistamist. Selle mootori suurimateks erinevusteks eelnevalt nimetatutega on otsepritse, ühisanum-toitesüsteemi ja elektroonilise juhtmooduli EDC15C6 kasutamine. Just nende erinevuste pärast ei kasutata enamasti antud mootoritüüpi. Samas jääb neid mootoreid järjest rohkem üle, kuna ülejäänud sõiduk amortiseerub märksa kiiremini kui mootor. Sellest tulenevalt on antud mootorid kergelt leitavad soodsa hinnaga, mis omakorda võimaldab mitte pöörata tähelepanu mehaanilise tugevusvaru küsimusele. Mootori purunemisel lihtsalt asendatakse mootor järgmisega.

Käsitletava mootoritüübi analüüs aitab õppida tundma antud mootoritüübi eripärasid ehk otsepritse ja ühisanum toitesüsteemiga diiselmootorite toimimisloogikat. Selleks on põhilisteks infoallikateks Autoerialade kirjandus OÜ välja antud “Autonduse käsiraamat” [1] (millest tulenevat terminoloogiat kasutatakse antud lõputöös) ja Bosch Professional Automotive Information poolt välja antud “Fundamentals of Automotive and Engine Technology” [2].

Saadud teoreetilised teadmised seotakse antud mootori ja juhtmooduliga Mercedes – Benz internetkeskkonna <http://clublounge.mb-lounge.com/de/anmeldung.html> rahvusvahelise Mercedes-Benz klubiga liitumisel tootjapoolsele infokeskkonnale avaneva juurdepääsu abil.

Järgmiseks etapiks on juhtmoodulis olevate sätteväärtuste tunnusväljade väärtuste muutmine, et suurendada väändemomenti ja seeläbi ka võimsust. Lisaks on tarvis muutused, et hobisõidukil mittevajalike komponentide eemaldamisel jätkaks mootor tööd tavarežiimis. Siin aga tekkis

tõsiseltvõetava infoallika leidmisega raskusi. Laialdaselt leidub vastavateemalistes internetifoorumites empiiriliste kogemuste jagamist ja kirjeldust aga Bosch kui juhtmoodulite tootja jääb avaldatud materjalides üldsõnaliseks kirjeldamata midagi konkreetset. Pärast pikki otsinguid õnnestus leida “Software-Funktionsbeschreibung EDC15C” [3]. See dokument on saksakeelne ja mahuga 600 lk ja seega pole kindlasti võimalik juhtmooduli toimeloogikat käesoleva lõputöö raames lahti kirjutada. Käesolevas lõputöös käsitletakse ainult sätteväärtuste tunnusväljade muutmist mis võimaldab tõsta mootori võimsust ja eemaldada hobisõiduki puhul mittevajalikud komponendid.

Esimene etapp juhtmoodulis olevate sätteväärtuste tunnusväljade väärtuste muutmisel on mittevajalike mootori komponentide deaktiveerimine. Seejärel mõõdetakse dünamomeetril mootri väändemoment ja võimsus. Saadud tulemus jääb aluseks edaspidi tunnusväljade väärtuste muutmisel saadud tulemuste võrdlemiseks.

Hetkel on Mercedes – Benz diiselmootor OM613 töömahuga 3222 kuupsentimeetrit ja võimsusega 145kW 4200 p/min (väändemoment 470Nm 1800 – 2600 p/min) paigaldatud hobisõidukile. Et võimaldada mootoril vabamat hingamist ja vähendada massi on eemaldatud oksüdatsioonikatalüsaator, heitgaaside retsirkulatsioonisüsteem ja õhukanaliohje pöördsiibrid. Eemaldatud komponendid põhjustavad aga mootori vearežiimi mineku, kuna antud komponentide eemaldamine suurendab keskkonna saastet ja seega vähendatakse oluliselt võimsust, et tagada keskkonna hoid.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on juhtmoodulis olevate sätteväärtuste tunnusväljade väärtuste muutmisega vältida mootori avariirežiimi minekut ja arendada tehaseandmetest oluliselt suuremat väändemomenti ja võimsust. Planeeritav väändemoment 650 Nm 2500 p/min ja võimsus 200 kW 4000 p/min. Negatiivse kõrvaltoimena suureneb oluliselt NO_x tase heitgaasides, aga see pole oluline, kuna antud hobisõidukit kasutatakse ainult väljaspool avalikke teid ja tänavaid. Siiski on oluline osa eesmärgist vältida heitgaaside tahmasuse teket. Kui mõni lihtsalt vahetatav või modifitseeritav toitesüsteemi komponent jääb soovitud tulemust piirama, siis teostatakse vastavalt vajalikud tööd!

Lisaväärtusena annab kogutud teave ja kogemused võimaluse teostada sarnaseid seadistustöid enamusel esimese ja teise põlvkonna ühisanum toitesüsteemiga diiselmootoritel, mis kasutavad EDC15C juhtmoodulit ning parandab oluliselt ka eelpoolkirjeldatud teostatavate diagnostika ja remonttööde võimekust.

1. DIISELMOOTORI TEOORIA

1.1. Käesolevas lõputöös käsitletava diiselmootori tüüp

Mercedese – Benz OM613 on neljataktiline, otsepritsega, kuuesilindriline, reas silindrite paigutusega, vedelikjahutusega ühisanum – sissepritse (Common Rail) toitesüsteemiga turboülelaadimisega diiselmootor. Maksimaalne võimsus 145 kW 4200 p/min. Maksimaalne väändemoment 470 Nm 1800 – 2600 p/min. [4, p. 391]

Vastavalt Autonduse Käsiraamatule on diiselmootor soojusmootor, mis muundab põletamise teel kütuse keemilise energia soojusenergiaks ja selle omakorda kolvi kaudu mehaaniliseks energiaks. Diiselmootorid on seismise segumoodustusega ja neid käitatakse diislikütusega. [1, pp. 169 - 174]

Põlemise käigus vabaneva soojusenergia toimel tõuseb silindris rõhk ja tekkiv rõhu tõus surub kolbi allapoole. Keps seob kolvi vääntvõlliga ja muundab kolvi lineaarse liikumise vääntvõlli pöörlevaks liikumiseks. Seega mootori arendatav väändemoment on seotud keskmise rõhuga silindris.

1.2. Diiselmootori pritseliigid

Diiselmootoritel eristatakse kahte pritseliiki. Need on kaudpritse ja otsepritse [1, p. 283].

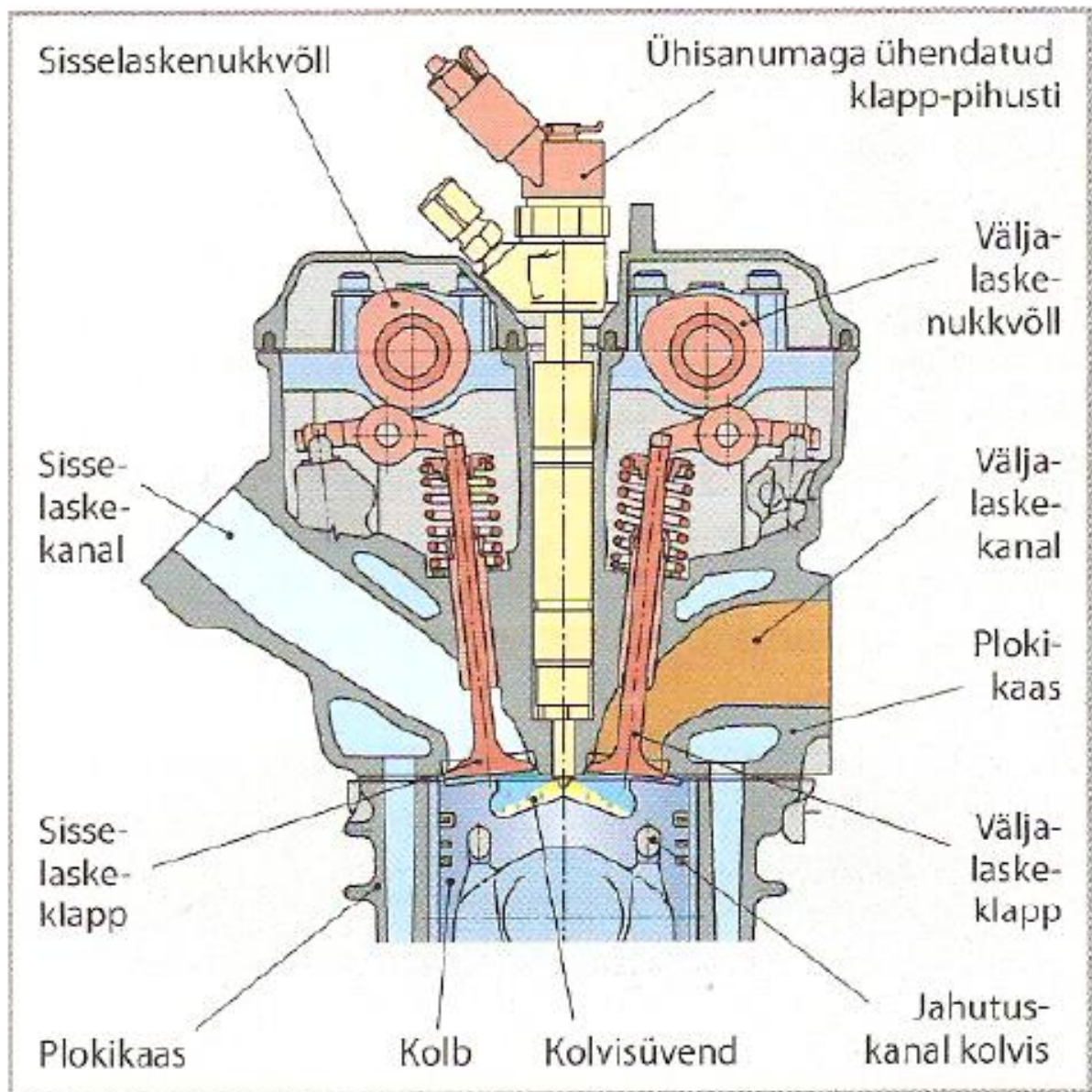
1.2.1. Kaudpritse

Kütus pritsitakse jaotatud põlemiskambri ossa eel- või keeriskambrisse. Tänapäevastes mootorites kaudpritsset enam ei kasutata oluliselt halvema kasuteguri pärast. [1, p. 283]

Oli pikka aega enamlevinud pritseviis kuna omas madalamat müra ja heitgaaside taset. Alles elektrooniliste pritseregulaatorite kasutuselevõtt koos suurte pritserõhkude ja eelpritse kasutamisega võimaldas otsepritse laia leviku. [5, p. 39]

1.2.2. Otsepritse

Kütus pritsitakse põlemiskambris kolvi süvendis (Sele 1). Võrreldes kaudpritsiga vähendab väiksem põlemiskambri välispindala soojuskadu ja suurendab termilist kasutegurit. Tulenevalt sellest kuni 20% madalam kütusekulu. Sujuvama rõhutõusu ja sellega ka mootori rahulikuma töö saavutamiseks pritsitakse väike kogus kütust enne põhipritset. Seda nimetatakse eelpritsiks. [1, p. 283]



Sele 1. Otsepritse diiselmootor [1, p. 283]

1.3. Põlemise kulg diiselmootoris

Otsepritse diiselmootorite sissepritse puhul antakse kütuse põhikogus põlemiskambrisse alles siis kui seal on eelpritsega pritsitud kütus juba süüdatud. Selle eesmärk on edasi pritsitava kütuse järjestikune ärapõletamine. Seeläbi tekkiva soojusega muundatakse pritsitud vedel kütus kergsüttivaks seguks. [1, p. 174]

1.3.1. Süüteviive

Ajavahemikku esimese kütuseosakese väljumisest pihustiavast kuni põlemisprotsessi vallandumiseni nimetatakse süüteviibeks. Töösoojal mootoril tavalisel 0,001 sekundit ehk 1/1000s. [1, p. 174;281]

1.3.2. Sisemine segumoodustus

Diiselmootoritel pääseb sisselaske takti ajal silindrisse ainult õhk. Otsepritse diiselmootoritel moodustatakse kütuse–õhu segu otse silindrisse kolvi sees asuvasse põlemiskambrisse kütuse sissepritse teel kõrge surve all. [1, p. 172], [2, p. 22]

Sisemine segumoodustus jaotatuna [1, p. 174]:

1. Kütus pritsitakse piiskadena (uduna), kuid siiski veel vedelana kuuma õhku.
2. Kütuseudu kuumutatakse keemispunktini.
3. Kütus aurustub keemistemperatuuril.
4. Kütuseaur seguneb kuuma õhuga.
5. Kütuseaur kuumeneb süttimistemperatuurini.
6. Kütuse–õhu segu süttib.
7. Põlemisprotsess vallandub.

Sellist põlemisprotsessi vallandumist nimetatakse survesüüteks (ingliskeeles CI ehk compression-ignition) [1, p. 281], [2, p. 22].

1.4. Segu jaotumine ja diiselmootori liigõhutegur

Diiselmootor töötab heterogeense sisemise segumoodustuse ja survesüütega. Heterogeene segu tähendab, et diiselmootoris toimuval põlemisel on tugev õhu–kütusesegu koostise kõikumine rikka ja lahja vahel. Liigõhutegur λ näitab kui palju on tegelikus õhu–kütuse segus silindris õhku rohkem kui stöhhiomeetrilises segus (14,8 kg õhku 1 kg kütuse kohta [1] ja 14,5 kg õhku 1 kg kütuse kohta [2]). Ülelaadega diiselmootori liigõhutegur on täiskoormusel vahemikus $\lambda = 1,15 - 2,0$ ja tühikäigul $\lambda = 10 - 18$. [1, p. 280], [2, pp. 40-41]

1.5. Eel-, põhi- ja järelpritse

Ühe pritsekorra kütusekogus võib sõltuvalt mootori koormusest, ühisanum–sissepritse kasutamisel olla jagatud eel-, põhi- ja järelpritse vahel. [1, p. 281]

1.5.1. Eelpritse

“Väikese kütusekoguse pritsega enne põhikogust suurendatakse põlemiskambris rõhku ja temperatuuri. Mõõdukas rõhu ja temperatuuri tõstmine vähendab põlemismüra ja NO_x heidet ning võimaldab saavutada põhipritsel väiksema süüteviibe”. [1, p. 281], [2, p. 48]

Eelpritse kogus umbes 1 mg [2, p. 48].

1.5.2. Põhipritse

“Heaks segumoodustuseks ja täielikuks põlemiseks on vajalik püsiv pritserõhk. Võimalikult täielik põlemine tagab suure võimsuse ja vähese saasteainete heite”. [1, p. 281], [2, p. 48]

1.5.3. Järelpritsed

“Järelpritsed järgnevad vahetult põhipritsele kübemeheite vähendamiseks heitgaasi tagastuse korral. Hilisemat järelpritset saab kasutada kübemefiltrite regenereerimiseks heitgaasi kuumutamise teel”. [1, p. 281], [2, p. 48]

1.6. Võimsuse reguleerimine diiselmootoril

Diiselmootoritel puudub drosselklapp mootoris siseneva õhukoguse reguleerimiseks võimsuse reguleerimise eesmärgil. Seega edastatakse kogu pöörlemissageduse vahemiku ulatuses täitena suuresti muutumatu õhukogus. Võimsust juhitakse sissepritsitava kütusekoguse muutmise teel, mille kaudu muudetakse kütuse-õhu segu vastavalt töötingimustele. Seda tehakse nii pihusti avatuse aja kui ka kütuse rõhu muutmise teel. [1, p. 172]

1.7. Turboülelaadimine

Turboülelaaduris kasutatakse heitgaasi energiat õhu silindrisse transportimiseks. Turboülelaadurid töötavad peaaegu kadudeta kuna ei tarvita väntvõlli pöördemomenti. Diiselmootorid on eriti sobilikud turboülelaadimise kasutamiseks kuna sisselaske kaudu transporditakse mootoris ainult õhku. Turboülelaadimine võimaldab saavutada sama töömahu juures suurema võimsuse, vähendada kütuse erikulu sama võimsuse saavutamiseks, vähendada heitgaasi saasteainete sisaldust ja heitgaaside müra ning suurendada oluliselt maksimaalset väändemomenti madalatel ja keskmistel pöörlemissagedustel. [1, p. 235], [5, p. 51]

1.7.1. Turboülelaaduri tööpõhimõte

Diiselmootorist väljuv kuum ja rõhu all olev väljalaskegaas on märkimisväärne energia kadu. Turboülelaadur kasutab ära seda muidu kaduma minevat energiat. Turboülelaadur koosneb võlliga ühendatud turbiinirattast ja kompressorirattast. Mootorist väljuv heitgaas ajab ringi turbiinirattast ja see omakorda võlli kaudu kompressorirattast. Diiselmootoris saavutatakse turboülelaaduri võlli pöörlemissageduseks kuni 200 000 p/min. Sellega kasutatakse ära muidu kaduma minev väljalaskegaasi energia. Kompressoriratas imeb sisse õhu ja transpordib mootoris eelkomprimeeritud ülelaadeõhu. Ülelaadeõhk kuumeneb eelkomprimeerimise käigus kuni 180 °C. [1, p. 236], [5, p. 52]

1.7.2. Ülelaadeõhu jahutus

Kuna kuum õhk on väiksema tihedusega ja seega sisaldab ka vähem hapnikku on tarvis enne selle silindrisse juhtimist seda jahutada. Seeläbi kasvab täite gaasitihedus ehk hapnikusisaldus. Suurem hapnikusisaldus võimaldab sisse pritsida suuremat kütusekogust ning seega saavutada suuremat võimsust. Vastavalt Autonduse Käsiraamatule võimaldab ülelaadeõhu jahutus kasutada kuni 2,2 bar ülelaaderõhku. Ülelaadeõhu jahutuseks kasutatakse turbolaaduri ja sisselaskekollektori vahele paigaldatud ülelaadeõhu jahutit mida jahutatakse kas välisõhuga või mootori jahutussüsteemist eraldi oleva jahutusvedeliku ringlusega [1, p. 236], [5, p. 51].

1.7.3. VTG turbolaaduri ülelaaderõhu reguleerimine

VTG ehk laadimisrõhu reguleerimine muudetava turbiinigeomeetriaga. Seda tüüpi turbolaaduril reguleeritakse laadimisrõhku reguleeritavate juhtlabade abil (Sele 2). [1, p. 237]

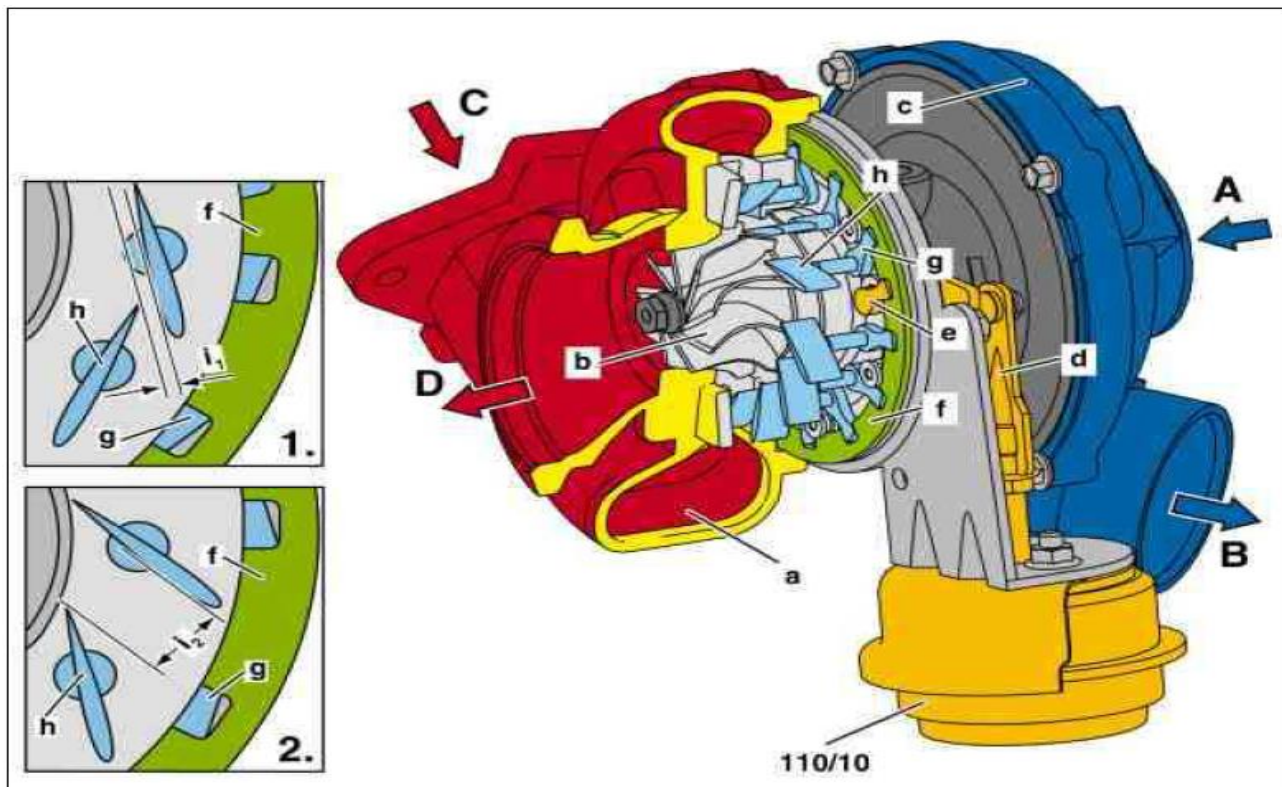
Mootori madalal pöörlemissagedusel suure pöördemomendi saavutamiseks on vaja kõrgemat laadimisrõhku. See saavutatakse juhtlabadele suunatud gaasi sisselaskeava kitsale ristlõikele seadmisega, mis põhjustab heitgaasijoa suuremat kiirust. Samaaegselt mõjutab heitgaasijuga turbiinilabade välispiirkonda tekitades suurema jõuõla. Selle tulemusel suureneb turbiini pöörlemissagedus ja laadimisrõhk. [1, p. 238], [5, p. 54]

Mootori kõrgel pöörlemissagedusel juhtlabad vabastavad suurema heitgaasikoguse vastuvõtmiseks suurema sisselaskeava ristlõubimõõdu. Seeläbi saavutatakse vajalik laadimisrõhk, kuid ei ületata seda ka suuremate heitgaasikoguste korral. Heitgaasijuga on suunatud turbiinilabade keskmisele piirkonnale . [1, p. 238], [5, p. 54]

VTG turbolaaduri juhtlabad on neutraalses asendis täiesti avatud. Seega ülelaaderõhu reguleersüsteemi rikke korral on tagatud ohutus nii mootorile kui ka turbolaadurile endale. Rikke tagajärjeks on ainult jõu kadu mootori madalatel pööretel . Kui mootori juhtseade tuvastab avariirežiimi vajaduse siis samuti avatakse juhtlabad täiesti. [1, p. 238] [5, p. 55]

Juhtlabasid reguleeritakse reguleerrõngasse haarduvate juhttappide kaudu. Reguleerrõngast pööratakse alarõhu karbiga ühendatud juhthoovaga. Juhthoob on ühendatud reguleerrõngaga juhttapiga. Reguleerrõngas kannab juhttappide kaudu üle liikumise juhtlabadele. Seega kõik

juhtlabad pööratakse korruga ja ühtemoodi soovitud asendisse ja juhtlabade reguleerimine toimub käsitletaval mootoril elektropneumaatiliselt. [1, p. 238] [5, p. 55]



Sele 2. VTG turboülelaadur [6]

1.7.4. Elektropneumaatiline regulaator

Nukkvõllilt käitatav vaakumpump tekitab alarõhu. Juhtiv alarõhk suunatakse elektropneumaatilise survemuunduri (EPW) kaudu alarõhkarpi, milles toimiv juhtrõhu ja atmosfäärirõhu vahe reguleerib hoova kaudu juhtlabasid. [1, p. 238] [5, p. 55]

1.8. Õhukanali ohje

Et tekitada silindris tugevamat õhu keerisliikumist kasutatakse lahendust, mille puhul igasse silindrisse viib korruga kaks erisugust õhukanalit. Keeriskanal tekitab oma keerduva kujuga läbivoolavas õhus tugeva keerise. Otsekanal on sirge, et õhk saaks sellest läbi voolata võimalikult

hõõrdevabalt. Otsekanalit avatakse–suletakse pöördklapiga. Ohje toimub juhtploki mälus olevate tunnusväljade järgi. [1, p. 283] [5, p. 60]

1.8.1. Madal pöörlemissagedus ja väikesed koormused

Otsekanali pöördklapid on suletud – kogu õhk siseneb keeriskanali kaudu. Tugev õhukeeris tagab kütuse soodsa segunemise õhuga ning hea segumoodustuse ja põlemise. Sellega vähendatakse kübemetete ja muude heitmetete kogust heitgaasis kuid sisselaskeõhu voolamiskadu suureneb. [1, p. 283] [5, p. 60]

1.8.2. Kõrge pöörlemissagedus või suur koormus

Täiskoormusel on otsekanali pöördklapid avatud. Õhusööde on võimalikult suur. Sisselaskeõhu voolamiskadud minimaalsed, et tagada maksimaalne võimsus. [1, p. 283] [5, p. 60]

1.9. Heitgaasi retsirkulatsioon

Heitgaasi retsirkulatsiooni on väga efektiivne meetod alandamaks NO_x kogust heitgaasides. NO_x kogust heitgaasides väheneb, sest väheneb heitgaasi kogus, langeb põlemisprotsessi tipptemperatuur ja väheneb lokaalne õhu ülejääk. Sellega on võimalik saavutada kuni 60% NO_x koguse vähenemine heitgaasides. Heitgaaside retsirkulatsiooni tase võib olla mahuliselt kuni 40% – kui see ületatakse, siis NO_x kogus küll jätkab vähenemist, aga diislikütus ei põle täielikult. Heitgaasi retsirkulatsioon aktiveeritakse sooja ning osaliselt koormatud diiselmootori puhul. Heitgaaside retsirkulatsioonisüsteem deaktiveeritakse mootori täiskoormusel töötamisel. Retsirkuleeritav heitgaas juhitakse väljalaskekollektorist enne turbolaadurit läbi plokikaane ja retsirkuleeritava heitgaasi jahuti sisselaskekollektorisse. Retsirkuleeritava heitgaasi jahutamine parendab heitgaasi retsirkulatsiooni toimet veelgi. [1, pp. 322,323], [7, pp. 52,53]

1.10. Oksüdatsioonkatalüsaator

“Katalüsaator oksüdeerib põlemata süsivesikud (HC) ning süsinikmonooksiidi (CO); tänu jääkhapniku suurele hulgale diiselmootori heitgaasides ei ole lämmastikoksiide (NO_x) võimalik redutseerida. Seepärast kasutatakse oksüdatsiooni–kaksikkatalüütilist muundit”. [1, p. 323]

1.10.1. HC ning CO emissioonide oksüdatsioon

“Süsinikmonooksiid (CO) ning süsivesinikud (HC) oksüdeeritakse oksüdatsioonikatalüsaatoris, et muundada need süsihappegaasiks (CO_2) ning veeauruks (H_2O). Oksüdatsioon toimub siis, kui temperatuuri tõus saavutab teatud kindla alumise temperatuuri. Mainitud temperatuur asub vahemikus 170–200 °C, sõltudes heitgaaside koostisest, voo kiirusest ning katalüsaatori efektiivsusest. Alates sellest temperatuurist võib oksüdatsiooni tase tõusta kuni 90 protsendini.” [1, p. 324]

1.10.2. NO oksüdeerimine lämmastikdioksiidiks (NO_2)

“Lämmastikoksiidile (NO) ning lämmastikdioksiidile (NO_2) viidatakse tavaliselt kui ühendile NO_x . NO_2 sisaldus mootori heitgaasi NO_x – s on enamikus mootori käitamisrežiimides ligikaudu vaid 10%. Oksüdatsioonkatalüsaator on võimeline suurendama NO_2 suhtelist kogust heitgaasis madalatel temperatuuridel”. [1, p. 324]

1.10.3. Partikulaarse komponendi vähendamine

“Diiselmootori poolt emiteeritavad osakesed koosnevad süsivesinikest, mis kaotavad oma veesisalduse temperatuuri tõusul. Nende süsivesinike oksüdatsioon võimaldab partikulaarset komponenti heitgaasis 15–30% võrra vähendada”. [1, p. 324]

2. DIISELMOOTORI ELEKTROONILISE PRITSEREGULAATORI TEOORIA

2.1. EDC - Tunnusväljapõhiselt töötav elektrooniline pritseseade

EDC on lühend ingliskeelsest nimetusest Electronic Diesel Control. Diiselmootorite areng on suunatud kütusekulu ja heitmete vähendamisele samas võimsust suurendades. Varasemad mehaanilised lahendused diiselmootorite pritseseadmetena ei tulnud seatud eesmärkidega toime ja nii on viimase 20 aasta jooksul mindud täielikult üle elektroonilistele pritseseadmetele. Tunnusväljapõhiselt töötavate elektrooniliste pritseseadmete eeliseks on võime reguleerida pritsi algust ja pritsitavat kogust väga täpselt erinevates tingimustes. [1, pp. 286,287], [5, pp. 354,355]

Seeläbi on võimalik saavutada [1, p. 287], [5, pp. 354,355]

- täpne kinnipidamine nõutavast heitgaasikogusest
- väiksem kütusekulu
- suurem pöördemoment laiemas pööretevahemikus
- parem reageerimisvõime
- väiksem mootorimüra
- ühtlasem töö
- ühe pritsekorra kütusekoguse jaotamine kuni 5 osaks
- lihtne lisaseadmete paigaldus
- mootorit lihtne kohandada erinevatele sõidukitele jne...

2.2. Tunnusväljapõhiselt töötava elektroonilise pritseseade tööpõhimõte

Võrreldes varasemate mehaaniliste lahendustega pole juhil enam otsest kontrolli pritsitava kütusekoguse üle läbi gaasipedaali. Gaasipedaali asend on vaid üks koormuse indikaatorsignaal [5, p. 355].

2.2.1. Peamised juhtsuurused

Peamised juhtsuurused on koormus ja pöörlemissagedus. Nende alusel tuleb juhtplokk tunnusvälja alusel pritse alguse ja koguse. Koormuse info aluseks on gaasipedaali asend ja MAP (sisselaske kollektori absoluutse rõhu) sensori signaal. Pöörlemissageduse info aluseks on vääntvõlli ja nukkvõlli pöörlemissageduse ja asendi andurid. Nende alusel tuvastatakse ka vääntvõlli ja nukkvõlli asendi sünkroonsus. [1, p. 287], [5, p. 355]

2.2.2. Parandsuurused

Parandsuuruste alusel kohandatakse vajadusel pritse algust ja kogust vastavaks sõidu ja keskkonnatingimustele. Parandsuurusteks on näiteks jahutusvedeliku temperatuur, diislikütuse temperatuur, välisõhutemperatuur, sisselaske õhutemperatuur ja õhurõhk. [1, p. 287], [5, p. 355]

2.2.3. Lisafunktsioonid

Aktiivne väändevõnke summutus – koormuse järsul suurenemisel põhjustab pöördemomendi muutus jõuülekandes väändevõnkeid. Väändevõnked tuvastatakse signaali alusel ja summutatakse aktiivselt vähendades pritsekogust pöörlemissageduse kasvades ja suurendades kütusekogust pöörlemissageduse kahanedes. [1, p. 287]

Mootori töö ühtlustamine – valmistustolerantsid ja ebaühtlane kulumine võivad põhjustada ebaühtlust mootori töös. Seega ei tekita mootori silindrid ühe ja sama kütusekogusega võrdset pöördemomenti. See põhjustab ebaühtlast mootori töötamist ja suurenenud heitgaaside saastetaset. Tuvastades kolvi hetkekiiruse silindris töötakti ajal ja ühtlustades seda silindrite pritsekoguse täpsustamisega saavutatakse ühtlane käik ja madal heitgaaside saaste. [1, p. 287]

Käivituse tõkestamine – mootori käivitamine on võimalik ainult kõigi vajalike komponentide ja signaalide olemasolul. [1, p. 287]

Pritseseadet on ühendatud üheks tervikuks sõiduki üldise elektroonilise kontrollvõrguga. Seega toimub andmevahetus sõiduki teiste komponentidega nagu ESP (elektrooniline stabiilsuskontroll), ETC (elektrooniline jõuülekande kontroll). Sellega on võimalikud funktsioonid nagu väändemomendi vähendamine käiguvahetuseks ja rataste läbilibisemisel. [1, p. 287], [5, p. 355]

2.3. Tunnusväljapõhiselt töötava elektroonilise pritseseade koostisosad

2.3.1. Andurid

Andurid tuvastavad talitlusandmed ja keskkonna andmed. Näiteks pöörlemissagedus, ülelaaderõhk, väline õhutemperatuur ja rõhk. Andurid muudavad füüsilised suurused elektrilisteks signaalideks. [1, p. 287], [5, p. 355]

2.3.2. Juhtplokk

Elektrooniline juhtplokk on pisiarvuti mis töötleb andmeid anduritelt avatud ja suletud ahelate juhtimise algoritmide põhisel. Saadud tulemuste ning mälus olevate tunnusvälja sätteväärtuste alusel määrab sissepritse koguse ja alguse, heitgaasi tagastusmäära ja ülelaaderõhu jne ... Kontrollib täitureid elektriliste juhtsignaalide abil. Suletud ahelaga juhtimise korral korrigeerib väljundite juhtsignaale lisaks andurite tagasiside põhjal. Näiteks ühisanum – sissepritse korral ühisanuma rõhk. Tegeleb kõigi lisafunktsioonidega suheldes sõiduki kui terviku elektroonilise kontrollvõrguga. Elektrooniline kontrollvõrk sisaldab ka EOBD (Euroopa pardadiagnostika) funktsiooni. [1, p. 287], [5, p. 355]

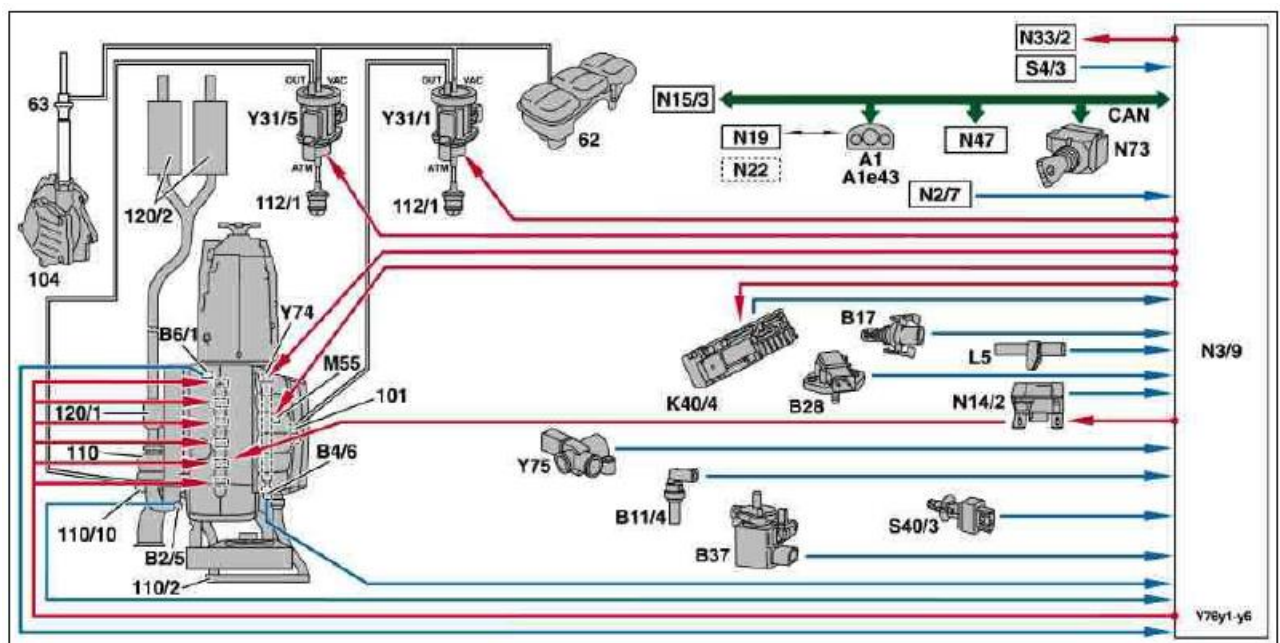
2.3.3. Täiturid

Täiturid võimaldavad juhtplokil sekkuda pritse - , heitgaasitagastuse – ja ülelaadeseadmete tegevusse. Täiturid muundavad juhtploki elektrilised väljundsignaalid mehaanilisteks parameetriteks. Näiteks ühisanum – sissepritse pihusti solenoidklapp avab pihusti nõela taguses ruumis asuvale kütusele pääsu tagasivoolu. Selle tulemusena pihusti avaneb. [1, p. 287], [5, p. 355]

3. DIISELMOOTORI ELEKTROONILINE PRITSEREGULAATOR KÄSITLETAVA OM613 NÄITEL

“Ühisanumpritse kogutakse kütus kõrge rõhu all ühisanumas (inglisekeeles common rail) ja pritsitakse tunnusväljapõhiselt ohjatuna põlemiskambrisse”. Ühisanumpritse seadis koosneb kolmest osast. Madalrõhupoolest, kõrgrõhupoolest ja elektroonilisest juhtseadisest. [1, p. 288]

Käsitletav Mercedes – Benz elektroonilise pritseregulaatoriga ühisanumpritsega diiselmootor OM613 kasutab 1. põlvkonna lahendust. Tootja ise kirjeldab süsteemi kui CR2 [6]. Järgnev sele annab ülevaate OM613 elektroonilisest ühisanumpritse pritseregulaatorist CR2 (Sele 3). Täpsem info komponentide kohta järgnevates alapeatükkides.

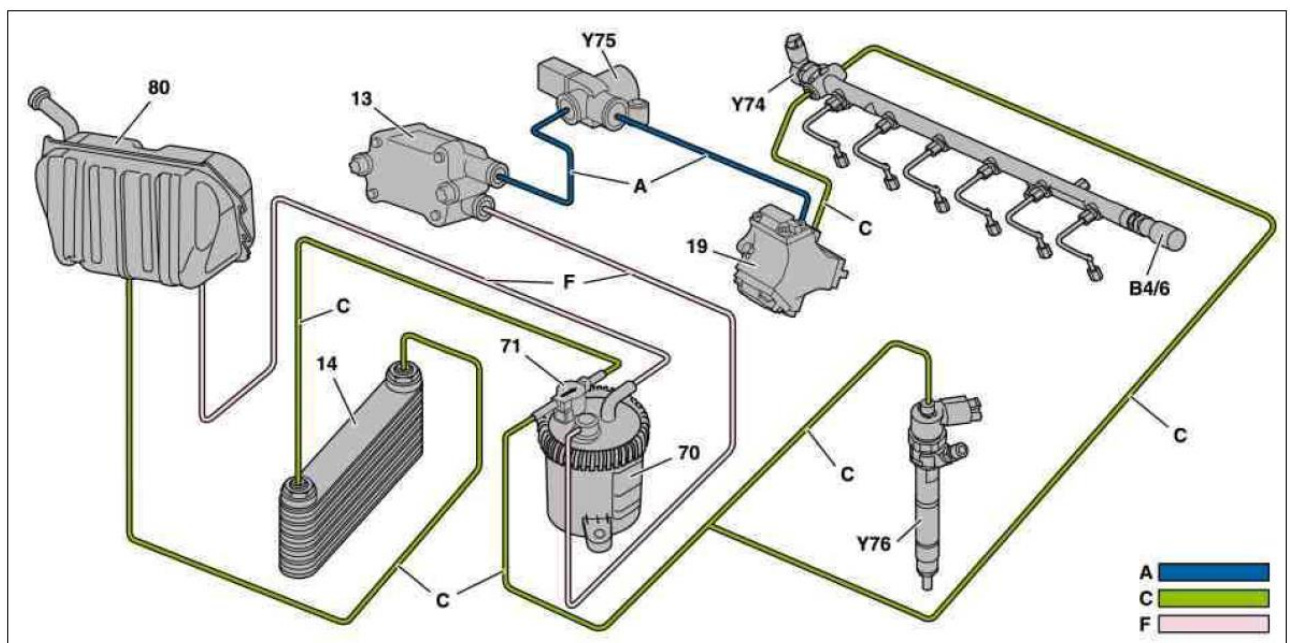


Sele 3. CR2 OM613 elektroonilise pritseregulaatori funktsioonidiagramm [6]

3.1. Madalrõhupool

Madalrõhupoole ülesandeks on teha kättesaadavaks piisavas koguses filtreeritud diislikütust kütusepaagist piisava rõhuga kõrgrõhu pumpa kõigis töörežiimides. Kui mootorit käivitatakse või mootor töötab voolab kütus etteandepumba poolt tekitatud alarõhu toimel kütusepaagist kütusefiltrisse ja etteandepumpa. Etteande rõhk on piiratud umbes 3,5 bar etteandepumbas oleva reguleerklapiga. Selle rõhu ületamisel avaneb rõhureguleerklapp ja vabastab liigse kütuse surve etteandepumba siseselt sissevõtu poolele. Seega 3,5 bar rõhu all pumbatakse kütus etteandepumbast läbi elektrilise sulgeklapi kõrgrõhu pumpa. Kõrgrõhupumbast lekkinud kütus ja ühisanuma ning pihustite poolt ümbersuunatud diislikütus suunatakse läbi tagasivoolutorustiku diislikütuse eelsoojendusklaapi ja diislikütuse jahutusradiaatori tagasi kütusepaaki või madalate välistemperatuuride korral segatakse eelsoojendusklaapi abil diislikütuse hulka kütusefiltris. [6]

Järgneval seel madalrõhupoolest visuaalne ülevaade (Sele 4).



Sele 4. Madalrõhupool(A-3,5 bar, C-tagasivool, F-alarõhk) [6]

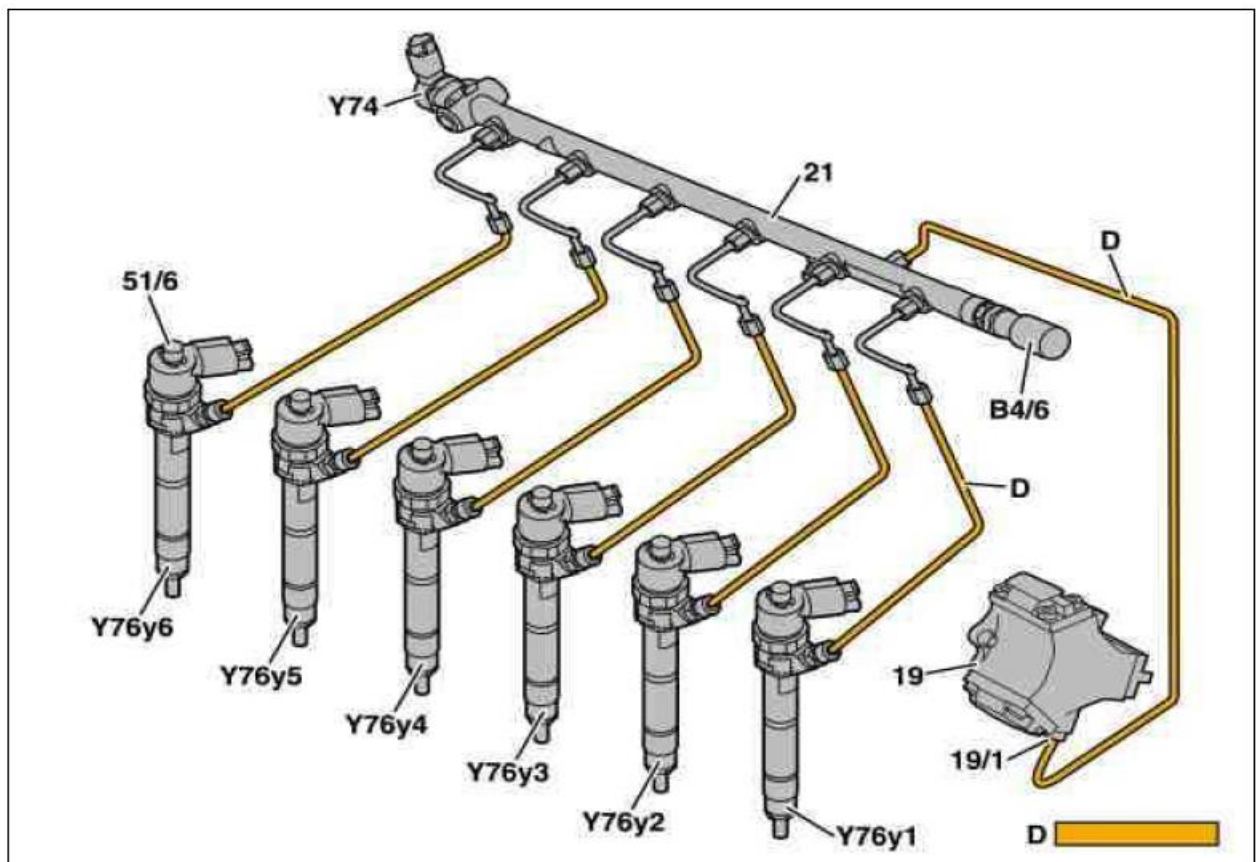
Madalrõhupoole komponendid [6]

- 13 etteandepump
- 14 jahuti
- 19 kõrgrõhu pump
- 70 kütusefilter

- 80 kütusepaak
- B4/6 ühisanuma rõhuandur
- Y74 ühisanuma rõhureguleerklapp
- Y76 pihustid

3.2. Kõrgrõhu pool

Ülesandeks on toota, kontrollida ja salvestada kütusrõhku mis on vajalik sissepritseks. Kõrgrõhu pump pumpab kütuse ühisanumasse sõltuvalt mootori pöörlemissagedusest. Kütus voolab mööda kõrgrõhu torusid igasse kütusepihustisse. Kütuse rõhk on kontrollitud suurendades ja vähendades kütuse tagasivoolu ava ühisanuma rõhureguleerklapis. Ühisanuma rõhuandur mõõdab hetke rõhku ja saadab vastava pinge signaali pritserregulaatori juhtmoodulisse. Ühisanuma rõhureguleerklappi aktiveeritakse pritserregulaatori juhtmooduli poolt kooskõlas ettenähtud rõhuga. [6] Järgneval seel kõrgrõhupoolle visuaalne ülevaade (Sele 5).



Sele 5. Kõrgrõhupool (D-kõrgrõhk kuni 1350 bar) [6]

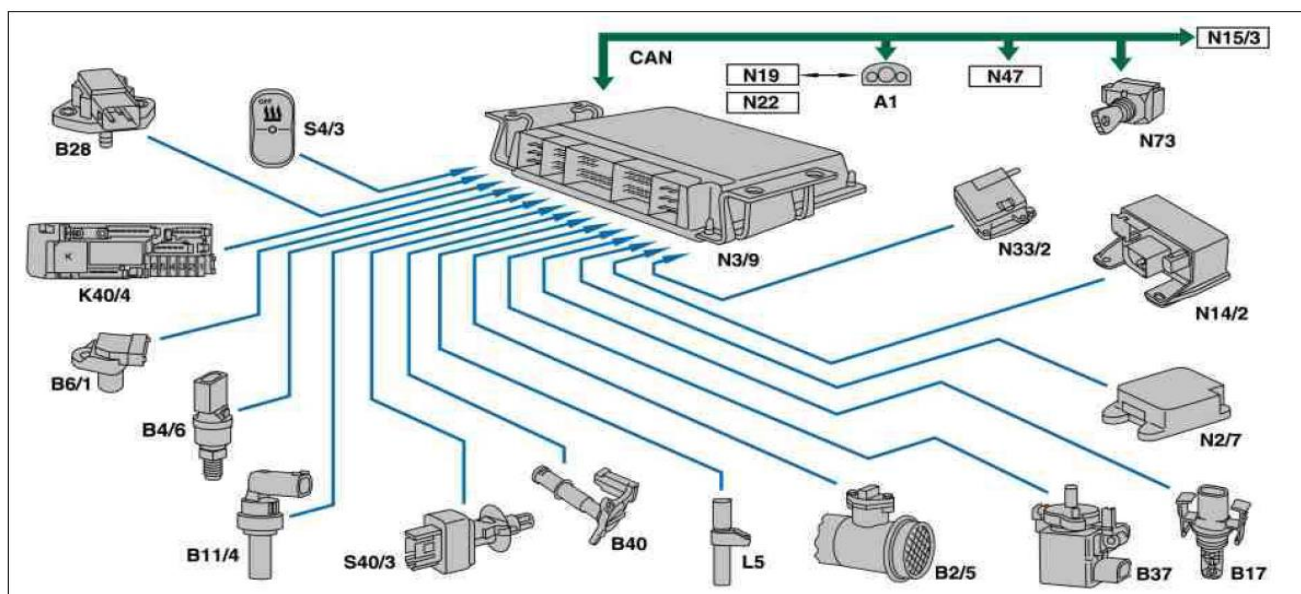
Kõrgrõhupoole komponendid [6]

- 19 kõrgrõhu pump
- 19/1 kõrgrõhu toru kõrgrõhu pumbast ühisanumasse
- 21 ühisanum
- 51/6 kütuse tagasivool pihustist
- B4/6 ühisanuma rõhuandur
- Y74 rõhu kontrollklapp
- Y76y1 esimese silindri kütusepihusti
- Y76y2 teise silindri kütusepihusti
- Y76y3 kolmanda silindri kütusepihusti
- Y76y4 neljanda silindri kütusepihusti
- Y76y5 viienda silindri kütusepihusti
- Y76y6 kuuenda silindri kütusepihusti

3.3. Elektrooniline juhtseadis

3.3.1. Andurid ja sisendsignaalid

Andurid tuvastavad talitlusandmed ja keskkonna andmed. Andurid muudavad füüsilised suurused elektrilisteks signaalideks (2.3.1. Järgnev sele annab ülevaate OM613 kasutatavatest anduritest ja sisendsignaalidest (Sele 6).



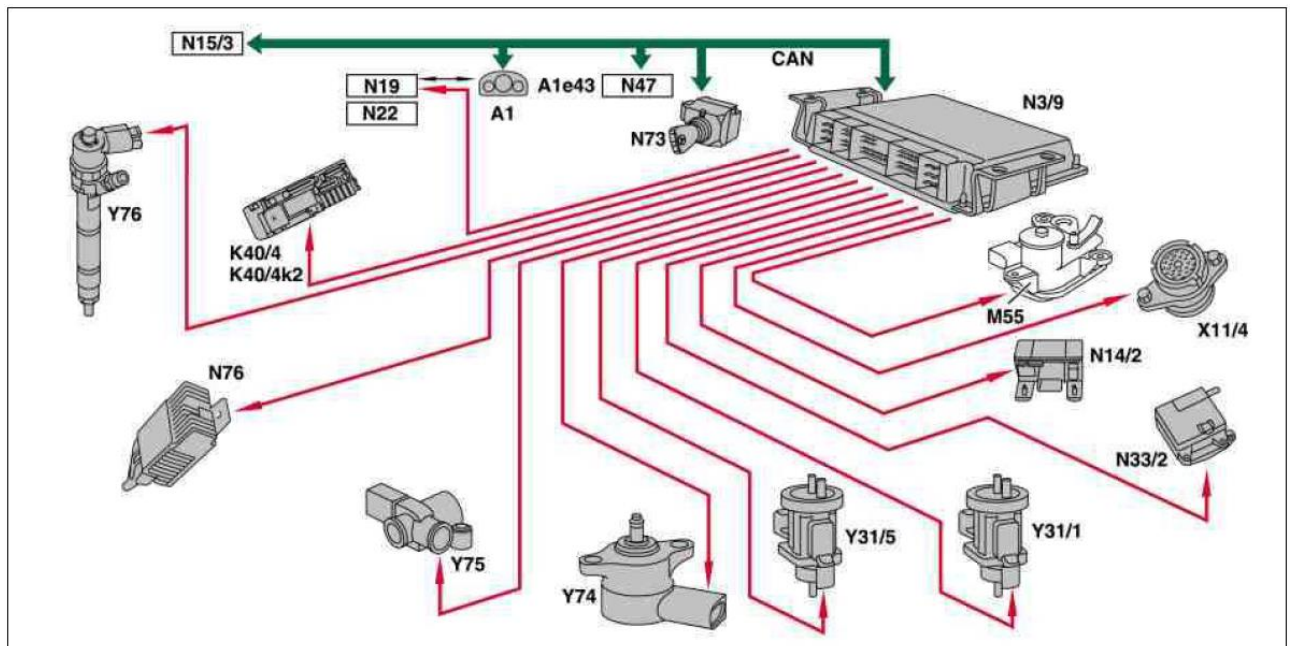
Sele 6. CR2 OM613 andurid ja sisendsignaalid [6]

Andurid ja sisendsignaaliid [6]

- A1 kellaplokk
- B2/5 kuumkile–õhumassi andur
- B4/6 ühisanuma rõhu andur
- B6/1 nukkvõlli halli andur
- B11/4 jahutusvedeliku temperatuuri andur
- B17 sisselaske õhutemperatuuri andur
- B28 sisselaske rõhu andur
- B37 gaasipedaali asendi andur
- B40 õli andur (tase, temperatuur ja kvaliteet)
- K40/4 esimene kõrvalistujapoolne kaitsmete ja releede moodul
- L5 vāntvõlli asendi andur
- N2/7 passiivse turvalisuse kontrollmoodul
- N3/9 elektroonilise pritseregulaatori juhtmoodul
- N14/2 hõõgküünalde juhtmoodul
- N15/3 elektrooniline automaatkāigukasti juhtmoodul
- N19 kliimaseadme juhtmoodul
- N22 automaatse kliimaseadme juhtmoodul
- N33/2 elektrilise lisakütteseadme juhtmoodul
- N47 elektrooniliste sõidustabiliseerimisseadiste juhtmoodul
- N73 elektrooniline süütelukk
- S4/3 elektrilise lisakütteseadme lüliti
- S40/3 siduri pedaali lüliti (ainult manuaalkāigukasti puhul)
- CAN andmeside võrk

3.3.2. Täiturid ja väljundsignaaliid

Täiturid võimaldavad juhtplokil sekkuda pritse-, heitgaasitagastuse– ja ülelaadeseadmete tegevusse. Täiturid muundavad juhtplokki elektrilised väljundsignaaliid mehaanilisteks parameetriteks (2.3.3.). Väljundsignaaliid võimaldavad sekkuda teiste sõidukikomponentide töösse. Jārgnev sele annab ülevaate OM613 kasutatavatest täituriid ja väljundsignaaliidest (Sele 7).



Sele 7. CR2 OM613 täiturid ja väljundsignaalid [6]

Täiturid ja väljundsignaalid [6]

- A1 kellaplokk
- A1E43 elektroonilise pritsekontrolli indikaatorlamp
- K40/4 esimene kõrvalistujapoolne kaitsmete ja releede moodul
- K40/4k2 starteri relee
- M55 sisselaske pöördklappide sulgemise mootor
- N3/9 elektroonilise pritseregulaatori juhtmoodul
- N14/2 hõõgküünalde juhtmoodul
- N15/3 elektrooniline automaatkäigukasti juhtmoodul
- N19 kliimaseadme juhtmoodul
- N22 automaatse kliimaseadme juhtmoodul
- N33/2 elektrilise lisakütteseadme juhtmoodul
- N47 elektrooniline sõidustabiliseerimisseadist juhtmoodul
- N73 elektrooniline süütelukk
- N76 elektrooniline mootori ja kliimaseadme jahutusventilaatorite juhtmoodul
- X11/4 diagnostika pistik
- Y31/1 EGR elektropneumaatiline regulaator
- Y31/5 ülelaade rõhu (VGT) elektropneumaatiline regulaator

- Y74 ühisanuma rõhu reguleerklapp
- Y75 elektriline sulgeklapp
- Y76 pihusti
- CAN andmeside võrk

3.4. OM613 mittevajalikud komponendid

3.4.1. Õhukanali ohje

Vastavalt 2.9 kirjeldatule kasutatakse õhukanali ohjet vähendamaks kübemetete ja muude heitmete kogust heitgaasis madalatel pööretel ja koormustel kuid kaotatakse sisselaskeõhu voolamiskadude suurenemisega [1, p. 283] [5, p. 60]. Hobisõidukil on maksimaalne võimsus tähtsam kui keskkonnasaaste vähendamine seega on antud komponent mittevajalik ja eemaldatakse, et saavutada maksimaalne võimalik võimsus.

3.4.2. Heitgaasi retsirkulatsioon

Heitgaaside retsirkulatsiooni kasutatakse, et vähendada NO_x kogust heitgaasides. Kuna hobisõidukil ei ole oluline keskkonnasaaste vähendamine siis on antud süsteem mittevajalik ja eemaldatakse. Lisaväärtusena võimaldab heitgaasi retsirkulatsiooni süsteemi eemaldamine vähendada jõuallika massi ja suurendada sisselaskekollektori õhu sisenemise ava 30%.

3.4.3. Oksüdatsioonikatalüsaator

Vastavalt punktis 2.11 kirjeldatule kasutatakse oksüdatsioonikatalüsaatorit keskkonnasaaste vähendamiseks [1, p. 324]. Hobisõidukil ei ole oluline keskkonnasaaste vähendamine seega antud komponent eemaldatakse. Eemaldamise tulemusena väheneb lisaväärtusena oluliselt väljalaskesüsteemi väljalaskegaaside voolutakistus. Seega võimaldatakse saavutada suuremat võimsust.

4. KUIDAS SUURENDADA VÕIMSUST?

Vastavalt punktis 2.7 kirjeldatule juhitakse diiselmootorit kütusekoguse muutmisega. Võimsust juhitakse sissepritsitava kütusekoguse muutmise teel, mille kaudu muudetakse kütuse–õhu segu vastavalt töötingimustele. Seda tehakse nii pihusti avatuse aja kui ka kütuse rõhu muutmise teel.[1, p. 172]

Ülelaadega diiselmootori liigõhutegur on täiskoormusel vahemikus $\lambda = 1,15 - 2.0$ ja tühikäigul $\lambda = 10 - 18$ [1, p. 280], [2, pp. 40-41]. Seega tuleb sissepritsitava kütusekoguse suurendamisele lisaks ilmselt saavutada ka suurema õhukoguse silindrisse jõudmine ülelaaderõhu tõstmise abil.

4.1. Võimalused sissepritsitava kütusekoguse suurendamiseks

4.1.1. Chip-box

Tegemist on seadmega mis paigaldatakse ühisanuma rõhu anduri ahelasse. Seade moonutab rõhu andur signaali andes juhtmoodulile infot, et kütuse rõhk ühisanumas on madalam kui tegelikult. Seega tõstab juhtmoodul kütuse rõhku ühisanumas ja selle tulemusena suureneb võimsus.

Plussid

- soodne
- lihtsalt paigaldatav ja eemaldatav
- juhtmooduli tarkvara uuendusega ei lähe lisandunud võimsus kaduma

Miinused

- muudetakse ainult ühte väljundit kolmest mis, on tarvis võimsuse tõstmiseks
- juhtmoodulil on vale info tegelikult mootoris jõudva kütuse koguse kohta
- kütuse rõhu tõstmine alla 2000 p/min on mootorile ohtlik
- empiirilised kogemused näitavad, et põhjustab aegajalt mootori vearežiimi minekut
- võimsuse lisa empiirilistel kogemustel kuni 15% (eesmärgiks 40%)

4.1.2. Chip-tuning

Enamasti seisneb juhtmoodulis olevate pihustite kalibratsiooni tunnusväljade sätteväärtuste muutmisest. Pihustite kalibratsiooni tunnusväljade sätteväärtused seovad juhtmooduli jaoks ühisanuma rõhu ja pihustite avatuse aja pihustatava kogusega. Seega pikendades pihustite avatuse aega kirjeldatava koguse saavutamiseks on tulemuseks võimsuse suurenemine sest pihustatakse suurem kütuse kogus kui juhtmoodul soovib.

Plussid

- kiirelt teostatav
- võimalik saavutada tulemus ilma konkreetse juhtmooduli toimimisloogikat tundmata
- võrreldes chip-boxiga ohutum mootorile, kuna ei tõsteta kütuse rõhku alla 2000 p/min

Miinused

- muudetakse ainult ühte väljundit kolmest, mis on tarvis võimsuse tõstmiseks
- juhtmoodulil on vale info tegelikult mootoris jõudva kütuse koguse kohta
- pihustuse aja liigne pikendamine võib põhjustada liiga kõrget väljalaskegaaside temperatuuri ja sellega kahjustada mootorit ja turboülelaadurit
- võimsuse lisa empiirilistel kogemustel kuni 25% (eesmärgiks 40%)

4.1.3. Juhtmooduli ümberseadistamine

Seisneb juhtmoodulis olevate tunnusväljade sätteväärtuste muutmises, mis käsitlevad ühisanuma rõhku, pihustite avatuse aega, ülelaade rõhku, kütuse pihustamise algust, kütuse rõhku ja vajadusel komponentide vahetamisel ka komponentide kalibratsioonide vahetust. Lisaks veel mittevajalike komponentide deaktiveerimine.

Plussid

- empiirilistel kogemustel kuni 100% võimsuse lisa seega ainus sobilik meetod antud juhul
- võimalik muuta kõiki väljundeid mis on tarvis võimsuse tõstmiseks
- juhtmoodulil on korrektne info mootoris jõudva kütuse koguse kohta
- võimalus vahetada komponente mis piiravad soovitud tulemuse saavutamist

Miinused

- eeldab juhtmooduli toimimisloogika tundmist
- aja ja vahendite suur kulu

5. OM613 JUHTMOODULI EDC15C6 ÜMBERSEADISTAMINE

5.1. Eesmärgi saavutamiseks vajalik kütuse ja õhu kogus

Mercedes-Benz OM613 on neljataktiline, otsepritsesga, kuuesilindriline, reas silindrite paigutusega, vedelikjahutusega ühisanum-pritse (Common Rail) toitesüsteemiga turboülelaadimisega diiselmootor. Töömaht 3222 cm³. Maksimaalne võimsus 145 kW 4200 p/min. Maksimaalne väändemoment 470 Nm 1800 – 2600 p/min. [4, p. 391]

5.1.1. Eesmärgi täitmiseks vajaliku kütusekoguse leidmine

On teada maksimaalse väändemomendi ala 1800 – 2600 p/min ja maksimaalne võimsus 4200 p/min. Juhtmooduli tunnusväljast väändemomendi piiramiseks näeme selle väändemomendi ja võimsuse arendamiseks vajalikku kütusekogust ühe silindri töötaktis. Maksimaalse väändemomendi alas on 72 mm³/takt ja maksimaalsel võimsusel 59,2 mm³/takt (Tabel 1).

Tabel 1

Kütusekoguse piirang väändemomendi piiramiseks, p/min, mm³/takt .

500	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2400	2800	3000	3200	3600	3800	4000	4200	4400	4500	4600	4700
52	57	61	67	73	72.2	71	72	73	70	68	65	62	60.2	59.8	57	25	10	0

Vajalik diislikütuse mass m_e [mg/takt], mootori ühe silindri kohta töötaktis on arvutatav kasutades järgmist võrrandit(1), [5, p. 68]:

$$m_e = \frac{P \times b_e \times 33,33}{n \times z}, \quad (1)$$

kus P mootori võimsus kw
 b_e mootoripõhine kütuse erikulu g/kWh
 n mootori pöörlemissagedus p/min
 z mootori silindrite arv

Mootoripõhine kütuse erikulu on eelnevast võrrandist ainus tundmatu suurus seega avaldame eelnevast võrrandist $b_e(2)$

$$b_e = \frac{m_e \times n \times z}{P \times 33,33} \quad (2)$$

Juhtmooduli tunnusvälja väärtused on antud mahulise ühikuga mm^3/takt aga võrrandis massi ühikuna mg/takt . Ka diiselmootori liigõhutegur on defineeritud kui õhu massi ja kütuse massi suhe on arvutusteks mõistlik teisendada juhtmooduli tunnusvälja väärtused massiühikuteks. Diislikütuse tihedus on temperatuuril 15°C $820 \dots 845 \text{ kg}/\text{m}^3$ [5, p. 42]. Võtame keskmiseks väärtuseks $833 \text{ kg}/\text{m}^3$. Seega teisendamiseks massiühikuks korrutame $0,833$ ja saame maksimaalse väändemomendi alas $60 \text{ mg}/\text{takt}$ ja maksimaalsel võimsusel $50,15 \text{ mg}/\text{takt}$. Arvutades valemi (2) järgi leiame OM613 kütuse erikuluks $4200 \text{ p}/\text{min}$ $b_e = 261,5 \text{ g}/\text{kWh}$.

Et leida võimsuse 200 kW arendamiseks vajalikku kütuse kogust asetame valemisse (1) võimsuseks $P = 200 \text{ kW}$ ja kütuse erikuluks $4200 \text{ p}/\text{min}$ $b_e = 261,5 \text{ g}/\text{kWh}$. Saame tulemuseks, et võimsuse 200 kW arendamiseks $4000/\text{min}$ on tarvis pihustada silindrisse $m_e = 72,6 \text{ mg}/\text{takt}$. Teisendades selle mahuühikutesse saame $87,2 \text{ mm}^3/\text{takt}$.

Seega on tarvis pihustata silindrisse mootori pöörlemissagedusel $4000 \text{ p}/\text{min}$ $87,2 \text{ mm}^3/\text{takt}$ diislikütust, et arendada võimsust 200 kW

Et leida kütuse erikulu maksimaalse väändemomendi alas leiame võimsuse $2500 \text{ p}/\text{min}$. Mootori võimsus $P [\text{kW}]$ on leitav väändemomendi ja pöörlemissageduse seosena (3), [5, p. 27]

$$P = 2 \times \pi \times n \times M, \quad (3)$$

kus M mootori väändemoment Nm
 π konstant $3,14$

Arvutades valemi (3) järgi leiame mootori võimsuseks $2500 \text{ p}/\text{min}$ $P = 123 \text{ kW}$. Nüüd leiame OM613 kütuse erikulu $2500 \text{ p}/\text{min}$ valemi (2) järgi $2500 \text{ p}/\text{min}$ $b_e = 219,5 \text{ g}/\text{kWh}$.

Eesmärgiks on seatud arendada pöörlemissagedusel $2500 \text{ p}/\text{min}$ väändemomendi 650 Nm . Et valemi (1) abil leida selle väändemomendi arendamiseks vajalikku diislikütuse kogust teisendame valemi (3) abil eesmärgiks seatud väändemomendi Nm võimsuseks kW . Saame, et väändemomendi 650 Nm

korral pöörlemissagedusel 2500 p/min on mootori võimsuseks 170 kW. Saadud andmeid kasutades saame valemi (1) abil tulemuseks et on tarvis pihustada silindrisse $m_e = 83$ mg/takt. Teisendades selle mahuühikutesse saame $99,6 \text{ mm}^3/\text{takt}$.

Seega on tarvis pihustata silindrisse mootori pöörlemissagedusel 2500 p/min $99,6 \text{ mm}^3/\text{takt}$ diislikütust, et arendada eesmärgiks seatud väändemomenti 650 Nm.

Saadud tulemusi kinnitab erialane kirjandus öeldes, et mootori väljundvõimsus konstantsel efektiivsuse tasemel on otseselt proportsionaalselt seotud pihustatava diislikütuse kogusega [5, p. 68].

5.1.2. Eesmärgi täitmiseks vajaliku õhukoguse ja ülelaaderõhu leidmine

Liigõhutegur λ näitab kui palju on tegelikus õhu-kütuse segus silindris õhku rohkem kui stõhhiomeetrilises segus ($14,8 \text{ kg}$ õhku 1 kg kütuse kohta [1] ja $14,5 \text{ kg}$ õhku 1 kg kütuse kohta [2], [5, p. 64]). Stõhhiomeetriline segu näitab õhu massi kg mis on vajalik, et täielikult põletada 1 kg kütust. Ülelaadega diiselmootori liigõhutegur on täiskoormusel vahemikus $\lambda = 1,15 - 2,0$ ja tühikäigul $\lambda = 10 - 18$. [1, p. 280], [2, pp. 40-41], [5, p. 64]

Eelnevalt punktis 6.1.1 leidsime, et eesmärgiks seatud väändemomendi arendamiseks 2500 p/min on tarvis põletada 83 mg/takt diislikütust. Seega leiame vajaliku õhu massi korrutades kütuse massi stõhhiomeetrilise segu teguriga $14,8$ ja minimaalse liigõhuteguriga täiskoormusel $1,15$. Saame tulemuseks 1413 mg/takt õhku. Sama põhimõtet rakendades saame, et eesmärgiks seatud võimsuse arendamiseks 4000 p/min on tarvis 1236 mg/takt õhku.

Käsitletava OM613 töömaht on 3222 cm^3 ja see jaguneb võrdselt 6 silindri vahel [4, p. 391]. Seega ühe silindri töömaht 537 cm^3 ehk $0,537 \text{ l}$. Õhu tihedus atmosfäärirõhul 1 bar temperatuuril 15°C on $1,225 \text{ kg/m}^3$ [8]. Riigi Ilmateenistuse andmetel oli 2015 suve keskmine temperatuur Eestis $15,7^\circ\text{C}$ [9]. Seega on õhutihedus 15°C igati sobilik kasutamiseks. 1 l õhku omab massi $1,225 \text{ g}$ ehk 1225 mg . Ühe silindri maht on $0,537 \text{ l}$ ja seega silindrisse mahub atmosfääri rõhul 658 mg/takt õhku. Tegelikuses peame arvestama ka mahtefektiivsusega. Diiselmootoril on mahtefektiivsus λ_L sissevõetud õhumassi suhe teoreetiliselt võimaliku õhutäite suhtes ja ilma ülelaaderõhuta on mahtefektiivsus $\lambda_L = 0,6 - 0,9$ [1, p. 175]. Arvestades $\lambda_L = 0,8$ (kuna on muudetud vabamaks käsitletava mootori sisse- ja väljalaset) jõuab silindrisse $526,4 \text{ mg/takt}$ õhku.

Tihedus ρ on füüsikaline suurus, mis näitab aine massi ruumalaühikus (4), [10].

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (4)$$

kus

m aine mass kg
 V aine maht m^3

Õhku mahub silindrisse silindri mahul 0,573 l atmosfäärirõhul 1 bar, tihedusel $1,225 \text{ kg/m}^3$, mahtefektiivsusel $\lambda_L = 0,8$ 526,4 mg/takt. 2500 p/min on tarvis 1413 mg/takt õhku eesmärgiks seatud väändemomendi arendamiseks. 4000 p/min on tarvis 1236 mg/takt õhku eesmärgiks seatud võimsuse arendamiseks. Jagame vajaliku õhukoguse olemasoleva õhukogusega ja saame, et on tarvis 2,68 korda suuremat õhu massi 2500 p/min ja 2,35 korda suuremat õhu massi 4000 p/min. Seega tulenevalt valemist (4) on tarvis vastavalt 2,68 ja 2.35 korda suuremat õhutihedust. Korrutame õhutiheduse atmosfäärirõhul 2,68 ja saame, et on vajalik õhutihedus $3,283 \text{ kg/m}^3$ 2500 p/min. Korrutame õhutiheduse atmosfäärirõhul 2,35 ja saame, et on vajalik õhutihedus $2,879 \text{ kg/m}^3$ 4000 p/min.

Boyle-Mariotte'i seadus ütleb, et jääval temperatuuril on rõhu ja ruumala korrutis on konstantne (5), [1, p. 176]

$$pV = \text{konstant}, \quad (5)$$

kus

p rõhk Pa

Andres Talvari "Soojusfüüsika Alused" ütleb, et Boyle-Mariotte'i seaduse saab teisendada ka kujule (6), [11, p. 12]:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{p_2}{p_1}, \quad (6)$$

kus

ρ_1 gaasi tihedus esialgu kg/m^3
 ρ_2 gaasi tihedus pärast kg/m^3
 p_1 gaasi rõhk esialgu Pa
 p_2 gaasi rõhk pärast Pa

Ehk gaaside tihedused on võrdelises sõltuvuses nende absoluutsete rõhkudega [11, p. 12]. Et leida vajalikku ülelaaderõhku avaldame valemist (6) p_2

$$p_2 = \frac{\rho_2 p_1}{\rho_1}, \quad (7)$$

Asetades teadaolevad väärtused valemisse (7) same $p_2 = 2,68$ bar absoluutset rõhku ehk väändemomendi 650 Nm arendamiseks 2500 p/min on tarvis 1,68 bar ülelaaderõhku.

Valemit (7) kasutades saame, et võimsuse 200 kw arendamiseks 4000 p/min on tarvis 2,35 bar absoluutset rõhku ehk 1,35 bar ülelaaderõhku.

5.2. OM613 elektroonilise pritseregulaatori komponentide võimekuse hindamine

5.2.1. Pihustid

Eelnevalt punktis 6.1.1 leidsime, et 2500 p/min on vajalik pihustada 99,6 mm³/takt ja 4000 p/min 87,2 mm³/takt. Samas on piiratud võimalik pihustamise aeg otsepritsiga sõiduauto diiselmootoritel 32 - 38° vääntvõlli pöördenurgaga [5, p. 68]. Piirang tuleneb liiga varajase pihustamise alguse puhul silindris tekkivast liiga kõrgest rõhust ja temperatuurist. Väliselt tuvastatav mootorimüra märgatav suurenemine. Liiga hiline pihustamise lõpp põhjustab väljalaske gaaside temperatuuri järsu tõusu. Sellega ohustab turboülelaadurit, väljalaskeklappe ja põhjustab mootori ülekuumenemist. Väliselt tuvastatav väljalaskegaaside tahmasuse tõusuna [5, pp. 67,68].

Juhtmooduli tunnusväljast ühisanuma rõhu juhtimiseks on tuvastatav, et 2500 p/min on ühisanuma rõhk maksimaalselt 1200 bar (Lisa 13) ja pihustite kalibratsiooni tunnusväljast (Lisa 9) on tuvastatav, et 2500 p/min 99,6 mm³/takt pihustamine võtab aega 1200 bar ühisanuma rõhu korral 1827 µs.

Pöörlemissagedusel 2500 p/min teeb mootor 41,67 p/s (2500/60=41,67). 1s = 1 000 000 µs [9]. Seega 1 vääntvõlli pööre võtab aega 24 000 µs (1 000 000/41,67=24 000) ja üks pööre on 360° seega 1° = 66,67 µs (24 000/360=66,67). 99,6 mm³/takt pihustamine võtab aega 1200 bar ühisanuma rõhu korral 1827 µs. Seega 1827/66,67 ja leiame, et 2500 p/min 99,6 mm³/takt pihustamisele vastab 28° vääntvõlli pöördenurgale.

Juhtmooduli tunnusväljadest on tuvastatav, et 4000 p/min on ühisanuma rõhk maksimaalselt 1350 bar. $87,2 \text{ mm}^3/\text{takt}$ pihustamine 1350 bar ühisanuma rõhu korral mootori pöörlemissagedusel 4000 p/min võtab aega 1494 μs . Mootori pöörlemissagedusel 4000 p/min teeb mootor 66,67 p/s. $1\text{ s} = 1\,000\,000 \mu\text{s}$ [9]. Seega 1 väntvõlli pööre võtab aega 15 000 μs ja üks pööre on 360° seega $1^\circ = 41,66 \mu\text{s}$. Leiame, et $1494/41,66 = 36$. Seega 4000 p/min $87,2 \text{ mm}^3/\text{takt}$ pihustamisele vastab 36° väntvõlli pöördenurgale.

Vastavalt eelnevatele arvutustele on pihustamise aeg eesmärkide saavutamiseks vajalike kütusekoguste pihustamiseks maksimaalse võimaliku piiril.

Võimalikud lahendused:

- Ühisanuma rõhu tõstmine 10% 1485 bar
- Pihustite vahetamine suurema läbilaskevõimega pihustite vastu

Pihustist sõltub [5, p. 302]:

- juhtmooduli poolt määratud diisliküttekoguse täpne toimetamine põlemiskambrisse (pihustuse algus, pihustuse kestvus ja pihustatud kütuse kogus ajaühikus)
- diislikütuse olukord põlemiskambris (jugade arv, jugade kuju ja diislikütuse piiskade läbimõõt)
- diislikütuse levimine põlemiskambris

Seega on otstarbekas kontrollida olemasolevate pihustite olukorda stendis enne võimaliku lahenduse valikut. Vastavalt Diislimeister OÜ poolt teostatud kontrollile on kuuest pihustist viis normidele mittevastavad. Seega jääb ainsaks võimalikuks lahenduseks suurema läbilaskevõimega pihustite paigaldus.

5.2.2. Ühisanuma rõhu andur

Vastavalt ühisanuma rõhu anduri kalibratsiooni tunnusvälja sätteväärtustele on andur võimeline mõõtma rõhku kuni 1500 bar. Seega on võimalik tõsta ühisanuma rõhku kuni 10% ehk kuni 1485 bar.

5.2.3. Sisselaske rõhu andur

Vastavalt sisselaske rõhu anduri kalibratsiooni tunnusvälja sätteväärtustele on andur võimeline mõõtma absoluutset rõhku kuni 2,7 bar ehk ülelaaderõhku kuni 1,7 bar. Seda on varasemalt punktis

6.1.2 leitud vajalikule ülelaaderõhu arvutustele vähe kuna kaob võimalus tuvastada ülerõhu sätteväärtuste ületamist.

5.2.4. Kõrgrõhu pump ja turboülelaadur

Juhtmooduli sätteväärtuste tunnusväljadest ei ole võimalik otseselt järeldusi teha kõrgrõhu pumba ja turboülelaaduri võimekuse kohta. Samuti ei õnnestunud leida infot kirjandusest ega internetist. Seega jääb antud komponentide võimekuse hindamiseks üle ainult katsetamise võimalus.

5.3. Suurema läbilaskevõimega pihustite valik

5.3.1. Originaal pihustite info

Mercedes-Benz varuosaprogramm EPC annab tootekoodiks A6130700887 kuid ei anna infot pihustite omaduste kohta [6]. Pihustite visuaalsel vaatlusel on tuvastatav tootja Bosch ja Bosch-i tootekood 0 445 110 065. Bosch-i diagnostika ja varuosade tarkvara ESI[tronic] annab info, et pihusti koosneb omakorda 29 detailist ja annab nende tootekoodid kuid ei anna samuti detailset infot pihusti omaduste nagu avade arv, avade läbimõõt ja avade vaheline nurk. Samas on tuvastatav, et neid omadusi määrab ava tüüpi pihusti ots tootekoodiga 0 433 171 712. ESI[tronic] pihusti kontrolli ja seadistamise infost selgub, et maksimaalse kütusekoguse testis ühisanuma rõhul 1350 bar peab antud pihusti pihustama $75 - 78 \text{ mm}^3/\text{takt}$. Boschi pihusti otsa tootekoodiga 0 433 171 712 karbil on ka tähistus DLLA 156 P 1107. Tähistustega DLLA 156 P 1107 on käsitletav pihusti ots leitav ka järelturu pihustiotste valmistajate kataloogidest. Seega on antud tähise puhul tegu universaalse tootekoodiga.

Itaalia tootja Sevendiesel kodulehelt on allalaetav tootekataloog milles on detailne info antud tähistustele vastava pihusti kohta. Sevendiesel-i poolne tootekood on 7190141 ja selle vastav pihustiots on 6 avaga. Iga ava läbimõõt 0,165 mm ja nurk avade vahel 156°. Lühidalt $6 \times 0,165 \times 156^\circ$. Kataloogiga tutvudes võib veenduda, et DLLA tähistab mingit kindlat ühisanumpritse pihustiotsa tüüpi ja 156 tähistab nurka pihusti avade vahel. [13]

5.3.2. Suurema läbilaskevõimega pihusti valiku alused

Ühisanumpritsega diiselmootorites kasutatakse ava tüüpi pihustiotsi. Ava tüüpi pihustid jagunevad [5, p. 302]:

- P tüüpi pihustiotsad nõela läbimõõduga 4 mm
- S tüüpi pihustiotsad nõela läbimõõduga 5 või 6 mm suurematele mootoritele

Pihustiotsa avade asetus, avade arv ja läbimõõt sõltuvad [5, p. 302]:

- vajalikust kütuse kogusest
- põlemiskambri kujust
- õhu keerisest põlemiskambris

Pihustist sõltub [5, p. 302]:

- juhtmooduli poolt määratud diiselküttekoguse täpne toimetamine põlemiskambrisse (pihustuse algus, pihustuse kestvus ja pihustatud kütuse kogus ajaühikus)
- diislikütuse olukord põlemiskambris (jugade arv, jugade kuju ja diislikütuse piiskade läbimõõt)
- diislikütuse levimine põlemiskambris

Tulenevalt punktides 6.3.1 ja 6.3.2 peab suurema läbilaskevõimega pihustiotsa tähis algama DLLA 156 P. Sellega on määratud pihustiotsa tüüp ja pihusti nõela läbimõõt ning nurk pihusti avade vahel.

Pihustite koostöö juhtmooduliga on tagatud pihusti kalibratsiooni sätteväärtuste tunnusväljadega. Seega on oluline, et suurema läbilaskevõimega pihustitega kokku käivad kalibratsiooni sätteväärtuste tunnusväljad oleksid kasutatavas seadistatavas juhtmoodulis. EDC15C6 kasutab pihusti kalibratsiooni sätteväärtuste tunnusväljades seost ühisanuma rõhu, juhtmooduli poolt pihustatava kütusekoguse ja pihusti avatuse aja μ s (mikrosekundites) vahel. Samal eesmärgil kasutatakse ka seost ühisanuma rõhu, pihustatava kütusekoguse ja vääntvõlli või nukkvõlli pöördenurga ° (kraadides) vahel teist tüüpi juhtmoodulite korral [5, p. 68]. Sellest tulenevalt on vajalik suurema läbilaskevõimega pihustite päritolu samuti EDC15C6 juhtmoodulit kasutavast mootorist ehk Mercedes – Benz CR2 ühisanum toitesüsteemi kasutavast motorist.

Tulenevalt eelnevalt käsitletud otsepritsega diiselmootori teooriast ja õhukanaliohje eemaldamisega vähenenud õhu keerisliikumisest põlemiskambris on kasulikum saavutada pihusti suurem

läbilaskevõime pihustiotsa avade arvu suurendamisega avade läbimõõdu suurendamise asemel. Seega on sobivaim lahendus Mercedes – Benz CR2 ühisanum toitesüsteemist pärit pihustite kasutamine, mille pihustiotsa tähis algab DLLA 156 P ja pihustiotsal on rohkem kui 6 ava väiksema läbimõõduga kui 0,165 mm.

5.3.3. Suurema läbilaskevõimega pihusti valik

Itaalia tootja Sevendiesel kodulehelt allalaetavas tootekataloogis leidub DLLA 156 P 1059 avade valemiga $8 \times 0,155 \times 156^\circ$ [13]. Punktis 6.3.1 kasutatud lahendust vastupidiselt kasutades selgub, et antud pihustiotsa kasutatakse Mercedes – Benz veokitel Atego ja Axor mis kasutavad teist tüüpi juhtmoodulit ja 24V pinget elektrisüsteemis. Seega pole kahjuks kasutatav.

Kuna andmed pihustite kohta on raskesti ligipääsetavad siis alustan otsingut Mercedes–Benz sõiduautodel kasutatavate pihustite hulgast analüüsides mootorite võimsus ühe silindri kohta. Lahendus on kasutatav kuna erialane kirjandus ütleb, et mootori väljundvõimsus konstantsel efektiivsuse tasemel on otseselt proportsionaalselt seotud pihustatava diislikütuse kogusega [5, p. 68]. Seega, mida suurem võimsus silindri kohta, seda suurem pihusti läbilaskevõime.

Wikipedia andmetele tuginedes on valdav enamus CR1 ja CR2 Mercedes–Benz ühisanumpritsiga diiselmootoritest võimsusega 15 – 25 kw silindri kohta. Ainus erand on OM612.990 (kasutatakse C30 AMG mootorina) mille võimsus silindri kohta on 34 kw [14]. Seega uurime lähemalt selle pihusti andmeid.

Bosch-i diagnostika ja varuosade tarkvara ESI[tronic] annab info, et OM612.990 kasutatava Bosch-i pihusti tootekood on 0 445 110 151 ja pihusti otsa tootekood 0 433 171 798. Karbil ka DLLA 156 P 1265. ESI[tronic] pihusti kontrolli ja seadistamise infost selgub, et maksimaalse kütusekoguse testis ühisanuma rõhul 1350 bar peab antud pihusti pihustama $105 - 109 \text{ mm}^3/\text{takt}$. Punktis 6.2.2 selgus, et on võimalik kasutada ühisanuma rõhku kuni 1485 bar ja punktis 6.1.1, et on tarvis pihustata silindrisse mootoripöörlemissagedusel 2500 p/min $99,6 \text{ mm}^3/\text{takt}$ diislikütust ja 4000 p/min $87,2 \text{ mm}^3/\text{takt}$. Punktis 6.2.1 kasutatud arvutste põhimõttel ja tõstes ühisanuma rõhku 10% on võimalik OM612.990 juhtmooduli tunnusväljast pihustite kalibreerimiseks tuvastada, et 2500 p/min kestab vajaliku koguse pihustamine 23° ja 4000 p/min 30° . Ilmselt tulenevalt selle pihustiotsa tüübi vähesest levikust tulenevalt ei õnnestunud leida andmeid avade kohta. Küll aga selgub OM612.990 ja OM613 pihustite koostisosade nimekirja võrreldes, et enamus osi on identsed. Erinevus on ainult kasutatavas pihusti otsas. Seega on olemasolevad pihustid võimalik

pihusti otste ja kulu ning hooldusosade vahetamise ja seadistamisega viia uueväärsete OM612.990 pihustite olukorda. Vajalikud töö teostas Diislimeister OÜ, kes võimaldas ka Bosch-i diagnostika ja varuosade tarkvara ESI[tronic] kasutamist. Seadistamisel selgus, et pihustiotstel on 7 ava. Seega on saavutatud olemasolevate pihustite sobivus 650 Nm 2500 p/min ja 200 kW 4000 p/min saavutamiseks.

5.4. Suurema mõõtevahemikuga sisselaske rõhu anduri valik

Suurema mõõtevahemikuga sisselaske rõhu anduri valiku alused:

- mõõtevahemik vähemalt kuni 2 bar ülelaaderõhku
- sama kujundus ja kinnitus võrreldes originaaliga lihtsustamaks paigaldus
- juhtmoodulis olevate anduri kalibratsiooni sätteväärtuste tunnusväljade info kättesaadavus ja jaotus sama originaaliga.

Kaks viimast valiku alust annavad põhjuse valida Mercedes – Benz kasutatavate andurite hulgast.

Suurema mõõtevahemikuga sisselaske rõhu andurid leitud EPC info alusel [6]:

- A006 153 9928 kuni 2 bar ülelaaderõhku
- A007 153 0028 kuni 3 bar ülelaaderõhku

Kuna mõõtevahemik jaguneb 5 V pingele suhtes siis valin A006 153 9928 millega on tagatud suurem mõõtetäpsus.

5.5. Juhtmoodulist info lugemise, muutmise ja kirjutamise vahendid

Juhtmoodulist info lugemise, muutmise ja kirjutamise vahendite kasutamist võimaldas VKM Motors OÜ. Juhtmoodulist info lugemise ja kirjutamise vahendina kasutasin Itaalias Alientech-i poolt toodetud KESSv2 mis võimaldab info lugemist ja kirjutamist läbi OBD pistiku. Väljaloetud info avamiseks ja muutmiseks kasutasin Saksamaal EVC electronic-u loodud tarkvara WinOLS. Täna VKM Motorsit vahendite kasutamise võimaluse eest.

5.6. EDC15C6 mittevajalike komponentide deaktiveerimine

“Software-Funktionsbeschreibung EDC15C B079.CC0 Y 445 S00 003” [3] info abil lülitan vastavate sätteväärtust tunnusväljade lülitite abil välja heitgaasi retsirkulatsiooni, õhukanalite ohje ja järelpritse oksüdatsioonikatalüsaatori soojenduseks. Lisaks selgus käsitletav juhtmooduli sätteväärtuste tunnusväljade infoga tutvudes, et õhukulumõõtja infot kasutatakse ainult heitgaasi retsirkulatsiooni kontrolliks ja juhtmoodul kontrollib ka elektrilist küttekeha mootori kiiremaks töötemperatuuri saavutamiseks. Seega eemaldan ka õhukulumõõtja ja selle kontrollifunktsioonid ja lülitan välja elektrilise küttekeha juhtfunktsiooni. Lisaväärtusena on võimalik suurendada turboülelaadurisse jõudva õhutorustiku läbimõõtu ja sellega parendada turboülelaaduri töötingimusi. Turboülelaadurit juhitakse elektropneumaatilise survemunduri abil nukkvõllilt käitatava vaakumpumba tekitatud alarõhuga nagu ka heitgaasi retsirkulatsiooni süsteemi. Seega eemaldades heitgaasi retsirkulatsioonisüsteemi on ülelaaderõhu juhtimiseks tagatud parem alarõhuga varustatus. Järgnevad alapeatükid on samuti koostatud “Software-Funktionsbeschreibung EDC15C B079.CC0 Y 445 S00 003” [3] saadud infost lähtuvalt!

5.7. EDC15C6 pihustatava kütusekoguse ümberseadistamine

Juht annab omapoolse sisendi mootori töösse läbi gaasipedaali. Gaasipedaali asend protsentides seoses mootori pöörlemissagedusega moodustab juhi soovi sätteväärtuste tunnusvälja (Tabel 2). Tunnusvälja väärtused mm^3 . Nüüd ja edaspidi käsitlevad kõik sätteväärtuste tunnusväljad väärtuseid ühe silindri kohta!

Tabel 2

Juhi soovi sätteväärtuste tunnusväli tehaseseades

% p/min	1.0	1.1	1.2	20.0	40.0	60.0	90.0	100.0
0	0.00	0.00	0.00	21.30	45.70	66.26	87.50	90.00
630	0.00	0.00	0.00	17.50	40.66	61.37	85.50	90.00
1000	0.00	0.00	0.00	14.80	37.88	58.29	84.00	90.00
1600	0.00	0.00	0.00	11.95	33.89	54.18	81.50	90.00
2000	0.00	0.00	0.00	10.30	31.58	51.60	80.00	90.00
2800	0.00	0.00	0.00	8.05	28.43	47.98	77.50	90.00
3600	0.00	0.00	0.00	6.40	26.30	44.86	75.00	90.00
5000	0.00	0.00	0.00	4.80	23.15	41.70	72.50	90.00

Vastavalt 6.1.1 on eesmärgi täitmiseks vajalik kütusekogus 100 mm^3 . Seega suurendame juhi soovi sätteväärtuste tunnusvälja väärtuseid. Tehasepoolsest on küll juhi soov seadistatud suuremale väärtusele kui väändemomendi piirang 73 mm^3 kuid on olemas ka juhi soovi sätteväärtuse piirangu tunnusväli kus on piirang 100 mm^3 . Sellest tulenevalt jääb maksimaalseks väärtuseks 100 mm^3 (Tabel 3).

Tabel 3

Juhi soovi sätteväärtuste tunnusväli vastavalt eesmärkidele

% p/min	1.0	1.1	1.2	20.0	40.0	60.0	90.0	100.0
0	0.00	0.00	0.00	28.00	55.00	80.00	96.00	100.00
630	0.00	0.00	0.00	25.00	50.00	75.00	94.00	100.00
1000	0.00	0.00	0.00	22.00	47.00	72.00	92.00	100.00
1600	0.00	0.00	0.00	19.00	47.00	75.00	93.00	100.00
2000	0.00	0.00	0.00	17.00	50.00	78.00	96.00	100.00
2800	0.00	0.00	0.00	15.00	52.00	79.00	97.00	100.00
3600	0.00	0.00	0.00	13.00	49.00	74.00	96.00	100.00
5000	0.00	0.00	0.00	12.00	32.00	56.00	89.00	100.00

Mercedes – Benz EDC15 juhtmoodulid kasutavad lahendust kus juhi soovi sätteväärtused mm^3 teisendatakse väändemomendiks Nm silindri kohta (Lisa 1) ja seejärel Nm silindri kohta teisendatakse tegelikult pihustatavaks kütusekoguseks mm^3 (Lisa 3). Kirjeldatud lahendus võimaldab edastada infot teistele sõiduki komponentidele arendatava väändemomendi kohta ja võimaldab sekkuda teistel komponentidel mootori töösse. Näiteks automaatkäigukast ja veojõu ja stabiilsuskontroll.

Tehase seades mm^3 teisendus väändemomendiks Nm silindri kohta on seadistatud kuni 100 mm^3 (Lisa 1) mis vastab 2800 p/min väändemomendile 96 Nm silindri kohta. Seega kogu mootori kohta 576 Nm pöörlemissagedusel 2800 p/min. Sellega saame kinnitust eelnevalt punktis 6.1.1 tehtud vajaliku kütusekoguse arvutustele sest mootori efektiivsus paraneb kuna vähenevad kaod sisse – ja väljalaskes ja hobisõidukil pole vajadust pidada kinni keskkonnanormidest.

Kuna juhi soovi sätteväärtuste tunnusväljad seadistasin kuni 100 mm^3 aga väändemomendiks teisendus ja väändemomendist tegelikult pihustatavaks koguseks teisendus on juba tehaseseades kuni 100 mm^3 , siis pole tarvis neid ümber seadistada

Järgnevalt võrreldakse tegeliku pihustatava kütusekoguse tunnusvälja säteväärtust erinevate kogust piiravate tunnusväljade säteväärtustega ja pihustatakse vähim väärtus.

Tabel 4

Pihustatava kütusekoguse piirang piiramaks väändemomenti

p/min	500	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2400	2800	3000	3200	3600	3800	4000	4200	4400	4500	4600	4700
mm ³	52	57	61	67	73	72.2	71	72	73	70	68	65	62	60.2	59.8	57	25	10	0

Väändemomendi piirangu eesmärk on kaitsta mootorit ja ülejäänud sõidukit liigsuure mehaanilise koormuse eest. Et oleks võimalik eesmärgiks seatud võimsuse arendamine seadistan eelneva tabeli ümber järgnevalt:

Tabel 5

Pihustatava kütusekoguse piirang piiramaks väändemomenti vastavalt eesmärkidele

p/min	500	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2400	2800	3000	3200	3600	3800	4000	4200	4400	4500	4600	4700
mm ³	52	57	64	74	85	95	100	100	100	100	100	96	93	88	82	65	30	10	0

Suitsususe piirangu säteväärtuste tunnusväli kirjeldab mootori pöörlemissageduse p/min ja rõhu sisselaskekollektoris mbar suhtes pihustatava kütusekoguse piirangut mm³. Suitsususe piirangu säteväärtuste tunnusvälja (Lisa 3) eesmärgiks on tagada heitgaaside vähene suitsusisaldus ja sellega ka keskkonnale ohutus. Lisaks kaitseb mootori komponente liigse termilise koormuse eest mis tekiks liigõhutehuri vähenemisel. Käsitletav juhtmoodul kasutab avatud ahelaga kontrolli liigõhutehuri suhtes ja seega puudub tagasiside liigõhutehuri kohta. Sellest tulenevalt on tehaseseadistus ebaratsionaalselt suure liigõhutehuriga ehk on lubatud pihustada vähem kütust õhu massis suhtes kui hobisõidukil kasutades mõistlik. Et mõista paremini suitsususe piirangu säteväärtuste tunnusvälja teisendan kütuse ja õhu massi suhteks kasutades varasemalt punktis 6.1.2 kasutatud põhimõtteid (Lisa 4). Ülelaadega diiselmootori liigõhutehur on täiskoormusel vahemikus $\lambda = 1,15 - 2$. [1, p. 280], [2, pp. 40-41], [5, p. 64]. $\lambda = 1,15$ vastab kütuse ja õhu massi suhtele 1 osa kütust ja 17 osa õhku. Kütuse osakaalu suurendamisel suureneb võimsus aga tõuseb ka väljalaskegaaside temperatuur ja suitsusus. Seega on kütuse õhu suhe piiratud väljalaskegaaside temperatuuriga [5, p. 36]. Võrreldes erinevaid pihustatavat kütusekogust piiravaid säteväärtuste tunnusvälju võib järeldada, et suitsususe piirang määrab enamasti tegelikult pihustatava kütusekoguse. Seega on kindlasti vajalik antud säteväärtuste tunnusvälja järeseadistus dünamomeetrilisel stendil jälgides väljalaskegaaside temperatuuri.

Hetkel seadistan lähtuvalt teooriast ja arvestades, et tegu on hobisõidukiga kütuse ja õhu suhtele 1 osa 16 – le. (Lisa 5) ja teisendan kütusekoguseks (Lisa 6). Nagu näha lisast 6 on maksimaalne kütusekogus sisselaske rõhul 2300 mbar $90,83 \text{ mm}^3$. Varasemalt leitud punktis 6.1.2 on vajalik ülelaaderõhk maksimaalselt 2680 mbar. Samas esimesed kaks veergu kirjeldavad olukorda mida Eestis ei esine ehk olukorda kus tõustes merepinnast kõrgemale väheneb õhurõhk. Seega eemaldan (Lisa 5) esimesed kaks veergu ja lisan lõppu kaks uut veergu vastavalt vajalikule ülelaaderõhule (Lisa 7). Saadud tulemuse teisendan kütusekoguseks (Lisa 8). Sellega on saavutatud eesmärgiks seatud kütusekoguse lubamine suitsususe piirangu sätteväärtuse tunnusvälja läbi.

Lisaks on piiratud maksimaalne pihustatav kütusekogus väärtusele 95 mm^3 . Seatud eesmärkide täitmiseks suurendan väärtusele 100 mm^3 .

5.8. EDC15C6 pihustite kalibratsiooni ja ühisanuma rõhu seadistamine

Vastavalt punktis 6,3,3 kirjeldatule on pihustid viidud vastavusse C30 AMG mootori OM612.990 pihustitele. Et juhtmoodul oleks võimeline neid pihusteid korrektselt juhtima vahetan ka juhtmooduli pihustite kalibratsiooni sätteväärtuste tunnusväljad (Lisa 9 ja lisa 10) vastavate C30 AMG juhtmooduli tunnusväljadega (Lisa 11 ja lisa 12). Pihustite kalibratsiooni sätteväärtuste tunnusväli seob pihustatava kütusekoguse mm^3 ja ühisanuma rõhu bar pihusti avatuse ajaga μs saavutamaks soovitud pihustatavat kütusekogust. Lisaväärtusena saavutan sellega korrektse kalibratsiooni kuni kütusekoguse 110 mm^3 ja ühisanuma rõhuni 1500 bar.

Ühisanuma rõhu sätevärtuste tunnusväli seob pihustatava kütusekoguse mm^3 mootori pöörlemissagedusega p/min et leida arendatav ühisanuma rõhk bar. OM613 ühisanuma rõhk (Lisa 13) on seadistatud kuni pihustatava kütusekoguseni 80 mm^3 . C30 AMG ühisanuma rõhk (Lisa 14) on seadistatud kuni 100 mm^3 mis sobib seatud eesmärkidega. Et saavutada soovitud kütusekoguse pihustamine väiksema vänavõlli pöördenurga jooksul suurendan C30 AMG ühisanuma rõhku sätteväärtuste tunnusvälja väärtusi suurematel pöörlemissagedustel (Lisa 15) ja võtan saadud tulemuse kasutusele. Ühisanuma rõhk on piiratud maksimaalse ühisanuma rõhu sätteväärtuste tunnusväljaga (Tabel 6) mis seob sisselaske rõhu ja pöörlemissageduse ja maksimaalse rõhu väärtusega 1350 bar. Suurendan ühisanuma rõhu väärtusi kuni 1480 bar ja muudan sisselaske rõhku kirjeldava telje väärtusi vastavalt kuni 2700 mbar (Tabel 7).

Tabel 6

Maksimaalne ühisanuma rõhk

mbar p/min	650	850	1000	1100	1250	1350	1400	1700	1800	1900	2000	2100
200	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
620	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
800	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
1000	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
1250	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
1500	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350

Tabel 7

Maksimaalne ühisanuma rõhk vastavalt eesmärkidel

mbar p/min	1000	1100	1250	1350	1400	1700	1800	1900	2000	2100	2400	2700
200	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480
620	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480
800	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480
1000	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480
1250	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480
1500	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480	1480

Ühisanuma rõhku reguleerib ühisanuma rõhu reguleerklapp. Selle tööd juhitakse vastavalt ühisanuma reguleerklapi töötssükli säteväärtuste tunnusväljale (Tabel 8). Ühisanuma rõhku juhitakse vastavalt suletud ahela põhimõttele ja seega korrigeeritakse vastavalt ühisanuma rõhuandurilt saadud tagasisidele.

Tabel 8

Ühisanuma rõhu reguleerklapi säteväärtuste tunnusväli tehaseseades

bar p/min	250	400	600	700	800	1000	1200	1350
500	17.2	27	30	30.5	31.2	37.1	43.9	47
600	15	20	25.3	28	31.2	37.1	43.9	47
1200	15	20	25.3	28	31.2	37.1	43.9	47
1600	15	20	24.7	27.8	31.2	37.1	43.9	47
2000	15	20	24.4	27.5	30.8	37.1	43.9	47
2300	15	20	23.4	26.7	29.9	37.1	43.9	47
3600	15	20	23.4	26.2	28.8	35.8	43.9	47
5000	15	20	23.4	25.8	28.2	35.4	43.5	47

Ühisanuma rõhu reguleerklapi sätteväärtuste tunnusväli on seadistatud kuni 1350 bar. Vastavalt eesmärkidele seadistan kuni 1480 bar ja lisan ka töötükli väärtusele 10 % viimasesse veergu (Tabel 9). Kasutatava ühisanuma rõhu maksimaalne väärtus on piiratud ka üksiväärtuse piirajaga 1350 bar. Selle muudan 1485 bar väärtusele. Kütuserõhu seadistuste toimivust kontrollin läbi diagnostikaseadmete ja vajadusel seadistan dünamomeetrilisel stendil testides.

Tabel 9

Ühisanuma rõhu reguleerklapi sätteväärtuste tunnusväli vastavalt eesmärkidele

bar p/min	250	400	600	700	800	1000	1200	1485
500	17.2	27	30	30.5	31.2	37.1	43.9	52
600	15	20	25.3	28	31.2	37.1	43.9	52
1200	15	20	25.3	28	31.2	37.1	43.9	52
1600	15	20	24.7	27.8	31.2	37.1	43.9	52
2000	15	20	24.4	27.5	30.8	37.1	43.9	52
2300	15	20	23.4	26.7	29.9	37.1	43.9	52
3600	15	20	23.4	26.2	28.8	35.8	43.9	52
5000	15	20	23.4	25.8	28.2	35.4	43.5	52

5.9. Ülelaaderõhu seadistamine

Ülelaaderõhu sätteväärtuste tunnusväli (Tabel 10) seob pihustatava kütusekoguse mm^3 ja mootori pöörlemissageduse p/min ülelaaderõhu väärtusega absoluutse rõhuna mbar.

Tabel 10

Ülelaaderõhu sätteväärtuste tunnusväli tehaseseades

mm³ p/min	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
750	1010	1010	1010	1035	1060	1080	1100	1108	1114	1120	1126	1130
1000	1020	1020	1020	1045	1065	1120	1150	1220	1270	1272	1274	1276
1200	1030	1030	1030	1056	1110	1140	1170	1250	1480	1490	1500	1510
1600	1050	1050	1050	1100	1220	1290	1330	1620	1880	2040	2180	2200
2000	1100	1100	1100	1160	1222	1300	1420	1770	2100	2220	2350	2350
2400	1140	1140	1140	1190	1230	1360	1570	1800	2100	2260	2350	2350
2800	1150	1150	1150	1200	1240	1430	1650	1850	2100	2260	2350	2350
3200	1150	1150	1150	1230	1350	1480	1650	1850	2090	2250	2290	2290
3600	1150	1150	1150	1230	1320	1460	1630	1800	2050	2210	2270	2270
4200	1150	1150	1150	1230	1300	1400	1570	1790	2000	2090	2095	2100
4400	1150	1150	1150	1230	1300	1400	1500	1750	1960	2040	2040	2040
4600	1150	1150	1150	1230	1300	1400	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Nagu näha on tehaseseades ülelaaderõhk seadistatud kuni 2350 mbar ja 80 mm³ pihustatavat kütust. Kuna kolm esimest veergu on identsete väärtustega võib eemaldada kaks esimest ja lisada lõppu kaks uut veergu väärtusega 90 ja 100 mm³. Uued veerud täidan vastavalt varasemalt punktis 6.1.2 leitud eesmärgi saavutamiseks ja korrektse kütuse ja õhu suhte säilitamiseks vajalike ülelaaderõhu väärtustega. Saadud tulemused järgnevas tabelis (Tabel 11).

Tabel 11

Ülelaaderõhu sätteväärtuste tunnusväli seadistatud vastavalt eesmärkidele

mm³ p/min	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
750	1010	1035	1060	1080	1100	1108	1114	1120	1126	1130	1140	1160
1000	1020	1045	1065	1120	1150	1220	1270	1272	1274	1278	1280	1290
1200	1030	1056	1110	1140	1170	1250	1480	1490	1500	1510	1520	1530
1600	1050	1100	1220	1290	1330	1620	1880	2040	2180	2340	2425	2200
2000	1100	1160	1222	1300	1420	1770	2100	2220	2300	2350	2510	2680
2400	1140	1190	1230	1360	1570	1800	2100	2260	2300	2350	2510	2680
2800	1150	1200	1240	1430	1650	1850	2100	2260	2300	2350	2510	2680
3200	1150	1230	1350	1480	1650	1850	2090	2250	2290	2350	2510	2680
3600	1150	1230	1320	1460	1630	1800	2050	2210	2270	2350	2510	2615
4200	1150	1230	1300	1400	1570	1790	2000	2090	2100	2340	2350	2350
4400	1150	1230	1300	1400	1500	1750	1960	2040	2040	2040	2040	2040
4600	1150	1230	1300	1400	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Ülelaaderõhku korrigeeritakse sisselaske õhutemperatuuri suhtes (Tabel 12).

Tabel 12

Ülelaaderõhu korrigeerimine sisselaske õhutemperatuuri suhtes

°C mbar	-10	20	35	50	60	75	90	105	120	135
700	792	732	712	700	680	650	645	638	625	624
850	953	894	869	850	830	800	796	786	779	773
1000	1119	1046	1020	1000	980	950	940	934	922	912
1200	1358	1268	1234	1200	1177	1142	1119	1107	1090	1079
1400	1595	1484	1443	1410	1382	1331	1286	1253	1230	1214
1600	1797	1674	1629	1598	1567	1511	1456	1414	1383	1360
1800	2022	1892	1844	1805	1760	1707	1643	1593	1553	1523
2000	2264	2092	2033	1995	1947	1875	1815	1764	1714	1673
2200	2487	2301	2234	2190	2140	2065	1983	1920	1873	1822
2400	2663	2478	2403	2377	2317	2228	2154	2094	2031	1980

Nagu näha on kaks esimest rida Eesti ja hobisõiduki tingimustes ebaolulised. Seega eemaldan algusest kaks esimest rida ja lisan lõppu kaks uut rida 2550 ja 2700 mbar. Korrektsiooni väljad täidan lähtuvalt tehaseseadistuse loogikast. Sisselaske õhutemperatuuri üle 100°C pean ohu märgiks ja seega ülelaaderõhku ei tõsta selles alas. Tulemus järgneb (Tabel 13).

Tabel 13

Ülelaadrõhu korrektsioon sisselaske õhutemperatuuri suhtes vastavalt eesmärkidele

°C mbar	-10	20	35	50	60	75	90	105	120	135
1000	1119	1046	1020	1000	980	950	940	934	922	912
1200	1358	1268	1234	1200	1177	1142	1119	1107	1090	1079
1400	1595	1484	1443	1410	1382	1331	1286	1253	1230	1214
1600	1797	1674	1629	1598	1567	1511	1456	1414	1383	1360
1800	2022	1892	1844	1805	1760	1707	1643	1593	1553	1523
2000	2264	2092	2033	1995	1947	1875	1815	1764	1714	1673
2200	2487	2301	2234	2190	2140	2065	1983	1920	1873	1822
2400	2663	2478	2403	2377	2317	2228	2154	2094	2031	1980
2550	2850	2600	2550	2500	2460	2400	2350	2200	2031	1980
2700	3000	2800	2700	2650	2550	2450	2350	2200	2031	1980

Ülelaaderõhku piiratakse atmosfäärirõhu mbar ja pöörlemissageduse p/min suhtes (Tabel 14).

Tabel 14

Ülelaaderõhu piirang atmosfääri rõhu ja pöörlemissageduse suhtes

p/min mbar	550	750	1000	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4200	4800
600	1160	1160	1160	1196	1316	1440	1446	1442	1376	1282	1130	1010
700	1300	1300	1300	1369	1511	1645	1661	1620	1544	1437	1282	1145
750	1400	1400	1400	1490	1663	1793	1803	1767	1683	1581	1422	1295
800	1485	1485	1485	1591	1800	1930	1942	1892	1832	1726	1550	1430
850	1505	1505	1505	1643	1892	2030	2040	1992	1930	1830	1675	1540
900	1530	1530	1530	1704	1991	2130	2140	2120	2050	1960	1782	1635
920	1575	1575	1575	1779	2112	2250	2250	2230	2180	2120	1970	1860
1000	1605	1605	1605	1843	2200	2350	2350	2350	2290	2250	2100	2000

Tulenevalt Eesti kõrgusest merepinna suhtes on olulised ainult kaks viimast rida [15]. Need seadistan ümber vastavalt eesmärkidele. Tulemus järgneb (Tabel 15).

Tabel 15

Ülelaaderõhu piirang atmosfääri rõhu ja pöörlemissageduse suhtes vastavalt eesmärkidele

p/min mbar	550	750	1000	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4200	4800
600	1160	1160	1160	1196	1316	1440	1446	1442	1376	1282	1130	1010
700	1300	1300	1300	1369	1511	1645	1661	1620	1544	1437	1282	1145
750	1400	1400	1400	1490	1663	1793	1803	1767	1683	1581	1422	1295
800	1485	1485	1485	1591	1800	1930	1942	1892	1832	1726	1550	1430
850	1505	1505	1505	1643	1892	2030	2040	1992	1930	1830	1675	1540
900	1530	1530	1530	1704	1991	2130	2140	2120	2050	1960	1782	1635
920	1575	1575	1575	1820	2400	2600	2600	2600	2600	2550	2200	1860
1000	1605	1605	1605	1900	2500	2700	2700	2700	2700	2650	2400	2000

Kõik eelnev ülelaaderõhu seadistamise kohta käsitleb ülelaaderõhu soovitud väärtuse kalkuleerimist juhtmooduli poolt. Otsene ülelaaderõhu juhtimine toimib läbi elektropneumaatilise regulaatori vastavalt punktis 2.8.3 kirjeldatule. Elektropneumaatilise regulaatori töö juhtimiseks on kaks sätevärtuste tunnusvälja. Tunnusväljad seovad pihustatava kütusekoguse ja mootori pöörlemissagedusega elektropneumaatilise regulaatori töösükliga. Elektropneumaatilise regulaatori töösükli tunnusväli (Tabel 16) milles olevad sätevärtused on töö aluseks. Ülelaaderõhku juhitakse suletud ahela põhimõttel seega kohandatakse töösükli vastavalt tegelikult saavutatud ülelaaderõhu tagasisidele.

Tabel 16

Elektropneumaatilise regulaatori töösükkel tehaseseades

mm³ p/min	18.2	36.39	54.59	72.78	90.98	109.2	127.4	145.6
650	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
1000	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
1500	85.00	80.00	78.00	76.00	75.00	74.00	70.00	64.00
2000	80.00	75.00	72.00	70.00	69.00	65.00	58.00	50.00
2500	74.00	67.00	65.00	63.00	61.00	57.00	51.44	44.50
3000	68.00	60.00	58.00	56.00	53.00	50.00	45.50	40.50
3500	60.00	53.00	50.00	47.00	45.00	41.00	39.00	37.50
4000	49.00	46.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4100	48.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4300	46.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4500	45.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4800	45.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00

Maksimaalne töötükk on piiratud elektropneumaatilise regulaatori maksimaalse töötüki tunnustväljaga (Tabel 17).

Tabel 17

Elektropneumaatilise regulaatori maksimaalne töötükk tehaseseades

mm³ p/min	18.2	36.39	54.59	72.78	90.98	109.2	127.4	145.6
1000	90	90	90	90	90	90	90	90
2000	90	90	90	90	75	75	80	80
3000	71	71	75	75	70	70	71	71
3500	69	69	69	69	68	68	68	68
4000	67	67	67	67	66	66	66	66
4500	65	65	65	65	65	65	65	65

Toetamaks eesmärgiks seatud ülelaaderõhu saavutamist lisan mõned protsendid elektropneumaatilise regulaatori töötüklile (Tabel 18).

Tabel 18

Elektropneumaatilise regulaatori töötükk vastavalt eesmärkidele

mm³ p/min	18.2	36.39	54.59	72.78	90.98	109.17	127.37	145.56
650	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
1000	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
1500	85.00	80.00	80.00	80.00	80.00	74.00	70.00	64.00
2000	80.00	78.00	76.00	74.00	72.00	70.00	58.00	50.00
2500	76.00	71.00	68.00	65.00	64.00	60.00	51.44	44.50
3000	70.00	64.00	62.00	59.00	55.00	52.00	45.50	40.50
3500	62.00	55.00	52.00	49.00	47.00	42.00	39.00	37.50
4000	49.00	46.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4100	48.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4300	46.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4500	45.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00
4800	45.00	45.00	45.00	44.00	42.00	38.00	37.50	37.00

Täpsem seadistamine dünamomeetrilisel stendil vastavalt saavutatavale ülelaaderõhule ja tekkivale vastusurvele väljalaskes.

5.10. Pihustuse alguse seadistamine

Pihustuse algus on määratud pihustuse alguse säteväärtuste tunnusväljadega (Lisad 16, 17 ja 18), kus seotakse pihustuse algus pihustatava kütusekoguse ja mootori pöörlemissagedusega. Pihustuse algust kirjeldatakse survetakti lõpul ülemise surnud seisu suhtes vāntvōlli nurgaga °(kraadides). Positiivsed vārtused enne ülemist surnud seisu ja negatiivsed vārtused pärast ülemist surnud seisu.

Uute pihustite ja kõrgema ühisanuma rõhuga kestab sama kütusekoguse pihustamine lühemat aega. Seega lihtsa loogika alusel on tarvis muuta pihustuse algust hilisemaks. Samas on eemaldatud heitgaasi retsirkulatsiooni süsteem, aga on märgata heitgaasi retsirkulatsiooni kasutamise alas hilisemat pihustuse algust. Lisaks on tehaseseades pihustuse algus seadistatud kuni 80 mm³. Tehase seades on pihustuse algus seadistatud kindlasti ka suuresti keskkonna normidest tulenevatele piirangutele vastavalt. Need piirangud aga pole hobisōiduki puhul olulised. Seega seadistan põhipritse säteväärtuse tunnusväljad 2° hilisemaks ja eelpritse säteväärtuse tunnusväljad 1° hilisemaks. Esimese kolme veeru põhipritse säteväärtuste tunnusväljadel, mis kirjeldavad 0, 1 ja 2 mm³ pihustamisel kasutatavat pihustamise algust, on identsed. Seega eemaldan veerud, mis kirjeldavad 1 ja 2 mm³, ja lisan lõppu veerud mis kirjeldavad 90 ja 100 mm³. Tulemused lisades (Lisad 19, 20 ja 21). Täpsem seadistus dünamomeetrilisel stendil vastavalt hobisōidukile vajaliku maksimaalse võimsuse ja vāändemomendi saavutamiseks.

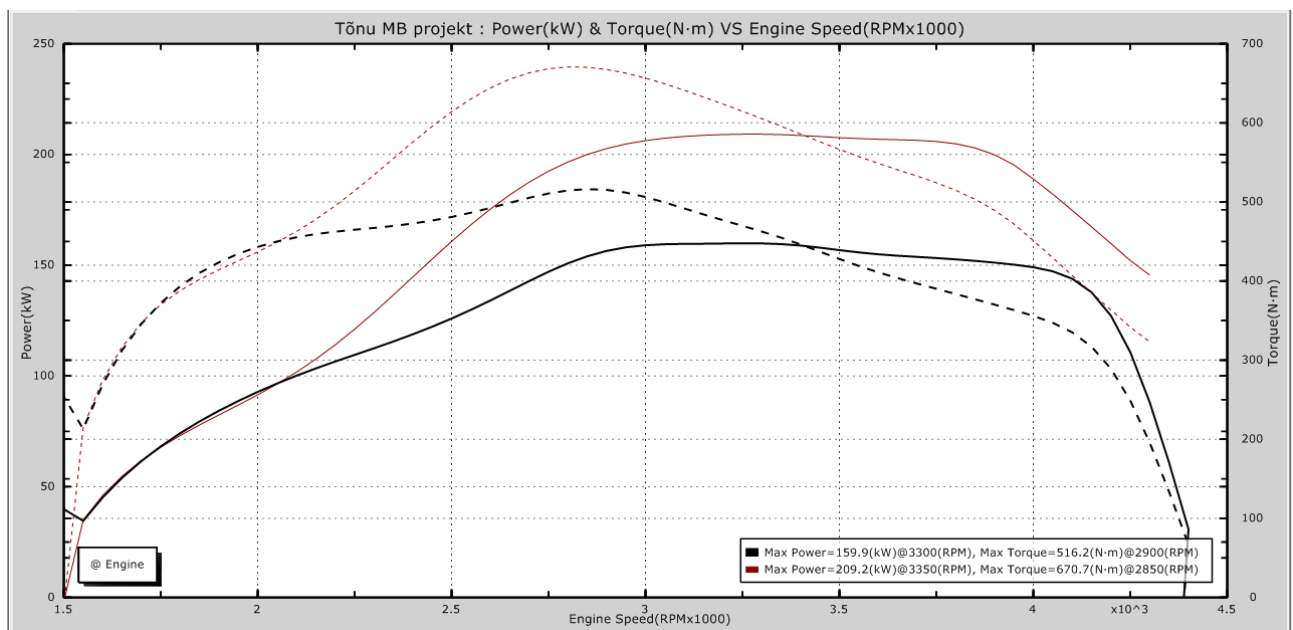
5.11. Dünamomeetrilise stendi mõõtetulemused ja järeldused

Saavutamaks ülevaadet mootoris toimuvast paigaldan dünamomeetrilisel stendil mõõtmisteks mootorile väljalaskekollektorisse väljalaskegaaside temperatuuri anduri ja eemaldatud heitgaaside retsirkulatsioonisüsteemi väljundile plokikaanest heitgaaside vasturōhu kella.

Dünamomeetrilise stendi kasutamist võimaldas VKM Motors OÜ. Dünamomeetrilise stendi tulemused on saadud kasutades Dynocom AWD5000 seadet [16]. Mõõtmised teostatud vastavalt kasutusjuhendile otseülekandega käigul (ülekandearv 1:1). Käsitletav hobisōiduk kasutab Mercedes – Benz W210 E320CDI automaatkāigukasti tēhisega 722.6 W5A580. Vastavalt Wikipediale on sellel kāigukastil otseülekanne neljandal kāigul [17]. Automaatkāigukast kasutab jõu ülekanmiseks vāntvōllilt kāigukasti vedavale vōllile hüdrotrofot. Hüdrotrofa ei lukustu 100% ja seega moonutab mõõtetulemust. Lisaks on automaatkāigukastil funktsioon millega jāsul gaasipedaali vajutusel

vahetatakse käik alla ja seda ka käsitsi käiguvahetuse režiimis [2, p. 399]. Käigu allavahetus funktsioon ei võimalda saavutada dünamomeetrilisel stendil tehase andmeid väändemomendis (470 Nm 1800 – 2600 p/min) ega ka eesmärgiks seatud väändemomenti 650 Nm 2500 p/min enne kui 2700 p/min, sest gaasipedaali tuleb vajutada sujuvalt põhja, et hoiduda käigu allavahetusest kolmandale käigule. Sõiduki veerekaoks on valitud 15%.

Esialgu oli plaanis mõõta võimsus tehaseseades hobisõidukil mittevajalike komponentide eemaldamise järel kuid, pihustite halb olukord ei võimaldanud seda. Dünamomeetrilise stendi mõõtetulemusel (Sele 8) mustaga märgitud kirjeldab tulemust mis on saavutatud C30 AMG pihusteid kasutades (pihustite kalibratsiooni sätteväärtuste tunnusväljad C30 AMG juhtmooduli tarkvarast) tehaseseades määratud kütusekoguse ja ülelaaderõhuga, kuid mittevajalikud komponendid eemaldatud.



Sele 8. Dünamomeetrilise stendi mõõtetulemused

Nagu näha on saavutatud 15 kW suurem võimsus 900 pööret madalam pöörlemissagedusel kui tehaseandmetes ja 46 Nm suurem väändemoment 300 pööret suuremal pöörlemissagedusel kui tehaseandmetes. Seega võib järeldada, et heitgaaside retsirkulatsioonisüsteemi ja õhukanali ohje eemaldamisega vabamaks muutunud õhu sissepääs mootoris koos oksüdatsioonikatalüsaatori eemaldamisega vabamaks muutunud väljalaskega on mõjunud positiivselt mootori võimsusele ja pöördemomendile. Osa kasvanud võimsusest ja pöördemomendist tuleb ka selle arvelt, et C30 AMG pihustid pihustavad sama kütusekoguse lühema aja jooksul ja seega jõuab osa kütusest silindrisse varem kui tehaseseades.

Mõõtetulemusel (Sele 8) pruuniga märgitud kirjeldab tulemust mis on saavutatud eelnevalt kirjeldatud seadistuse tulemusel tuues veel lisaks pihustamise algust varasemaks suurematel pöörlemissagedustel ja koormustel kuni 2°. Sellega on saavutatud väändemomendi väiksem langus pärast 3000 p/min. Tulemusi võrreldes näib, et väändemoment ega ka võimsus pole kasvanud kuni 2100 p/min. Tegelikult on tulemuste kokkulangevus kuni 2100 p/min põhjustatud käigukasti käigu allavahetuse funktsioonist mis ei võimalda gaasipedaali vajutada rohkem enne 2100 p/min. Sõites jälgides läbi diagnostikaseadme pihustatavat kütusekogust saavutatakse kolmandal käigul juba 2400 p/min pihustatav kütusekogus 99 mm³/takt ja seega on kindlasti saavutatud ka eesmärgiks seatud 650 Nm 2500 p/min. Eesmärgiks seatud võimsuse 200 kW 4000 p/min arendamisel sai takistuseks turboülelaaduri tootlikkus suurtel pöörlemissagedustel. Ülelaaderõhk langeb ja sellega automaatselt väheneb ka pihustatav kütusekogus ja langeb arendatav võimsus. Küll aga õnnestus võimsust rohkem kui 200 kW arendada 2800 – 3800 p/min. Dünamomeetrilise stendi Dynocom AWD5000 juurde kuulub ka õhu ja kütuse suhte mõõteseade mis on võimeline mõõtma kuni 1 osa kütust 16 osale õhule. Selline vahemik tuleneb sihtotstarbest bensiinimootoritel kasutamiseks. Mõõteseade ei tuvastanud kordagi segu 16 või rikkamat ja minimaalne heitgaaside tahmasus kinnitavad seadistuse korrektsust.

Kütuse ja õhusegu mitte jõudmine suhteni 1 osa kütust ja 16 osa õhku viitab paremale mahtefektiivsusele kui eelnevalt punktis 6.1.2 valitud mahtefektiivsus $\lambda_L = 0,8$. Seega on käsitletavat mootorit võimalik seadistada veel suuremat võimsust arendama võttes arvutuste aluseks paremat mahtefektiivsust, pihustades suuremat kütusekogust ja vahetades turboülelaaduri või vähemalt selle kompressori poole võimekama vastu, et saavutada suuremat ülelaaderõhku ja ülelaaderõhu tootlikust kõrgemal pöörlemissagedusel. Lisaks on tarvis veel vahetada kõrgrõhupump suuremat rõhku arendava ja suurema mahulise tootlikkusega CP3 tüüpi kõrgrõhu pumba vastu ja ühisanuma rõhu andur vastavalt suurema mõõtevahemikuga anduri vastu. Kirjeldatud modifikatsioonide järel näen võimalust arendada väändemomenti kuni 800 Nm 3000 p/min ja võimsust kuni 260 kW 3800 p/min.

5.12. Eelarve

Eelarve (Tabel 19) on koostatud arvestades kliendile teenuse osutamist Mercedes-Benz OM613 seadistamiseks võimsuseni 200 kW ja pöördemomendini 650 Nm. Teenuse osutamiseks vajalike teadmiseni jõudmine on võtnud aega umbes 1500 tundi kuid see aeg tuleb arvestada tootearenduskuluna. Kliendile on võimalik müüa dünamomeetrilisel stendil seadistust 8 tundi, mittevajalike komponentide eemalduseks kuluvat aega 3 tundi ja pihustite ning ülelaaderõhuanduri eemalduse ja paigalduse aega 2 tundi. Kuna tegu on juba 15 aastat vana tehnikaga, siis võib lisanduda rikete diagnoosmiseks ja vajadusel mittetoimivate komponentide vahetuseks kuluvat aega ja komponentide vahetuse kulusid. Sellest võimalusest tuleb klienti kindlasti eelnevalt teavitada!

Tabel 19

Mercedes – Benz OM613 seadistamise eelarve (hinnad koos käibemaksuga)

Teostatav töö või vahetatav detail	Hind EUR	Kogus	Kokku EUR
Pihustite eemaldus ja paigaldus	43.00	2 h	86.00
Pihustite uuendus C30 AMG vastavaks	186.00	6 tk	1116.00
Mittevajalike komponentide eemaldamine	43.00	3 h	129.00
Dünamomeetrilisel stendil seadistus	100.00	8 h	800.00
Rõhuandur A006 153 9928	69.00	1 tk	69.00
Teostatavad tööd ja detailid kokku EUR	2200.00		

KOKKUVÕTE

Mercedes-Benz ühisanum-toitesüsteemiga ja elektroonilise pritseseadmega EDC15C6 diiselmootor OM613 on edukalt kasutatav hobisõiduki jõuallikana. Õppides tundma antud mootoritüübi eripärasid ja diiselmootori teooriat ning elektroonilise juhtmooduli toimeloogikat on võimalik eemaldada hobisõidukile mittevajalikud komponendid ja seadistada käsitletav diiselmootor arendama hobisõidukile vajalikku pöördemomenti ja võimsust.

Diiselmootori teooriast selgub, et põhivahend pöördemomendi ja võimsuse suurendamiseks on pihustatava kütusekoguse suurendamine. Diiselmootori võimsust reguleeritakse pihustatava kütuse kogusega reguleerides seda pihustite avatuse aja ja ühisanuma rõhuga. Diiselmootori arendatav pöördemoment ja võimsus on proportsionaalselt seotud pihustatava kütusekogusega. Kuna pihustuse kestvus on piiratud väntvõlli pöördenurga suhtes ja pöördenurga 1° kestvus ajaliselt väheneb pöörlemissageduse kasvades siis on vajalik ajaühikus suurema kütusekoguse pihustamise võimega pihustite paigaldus. Ülelaaderõhu tõstmise vajadus ja määr on arvutatav eesmärgiks seatud pöördemomendi ja võimsuse arendamiseks vajaliku pihustatava kütusekoguse alusel. Täpsem järeleseedistus dünamomeetrilisel stendil koos väljalaskegaaside temperatuuri ja rõhu jälgimisega on vajalik kuna pihustatava kütusekoguse suurenedes suureneb küll arendatav väändemoment ja võimsus aga tõuseb ka väljalaskegaaside temperatuur. Diiselmootorite pihustatav kütusekogus on piiratud tekkiva väljalaskegaaside temperatuuri suhtes. Väljalaskegaaside temperatuuri vähendamiseks on tarvis suurendada liigõhutegurit ehk sama kütusekoguse juures tõsta ülelaaderõhku. Seega on teine oluline komponent, peale pihustite, turboülelaadur. Kolmas oluline komponent on kõrgrõhupump mille ülesandeks on toota piisavas koguses ja rõhuga diislikütust.

Ainult pritseregulaatori komponentide vahetuse ja juhtmooduli täieliku ümberseadistamisega on võimalik suurendada pöördemomenti ja võimsust rohkem kui 25%. Laiemalt levinud Chip-Box ja Chip-tuuning võimaldavad suurendada pöördemomenti ja võimsust 5 – 25%.

Pihustid ja muud elektroonilise pritseseadme andurid ja täiturid on vahetatavad vastavalt vajadusele vahetades ka juhtmoodulis olevad kalibratsioonide sätteväärtuste tunnusväljad. Seejärel on võimalik seadistada elektrooniline pritseregulaator töötama senisest märksa suurema

kütusekoguse, kütuserõhu, ülelaaderõhu ja muu vajalikuga ning sellega saavutada algsest oluliselt suurema pöördemomendi ja võimsuse arendamine. Pihustatavast kütusekogusest maksimaalse pöördemomendi ja võimsuse arendamiseks ning heitgaaside temperatuuri normi piires hoidmiseks on esmatähtis seadistuse komponent pihustuse algus.

Dünamomeetrilise stendi mõõtetulemuse alusel saavutatakse eesmärgiks seatud väändemoment 650 Nm alles 2700 p/min. See on põhjustatud kasutatava automaatkäigukasti käigu allavahetuse funktsioonist mis ei võimalda dünamomeetrilisel stendil gaasipedaali piisavalt vajutada enne 2100 p/min ilma käiku alla vahetamata. Sõites, jälgides läbi diagnostikaseadme pihustatavat kütusekogust, saavutatakse 99 mm³ pihustamine kolmandal käigul juba 2400 p/min ja sellega on tagatud ka eesmärgiks seatud väändemomendi 650 Nm 2500 p/min arendamine. Eesmärgiks seatud võimsuse 200 kW 4000 p/min arendamisel sai takistuseks turboülelaaduri tootlikkus suurel mootori pöörlemissagedusel. Küll aga õnnestus võimsust rohkem kui 200 kW arendada 2800 – 3800 p/min tulenevalt dünamomeetrilise stendi mõõtetulemusest. Heitgaaside tahmavabaduse kinnituseks on lisa 22 milleks on tehnöülevaatuse punktis teistatud heitgaaside tahmasuse mõõtmise sertifikaat. Maksimaalseks lubatud tahmasuse väärtuseks k on 3. Kome mõõtmise keskmine tulemus pärast seadistust on k 0,4 (Lisa 22). Turboülelaaduri, kõrgrõhu pumba ja ühisanuma rõhu anduri vahetuse järel näen võimalust seadistada käsitletav mootor arendama väändemomenti kuni 800 Nm 3000 p/min ja võimsust kuni 260 kW 3800 p/min.

Seni saavutatud võimsusele seadistamise teenust on võimalik osutada kliendile hinnaga alates 2200 EUR koos käibemaksuga.

SUMMARY

The thesis title is „Mercedes – Benz Diesel Engine OM613 Control Unit Remap for Hobby Vehicle Purposes“. Mercedes–Benz indirect injection (IDI) diesel engines OM601, OM602, OM603, OM604, OM605 or OM606 are commonly used in hobby vehicles. Reason for that is large mechanical strength of those engines. The current thesis deals with common-rail direct injection (DI) diesel engine OM613. The main difference is direct injection and electronic diesel control. The main goal is to remove unnecessary components for hobby vehicle and achieve torque 650 Nm 2500 rpm and power 200 kW 4000 rpm. Possible shortening of useful working time and environmental pollution increase is unimportant for hobby vehicle. To achieve the goal we need to understand diesel engine and electronic diesel control theory. Theory reveals that diesel engine power output is regulated by injected fuel amount, which in turn is regulated by injector opening time and fuel pressure. The torque and power developed by diesel engine are proportionally related to the amount of fuel injected. Since the spraying time is limited to the angle of rotation of the crankshaft and the endurance time of the angle of rotation decreases in higher rpm, it is necessary to replace injectors. New injectors must inject larger amount of fuel with the same time. According to the calculations we need to rise injected fuel amount from 72 mm³ to 99,6 mm³ in 2500 rpm and from 59,2 mm³ to 87,2 mm³ in 4000 rpm. Necessary boost pressure can be calculated from fuel amount needed to achieve goals. Calculations show that we need to raise boost pressure and replace boost pressure sensor to control raised boost pressure. As calculations show we need to make complete remap to achieve goals. Chip – box or usual Chip – tuning does not add enough fuel and boost. After complete remap according to electronic diesel control theory and fine tuning start of injection in dynamometer goal 650 Nm in 2500 rpm is achieved. 200 kW in 4000 rpm can not be achieved because original turbocharger is not capable to hold boost pressure in higher rpms. However OM613 produces power over 200 kW between 2800 – 3800 rpm. After replacing turbocharger, common-rail high-pressure pump and a pressure sensor it should be possible to remap torque output up to 800 Nm 3000 rpm and power output up to 260 kW 3800 rpm. The remap to power level achieved so far can be provided to the customer at the price of 2200 EUR, including VAT.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Verlag Europa - Lehrmittel, Autonduse käsiraamat, Originaalpealkiri: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, 30th edition, Tallinn: Autoerialade kirjandus OÜ, 1014, p. 731.
- [2] Bosch Proffesional Automotive Information, Editor Konrad Reif, Fundamentals of Automotive and Engine Technology, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, p. 277.
- [3] Robert Bosch AG, „www.ecuconnections.com/forum,“ 03 Oktoober 2013. [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.ecuconnections.com/forum/viewtopic.php?f=2&t=13467&hilit=edc15c>.
[Kasutatud 31 Jaanuar 2016].
- [4] DaimlerChrysler AG, E - Klasse Betriebsanleitung, Stuttgart: W. Kohlhammer GmgH, 1999, p. 452.
- [5] Robert Bosch GmbH, Diesel - Engine Managment 4th Edition, completely revised and extended, Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2005, p. 501.
- [6] Daimler AG, „WIS,“ 2015. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 30 12 2015].
- [7] Robert Bosch GmbH, Emissions-Control Technology for Diesel Engines, Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2005, p. 133.
- [8] H. Ohvril, „meteo.physic.ut.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available:
meteo.physic.ut.ee/kkfi/index.../Atm_meref_al_Konsp_I_osa_2007.pdf. [Kasutatud 06 03 2016].
- [9] Riigi Ilmateenistus, „www.ilmateenistus.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2015/09/suvi2015.png>. [Kasutatud 12 03 2016].
- [10] Wikipedia, „et.wikipedia.org,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<https://et.wikipedia.org/wiki/Tihedus>. [Kasutatud 12 03 2016].
- [11] A. Talvar, Soojusfüüsika Alused, Tallinn: Sisekaitseakadeemia, 2005, p. 130.
- [12] „ConvertLIVE,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://convertlive.com/et/c/teisendada/aeg>.

[Kasutatud 06 03 2016].

- [13] Seven Diesel S.p.A., „www.sevendiesel.it,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.sevendiesel.it/en/cataloghi_123.htm. [Kasutatud 13 03 2016].
- [14] Wikipedia, „de.wikipedia.org,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_OM_611/OM_612/OM_613. [Kasutatud 13 03 2016].
- [15] Riigi ilmateenistus, „www.ilmateenistus.ee,“ Keskkonna agentuur, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/rekordid/ohurohk/>. [Kasutatud 26 03 2016].
- [16] Dynocom Industries Inc., „www.dynocom.net,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.dynocom.net/Brochures/AWD500012.pdf>. [Kasutatud 10 04 2016].
- [17] wikipedia, „[www.en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org),“ [Võrgumaterjal]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_5G-Tronic_transmission. [Kasutatud 10 04 2016].

LISADE LOETELU

Lisa 1. Juhi soovi säteväärtused mm ³ teisendatud väändemomendiks Nm tehase seades.....	60
Lisa 2. Väändemoment Nm teisendatud pihustatavaks kütusekoguseks mm ³ tehaseseades.....	61
Lisa 3. Suitsususe piirang tehaseseades	62
Lisa 4. Suitsususe piirang tehaseseades teisendatud kütuse ja õhu suhteks.....	63
Lisa 5. Suitsususe piirang teisendatud kütuse - õhu suhteks ja lisatud kütust vastavalt teooriale ja hobisõiduki vajadustele	64
Lisa 6. Suitsususe piirang seadistatud teooriale vastavalt ja teisendatud kütusekoguseks	65
Lisa 7. Suitsususe piirang kütuse ja õhu suhtena (Lisa 5) kohandatud vastavalt vajalikule ülelaaderõhule	66
Lisa 8. Suitsususe piirang (Lisa 7) teisendatud kütusekoguseks.....	67
Lisa 9. Pihustite kalibratsioon pihustades koos eelpritsega OM613 tehaseseades µs.....	68
Lisa 10. Pihustite kalibratsioon pihustades ilma eelpritseta OM613 tehaseseades µs	69
Lisa 11. Pihustite kalibratsioon pihustades koos eelpritsega C30 AMG µs	70
Lisa 12. Pihustite kalibratsioon pihustades ilma eelpritseta C30 AMG µs.....	71
Lisa 13. Ühisanuma rõhk OM613	72
Lisa 14. Ühisanuma rõhk C30 AMG	73
Lisa 15. Ühisanuma rõhk koos maksimaalse rõhu tõstmisega.....	74
Lisa 16. Põhipritse pihustuse algus tehaseseades kui kasutatakse eelpritset.....	75
Lisa 17. Põhipritse pihustuse algus tehaseseades ilma eelpritset kasutamata	76
Lisa 18. Eelpritse pihustuse algus tehaseseades.....	77
Lisa 19. Põhipritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele kui kasutatakse eelpritset.....	78
Lisa 20. Põhipritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele ilma eelpritset kasutamata	79
Lisa 21. Eelpritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele.....	80
Lisa 22. Heitgaaside tahmasuse testi sertifikaadi fotokoopia	81

Lisa 1. Juhi soovi sätteväärtused mm³ teisendatud väändemomendiks Nm tehase seades

mm³ p/min	0.00	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
700	-10.40	-4.40	0.32	10.48	20.24	32.08	41.44	50.40	56.80	61.60	65.12	69.28
900	-8.00	-2.40	2.72	12.88	22.64	34.48	43.84	52.80	59.20	64.00	68.32	72.48
1200	-8.16	-2.40	3.84	15.04	26.08	38.32	47.52	56.00	62.40	68.80	73.92	79.04
1600	-8.64	-2.88	3.52	15.20	27.04	40.08	53.60	62.40	70.88	76.80	82.56	87.84
2000	-9.28	-3.84	2.24	13.60	26.56	40.88	53.76	63.68	72.80	79.36	86.24	92.96
2800	-11.20	-5.28	1.44	12.88	25.76	39.12	50.24	61.44	69.76	78.88	87.68	96.00
3200	-12.48	-6.24	0.96	11.04	23.68	38.64	50.08	59.20	67.20	76.16	85.76	94.56
3600	-13.76	-7.20	-0.32	10.72	22.72	36.56	47.36	57.60	64.64	72.32	82.24	92.00
4000	-15.04	-8.64	-1.92	10.08	22.00	35.76	46.72	54.24	61.60	68.96	76.48	86.40
4200	-15.84	-9.60	-2.56	9.44	21.84	34.64	44.80	53.28	59.68	66.24	72.96	81.76
4400	-16.80	-10.72	-3.04	8.56	20.88	34.16	44.32	51.20	56.96	63.20	69.44	76.96
4800	-18.08	-12.32	-4.96	7.52	18.24	28.56	36.80	43.36	50.72	55.84	60.48	66.40

Lisa 2.Väändemoment Nm teisendatud pihustatavaks kütusekoguseks mm³ tehaseseades

Nm p/min	-19.20	-9.60	0.00	9.60	19.20	28.80	38.40	48.00	57.60	67.20	80.00	96.00
700	0.00	0.67	9.66	19.13	28.93	37.23	46.75	57.32	71.67	97.50	100.00	100.00
900	0.00	0.00	7.42	16.77	26.48	35.20	44.19	54.64	68.75	87.41	100.00	100.00
1200	0.00	0.00	6.92	15.14	23.77	32.22	40.09	50.57	63.75	78.75	100.00	100.00
1600	0.00	0.00	7.25	15.21	23.38	31.35	38.71	45.86	54.55	65.66	85.56	100.00
2000	0.00	0.00	8.16	16.48	24.32	31.56	38.27	45.53	53.87	63.86	80.93	100.00
2800	0.00	1.35	8.93	17.13	24.91	32.28	39.46	47.99	56.57	66.92	81.27	100.00
3200	0.00	2.31	9.33	18.57	26.46	33.42	39.84	48.18	58.25	70.00	84.00	100.00
3600	0.00	3.17	10.29	18.99	27.07	34.39	41.70	50.94	60.00	73.33	87.74	100.00
4000	0.00	4.25	11.60	19.60	27.65	34.94	42.41	51.70	64.57	77.61	93.55	100.00
4200	0.00	5.00	12.13	20.13	27.87	35.44	43.70	53.77	66.75	81.43	98.00	100.00
4400	0.00	5.73	12.62	20.84	28.64	35.96	44.17	55.35	71.03	86.41	100.00	100.00
4800	0.00	6.85	13.97	21.94	30.93	40.29	52.44	66.30	83.79	100.00	100.00	100.00

Lisa 3. Suitsususe piirang tehaseseades

mbar p/min	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300
750	35.00	37.00	38.00	39.00	40.00	41.50	42.50	47.00	52.00	56.20	59.50	63.60	66.00	67.50	69.00	70.50
800	30.00	32.00	33.00	34.00	36.30	41.50	42.50	47.00	52.00	56.20	59.50	63.60	66.00	67.50	69.00	70.50
1000	29.00	31.00	33.00	35.00	37.40	41.50	42.50	47.00	52.00	56.20	59.50	64.00	66.50	68.50	70.00	71.50
1200	27.50	29.50	33.00	35.50	38.30	42.50	44.30	48.00	52.50	56.30	59.50	64.40	66.50	69.00	71.00	72.50
1400	26.30	28.50	32.00	35.00	38.10	42.40	45.60	49.20	53.50	56.80	60.30	64.50	66.70	69.50	72.00	73.50
1600	24.90	27.20	31.10	34.60	38.00	42.30	45.70	49.20	53.50	56.80	61.00	64.80	67.50	69.70	72.50	74.00
2000	23.50	25.40	30.00	34.20	37.60	41.20	45.50	48.50	52.50	56.50	60.70	64.60	67.00	70.70	73.00	74.80
2400	22.80	25.10	29.70	33.40	36.50	40.70	44.90	47.50	51.20	55.50	59.90	63.20	66.00	70.50	74.00	75.50
2800	22.80	25.20	29.00	33.20	36.00	40.00	44.70	47.10	50.20	54.60	58.90	62.20	65.80	70.40	73.00	75.00
3200	23.70	25.70	28.60	32.50	35.50	39.50	43.50	46.80	50.10	54.00	58.40	62.00	65.30	70.20	72.00	74.00
3600	23.70	25.50	28.20	32.00	34.70	38.90	42.60	46.20	50.00	53.50	57.30	61.80	65.10	69.30	71.00	73.80
3800	22.90	25.10	27.20	31.20	33.80	38.10	41.30	45.60	49.90	53.10	57.20	61.30	64.20	68.10	70.50	73.40
4000	22.20	24.00	26.10	29.80	33.10	37.30	40.30	44.90	49.70	52.90	56.10	60.20	63.20	66.70	69.50	73.00
4200	21.10	22.50	24.50	28.90	32.40	35.80	39.30	44.20	48.70	52.00	54.80	58.70	61.60	65.00	67.70	71.70
4400	19.70	21.10	23.10	27.80	31.50	34.80	38.30	43.10	47.30	50.50	52.80	56.30	59.60	62.40	65.10	69.00
4800	16.60	18.10	20.70	24.80	28.80	32.10	36.00	41.20	45.10	48.20	50.70	54.20	57.40	60.20	62.90	66.20

Lisa 4. Suitsususe piirang tehaseseades teisendatud kütuse ja õhu suhteks

mbar p/min	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300
750	12.64	13.67	14.97	16.20	17.38	18.27	19.33	18.82	18.23	17.99	18.06	17.88	18.19	18.69	20.15	20.62
800	14.75	15.81	17.23	18.59	19.15	18.27	19.33	18.82	18.23	17.99	18.06	17.88	18.19	18.69	20.15	20.62
1000	15.25	16.32	17.23	18.06	18.59	18.27	19.33	18.82	18.23	17.99	18.06	17.77	18.06	18.42	19.86	20.33
1200	16.09	17.15	17.23	17.80	18.15	17.84	18.54	18.43	18.06	17.96	18.06	17.66	18.06	18.28	19.58	20.05
1400	16.82	17.75	17.77	18.06	18.24	17.88	18.02	17.98	17.72	17.80	17.82	17.64	18.00	18.15	19.31	19.77
1600	17.77	18.60	18.29	18.26	18.29	17.93	17.98	17.98	17.72	17.80	17.61	17.55	17.79	18.10	19.18	19.64
2000	18.82	19.91	18.96	18.48	18.49	18.41	18.06	18.24	18.06	17.90	17.70	17.61	17.92	17.84	19.04	19.43
2400	19.40	20.15	19.15	18.92	19.04	18.63	18.30	18.63	18.51	18.22	17.93	18.00	18.19	17.89	18.79	19.25
2800	19.40	20.07	19.61	19.03	19.31	18.96	18.38	18.78	18.88	18.52	18.24	18.29	18.25	17.92	19.04	19.38
3200	18.66	19.68	19.89	19.44	19.58	19.20	18.89	18.90	18.92	18.72	18.40	18.35	18.39	17.97	19.31	19.64
3600	18.66	19.84	20.17	19.75	20.03	19.49	19.28	19.15	18.96	18.90	18.75	18.41	18.44	18.20	19.58	19.69
3800	19.32	20.15	20.91	20.25	20.57	19.90	19.89	19.40	19.00	19.04	18.78	18.56	18.70	18.52	19.72	19.80
4000	19.93	21.08	21.79	21.21	21.00	20.33	20.38	19.70	19.07	19.11	19.15	18.89	19.00	18.91	20.00	19.91
4200	20.96	22.48	23.21	21.87	21.45	21.18	20.90	20.02	19.46	19.44	19.60	19.38	19.49	19.41	20.54	20.27
4400	22.45	23.97	24.62	22.73	22.07	21.79	21.45	20.53	20.04	20.02	20.35	20.20	20.15	20.22	21.36	21.06
4800	26.65	27.95	27.48	25.48	24.14	23.62	22.82	21.47	21.02	20.98	21.19	20.99	20.92	20.95	22.10	21.96

Lisa 5. Suitsususe piirang teisendatud kütuse - õhu suhteks ja lisatud kütust vastavalt teooriale ja hobisõiduki vajadustele

mbar p/min	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300
750	11.64	12.67	13.97	15.20	15.40	15.45	16.40	15.94	15.41	15.19	15.25	15.10	15.37	15.82	17.13	17.55
800	13.75	14.81	16.23	17.59	15.50	15.45	16.40	15.94	15.41	15.19	15.25	15.10	15.37	15.82	17.13	17.55
1000	14.25	15.32	16.23	17.06	15.73	15.45	16.40	15.94	15.41	15.19	15.25	15.00	15.25	15.57	16.00	16.00
1200	15.09	16.15	16.23	16.80	15.33	15.06	15.69	15.59	15.25	15.16	15.25	14.90	15.25	15.45	16.00	16.00
1400	15.82	16.75	16.77	17.06	15.42	15.10	15.21	15.18	14.95	15.02	15.03	14.87	15.20	15.34	16.00	16.00
1600	16.77	17.60	17.29	17.26	15.46	15.13	15.18	15.18	14.95	15.02	14.85	14.80	15.01	15.29	16.00	16.00
2000	17.82	18.91	17.96	17.48	15.64	15.57	15.25	15.42	15.25	15.11	14.93	14.85	15.13	15.06	16.00	16.00
2400	18.40	19.15	18.15	17.92	16.00	15.77	15.47	15.76	15.66	15.40	15.14	15.20	15.37	15.10	16.00	16.00
2800	18.40	19.07	18.61	18.03	16.00	16.00	15.54	15.91	15.99	15.67	15.42	15.46	15.42	15.13	16.00	16.00
3200	17.66	18.68	18.89	18.44	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	15.85	15.56	15.51	15.55	15.17	16.00	16.00
3600	17.66	18.84	19.17	18.75	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.01	15.87	15.57	15.60	15.38	16.00	16.00
3800	18.32	19.15	19.91	19.25	16.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.14	15.90	15.70	15.83	15.67	16.00	16.00
4000	18.93	20.08	20.79	20.21	17.00	17.00	17.00	16.73	16.17	16.20	16.23	16.01	16.10	16.02	17.00	16.92
4200	19.96	21.48	22.21	20.87	17.50	17.50	17.50	17.01	16.52	16.50	16.64	16.44	16.54	16.47	17.48	17.24
4400	21.45	22.97	23.62	21.73	18.00	18.00	18.00	17.47	17.04	17.02	17.31	17.18	17.13	17.19	18.22	17.96
4800	25.65	26.95	26.48	24.48	20.72	20.26	19.54	18.33	17.92	17.88	18.07	17.89	17.83	17.86	18.89	18.76

Lisa 6. Suitsususe piirang seadistatud teooriale vastavalt ja teisendatud kütusekoguseks

mbar p/min	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300
750	38.00	39.92	40.72	41.56	45.14	49.09	50.10	55.49	61.52	66.55	70.44	75.34	78.10	79.74	81.14	82.79
800	32.18	34.16	35.03	35.93	44.84	49.09	50.10	55.49	61.52	66.55	70.44	75.34	78.10	79.74	81.14	82.79
1000	31.03	33.02	35.03	37.05	44.19	49.09	50.10	55.49	61.52	66.55	70.44	75.85	78.73	80.99	86.88	90.83
1200	29.32	31.32	35.03	37.61	45.33	50.35	52.36	56.75	62.15	66.68	70.44	76.35	78.73	81.62	86.88	90.83
1400	27.96	30.20	33.91	37.05	45.08	50.23	53.99	58.26	63.42	67.31	71.45	76.48	78.98	82.25	86.88	90.83
1600	26.38	28.74	32.90	36.60	44.95	50.10	54.12	58.26	63.42	67.31	72.34	76.86	79.99	82.50	86.88	90.83
2000	24.82	26.74	31.67	36.15	44.45	48.72	53.87	57.38	62.15	66.93	71.96	76.61	79.36	83.77	86.88	90.83
2400	24.04	26.41	31.33	35.26	43.44	48.09	53.11	56.12	60.52	65.67	70.95	74.84	78.10	83.51	86.88	90.83
2800	24.04	26.52	30.56	35.04	43.44	47.39	52.86	55.62	59.26	64.53	69.69	73.58	77.85	83.39	86.88	90.83
3200	25.04	27.07	30.11	34.26	43.44	47.39	51.34	55.29	59.24	63.78	69.06	73.33	77.22	83.14	86.88	90.83
3600	25.04	26.85	29.67	33.70	43.44	47.39	51.34	55.29	59.24	63.15	67.67	73.07	76.97	82.00	86.88	90.83
3800	24.15	26.41	28.56	32.82	42.13	47.39	51.34	55.29	59.24	62.65	67.55	72.44	75.83	80.49	86.88	90.83
4000	23.37	25.19	27.35	31.27	40.89	44.60	48.32	52.87	58.63	62.40	66.17	71.06	74.58	78.73	81.76	85.90
4200	22.16	23.55	25.60	30.28	39.72	43.33	46.94	51.99	57.38	61.28	64.54	69.18	72.58	76.60	79.52	84.28
4400	20.62	22.02	24.08	29.08	38.62	42.13	45.64	50.63	55.64	59.40	62.05	66.19	70.08	73.36	76.30	80.93
4800	17.25	18.77	21.48	25.81	33.54	37.42	42.04	48.27	52.90	56.55	59.45	63.58	67.35	70.63	73.58	77.47

Lisa 7. Suitsususe piirang kütuse ja õhu suhtena (Lisa 5) kohandatud vastavalt vajalikule ülelaaderõhule

mbar p/min	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300	2500	2700
750	13.97	15.20	15.40	15.45	16.40	15.94	15.41	15.19	15.25	15.10	15.37	15.82	17.13	17.55	17.55	17.55
800	16.23	17.59	15.50	15.45	16.40	15.94	15.41	15.19	15.25	15.10	15.37	15.82	17.13	17.55	17.55	17.55
1000	16.23	17.06	15.73	15.45	16.40	15.94	15.41	15.19	15.25	15.00	15.25	15.57	16.00	16.00	16.00	16.00
1200	16.23	16.80	15.33	15.06	15.69	15.59	15.25	15.16	15.25	14.90	15.25	15.45	16.00	16.00	16.00	16.00
1400	16.77	17.06	15.42	15.10	15.21	15.18	14.95	15.02	15.03	14.87	15.20	15.34	16.00	16.00	16.00	16.00
1600	17.29	17.26	15.46	15.13	15.18	15.18	14.95	15.02	14.85	14.80	15.01	15.29	16.00	16.00	16.00	16.00
2000	17.96	17.48	15.64	15.57	15.25	15.42	15.25	15.11	14.93	14.85	15.13	15.06	16.00	16.00	16.00	16.00
2400	18.15	17.92	16.00	15.77	15.47	15.76	15.66	15.40	15.14	15.20	15.37	15.10	16.00	16.00	16.00	16.00
2800	18.61	18.03	16.00	16.00	15.54	15.91	15.99	15.67	15.42	15.46	15.42	15.13	16.00	16.00	16.00	16.00
3200	18.89	18.44	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	15.85	15.56	15.51	15.55	15.17	16.00	16.00	16.00	16.00
3600	19.17	18.75	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.01	15.87	15.57	15.60	15.38	16.00	16.00	16.00	16.00
3800	19.91	19.25	16.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.14	15.90	15.70	15.83	15.67	16.00	16.00	16.00	16.00
4000	20.79	20.21	17.00	17.00	17.00	16.73	16.17	16.20	16.23	16.01	16.10	16.02	16.50	16.50	16.50	16.50
4200	22.21	20.87	17.50	17.50	17.50	17.01	16.52	16.50	16.64	16.44	16.54	16.47	17.24	17.24	17.24	17.24
4400	23.62	21.73	18.00	18.00	18.00	17.47	17.04	17.02	17.31	17.18	17.13	17.19	17.90	17.96	17.96	17.96
4800	26.48	24.48	20.72	20.26	19.54	18.33	17.92	17.88	18.07	17.89	17.83	17.86	18.89	18.89	18.89	18.89

Lisa 8. Suitsususe piirang (Lisa 7) teisendatud kütusekoguseks

mbar p/min	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300	2500	2700
750	40.70	41.60	45.10	49.10	50.10	55.50	61.50	66.50	70.40	75.30	78.10	79.70	81.10	82.80	90.00	97.20
800	35.00	35.90	44.80	49.10	50.10	55.50	61.50	66.50	70.40	75.30	78.10	79.70	81.10	82.80	90.00	97.20
1000	35.00	37.10	44.20	49.10	50.10	55.50	61.50	66.50	70.40	75.90	78.70	81.00	86.90	90.80	98.70	100.00
1200	35.00	37.60	45.30	50.40	52.40	56.80	62.10	66.70	70.40	76.40	78.70	81.60	86.90	90.80	98.70	100.00
1400	33.90	37.10	45.10	50.20	54.00	58.30	63.40	67.30	71.50	76.50	79.00	82.30	86.90	90.80	98.70	100.00
1600	32.90	36.60	45.00	50.10	54.10	58.30	63.40	67.30	72.30	76.90	80.00	82.50	86.90	90.80	100.00	100.00
2000	31.70	36.10	44.50	48.70	53.90	57.40	62.10	66.90	72.00	76.60	79.40	83.80	86.90	90.80	100.00	100.00
2400	31.30	35.30	43.40	48.10	53.10	56.10	60.50	65.70	71.00	74.80	78.10	83.50	86.90	90.80	100.00	100.00
2800	30.60	35.00	43.40	47.40	52.90	55.60	59.30	64.50	69.70	73.60	77.90	83.40	86.90	90.80	100.00	100.00
3200	30.10	34.30	43.40	47.40	51.30	55.30	59.20	63.80	69.10	73.30	77.20	83.10	86.90	90.80	100.00	100.00
3600	29.70	33.70	43.40	47.40	51.30	55.30	59.20	63.10	67.70	73.10	77.00	82.00	86.90	90.80	100.00	100.00
3800	28.60	32.80	42.10	47.40	51.30	55.30	59.20	62.60	67.50	72.40	75.80	80.50	86.90	90.80	100.00	100.00
4000	27.40	31.30	40.90	44.60	48.30	52.90	58.60	62.40	66.20	71.10	74.60	78.70	84.30	88.10	95.70	100.00
4200	25.60	30.30	39.70	43.30	46.90	52.00	57.40	61.30	64.50	69.20	72.60	76.60	80.60	84.30	91.60	99.00
4400	24.10	29.10	38.60	42.10	45.60	50.60	55.60	59.40	62.10	66.20	70.10	73.40	77.70	80.90	88.00	95.00
4800	21.50	25.80	33.50	37.40	42.00	48.30	52.90	56.60	59.50	63.60	67.30	70.60	73.60	76.90	83.60	90.30

Lisa 9. Pihustite kalibratsioon pihustades koos eelpritsega OM613 teahseseades μs

mm3 bar	0	1	1.5	2	2.5	3	6	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	570	635	700	760	820	1091	1341	1621	1851	2102	2401	2651	2882	3532	4183	4833	5483	6134	6784
200	0	391	458	521	576	622	816	1019	1246	1435	1588	1746	1943	2219	2775	3314	3854	4387	4919	5451
250	0	319	390	446	486	521	698	849	1014	1180	1329	1468	1626	1892	2395	2872	3345	3821	4297	4771
300	0	284	342	389	425	453	619	754	879	1012	1141	1269	1406	1649	2110	2517	2954	3389	3823	4257
400	0	216	263	310	347	381	500	625	731	828	919	1018	1127	1265	1694	2041	2407	2775	3149	3522
500	0	163	231	265	285	304	423	535	638	723	795	871	958	1062	1450	1773	2066	2387	2702	3016
600	0	150	200	242	263	280	392	488	580	657	729	792	859	937	1268	1570	1852	2129	2407	2685
700	0	140	172	219	245	262	351	431	527	599	666	733	794	853	1102	1419	1679	1952	2219	2487
800	0	128	155	213	235	248	302	399	482	548	613	675	736	793	1001	1265	1554	1801	2054	2308
900	0	125	156	208	223	241	284	381	445	515	569	630	689	745	907	1182	1411	1674	1920	2166
1000	0	123	155	207	221	234	276	369	426	497	545	596	652	706	813	1124	1343	1573	1810	2046
1100	0	122	154	206	219	232	268	354	407	479	524	569	623	672	773	1059	1276	1486	1706	1925
1200	0	121	153	206	218	227	262	330	391	445	502	548	595	643	734	979	1206	1411	1619	1827
1300	0	120	153	206	217	226	257	309	380	426	489	529	572	622	705	907	1110	1329	1536	1743
1350	0	120	153	206	217	225	256	304	378	420	482	520	563	610	690	895	1087	1291	1494	1697

Lisa 10. Pihustite kalibratsioon pihustades ilma eelpritseta OM613 teahseseades μs

mm3 bar	0	1	1.5	2	2.5	3	6	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	570	635	700	760	820	1091	1341	1621	1851	2102	2401	2651	2882	3532	4183	4833	5483	6134	6784
200	0	453	500	546	593	639	841	1032	1231	1402	1560	1734	1957	2246	2794	3328	3860	4390	4920	5450
250	0	329	373	418	461	503	682	848	1020	1169	1305	1450	1646	1907	2361	2850	3282	3713	4144	4576
300	0	312	338	364	393	422	571	721	875	1007	1127	1255	1422	1670	2086	2519	2939	3361	3782	4203
400	0	245	275	305	328	351	456	581	716	828	929	1033	1137	1303	1710	2087	2466	2850	3235	3619
500	0	192	230	269	284	300	402	511	625	726	814	898	984	1099	1461	1788	2082	2426	2769	3112
600	0	174	212	251	262	273	373	466	565	655	735	810	887	957	1279	1586	1865	2192	2485	2777
700	0	163	208	252	258	264	346	420	514	599	674	747	815	880	1138	1423	1690	2019	2287	2556
800	0	145	194	242	250	257	323	390	485	559	626	693	756	822	1003	1307	1526	1848	2118	2389
900	0	145	193	241	248	255	311	376	470	537	598	659	716	776	933	1195	1469	1764	2032	2300
1000	0	145	192	240	246	254	303	365	459	522	578	634	688	744	886	1128	1388	1660	1916	2170
1100	0	146	192	240	245	252	295	359	440	502	558	612	663	714	833	1074	1275	1539	1760	1998
1200	0	146	192	240	245	251	283	345	417	481	538	589	637	686	778	1012	1213	1464	1686	1908
1300	0	147	191	239	245	250	282	335	404	469	520	568	616	661	750	959	1174	1400	1596	1792
1350	0	148	191	239	244	249	281	334	399	459	511	558	606	652	741	939	1152	1377	1578	1767

Lisa 11. Pihustite kalibratsioon pihustades koos eelpritsega C30 AMG μs

mm3 bar	0	1	1.5	2	3	6	10	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	95	100	110
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	564	666	769	973	1151	1442	1840	2032	2250	2561	2918	3503	4085	4696	5248	5834	6094	6349	6814
200	0	394	471	523	645	843	1056	1389	1514	1664	1895	2207	2730	3206	3849	4382	4938	5186	5417	5831
250	0	313	384	440	525	702	849	1140	1272	1394	1598	1861	2353	2781	3365	3907	4363	4598	4813	5208
300	0	277	311	375	451	609	740	986	1097	1216	1365	1560	2020	2460	2976	3456	3902	4117	4322	4741
400	0	225	272	303	368	485	609	803	893	987	1073	1178	1582	1960	2410	2864	3300	3485	3676	4103
500	0	200	242	272	299	424	521	702	780	846	913	1013	1342	1642	1975	2352	2734	2905	3092	3412
600	0	179	222	255	282	394	476	639	710	768	829	899	1141	1449	1734	1978	2284	2457	2593	2880
700	0	174	210	241	268	361	433	588	646	703	760	822	1013	1260	1566	1802	2032	2157	2262	2492
800	0	154	205	232	258	313	408	548	599	646	702	763	871	1155	1396	1609	1862	2000	2102	2304
900	0	143	200	228	254	295	388	514	564	610	660	712	813	1054	1297	1514	1713	1831	1960	2156
1000	0	133	205	226	250	288	374	492	542	580	628	674	776	963	1180	1432	1627	1700	1800	1943
1100	0	154	205	227	246	277	360	475	521	564	604	643	739	912	1104	1308	1493	1603	1713	1892
1200	0	183	210	231	248	277	339	447	503	547	584	619	707	858	1056	1247	1432	1530	1632	1810
1300	0	190	215	234	252	274	299	425	479	524	562	597	677	784	1000	1196	1381	1440	1530	1700
1500	0	169	174	179	195	248	290	413	440	479	520	556	606	677	918	1104	1287	1346	1412	1557

Lisa 12. Pihustite kalibratsioon pihustades ilma eelpritseta C30 AMG μ s

mm3 bar	0	1	1.5	2	3	6	10	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	95	100	110
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	369	568	763	1111	1344	1700	1885	2071	2226	2468	2966	3588	4105	4705	5023	5345	5673	6019	6673
200	0	325	477	582	847	1025	1337	1493	1650	1857	2069	2548	3058	3545	4133	4406	4695	5011	5307	5911
250	0	289	402	478	684	842	1110	1243	1368	1553	1771	2270	2736	3163	3682	3952	4217	4506	4788	5241
300	0	253	348	419	581	743	991	1106	1216	1325	1506	1974	2402	2816	3264	3508	3746	3984	4192	4657
400	0	221	302	336	456	580	811	909	999	1088	1186	1563	1955	2310	2707	2887	3072	3276	3481	3843
500	0	201	266	297	403	497	702	788	864	941	1023	1308	1639	1974	2264	2412	2577	2728	2868	3109
600	0	178	243	278	358	446	635	712	783	847	917	1152	1461	1735	1963	2090	2228	2369	2523	2787
700	0	159	218	253	320	418	587	655	723	783	843	1032	1275	1556	1806	1891	1984	2099	2240	2484
800	0	143	207	228	294	394	552	615	677	736	791	905	1184	1413	1620	1752	1850	1956	2057	2262
900	0	129	201	219	286	378	525	583	637	695	748	856	1045	1315	1537	1610	1720	1829	1917	2079
1000	0	132	196	225	283	367	503	564	614	661	712	813	992	1193	1442	1528	1626	1712	1793	1947
1100	0	126	199	231	284	350	491	550	595	639	688	781	949	1138	1334	1456	1526	1628	1730	1885
1200	0	117	205	237	286	334	477	534	580	623	663	749	903	1096	1289	1388	1469	1536	1636	1787
1300	0	120	213	241	288	323	454	512	562	605	643	723	834	1044	1241	1301	1400	1469	1557	1706
1500	0	144	201	261	281	323	423	476	530	569	601	668	753	956	1126	1203	1280	1367	1443	1580

Lisa 13. Ühisanuma rõhk OM613

mm3 p/min	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
400	240	240	241	242	243	248	258	267	279	291	305	311	369	374	377	378
500	240	240	241	242	243	248	258	277	310	330	350	370	400	405	407	408
550	240	242	244	250	260	272	287	306	330	360	393	419	433	438	439	439
750	260	262	264	272	287	306	330	360	392	417	431	437	438	439	439	439
1000	290	292	299	319	346	372	439	475	470	488	479	460	445	439	439	439
1200	333	335	338	366	399	418	496	551	609	651	684	732	770	818	876	916
1400	361	364	367	394	418	447	542	603	675	722	741	789	846	902	940	960
1600	405	408	410	418	432	470	570	646	713	741	760	808	865	931	960	970
1800	424	426	428	435	451	489	589	675	732	760	779	822	874	941	980	1000
2000	443	446	448	454	461	504	603	689	751	779	798	836	884	951	1000	1030
2400	464	466	467	473	485	546	627	703	765	793	827	890	950	1040	1120	1200
2800	510	517	525	545	578	657	715	784	837	880	934	1019	1076	1170	1240	1300
3200	608	615	623	662	674	731	823	877	925	1004	1083	1158	1201	1260	1305	1350
3600	650	662	675	706	744	786	884	928	1012	1102	1207	1266	1306	1325	1350	1350
4200	730	738	746	816	855	892	950	1000	1109	1206	1305	1350	1350	1350	1350	1350
4400	750	758	766	850	890	930	970	1000	1109	1206	1305	1350	1350	1350	1350	1350

Lisa 14. Ühisanuma rõhk C30 AMG

mm3 p/min	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
400	290	290	290	290	290	290	290	310	350	380	460	633	850	880	890	910
500	290	290	290	290	310	320	340	380	440	495	590	715	850	880	890	910
630	295	295	295	305	346	378	420	462	504	556	671	750	850	880	890	910
800	335	335	340	355	425	472	513	550	596	644	718	780	875	980	1090	1090
1000	360	360	365	375	457	535	587	623	654	696	738	800	900	1050	1300	1300
1200	370	370	375	385	467	576	618	664	696	732	780	850	960	1150	1350	1350
1400	370	370	375	385	470	580	620	665	705	735	810	900	1050	1230	1350	1350
1600	380	380	380	390	478	580	625	670	730	780	880	1000	1180	1300	1350	1350
2000	400	400	400	410	480	580	630	690	760	810	930	1070	1250	1330	1350	1350
2400	420	420	420	440	490	585	650	720	790	860	995	1155	1300	1340	1350	1350
2800	450	450	450	480	520	610	690	780	840	915	1055	1250	1330	1350	1350	1350
3200	485	485	485	510	550	640	770	880	950	1023	1150	1320	1345	1350	1350	1350
3600	550	550	550	565	595	680	830	950	1050	1150	1280	1345	1350	1350	1350	1350
4200	590	590	590	600	640	730	890	1000	1110	1206	1330	1350	1350	1350	1350	1350
4400	600	600	600	610	700	820	940	1049	1146	1245	1350	1350	1350	1350	1350	1350
4800	620	620	620	630	800	920	1020	1120	1220	1290	1350	1350	1350	1350	1350	1350

Lisa 15. Ühisanuma rõhk koos maksimaalse rõhu tõstmisega

mm³ p/min	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
400	290	290	290	290	290	290	290	310	350	380	460	633	850	880	890	910
500	290	290	290	290	310	320	340	380	440	495	590	715	850	880	890	910
550	295	295	295	305	346	378	420	462	504	556	671	750	850	880	890	910
750	335	335	340	355	425	472	513	550	596	644	718	780	875	980	1090	1090
1000	360	360	365	375	457	535	587	623	654	696	738	800	900	1050	1300	1300
1200	370	370	375	385	467	576	618	664	696	732	780	850	960	1150	1350	1350
1400	370	370	375	385	470	580	620	665	705	735	810	900	1050	1230	1350	1350
1600	380	380	380	390	478	580	625	670	730	780	880	1000	1180	1300	1350	1350
1800	400	400	400	410	480	580	630	690	760	810	930	1070	1250	1330	1350	1350
2000	420	420	420	440	490	585	650	720	790	860	995	1155	1300	1340	1350	1400
2400	450	450	450	480	520	610	690	780	840	915	1055	1250	1330	1350	1400	1425
2800	485	485	485	510	550	640	770	880	950	1023	1150	1320	1345	1350	1450	1450
3200	550	550	550	565	595	680	830	950	1050	1150	1280	1345	1350	1400	1480	1480
3600	590	590	590	600	640	730	890	1000	1110	1206	1330	1350	1400	1450	1480	1480
4200	600	600	600	610	700	820	940	1049	1146	1245	1350	1400	1450	1480	1480	1480
4400	620	620	620	630	800	920	1020	1120	1220	1290	1350	1400	1450	1480	1480	1480

Lisa 16. Põhipritse pihustuse algus tehase seades kui kasutatakse eelpritset

mm3 p/min	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
400	4.99	4.99	4.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.99	3.00	4.99	5.51	6.00	7.01	7.01	7.01
500	5.51	5.51	5.51	0.00	-3.00	-2.60	-2.39	-2.20	-0.40	1.50	3.49	5.51	6.00	6.49	7.01	7.01
550	5.51	5.51	5.51	0.00	-2.91	-4.38	-4.38	-3.49	-0.40	1.50	3.49	5.51	6.00	6.49	7.01	7.01
750	5.51	5.51	5.51	0.00	-2.91	-4.38	-4.38	-3.49	-0.40	1.50	3.49	5.51	6.00	6.49	7.01	7.01
1000	5.51	5.51	5.51	0.00	-1.50	-1.71	0.00	0.40	1.59	3.00	4.01	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
1200	5.51	5.51	5.51	0.00	-1.29	-1.10	0.28	0.70	2.51	4.50	4.99	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
1400	5.51	5.51	5.51	0.00	-1.20	-1.01	0.30	0.80	2.51	4.99	5.79	6.49	6.30	5.51	4.99	4.99
1600	5.51	5.51	5.51	0.00	-1.10	-0.80	0.49	1.20	2.60	5.20	5.79	6.61	6.40	5.51	4.50	4.50
1800	5.51	5.51	5.51	0.00	-0.61	-0.52	0.80	1.69	2.70	5.51	6.00	7.01	7.01	6.49	4.99	4.50
2000	5.51	5.51	5.51	1.01	1.01	1.50	1.71	2.09	2.79	5.70	7.01	7.99	7.99	7.01	6.00	5.51
2400	7.01	7.01	7.01	4.50	4.50	4.50	4.99	5.51	6.30	7.99	9.49	10.01	10.01	9.00	7.99	7.50
2800	7.99	7.99	7.99	7.01	6.00	6.00	7.99	8.51	9.30	10.50	11.51	12.00	11.51	10.50	10.01	9.49
3200	9.00	9.00	9.00	7.99	7.01	7.01	9.00	10.01	10.99	13.01	13.99	13.99	13.99	12.00	10.99	10.50
3600	10.99	10.99	10.99	10.01	9.00	9.49	12.00	13.01	13.99	14.51	14.51	14.51	14.51	12.49	11.51	11.51
4200	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.49	13.99	16.01	18.00	18.49	19.01	18.49	18.00	16.99	16.99	16.99
4400	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.01	15.00	16.99	19.01	19.50	19.99	19.50	19.01	18.00	18.00	18.00

Lisa 17. Põhipritse pihustuse algus tehase seades ilma eelpritset kasutamata

mm3 p/min	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
400	4.99	4.99	4.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.99	3.00	4.99	5.51	6.00	7.01	7.01	7.01
500	6.00	6.00	6.00	0.00	-3.00	-2.60	-2.39	-2.20	-0.40	1.50	3.49	5.51	6.00	6.49	7.01	7.01
550	7.01	7.01	7.01	0.00	-2.91	-4.38	-4.38	-3.49	-0.40	1.50	3.49	5.51	6.00	6.49	7.01	7.01
750	7.01	7.01	7.01	0.00	-2.91	-4.38	-4.38	-3.49	-0.40	1.50	3.49	5.51	6.00	6.49	7.01	7.01
1000	7.01	7.01	7.01	0.00	-1.50	-1.71	0.00	0.40	1.59	3.00	4.01	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
1200	7.01	7.01	7.01	0.00	-1.29	-1.10	0.28	0.70	2.51	4.50	4.99	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
1400	7.01	7.01	7.01	0.00	-1.20	-1.01	0.30	0.80	2.51	4.99	5.79	6.49	6.30	5.51	4.99	4.99
1600	7.01	7.01	7.01	0.00	-1.10	-0.80	0.49	1.20	2.60	5.20	5.79	6.61	6.40	5.51	4.50	4.50
1800	7.01	7.01	7.01	0.00	-0.61	-0.52	0.80	1.69	2.70	5.51	6.00	7.01	7.01	6.49	4.99	4.50
2000	7.01	7.01	7.01	1.01	1.01	1.50	1.71	2.09	2.79	5.70	7.01	7.99	7.99	7.01	6.00	5.51
2400	8.51	8.51	8.51	4.50	4.50	4.50	4.99	5.51	6.30	7.99	9.49	10.01	10.01	9.00	7.99	7.50
2800	9.49	9.49	9.49	7.01	6.00	6.00	7.99	8.51	9.30	10.50	11.51	12.00	11.51	10.50	10.01	9.49
3200	10.50	10.50	10.50	7.99	7.01	7.01	9.00	10.01	10.99	13.01	13.99	13.99	13.99	12.00	10.99	10.50
3600	12.49	12.49	12.49	10.01	9.00	9.49	12.00	13.01	13.99	14.51	14.51	15.00	15.49	13.99	13.01	13.01
4200	13.50	13.50	13.50	12.00	12.00	12.49	13.99	16.01	18.00	19.01	19.99	19.99	19.50	19.01	19.01	19.01
4400	13.50	13.50	13.50	12.00	12.00	13.01	15.00	16.99	19.01	19.99	21.00	21.00	20.51	19.99	19.99	19.99

Lisa 18. Eelpritse pihustuse algus tehaseseades

[illegible]

Lisa 19. Põhipritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele kui kasutatakse eelpritset

mm3 p/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
400	2.95	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.05	-0.02	0.96	2.95	3.49	3.96	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99
500	3.49	-1.99	-4.97	-4.57	-4.36	-4.17	-2.39	-0.52	1.45	3.49	3.96	4.45	4.99	4.99	4.99	4.99
550	3.49	-1.99	-4.90	-6.35	-6.35	-5.46	-2.39	-0.52	1.45	3.49	3.96	4.45	4.99	4.99	4.99	4.99
750	3.49	-1.99	-4.90	-6.35	-6.35	-5.46	-2.39	-0.52	1.45	3.49	3.96	4.45	4.99	4.99	4.99	4.99
1000	3.49	-1.99	-3.47	-3.68	-1.99	-1.59	-0.42	0.96	1.99	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49
1200	3.49	-1.99	-3.28	-3.07	-1.73	-1.31	0.49	2.46	2.95	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49
1400	3.49	-1.99	-3.19	-3.00	-1.71	-1.20	0.49	2.95	3.77	4.45	4.27	3.49	2.95	2.95	2.95	2.95
1600	3.49	-1.99	-3.07	-2.79	-1.52	-0.80	0.56	3.16	3.77	4.59	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38
1800	3.49	-1.99	-2.60	-2.51	-1.20	-0.30	0.68	3.49	3.96	4.99	5.09	5.18	5.30	5.39	5.48	5.58
2000	3.49	-0.98	-0.98	-0.52	-0.30	0.07	0.77	3.68	4.99	5.95	6.09	6.19	6.28	6.40	6.49	6.59
2400	4.99	2.46	2.46	2.46	2.95	3.49	4.27	5.95	7.45	7.99	8.18	8.39	8.58	8.79	8.98	9.19
2800	5.95	4.99	3.96	3.96	5.95	6.49	7.27	8.46	9.49	9.96	9.89	10.08	10.29	10.48	10.69	10.90
3200	6.96	5.95	4.99	4.99	6.96	7.99	8.95	10.99	11.95	12.19	12.40	12.59	12.80	12.98	13.20	13.38
3600	8.95	7.99	6.96	7.45	9.96	10.99	11.95	12.49	12.68	12.89	13.08	13.29	13.48	13.69	13.90	14.18
4200	9.96	9.96	9.96	10.45	11.95	13.99	15.96	16.45	16.99	17.18	17.39	17.58	17.79	17.98	18.19	18.40
4400	9.96	9.96	9.96	10.99	12.96	14.95	16.99	17.46	17.95	18.19	18.40	18.59	18.80	18.98	19.20	19.38

Lisa 20. Põhipritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele ilma eelpritset kasutamata

mm3 p/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
400	2.95	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.05	-0.02	0.96	2.95	3.49	3.96	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99
500	3.96	-1.99	-4.97	-4.57	-4.36	-4.17	-2.39	-0.52	1.45	3.49	3.96	4.45	4.99	4.99	4.99	4.99
550	4.99	-1.99	-4.90	-6.35	-6.35	-5.46	-2.39	-0.52	1.45	3.49	3.96	4.45	4.99	4.99	4.99	4.99
750	4.99	-1.99	-4.90	-6.35	-6.35	-5.46	-2.39	-0.52	1.45	3.49	3.96	4.45	4.99	4.99	4.99	4.99
1000	4.99	-1.99	-3.47	-3.68	-1.99	-1.59	-0.42	0.96	1.99	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49
1200	4.99	-1.99	-3.28	-3.07	-1.73	-1.31	0.49	2.46	2.95	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49
1400	4.99	-1.99	-3.19	-3.00	-1.71	-1.20	0.49	2.95	3.77	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
1600	4.99	-1.99	-3.07	-2.79	-1.52	-0.80	0.56	3.16	3.77	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
1800	4.99	-1.99	-2.60	-2.51	-1.20	-0.30	0.68	3.49	3.96	4.99	5.09	5.18	5.30	5.39	5.48	5.58
2000	4.99	-0.98	-0.98	-0.52	-0.30	0.07	0.77	3.68	4.99	5.95	5.98	6.09	6.19	6.28	6.40	6.49
2400	6.49	2.46	2.46	2.46	2.95	3.49	4.27	5.95	7.45	7.99	8.18	8.39	8.58	8.79	8.98	9.19
2800	7.45	4.99	3.96	3.96	5.95	6.49	7.27	8.46	9.49	9.96	10.20	10.38	10.59	10.78	10.99	11.18
3200	8.46	5.95	4.99	4.99	6.96	7.99	8.95	10.99	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95
3600	10.45	7.99	6.96	7.45	9.96	10.99	11.95	12.49	12.49	12.96	13.45	13.64	13.83	14.04	14.23	14.44
4200	11.46	9.96	9.96	10.45	11.95	13.99	15.96	16.99	17.95	18.19	18.40	18.59	18.80	18.98	19.20	19.38
4400	11.46	9.96	9.96	10.99	12.96	14.95	16.99	17.95	18.96	19.20	19.38	19.59	19.78	19.99	19.99	19.99

Lisa 21. Eelpritse pihustuse algus vastavalt vahetatud pihustitele

[illegible]

Lisa 22. Heitgaaside tahmasuse testi sertifikaadi fotokoopia



testi sertifikaat

heitgaaside mõõtmistulemusele
StVZO §47a ning lisade XIa ja IXa kohaselt

Kuupäev 19.04.2016
Aeg 18:37

Registreerimisnumber T TOOMING
Sõiduk (tootja / mudel) HOBIS6IDUK OM613
Manufacturer key number 2 (mitte Eestis) 1
Manufacturer key number 3 (mitte Eestis) 1
Sõiduki ID number 1
Läbisõit 280000

	ühik	piirv. min.	piirv. max.	testimisel:	tulemus
Piirväärtused					
tühikäigupöörded	min ⁻¹	600	1200		
maksimumpöörded	min ⁻¹	2000	6000		
tööt temperatuur [Mootoriõli, väline a]	°C	75			
k-väärtus	m ⁻¹		3,00		
mõõtmise kestus (tx)	s		1,00		
testmeetod	B				
otsiku mõõt	l (10 mm)				

Tegelikud väärtused					
tühikäigupöörded	min ⁻¹		850		OK
maksimumpöörded	min ⁻¹		5480		OK
tööt temperatuur [Mootoriõli, väline a]	°C		76		OK

Tühikiirendus		Mõõtmise 1	Mõõtmise 2	Mõõtmise 3	
tühikäigupöörded (n-tühi)	min ⁻¹	850	850	850	OK
maksimumpöörded (n-max)	min ⁻¹	5510	5470	5470	OK
k-väärtus (k)	m ⁻¹	0,42	0,42	0,37	
kiirenduse kestus (t-B)	s	0,97	0,98	0,88	

Sagedusriba	m ⁻¹		0,05	OK
aritmeetiline keskmine	m ⁻¹		0,40	OK

Tulemused
visuaalne kontroll # OK
heitgaasitest sooritatud
kokkuvõte # sooritatud
heakskiit kehtib kuni: # 04.2018

Märkus
Käsitsi sisestus
Märkus

Seade MDO2-LON V 6.00/0.04.D vastavalt juhiste Versioon 2
testija nimi Amserv Järve

allkiri

Pitsat