

Ville Strandén

Testilaitteen valmistus biodieselin tutkimiseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

Tekijä(t)	Ville Strandén
Otsikko	Testilaitteen valmistus biodieselin tutkimiseen
Sivumäärä	36 sivua + 2 liitettä
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projekti-insinööri, Harri Miinin
<p>Opinnäytetyö on osana 2010 syksyllä alkanutta Metropolian AMK:n ja UPM:n Concept Car -hanketta, jota Tekes on rahoittanut. Auton on suunniteltu käyttävän 100-prosenttista biodieseliä. Hankkeen yhtenä tavoitteena on selvittää biodieselin viskositeetti talvisissa olosuhteissa.</p> <p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa biodieselin viskositeetin tutkimiseen soveltuva testilaitte sekä koekäyttää sitä tutkimusympäristössä. Työssä paneudutaan erityisesti testilaitteessa käytettävien komponenttien toimintaan.</p> <p>Testilaitte tehtiin Ford Fiesta 1.4 TDCi korkeapainejärjestelmän osista, jotka ovat Siemensin valmistamat. Moottorin tuottama käyttövoima korkeapainepumpulle korvattiin KLEEdriven kolmivaihesähkömoottorilla.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi mekaanisesti toimiva dieselpolttoaineen tutkimuslaite. Korkeapainepumpun ja Railin ohjauksen parantamisella sillä saataisiin vertailukelpoisia tuloksia biodieselin viskositeetistä.</p>	
Avainsanat	Biodiesel, Common Rail, Concept Car, testilaitte

Author(s)	Ville Strandén
Title	Manufacturing Test Equipment for Biodiesel Research
Number of Pages	36 pages + 2 appendices
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Harri Miinin, Project Engineer
<p>This thesis is a part of Helsinki Metropolia University of Applied of Science and UPM's Concept Car project started in fall 2010. The project is funded by Tekes. The Concept Car is planned to use 100 % biodiesel. One of the project objectives is to determine the viscosity of biodiesel in winter conditions.</p> <p>The objective of this Bachelor's thesis is to design and manufacture test equipment suitable for measuring biodiesel viscosity and to test the equipment in research environment. This thesis focuses on the functions of the components used in the test equipment.</p> <p>The test equipment is made from components of Ford Fiesta Common Rail, manufactured by Siemens.</p> <p>As a result of this thesis a mechanically functional device for diesel researching was made. After improving controls of the parts from Common Rail it would be possible to achieve comparable results for measuring biodiesel viscosity.</p>	
Keywords	Biodiesel, Common Rail, Concept Car, Test Equipment

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Testilaitte	3
2.1	Suunnittelu ja valmistelut	3
2.2	Rungon valmistus	4
2.3	Valmistuksessa ilmenneet ongelmat	7
3	Common Rail -järjestelmä	10
3.1	EDC:n toiminta	10
3.2	Polttoainekierto	11
3.3	Suuttimet	12
3.3.1	Pietsosuutin	12
3.3.2	Solenoidisuutin	14
3.4	Korkeapainepumppu	16
4	Suuttimien ohjauksen suunnittelu	18
4.1	Suuttimen ohjaus akuilla	18
4.2	Suuttimien ohjaus testilaitteella	19
5	Kytkenät	21
5.1	Sähkömoottori	21
5.2	Polttoainejärjestelmä	22
5.2.1	Siirtopumppu	22
5.2.2	Korkeapainepumppu	22
6	Diesel	23
6.1	Tavallinen diesel	23
6.2	Biodiesel	23
6.3	NExBTL	24
7	Testaukset	25
7.1	Testiympäristö	25
7.2	Testausmenetelmä	26
7.3	Mittaukset	27

7.4	Tulosten analysointi	30
7.5	Paineen vaikutus	30
7.6	Parannusehdotuksia	30
7.7	PID-säädin	31
8	Yhteenveto	33
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1. Ford Fiestan polttoainekaavio	
	Liite 2. Polttoainejärjestelmän komponenttien liitännäkohdat	

Lyhenteet ja määritelmät

Biodiesel	Uusiutuvista raaka-aineista valmistettu metyyliesterien seos.
CR	Common Rail, yhteispaineruiskutus.
CRI-700	Common Rail Injector Tester eli yhteispaineruiskutussuuttimen testeri, joka simuloi EDC:ltä tulevia ohjainsignaaleja suuttimelle.
EDC	The Electric Diesel Control, koostuu järjestelmä moduuleista, jotka sisältävät antureita, elektronisen ohjainlaitteen ja toimilaitteita.
EN 590	EN 590 standart, jotta sitä voi myydä autoihin käytettäväksi.
EN 14214	Standart EN 14214 vaatimusten mukaan esteröimällä valmistettua öljyä, jota voidaan kutsua biodieseliksi.
FAME	Fatty Acid Methyl Ester, rasvahapon metyyliesteri. Käytetään terminä metanolin avulla valmistetusta biodieselistä.
HVO	Tulee sanoista Hydrotreated vegetable oil ja tarkoittaa vetykäsittelyprosessilla valmistettua polttoainetta.
Kvartsi	Kova valkea tai väritön mineraali, joka koostuu piioksideista, esiintyy mm. sedimenttikivilajeissa.
NExBTL	Neste Oil Oyj:n kauppamerkki HVO-prosessille ja HVO-tuotteelle.
Turмалиini	Yleensä musta tai mustattava mineraali, jota esiintyy prismattisena kiteinä graniitissa tai muissa kivissä.
Viskositeetti	Nesteen sisäisen kitka, kuvaa polttoaineen juoksevuutta.

1 Johdanto

Tulevaisuudessa biopolttoaineiden osuutta tullaan kasvattamaan liikennekäytössä. EU:n tavoitteena on nostaa vuoteen 2020 mennessä 10 % biopolttoaineiden osuutta energiankäytössä. Tavoite on kaikkien jäsenmaiden yhteinen, mutta ne voivat halutesaan nostaa tavoitetta. Suomi on asettanut biopolttoaineiden käytön 20 %:ksi liikennekäytössä vuoteen 2020 mennessä. [1]

Tämä opinnäytetyö pohjustaa EU:n ja Suomen asettamia tavoitteita sekä alkanutta Tekes-rahoitteista Concept Car -projektia. Hanke aloitettiin syksyllä 2010 Metropolia Ammattikorkeakoululla yhdessä UPM:n kanssa. Konseptiauto on suunniteltu ekologisesti ja vähän ympäristöä kuormittavaksi. Autosta on vaihdettu muovisia osia lämpömuovattuihin puusiin ja sen moottorin on suunniteltu käyttävän 100-prosenttista uusiutuvista aineista valmistettua dieseliä. [2]

Euroopassa käytetty biodiesel FAME on valmistettu sekoittamalla kasviöljyä etanolin joukkoon. Aine ei ekologisuudestaan huolimatta ole autonvalmistajien suosiossa, sen on havaittu hapettavan polttoainelaitteita. Tämä on havaittu FAMEn ollessa varastoidussa tilassa, kun siitä on erkaantunut vettä sisältäviä faaseja. Autonvalmistajat ovat laatineet suositusarvoksi FAMEn osuudelle fossiilisen dieselin joukossa 5 - 7 %, jotta vältyttäisiin haitoilta. FAME ei myöskään sovellu tänne arktisille alueille huonon suodatettavuuden takia, jonka raja on -5 astetta. [3]

Suomessa polttoaineiden valmistajat ovat kehittäneet toisenlaisia tapoja valmistaa biodieseliä: Fischer-Tropsch-menetelmää noudattava hakkuujätteistä valmistettu nesteäinen raaka-aine, josta jatkojalostetaan dieseliä, sekä Nesteen kasviöljystä tai eläinperäisistä rasvoista vetykäsittely EN 590 -standardin täyttämä NExBTL. [4, s. 2.]

Työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa Metropolian Ammattikorkeakoululle Common Rail dieselin polttoainejärjestelmästä testilaitteisto biodieselin tuoton mittaukseen eri lämpötiloilla käytettäväksi eli viskositeetin tutkimiseen. Laitteessa ei käytetä autonmoottoria ja eikä näin ollen moottorissa olevia ohjainlaitteita. Käytettävänä polttoaineina on tarkoitus testata fossiilista dieseliä, Nesteen Pro (sisältää 15 % NExBTL), NExBTL ja mahdollisesti UPM:n valmistamaa BioVerno-nimellä kulkevaa mäntypohjaista biodieseliä. Lämpötilan muutokset vaikuttavat aineen viskositeettiin, ja tutkimuksessa onkin

tarkistettava dieselin sekä biodieselin eroavaisuuksia samoilla säädöillä ja ohjaussykeillä talvisissa lämpötiloissa. Järjestelmän pitäisi toimia luotettavasti, jotta voidaan saada vertailukelpoisia mittaustuloksia.

Työn tavoite muuttui projektin edetessä työympäristön ja testissä käytettävien komponenttien toiminnan tutkimiseen. Myös järjestelmän toiminnan testaaminen, että pohjustaminen biodieselin viskositeetin tutkimusta varten muodostavat tärkeän osan työtä. Laitteisto oli saatava tarpeeksi valmiiksi, jotta sillä voisi aloittaa testattavien aineiden tutkimisen.

2 Testilaite

2.1 Suunnittelu ja valmistelut

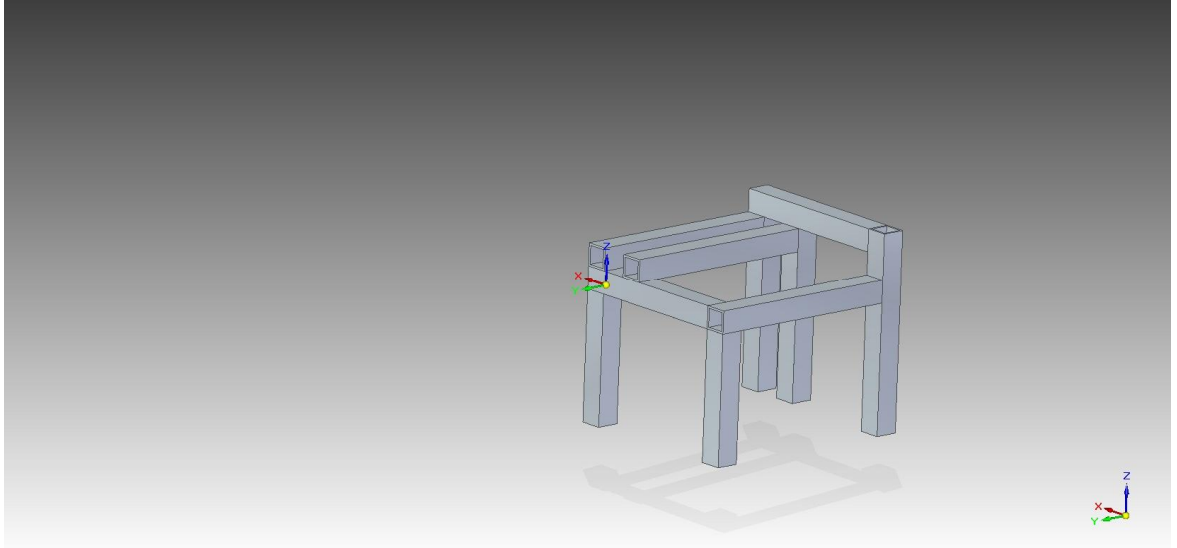
Testilaitteen valmistaminen alkoi kokoonpanon suunnittelulla ja selvityksellä, mistä osista laite muodostuu, jotta voidaan tehdä luotettavasti tarvittavat polttoainetestaukset. Ammattikorkeakoululta löytyi valmiina KLEEdriven sähkömoottori ja Siemensin CR-järjestelmän osat, jotka ovat Ford Fiesta 1.4 TDi Durateqin polttoaineen korkeapainepumppu, Rail ja pietsosuuttimet. Muita testissä käytettäviä osia ovat mm. siirtopumppu, polttoaineletkut, dieselsuodatin ja akku, joista osa löytyi suoraan ammattikorkeakoululta. Runko suunniteltiin pelkästään mekaanisille osille eli KLEEdrivelle ja CR-osille. Tavoitteena oli helposti siirrettävä laite, joten siitä jätettiin polttoainesäiliön ja siirtopumpun käyttämä akun paikka pois.

Testilaitteessa ei käytetä auton moottoria, jolloin korkeapainepumpun pyörittämiseen käytettiin KLEEdriven 1,5 kW:n kolmivaihesähkömoottoria, joka liitetään sähköverkkoon. CR-pumpulle sekä sähkömoottorille oli teetetty samanlaiset hammaspyörät, joiden voimansiirto tapahtuu laattahihnalla. Voimansiirto suunniteltiin ilman hihnankiristintä, jolloin saatiin vähennettyä komponenttien tarvetta, ja samalla laite pysyi yksinkertaisempänä sekä kevyempänä.

Ennen kuin voitiin aloittaa rungon mallintaminen SolidWorksin 3D-mallinsohjelma SolidEdgellä, oli selvítettävä Metropolialla käytettävissä olevat teräsmateriaalit, joiden mittoja hyödynnettäisiin mallintamisessa. Metropolian hitsauslaboratoriosta löytyi runkoon sopivaa terästä, ja päädyttiin käyttämään mustasta teräksestä valmistettua nelionmuotoista putkea, jonka seinämäpaksuus on 5 mm ja sivunpituus 50 mm. Suunnittelun lähtökohdana oli toteuttaa mahdollisimman tukeva runko tärinän estämiseksi. Liiallinen tärinä voisi aiheuttaa epätasaisen käynnin CR-pumpulle. Käyttöön valitusta teräskappaleesta mallinnettiin eripituisia malleja, joista SolidEdgen assembly-työkalulla koottiin runkoluonnos, jonka pohjalta lähdettiin valmistamaan polttoainejärjestelmälle sekä sähkömoottorille runkoa.

Rungon piirtäminen alkoi mitoittamalla jalkojen korkeus. Mitaksi valittiin suurempi mitta kuin mitä oli tilattujen mittalasiin korkeus. Tämän jälkeen mitoitettiin rungonsivut, jotka ovat hihnansuuntaiset. Mitoituksessa käytettiin apuna sähkömoottoria, hihnaa ja kor-

keapainepumppua, jotka aseteltiin pöydälle siten, kuin ne tulevat runkoon kiinni. 90 asteen kulmassa hihnaan nähden olevat sivut mitoitettiin samasta asetelmasta. Kuvassa 1 on mallinnettuna runkoluonnos, jonka pohjalta runkoa on lähdetty rakentamaan Metropolian hitsauslaboratoriossa.



Kuva 1. SolidEdgellä piirretty runkoluonnos, jossa on huomioitu osien sijoittelu runkoon

2.2 Rungon valmistus

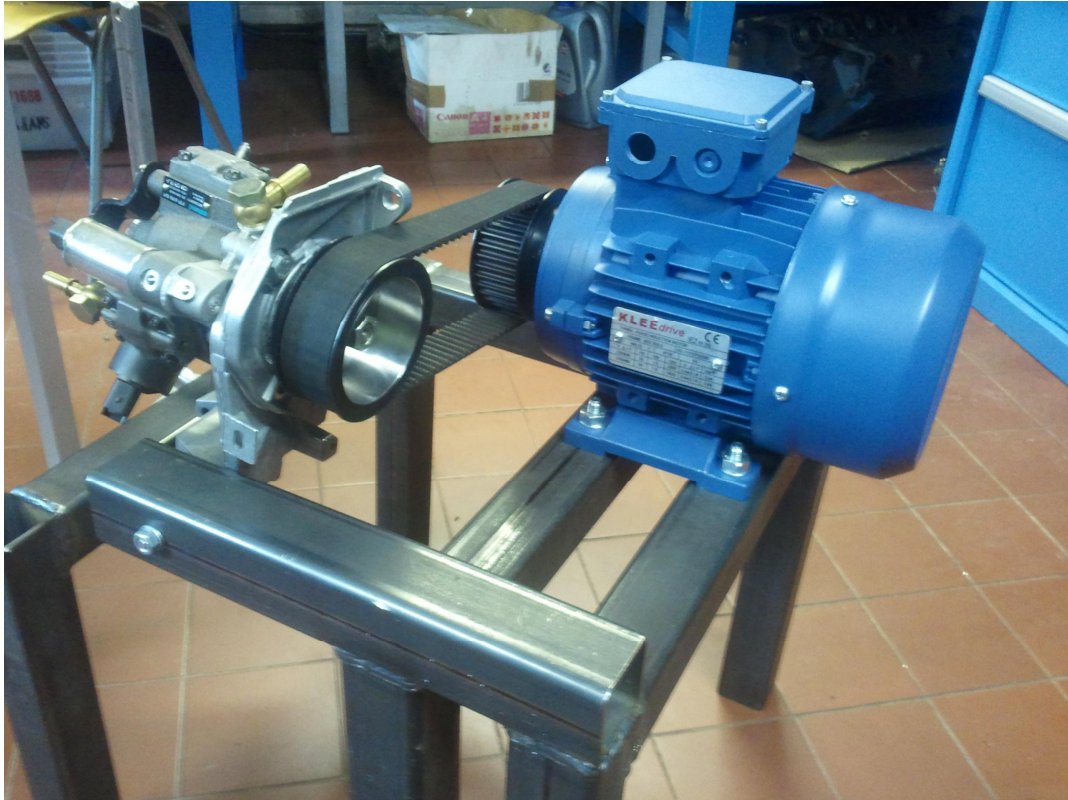
Runko valmistettiin Metropolian hitsauslaboratoriossa, jossa saatiin leikattua sopivat kappaleet metallileikkurilla. Kulmien hitsauksessa käytettiin apuna kulmapuristimia ja tasaista alustaa, johon hitsattavat kappaleet oli kiinnitetty puristimilla. Ennen kuin runko hitsattiin yhtenäiseksi, niin hitsattiin ensin kaksi erillistä kokonaisuutta. Ideana tässä oli helpottaa komponenttien kiinnitysreikien paikkojen merkintää, kun rungon puolikkaat ja komponentit pystyttiin laittamaan puristimilla kiinni yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Jos rungon olisi tehnyt loppuun asti, se olisi vaikeuttanut kiinnitysreikien poraamisessa, koska kokonainen runko ei mahdu pylväsporakoneeseen. Kuvassa 2 näkyy rungon kaksi erillistä puolikasta. Toinen puolikas kattaa sähkömoottorin alla olevat palkit, moottorinaluspalkkien jalat ja palkin, jossa pumppu on kiinni. Toinen puolikas sisältää kaksi sivua, joissa on kolme jalkaa.

Tarvittava hihnan kireys saatiin tekemällä ensin kiinnityskohta CR -pumppulle, joka kiinnitettiin ruuvilla runkoon. Pumpun alapuolelle kiinnitettiin puristimilla väliaikainen tuki-

palkki (kuva 2), jolla lisätuettiin pumppua, jottei hihna väännä pumppua sivulle. Tämän jälkeen laitettiin käytettävä hihna sähkömoottorin sekä pumpun hammaspyörille. Sähkömoottorinjalustaa kiilattiin metallipalalla, joka oli rungon ylimmäistä poikkiputkea vasten, jolloin saatiin kiristettyä hihna sopivalle kireydelle. Tämän jälkeen pystyttiin merkaamaan sähkömoottorille kiinnitysreiät runkoon vasaralla ja taltalla. Hihnan saa nyt sopivalle kireydelle, kun sen asentaa hammaspyörille ja kiristää komponenttien kiinnitysruuvit loppuun asti. Kuvassa 3 on esitetty hihnan oikean kireyden tarkistus kiinnitysruuvien asennusten jälkeen.



Kuva 2. Rungon puolikkaat osat



Kuva 3. Hihnan kireyden tarkistus kiinnitysreikien teon jälkeen

Railin ja suuttimien sijoittelussa runkoon käytettiin samoja mittoja, joilla ne on kiinnitetty moottorin lohkokoon, jolloin voitiin käyttää alkuperäisiä polttoaineen korkeapaineputkia. Rail kiinnitettiin levyyn, joka taitettiin 90 asteen kulmaan. Railin levyyn tehtiin kiinnitysreiät ja levy hitsattiin runkoon kiinni. Suutintelineettä varten mitattiin Fordin moottorilohkosta suutinpaikkojen etäisyydet työntömitalla. Suutintelineeseen tullee levyyn tehtiin reiät suuttimille ja suuttimien kannikkeille. Suutinreikien kulmat pyöristettiin siten, että suutin asettuisi tukevammin siihen. Kannikkeessa on haarukka, jonka väliin suutin asettuu. Kannikkeen korkeuden sai oikealle korkeudelle putkesta tehdyllä holkilla. Sen läpi menee kiinnitysruuvi, joka on mutterilla kiinni levyn toiselta puolelta. Suuttimien alapuolelle runkoon kiinnitettiin levy mittalaseja varten jalustaksi. Levyn etäisyyttä ei mitattu. Oikean korkeuden sai asettamalla levyn puristimilla kiinni runkoon ja levyn päälle asetettiin mittalasi siten, että suuttimen neula tulee mittalasin kauluksen sisään. Ennen runkoon hitsausta tarkistettiin suorakulmalla levyn olevan suorassa. Kuvassa 4 mitoitetaan suuttimille sopivaa levyä, jossa puristimilla kiinni oleva levy on korkeuden mitoitusta varten ja siihen lisätään mitta vaakatasoon tulevasta levystä, johon tulee reiät suuttimille.

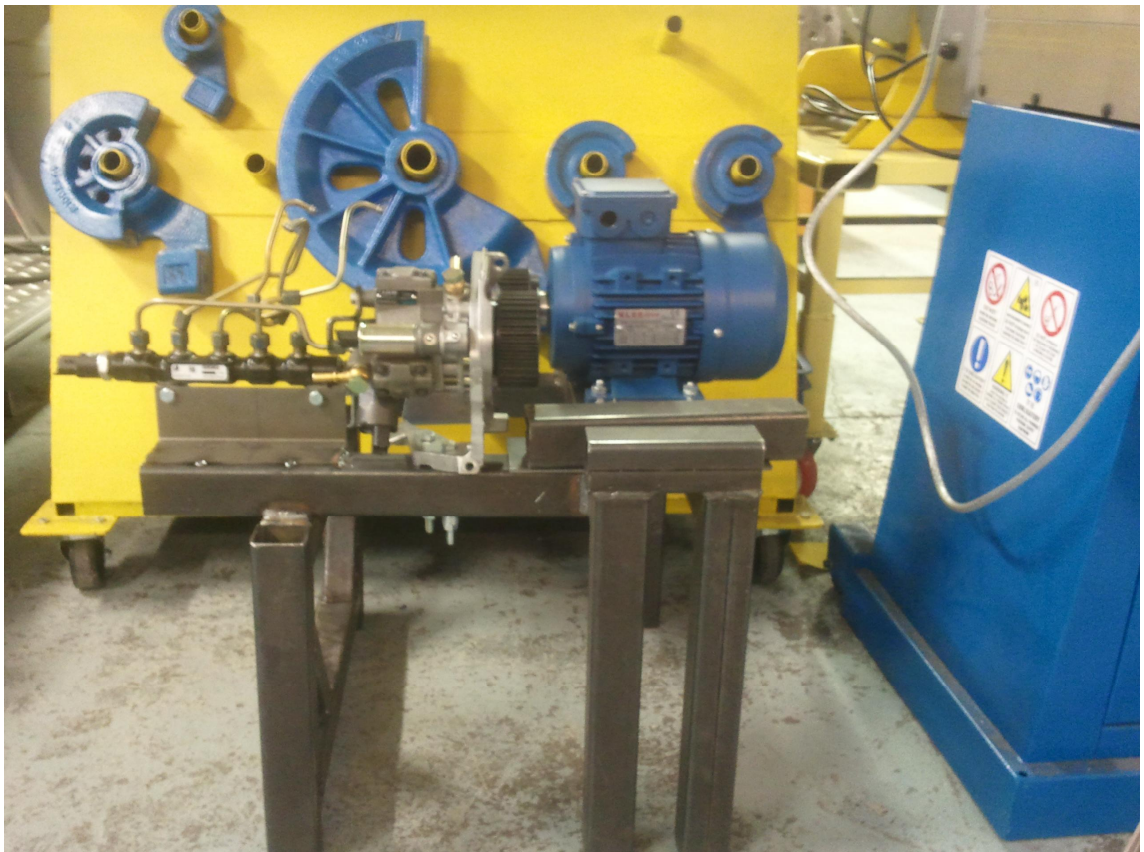


Kuva 4. Suutintelineen korkeuden mitoittaminen puristimien avulla

2.3 Valmistuksessa ilmenneet ongelmat

Penkin valmistusvaiheessa huomattiin pieniä ongelmia pumpun kiinnityksen suhteen, jota jouduttiin muuttamaan toisenlaiseksi. Aluksi se oli tarkoitus laittaa pumpun alkupe-
räisistä ruuvien rei'istä kiinni (kuten kuvassa 3), joista se on Fordin moottorinlohkossa
kiinni. Tämä tapa osoittautui hankalaksi kiinnityksen suhteen, koska pumppu ei ollut

tukevasti kiinni yhdellä ruuvilla ja toiselle ruuville kiinnityspaikan tekeminen osoittautui liian vaikeaksi. Lisäksi hihna ei tullut aivan suoraan linjaan, jolloin vaarana on hihnan luisuminen pois paikaltaan käytön aikana. Päädyttiin kiinnittämään pumppu toisella tavalla runkoon. Lisättiin uusi palkki pumpunkiinnikkeen alapuolella ja porattiin pari reikää kiinnikkeeseen. Pumpunkiinnike jyrättiin suorakulmaksi, jotta sen voisi kiinnittää palkkia vasten ja hihna tulisi suoraan linjaan. Muutostyö ei vaikuttanut hihnan kireyteen, koska uusi palkki lisättiin kiinni ennen kuin pumpunkiinnike oli alkuperäisessä rungon paikassa kiinni. Ennen uusien kiinnityspaikkojen porausta runkoon, varmistettiin vielä suorakulmien ja narun avulla, että hihna tulee suoraan linjaan sekä tarvittavalle kireydelle. [5] Kuvassa 5 on muutostyön jälkeen runkoon asennetut komponentit, jotka ovat hammaspyörien linjan tarkastusta varten.



Kuva 5. Hammaspyörät linjassa keskenään ja pumppu kiinnitettyä runkoon

Toinen ongelma tuli vastaan suuttimien asettelussa. Suuttimien alle on tarkoitus laittaa mittalasit, jotka ovat noin 30 cm korkeita, ja yksi suuttimista osoitti suoraan runkopalkkia kohden. Palkin ja suuttimen etäisyys oli 10 cm, jolloin jouduttiin katkaisemaan palkki siitä kohtaan ja tekemään tukipalkit rungon alaosaan ennen poikkileikkausta. Tällä ta-

valla estetään aikaisemmista hitsauksista runkoon tulleet jännitteet ennen katkaisuvaihetta, kun runko tuetaan ennen katkaisua [5]. Muutostyö paransi kuitenkin suuttimille tarkoitetun jalustan kiinnitystä, kun sen nyt pystyy kiinnittämään alemmasta kohtaa. Kuvassa 6 on mekaanisesti valmis kokonaisuus ilman polttoaineletkuja tai sähköisiällitöntöjä.



Kuva 6. Lopullinen kokoonpano mekaniikan osalta

3 Common Rail -järjestelmä

Common Rail -järjestelmää eli yhteispaineruiskutusjärjestelmää käytetään melkein kaikissa nykyisissä dieselautoissa. Se koostuu matala- ja korkeapainepiireistä. Korkeapainealueen komponentteja ovat paineistettu polttoaineenvaraaja eli Rail, korkeapainepumppu sekä ruiskutussuuttimet, joita on muutamia eri malleja, kuten pietsokiteitä hyödyntävä suutin sekä solenoidisuutin. Matalapainepiiriin kuuluvat polttoaineen paluu- ja sisääntuloputket korkeapainepumpulta, Raililta sekä suuttimelta.

Järjestelmän rakenteellinen toiminta perustuu suoraruiskutukseen, jolloin paineen tuotto ja polttonesteen annostelu palotilaan tapahtuvat toisistaan erillään. Ruiskutuspaineseen ei vaikuta moottorin pyörintänopeus eikä ruiskutetun polttonesteen määrä, vaan tiedot on tallennettu Rail-muistiin. Moottorinohjainlaite tunnistaa vallitsevan paineen Raililla painetunnistimen avulla, joka lähettää jännitesignaalin EDC:lle. Varaajanpainetta säädetään paineensäätöventtiilillä ja/tai annosteluyksiköllä, jotka sijaitsevat korkeapainepumpussa. EDC ohjaa niitä pulssiaikaohjatulla signaalilla. [6, s. 262 - 264.]

3.1 EDC:n toiminta

Moottorinohjainlaite EDC kerää ajosta tietoja mm. kaasupolkimen asennosta ja senhetkisestä moottorin käyntinopeudesta sekä seuraavilta sensoreilta:

- kampiakselin nopeus ja kulma
- railin paine
- ahdettu ilmanpaine
- sisääntuloilma, jäähdytysnesteen lämpötila ja polttoaineen lämpötila
- ilmamassan sisääntulo
- ajonopeus jne.

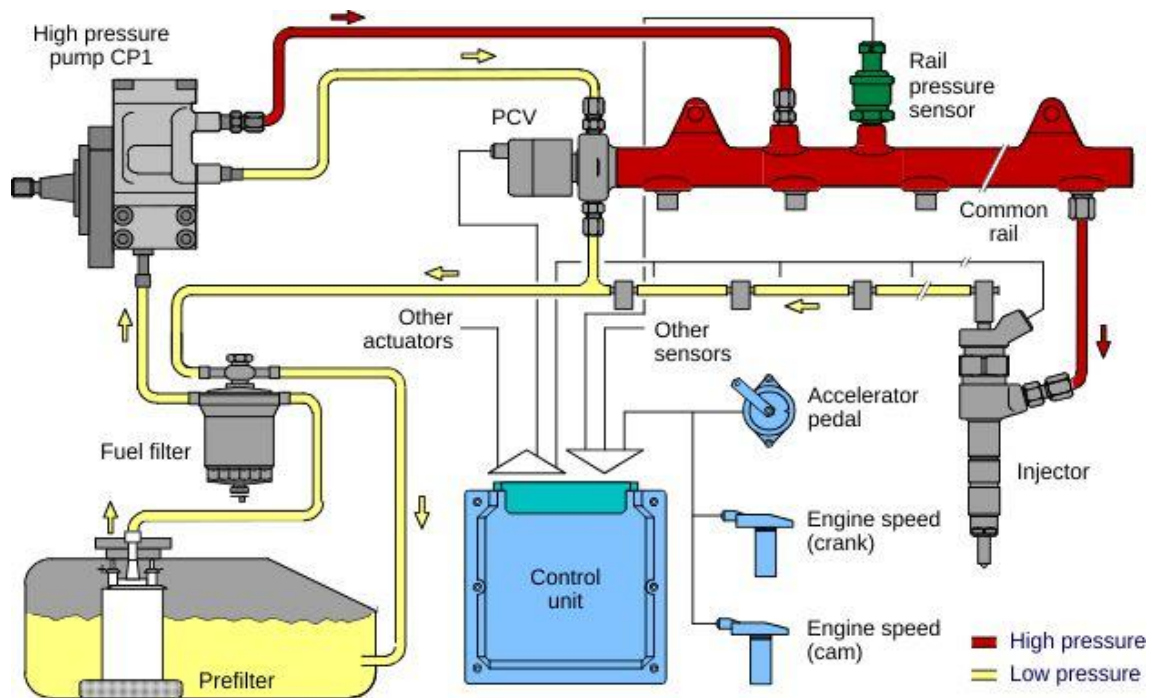
Elektroninen ohjainlaite "ECU" arvioi tulosignaalit, jotka on synkronoitu polttoainejärjestelmän kanssa. Se laskee aktivointisignaalit paineensäätöventtiilille, annosteluyksikölle, suuttimille sekä muille toimilaitteille, kuten EGR-venttiilille ja pakokaasuahtimelle.

Suuttimien kytkentäajat muuttuvat ajotilanteiden mukaan, ja niiden on reagoitava nopeasti ajotilanteidenmuutoksiin. Tämä onnistuu käyttämällä optimoitua korkea-paine kytkentäventtiileitä ja erityistä valvontajärjestelmää. Tietoja ruiskutuksen ajoitukselle kerätään kampiakselin ja nokka-akselin asentoantureilta sekä moottorinkäyntinopeudesta, joka saadaan laskettua työkiertoon käytetystä ajasta. EDC laskee tarkasti ruiskutettavan polttoainemäärän palotilaan. [6, s. 266.]

3.2 Polttoainekierto

Polttoainekierto alkaa tankilta siirtopumpun tuottamalla esimerkiksi noin 6 bar:n paineella polttoainesuodattimelle, johon on kiinnitetty polttoaineenesilämmitin kuten kuvassa 7. Siirtopumpun tuottama paine on järjestelmäkohtainen ja vaihtelee valmistaja ja moottorikohtaisesti. Polttoaine kulkeutuu korkeapainepumpulle, jossa osa polttoaineesta paineistetaan Railille 130 bar:sta aina 2200 bar:iin asti riippuen moottorin kuormituksesta ja käyntitilasta. Paineistettu polttoaine on Railissa, josta sitä annostellaan jokaiselle suuttimelle tarvittava määrä. Railin paine vaihtelee muutaman bar:n ruiskutuksen aikana, jolloin Railia ei paineisteta korkeapainepumpun toimesta. Ei paineistettu polttoaine korkeapainepumpulta palaa takaisin tankille paluukanavia pitkin. Myös suuttimella ja Raililla on omat paluukanavansa tankille. Tällä menettelyllä estetään järjestelmän ylipaineistus ja liiallinen polttoaineen lämpötilan nouse.

Liitteessä 1 on esitetty Ford Fiestan polttoainekaavio ja liitteessä 2 polttoainejärjestelmän liitännäkohdat.



Kuva 7. CR-järjestelmän polttoainekaavio [7]

3.3 Suuttimet

Nykyiset Common Rail-dieselit käyttävät pääsääntöisesti muutamia hieman eri tavalla toimivia suutintyyppiä, jotka ovat pietsokiteitä hyödyntävä pietsosuutin sekä solenoidiventtiliset suuttimet. Suutintyyppistä huolimatta kaikki suuttimet hyödyntävät paine-eroa ruiskutustapahtumassa, jonka toiminnallista nopeutta voidaan säätää erilaisilla ratkaisuilla. Common Rail -järjestelmän suuttimet toimivat isoilla ohjausjännitteillä, jotka ovat pietsosuuttimilla yleisesti 100 - 200 V ja solenoidisuuttimilla noin 50 - 70 V. Suuttimien paineellinen toiminta-alue on laaja. Esimerkiksi Siemens VDO -pietsosuuttimet Volkswagen-autoissa toimivat 130 - 2200 bar:n ja Siemens VDO -solenoidiventtiiliset suuttimet toimivat 160 - 2050 bar:n alueella [8].

3.3.1 Pietsosuutin

Suuttimen toiminta perustuu vuonna 1880 löydettyyn pietsosähköiseen ilmiöön, jonka löysivät Pierre Curie ja hänen veljensä Jacques.

Tietynlaiset kristallit, kuten kvartsi ja turmaliini ovat pietsosähköisiä mineraaleja. Elektroninen lataus on indusoituna kristallien pinnalle kohdistettuna puristuksena tai venytettyinä voimina pitkin tiettyjä kideakseleita. Tämä sähköinen polarisaatio syntyy vaihtamalla positiivisia ja negatiivisia ioneja kiteenominaisuuksissa kohdistamalla voimaa niihin. Painovoiman varauksessa siirtyvät keskukset kompensoituvat kiteiden sisällä automaattisesti, mutta sähköinen kenttä muodostuu kiteiden päätypintojen välillä. Puristettuna tai venytettynä kide muodostaa käänteisen suunnan kentälle. Sähköisellä vaihtojännitteellä voidaan vaihtaa positiivisen ionin sähkökenttä negatiiviseksi ja taas negatiivisin ionin sähkökenttä positiiviseksi. Kiteet laajenevat tai kutistuvat riippuen sähköisen kentän voimakkuudesta ja suunnasta.

Seuraavaa kaavaa sovelletaan pietsosähköisen kentän voimakkuudessa.

$$E_p = \delta \Delta x/x$$

$\Delta x/x$: suhteellinen puristus tai venymä

$$\delta: \text{pietsosähköinen kerroin, numeerinen arvo } 10^9 \frac{V}{cm} \text{ arvoon } 10^{11} \frac{V}{cm}$$

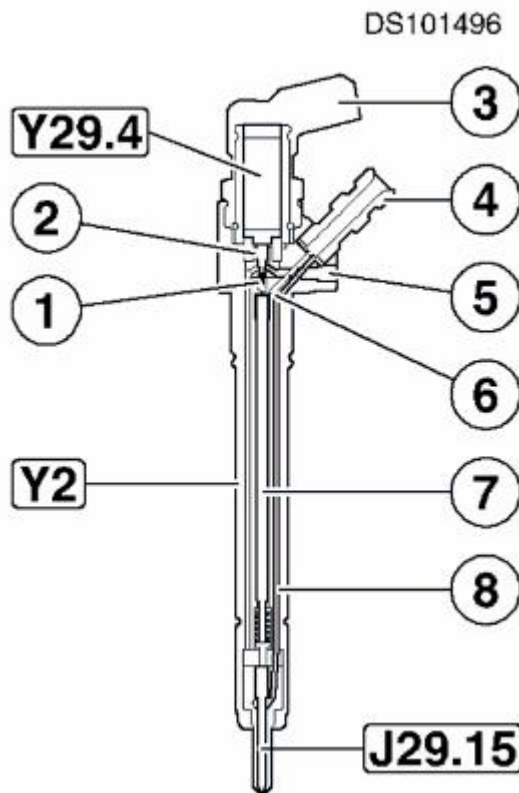
Pituuden muutos on Δx tulos seuraavanlaisesti, kun jännite U on mukana.

$$\frac{U}{\delta} = \Delta x$$

Esimerkiksi käytettäessä kvartsia muodonmuutos on noin 10^{-9} cm jännitteen ollessa 10 voltia.

Pietsosähköistä ilmiötä käytetään ajoneuvotekniikassa mm. antureissa ja suuttimissa. Antureissa se toimii mekaanisella tavalla, jossa pietsokiteitä sisältävästä materiaalista tehty jousi liikkuu värinän mukana ja lähettää ohjainlaitteelle jännitteen. Esimerkiksi bensiiniautoissa käytetään nakutusohjainta, jonka anturi havaitsee poikkeavat taajuuudet moottorin ominaisvärinän yli. Suuttimissa ilmiötä käytetään toisella tavalla. Siinä tuodaan jännitettyä kiteille, jotka laajentuessaan ja supistuessaan liikuttavat joustia. [6, s. 277.]

Kuvassa 8 on poikkileikkauskuvaa testiin tarkoitettu pietsosuuttimesta. Ford Fiestan pietsosuuttimen ruiskutus tapahtuu pietsosäätöelintä ohjaamalla. Kun pietsosäätöelin (Y29.4) on ohjaustilassa, pietsokristallit laajenevat siellä. Näin syntyvä voima vaikuttaa venttiilimännän (2) välityksellä venttiilihattuun (1), joka aukeaa. Tästä johtuen polttoaine pääsee virtaamaan paineen alaisena paluuliitännän (5) kautta eteenpäin. Tulopuolen kuristimien (6) kautta ei pääse virtaamaan tarpeeksi polttoainetta, jolloin polttoaineen paine venttiilien ohjaustilassa laskee. Suutinneulalla (J29.15) vallitseva korkea polttoainepaine avaa suuttimen ja polttoaine pääsee suihkuamaan palotilaan. Ruiskutusaika kestää niin kauan, kun pietsosäätöelintä ohjataan. Tietojen saamiseen on käytetty Boschin ESI[tronic] 2.0 -diagnostiikkaohjelmaa [9].



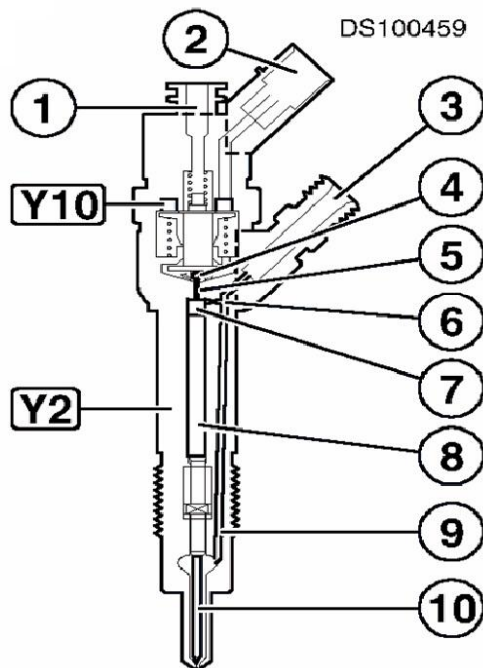
Kuva 8. Ford Fiestan pietsosuuttimen poikkileikkauskuvaa [8]

3.3.2 Solenoidisuutin

Solenoidiventtiilisiä suuttimia ohjataan parilla eri tavalla. Yksi vaihtoehto on magneettiventtiilinen, jossa suuttimen neulanliikettä ohjataan vaihtamalla käämin navoitusta positiivisesta negatiiviseksi. Tämä mahdollistaa suuttimen sisällä olevan männän liikkeen

molempiin suuntiin ohjaamalla käänin navoitusta. Toinen tapa on liikuttaa suutinneulaa paine-erolla. Siinä neulaa liikutetaan ohjaamalla suuttimen yläosassa sijaitsevaa paluukiertoa, jossa vallitsee alipaine aukaisemalla magneettiventtiili. [6, s. 279 - 283.]

Kuvassa 9 on selitetty paine-eroon pohjautuva suuttimen toiminta. Polttoainepaine vaikuttaa venttiiliohjausmännän (8) päällä ja suutinneulalla (10). Suutinjousen voima ja polttoainepaine venttiiliohjaustilassa (7) estää suutinneulan avautumisen. Ruiskutusta ohjataan magneettiventtiiliä ohjaamalla (Y10). Ohjaussignaali tuodaan dieselin moottorinohjauslaitteelta. Magneettiventtiilin ollessa auki polttoaine pääsee virtaamaan venttiiliohjaustilasta paluukuristimen (5) kautta polttoaineen paluuseen. Tulokuristimen (6) kautta ei voi virrata riittävästi polttoainetta tilalle, ja polttoainepaine venttiiliohjaustilassa laskee ja suutinneula sulkeutuu. Korkea polttoainepaine avaa suuttimen. [9]



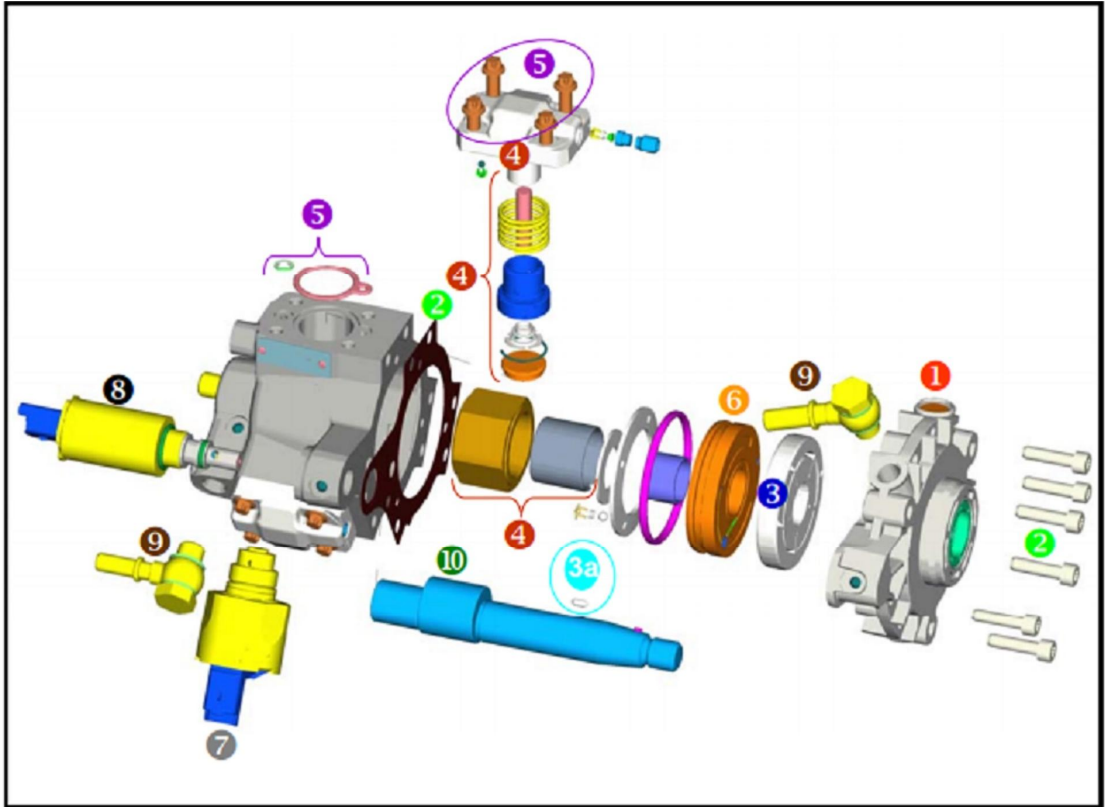
Kuva 9. Solenoidisuuttimen poikkileikkäuskuva [9]

3.4 Korkeapainepumppu

Korkeapainepumpun tehtävänä on tuottaa varaava paine Railille. Pumpun paineen tuottoa ohjataan paineensäätöventtiilillä ja polttoaineen syöttöä Railille säädetään polttoaineenannosteluyksiköllä. Annosteluyksikkö toimii pulssiaikaohjatulla jännitteellä, kuten myös paineensäätöventtiili, jotka on yhdistetty johtosarjalla EDC:n. Pumppu ei paineista Railia, kun ruiskutus on käynnissä. [6, s. 288.]

Testilaitteessani ja tutkimuksessa käytettävä korkeapainepumppu on Euro 3- ja Euro 4 -dieselmootoreissa käytössä oleva Siemens VDO:n valmistama [9]. Se toimii yhdellä männällä ja saa käyttövoimansa hihnavälityksellä. Kuvassa 10 on räjäytyskuva testilaitteen korkeapainepumpusta. Siitä on lueteltu kytkentöjen kannalta tärkeimmät osat. Siitä puuttuu numero Railille menevälle liitokselle, koska kuvaan on pelkästään numeroitu osat, jotka voidaan vaihtaa uuteen. Railille menevä liitospaikka on keltaiseksi merkitty osa polttoaineenannosteluyksikön yläpuolella.

- Numero 7 on paineensäätöventtiili.
- Numero 8 on polttoaineenannosteluyksikkö.
- Numero 9 on polttoaineen sisään- ja ulostuloletkujen liitännät, joista kuvan oikeanpuoleinen on pumpulta tuleva polttoaine ja vasemmanpuoleinen menee takaisin tankille.



Kuva 10. Räjätyskuva korkeapainepumpusta Siemens VDO PCR 2.0 DV 4 TD [10]

4 Suuttimien ohjauksen suunnittelu

Suuttimien ohjauksen lähtökohtana on löydettävä tiedot sen avautumisjännitteestä sekä tarvittava avautumispaine joutokäynnillä.

4.1 Suuttimen ohjaus akuilla

Tietoja suuttimien arvoista lähdettiin etsimään Boschin ESI[tronic] 2.0 -diagnostiikkaohjelmasta. Ford Fiestan tiedoista ei löytynyt suuttimen ohjaukseen tarvittavia tietoja. Tämän jälkeen yritettiin saada tietoja Fordilta, mutta ei löytynyt oikeaa henkilöä, joka olisi voinut auttaa asiassa. Internetistä tutkittiin, missä autoissa käytetään samaa Siemensin CR-järjestelmää. Sieltä löytyi muutamia merkkejä, mm. Toyota Aygo ja Citroen C3, joissa on käytössä sama järjestelmä.

Näitten autojen tietojen perusteella etsittiin ESI[Tronic] 2.0:sta tarvittavia tietoja. Aluksi tarkistettiin saaduista tiedoista, että järjestelmä sekä moottorinohjaus ovat Siemens:n. Järjestelmät täsmäsivät Ford Fiestan kanssa ja sieltä löytyi tiedot avautumisjännitteeksi 40 - 60 V joutokäyntialueella [9].

Tällainen volttimäärä oli vielä toteutettavissa käytännöllisesti sarjaan kytketyillä akuilla, joita käytettiin neljä. Akkujen jännitteen suuttimille tuotiin Boschin pääteasteen kautta, jolla ohjataan sytytystä bensiinimoottoreissa.

Ideana suuttimen ohjauksessa akuilla oli maadoittaa pääteasteen läpi kulkevaa akkujen jännitettä ja virtaa suuttimille erillisellä pulssigeneraattorilla.

Kytkeä tehtiin suuttimen plusnavasta sulakkeelle, josta kytkimen kautta sarjaan kytkettyjen akkujen plusnapaan. Suuttimen miinusnavan kytkettiin pääteasteen porttiin yksi. Pulssigeneraattorin kytkettiin porttiin kaksi BNC-kaapelilla, josta vedettiin abiego-liittimien avulla maadoitusjohto akkujen miinusnapaan. Portista neljä meni maajohto akkujen miinusnapaan.

Pulssigeneraattorin ohjaussignaali säädettiin oskilloskoopin avulla. Ohjausaika yritettiin saada samaksi kuin suuttimen aukioloaika auton joutokäynnillä, joka on 435 - 500 μ s [9].

Porttia kaksi maadoitettiin pulssigeneraattorin pulsseilla, jolloin pääteaste maadoittaisi portista kaksi portin neljä sijaan ja suutin aukeaisi. Kytkeä testattiin lyhyen aikaa kuivalle suuttimelle, jonka kytkentä osoittautui oikeaksi. Suuttimesta lähti naksahava ääni, joka lähtee jousen liikkeestä.

Ongelmaksi muodostui ruiskutuksen saaminen suuttimesta korkeapaineen kanssa. Suuttimesta ei tullut ainetta ulos useista kokeiluista huolimatta. Tämä johtui riittämättömästä jännitteestä. Päädyttiin käymään kysymässä neuvoja Ford Autokeskukselta sekä hakemaan lisätietoja Siemensin CR-järjestelmästä. Lopulta tarvittava avautumisjännite löytyi merkkikohtaisesta koulutuskirjasta. EDC:n ohjaama jännite olisi suuttimelle 70 voltia ja pietsoelementti nostaisi jännitteen 140 volttiin. Tämä tieto vastasi netistä etsittyjen pietsosuuttimien toimintajännitteitä, jotka olivat yleisesti 100 - 200 voltia [8].

4.2 Suuttimien ohjaus testilaitteella

Akuilla toimiva ohjaus osoittautui nyt epäkäytännölliseksi, eikä pääteastekaan olisi tuollaista jännitemäärää kestänyt. Päädyttiin etsimään valmista ohjainlaitetta tai vaihtoehtoisia tapoja ohjata suutinta. Internetistä löytyi muutamia Common Rail -suuttimien testaukseen soveltuvia laitteita, jotka simuloivat moottorinohjainlaitteen signaaleja suuttimille.

Toinen laitteista maksoi 1500 euroa, ja sen olisi saanut Suomesta, ja toinen maksoi noin 400 euroa Kiinasta postikuluineen. Päädyttiin tilaamaan Kiinasta CRI-700 suutintesterin hinnan takia. Tuotekuvauksen perusteella laite ohjasi Boschin, Delphin ja Denso solenoidisuuttimia sekä Siemensin pietsosuuttimia.

Laitteen mukana ei tullut sopivaa liitinosaa Siemens-suuttimille, joten abiegoliittimillä tehtiin kytkennät suuttimille. Kohdattiin taas ongelma, kun laite ei tukenutkaan pietsosuuttimia laitteen "piezo"-vaihtoehdosta huolimatta. Yleismittarilla käytiin läpi kaikkien valmistajien ohjausasetuksilla olevat ulostulojännitteet eli ohjausjännitteet. Yleismittari ei anna hetkellistä jännitearvoa vaan keskiarvon, joka näytti noin 7 - 8 voltia asetuksilla Bosch, Delphi ja Denso, mutta piezo-asetus näytti 0 voltia. Laite ei siis tukenutkaan pietsosuuttimia.

Seuraavaksi oli löydettävä solenoidisuutin kohtuulliseen hintaan, esimerkiksi purkamoista tai varaosaliikkeistä maksimissaan 300 euroa. Samalla otettiin yhteyttä Boschtiin, olisiko heillä antaa tai lainata suutinta tutkimuskäyttöön. Sieltä saatiin käytettäväksi Volvossa käytettävä Boschin magneettiohjattu solenoidisuutin tutkimuksen ajaksi.

Bosch antoi tarkat ohjeet suuttimen toiminta-alueesta sekä tiedot siitä, minkälainen käyttö rikkoisi suuttimen. Suutinta ei saanut käyttää kuivana, sillä sen käämi on polttoainejäähdytteinen, muuten se johtaa suuttimen rikkoutumiseen. Suuttimen aukioloajaksi ei saanut laittaa 2000 μ s tai sen yli, koska paineistettupolttoaine voi olla 300 °C neulalla. Tämä aiheuttaa neulan rikkoutumisen. Suosituksia suuttimen aukiololle oli 600 μ s ja Railin paineelle 300 bar joutokäyntialueella testatessa. [11]

Boschin suutin on isompi, kuin aluksi tutkimukseen tarkoitetut Siemensin suuttimet. Suutin saatiin tukevasti kiinni testilaitteeseen ruuvien ja letkunkiristimien avulla. CRI-700:n mukana tulleista liitosjohdoista yksi kävi suoraan Boschin suuttimen liittimeen, jolloin välttyttiin ylimääräisiltä liitoksilta.

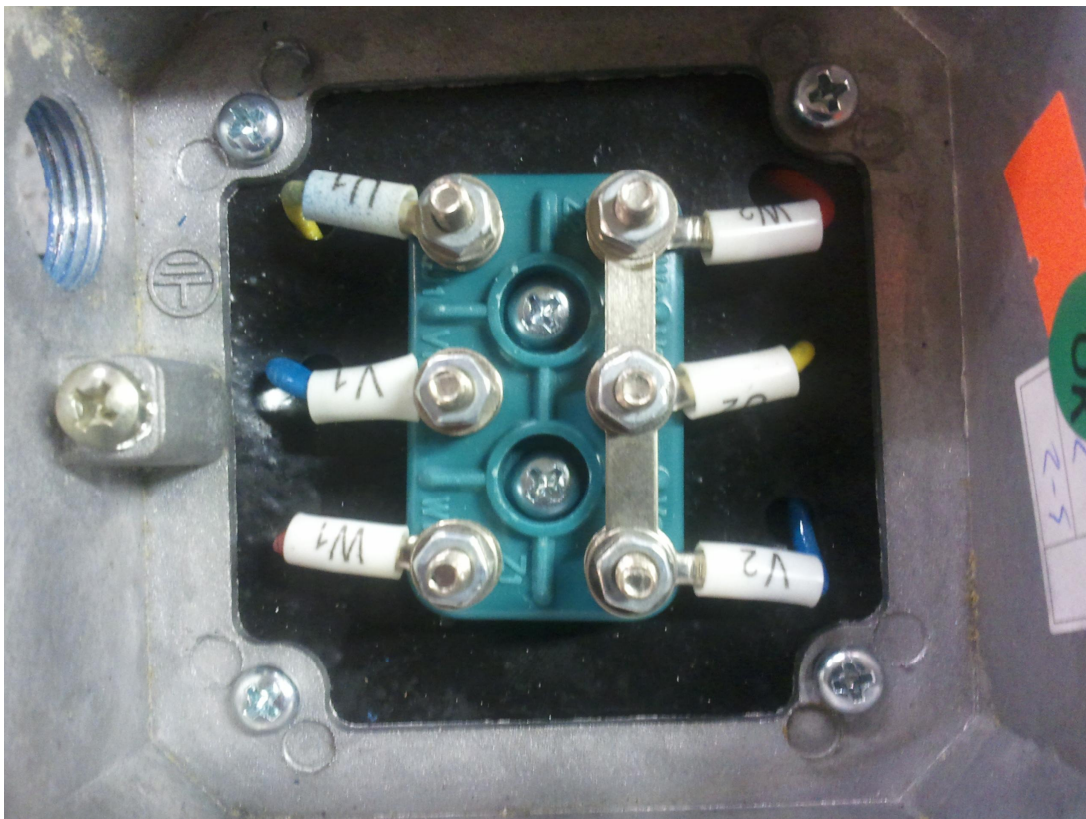
Kyt kentöjen jälkeen päästiin testaamaan CRI-700:n toimintaa eli selvittämään ohjaako se Boschin suutinta. Railin paineen annettiin nousta yli 300 bar:iin ennen ohjauksen käynnistystä Start-painikkeesta. Suuttimesta kuului naksahdukset ja dieseliä saatiin ajettua suuttimen läpi mittalasiin.

5 Kytkenät

5.1 Sähkömoottori

Sähkömoottorin liittäminen sähköverkkoon tapahtuu kytkentäkaapelilla, jossa on viisi eriväristä johtoa, joista keltavihreä on maajohto ja sininen johto on yksivaihejohto, jota ei tarvitse kytkeä kolmivaihemoottorissa. Pistokkeen paikat kaapelissa ovat merkitty L1, L2, L3, N ja maadoitus. N paikkaan voidaan kytkeä sininen johto, mutta se ei ole välttämätöntä. Lukuun ottamatta keltavihreää ja sinistä johtoa ei ole väliä, miten johdot kytkee paikkoihin L1,L2 ja L3, kunhan ne tulevat moottorissa L1:n U1:een, L2:n V1:een sekä L3:n W1:een. Kuvassa 11 on kytkentäkaapelin sähkömoottorin puoleiset kytkentäpaikat.

Sähkömoottorin pyörimissuuntaa voidaan muuttaa vaihtamalla moottorissa olevien U1-, V1- ja W1-kytkentöjen paikkoja keskenään. Kytkenässä on muistettava laittaa vedonpoistaja sähkömoottorikytkentäkotelon ulostulolle ja maajohdon on oltava pidempi kuin muiden liitosjohtojen. Näillä toimenpiteillä ennalta ehkäistään vaaratilanteiden muodostuminen. [12]



Kuva 11. Kolmivaihesähkömoottorin kytkentäkotelon johdotuksen kytkentäpaikat

5.2 Polttoainejärjestelmä

5.2.1 Siirtopumppu

Pumpusta lähtee miinusjohto suoraan akun miinuskengälle ja plusjohto kulkee sulakkeen kautta kytkimelle, mistä menee johto samalle akulle pluskenkään.

5.2.2 Korkeapainepumppu

Korkeapainepumpun paineensäätöventtiilille tulee jännite samalta akulta, johon on kytkettynä siirtopumppu. Pluspuolen johto paineensäätöventtiililtä menee samalle kytkimelle, jota siirtopumppu käyttää. Kytkimeltä johto menee sulakkeelle ennen akkuun kytkentää. Miinuspuolen johto menee suoraan akulle.

6 Diesel

6.1 Tavallinen diesel

Testissä käytetty tavallinen diesel on asemilta saatava fossiilinen EN 590 -standardin täyttävää 100-prosenttista fossiilista dieseliä. Se on kesälaatuista, joka merkitään (-5/-15), josta -5 °C tarkoittaa aineen samepistettä ja -15 °C suodatettavuutta. Samepiste tarkoittaa polttoaineen alhaisinta säilytyslämpötilaa, jossa sen koostumus säilyy muuttumattomana. Suodatettavuus tarkoittaa taas polttoaineen alhaisinta käyttökelpoista lämpötilaa. Suodatettavuusrajalämpötilan alapuolella polttoaineen virtaaminen polttoaineletkuissa, suodattimessa ja toiminta ylipäättänsä polttoainejärjestelmässä vaikeutuu tai estyy kokonaan. [13]

6.2 Biodiesel

Suurimmaksi osaksi biodieselin raaka-aineena käytetään auringonkukka-, rypsi-, palmu-, soija tai muuta syötäväksi kelpaavaa kasviöljyä. Muita soveltuvia aineita ovat käytetty paistorasva ja -öljy sekä teurasjätteet ja muut eläinrasvat.

Biodieselillä tarkoitetaan rasvahappojen metyyli- tai etyyliestereistä koostuvaa polttonestettä. Se valmistetaan esteröimällä kasvi- tai eläinrasvat alkoholin avulla, ja usein alkoholi on kustannussyistä metanoli. Metanolilla valmistetuista biodieseleistä käytetään termejä FAME ja RME. Esteröitymisreaktiosta syntyy biodieselin ohella sivutuotteita, kuten glyseroli ja puristuskakku, joka on raaka-aineesta jäävä kuiva osa.

Biodieselin ominaisuudet määritellään kansainvälisissä standardeissa EN 14214 -merkinnällä. Standardi määrää biodieselin setaaniluvuksi vähintään 51, joka tarkoittaa sytytysviivettä eli sitä, kuinka kauan polttoaineella kestää syttyä, kun palotilaan on ruiskutettu polttoainetta. Mitä korkeampi setaaniluku, sitä lyhempi sytytysviive. Biodieseliä käytetään sekoitettuna fossiiliseen dieseliin dieselmoottoreissa, mutta jotkut ajoneuvot sallivat 100-prosenttisen biodieselin käytön. Tämä käytäntö vaatii yleensä letkujen ja tiivisteiden vaihtamista.

Kylmäominaisuuksiltaan biodiesel on huonompi kuin fossiilinen diesel. Tämä johtuu korkeammasta samepisteestä. Sitä voidaan parantaa lisäaineilla, kuten fossiilisten dieselin kohdalla on pitkät ajat parannettu sen talvilaatua lisäaineilla. [14; 15, s. 10.]

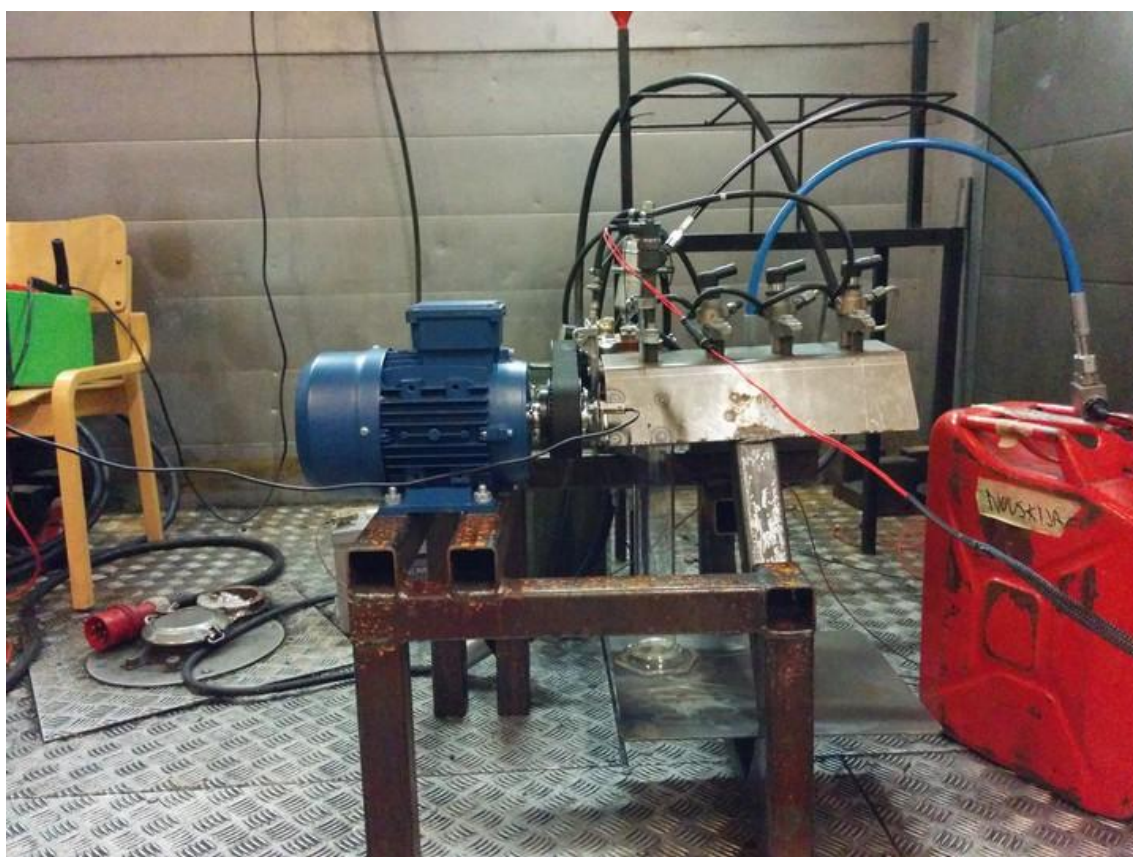
6.3 NExBTL

Neste Oilin valmistama NExBTL tuotetaan 100-prosenttisesti uusiutuvista raaka-aineista ja se luokitellaan HVO-typin polttoaineeksi. Valmistusprosessi tapahtuu vetykäsittelmällä erilaisia kasviöljyjä, eläinperäisiä jäteöljyjä tai muita kasviöljystä tulleita sivutuotteita. Se vastaa kemiallisella koostumuksellaan fossiilista dieseliä ja täyttää standardit EN 14214 sekä EN 590, jolloin sitä voi käyttää autonmoottorissa. Ainetta ei ole tarjolla tankkausasemilla, vaan se pitää hankkia suoraan jalostamolta. [13; 14.]

7 Testaukset

7.1 Testiympäristö

Testaukset ja mittaukset suoritettiin Metropolian ammattikorkeakoulun kylmälaboratoriossa, jonka lämpötilaksi saa alimmillaan -30 °C . Siellä on myös hyvä ilmanvaihto, mikä on hyvä työskennellessä polttoaineiden kanssa. Tilassa on pistoke tuulettimelle, jonka pyörimisnopeutta voi säätää valvomon kontrollerilla, joka toimii taajuusmuuttajana. Tähän pistokkeeseen kytkettiin KLEEDriven sähkömoottori, jolloin pyörintänopeus saatiin halutulle nopeudelle aina moottorin maksiminopeuteen 2840 rpm asti. Moottorinopeutta voidaan tarkastella hall-anturiin kytketyltä digitaalinäytöltä. Kuvassa 12 on valmis testikokoonpano mittauksia varten.



Kuva 12. Testikokoonpano kylmälaboratoriossa

7.2 Testausmenetelmä

Testissä asetettiin CRI-700-asetukset seuraavanlaisesti. Suuttimeksi valittiin Bosch, suuttimen aukioloajaksi 550 μ s, taajuudeksi 1 Hz ja toistoluvuksi 60 kuten kuvassa 13. Näillä säädöillä suutinta ohjattiin 60 sekunnin ajan eli 60 ohjaussykliä. Suuttimen ohjaus käynnistetään Count-painikkeella, kun Railin paine nousi ensimmäisen kerran 350 bar:iin. Paineen vaihtelua suuttimen toiminnan ajan seurattiin Boschin korkeapainemittarilla, joka mittaa paineen Railin ja suuttimen väliin asetetusta varaajasta. Paine vaihteli testin aikana Railissa dieselillä välillä 300 - 400 bar ja NeXBTL:llä 260 - 360 bar. Muutamilla kerroilla paine nousi maksimissaan 500 - 700 bar:iin. CR-pumppua pyöritettiin noin 1090 kierroksella. Jokaisen mittauksen jälkeen paino tarkistettiin ADAM vaa'alla, jolla pystyy punnitsemaan 0,1 g tarkkuudella. Ainemäärää ei pystytty näin lyhyillä testeillä mittaamaan, koska tilatut mittalaset olivat liian isot millilitrojen mittausta varten. Mittalaseissa asteikko alkaa 50 ml:sta ja loppuu 500 ml:aan.



Kuva 13. CRI-700:aan asetettuna testin parametrit

7.3 Mittaukset

Seuraavat mittaukset ja huomiot testilaitteen toiminnasta olivat pohjustavia kokeiluita tutkimuksen jatkajalle. Suoritettiin seitsemän koemittausta fossiilisille dieselille sekä NExBTL:lle, jotta voitiin testata järjestelmän toimintaa ja luotettavuutta että testiympäristöä. Testien määrällä yritettiin kompensoida paineen aiheuttamaa virhettä tulokseen. Mittaukset aloitettiin tavallisella dieselillä ja niitä jatkettiin NExBTL:llä. Mittaukset tehtiin 25,4 asteen lämpötilassa. Toisena päivänä tehtiin toiset seitsemän mittausta molemmille aineille, aloittaen tällä kertaa NExBTL:llä. Ympäristön lämpötila toisella kerralla oli 23,4 astetta.

Haluttiin tutkia komponenttien lämpenemisen vaikutusta mittaustuloksiin. Ensimmäisissä mittauksissa kaikki osat ovat kylmiä, jolloin polttoaine ei lämpene yhtä nopeasti kuin jos osat olisivat kuumia käytön jäljiltä. Korkeampi lämpötila vaikuttaa myös paineen kasvuun ja sen suurempaan vaihteluun. Tehtiin kaksi mittauskertaa suunnilleen samassa ympäristön lämpötilassa samoin menetelmin. Vaihdettiin ainoastaan polttoaineen laatua testin aloituskerralle. Seuraavissa taulukoissa on esitettyä polttoaineen tuotonmäärä 60 sekunnin aikana ja niissä on huomioitu polttoainepaineen vaikutus.

Taulukoissa 1 ja 2 on koottuna seitsemän testikerran tulokset dieselille ja NExBTL:lle sekä huomioitu niiden poikkeavat painevaihtelut.

Taulukko 1. Polttoaineen tuoton määrä 60 sekunnin aikana dieselille ja NExBTL:lle ensimmäisellä testikerralla. Ensimmäiset mittaukset tehtiin dieselillä.

Testiajo	Diesel (g)	Huomioita	NeXBTL (g)	Huomiota
1	1,2	Paine nousi korkeimmillaan 700 bar:iin	0,5	
2	0,8		0,5	
3	0,7		0,6	
4	0,8		1,3	Paine vaihteli välillä 450 - 630 bar
5	0,8		0,6	
6	0,8		0,5	
7	0,7		0,6	

Taulukko 2. Polttoaineen tuoton määrä 60 sekunnin aikana dieselille ja NExBTL:lle toisella testikerralla. Ensimmäiset mittaukset tehtiin NExBTL:llä.

Testiajo	NeXBTL(g)	Huomioita	Diesel (g)	Huomiota
1	0,5		0,7	Paine pysyi välillä 300 - 400 bar
2	0,3	Paine pysytteli useamman syklin alle 300 bar:n	0,4	Paine oli useamman syklin noin 250 bar
3	0,6		0,5	Paine 270 - 330 bar
4	0,7	Paine pysyi yli 300 bar:n	0,5	Paine 270 - 330 bar
5	0,5		1,1	Paine 4/5 testinajasta yli 400 bar
6	0,6		0,8	Paine vaihteli välillä 340 - 400 bar
7	0,5		1,3	Paine oli suurimman osan testistä yli 500 bar

7.4 Tulosten analysointi

Tuloksista näkee, että järjestelmä toimii mekaanisesti ja suuttimet pyrkivät noudattamaan tehtaan asettamia ruiskutusmääriä, jotka pysyvät vakiona käytettäessä samaa painetta samalla ajanjaksolla. Testissä paineenvaihtelut vaikuttivat ruiskutusmäärään.

7.5 Paineen vaikutus

Paineen suuri vaihtelu ei antanut luotettavia tuloksia testin jatkamisille eri lämpötiloissa. Paineen ollessa useammalla testikerralla suunnilleen samalla alueella päästiin samoille grammaluvuille. Esimerkiksi ensimmäisen testipäivän aikana kuusi mittauskertaa kummallakin polttoaineella vaihteli ainoastaan 0,1 grammaa. Toisena testipäivänä tavallisen dieselin tulokset heittelevät enemmän suuremman painevaihtelun vaikutuksesta, mihin vaikutti polttoaineenlämpötila sekä järjestelmän korkeampi aloituslämpötila.

Paineen epätasainen käytös johtui puutteellisesta korkeapainepumpun ja Railin kytkennöistä. Järjestelmäjännite oli pelkästään tuotu pumpun paineensäätöventtiilille, joka riittää Railin paineen nostamiseksi. Jännitettä ei tuotu annosteluyksikölle, koska se on ilman jännitettä auki eli polttoaine pääsee vapaasti virtaamaan Railille. Toinen puuttuva tekijä oli takaisinkytkentäohjaus, joka estää polttoaineenpaluuvirtauksen Raililtä korkeapainepumpun matalapuolelle. Suihkutuksen aikana Railia ei paineisteta ja pumpulta ei tule polttoainetta Railille, jolloin pumpun korkeapainepuolen venttiiliä olisi suljettava ohjauksella.

7.6 Parannusehdotuksia

Luotettavien mittaustuloksien saavuttamiseksi paineen tulisi pysyä vakiona eli Railille pitäisi tehdä takaisinkytkentälogiikka. Tämä esimerkiksi onnistuu PID-säätimellä, jota käytetään yleisesti moottorintoimilaitteiden ohjauksessa.

CRI-700-laite pitäisi asettaa valvomon puolelle mittauksia varten, koska sitä ei suositella käytettäväksi pakkasella ja koska näin parannettaisiin laitteen käyttäjän turvallisuutta. Tällä hetkellä sen johto ei ole riittävän pitkä, joten sitä pitäisi pidentää tai testilaitte

olisi tuotava aivan valvomon johtovientiputken viereen. Jos testilaitteen asettaa liian lähelle valvomoon menevää putkea, valvomonikkunasta ei näe kunnolla testilaitteen toimintaa.

CRI-700 ei ohjannut pietsosuuttimia, joten solenoidisuuttimen hankinta testilaitteeseen on hankittava. Testissä käytetty Boschin suutin oli Boschin koulutussuutin eli lainassa, joten se jouduttiin palauttamaan työn jälkeen. Korvaavaksi suuttimeksi kannattaa tilata Boschin magneettiventtiilinen solenoidisuutin, koska CRI-700 liitin käy siihen suoraan ja se on testattu koemittauksilla. Suutintelinettä kannattaa muokata uudelle suuttimelle sopivaksi siten, että se on paikallaan tukevasti. Koemittauksissa Boschin suutin oli kiinnitettynä ruuveilla ja letkuklemmareilla Fordin kannikkeista, joilla Siemensin suuttimet ovat kiinni. Se toimi hyvin väliaikaisena ratkaisuna lainasuuttimelle. Suutinpidikkeen reikiä voisi muokata isommaksi. Tällöin on mahdollista tehdä useammalle erilaiselle suuttimelle oma soviteholkki, jonka voisi asettaa testilaitteeseen. Ratkaisun hyödynä olisi esimerkiksi tutkia eri valmistajien tai erityyppisten solenoidiventtiilisten suuttimien tuotonmäärän eroavaisuuksia. Tutkimusta varten valitun suuttimen tehtaan antama arvo polttoaineentuotolle tietyllä ajanjaksolla ja vakiopaineella kannattaisi selvittää. Se antaisi vertailukelpoisen tiedon jokaisesta ajosyklistä.

Mittauksista ilmeni, että tuotonmäärä pienellä paineella on melko minimaalista laitteessa, jossa ei ole paljonkaan mekaanista häviötä. Tutkimusta varten tilatut mittalasit osoittautuivat liian isoiksi. Niistä pystyi punnitsemaan grammamäärän mutta millilitramäärää ei voinut tarkistaa, koska millilitra asteikko alkaa 50 millilitrasta. Millilitramerkintöjen kirjaamiseksi tulostenanalyysia varten on pienempien mittalasiin hankinta suotavaa.

Jos ruiskutustapahtumaa haluaa kuvata suurnopeuskameralla, niin suojalasin hankkiminen on suotavaa laitteen ja kuvaajan välille, koska järjestelmässä on kovat paineet, jotka vuotojen sattuessa voivat olla erittäin vaarallisia.

7.7 PID-säädin

PID tulee sanoista proportional-integral-derivative eli proportionaalinen, integroiva ja derivoiva. Säätimelle asetetaan jokin arvo, johon se pyrkii asettumaan. Säädintä pystyy virittämään käyttöön sopivaksi P, I ja D -säädöillä.

Proportionaalinen osa toimii funktion voimakkuuden korjausarvona. Esimerkiksi lentäjä nostaa lentokoneen korkeuden haluttuun korkeuteen. Kone nousee tai laskee sitä nopeammin, mitä kauempana se on halutusta suureesta, eli P-osan korjausarvo on sitä suurempi, mitä kauempana halutusta arvosta ollaan.

Integroiva osa integroi ajan erosuuretta funktiossa. Lentokone siis pyrkii haluttuun korkeuteen sitä voimakkaammin, mitä kauemmin sillä on mennyt virheen korjaamiseen. Toisin sanoen kun lentokone on lentänyt halutun korkeuden yli, niin I-osasta johtuen lentokone laskee lentokorkeuden halutun arvon alapuolelle.

Derivoiva osa tarkastelee erosuureen muutosnopeutta ja se toimii ennakoivana säätönä, eli se pyrkii korjaamaan ennalta tulevaa virhettä. Kun lentokone on noussut halutun korkeuden yli ja lentäjä haluaa laskea koneen haluttuun korkeuteen, niin D-osa pyrkii hidastamaan koneen voimakasta korkeuden muutosta, jolloin virheenarvo pienentyy.

Säätökohteen virittämiseen liittyy muutamia asioita: kuinka hidas säädettävä kohde on rakenteellisesti ja kuinka nopeasti kohde reagoi äkkinäiseen käytökseen. Yleensä tarvitsee säätää vai kahta arvoa PID-säätimessä, jotka ovat P- ja D-säätö. Proportionaalinen säätö asetetaan pienellä virhemarginaalilla halutun arvon molemmin puolin ja derivoivalla arvolla yritetään kompensoida P:n aiheuttamaa virhettä, jotta saavutetaan haluttu arvo. Integraalisäätöä tarvitaan silloin, jos kohteella on taipumusta liikkua arvosta siten, että P ja D eivät reagoi muutokseen.

Käytännössä testilaitteessa se voisi olla taajuusmuuttajana, jonka Railin paineen voisi säätää välillä 300 - 2000 bar. Esimerkiksi paineen asettaisi 400 bar:iin testauksen ajaksi, jota säätimen P- ja D-osat pyrkisivät pitämään 400 bar:ssa ohjaamalla pulssiohjattua jännitettä annosteluyksikölle ja paineensäätöventtiilille. Paineanturista logiikka saisi Railissa vallitsevan painemäärän. Logiikan ohjelmoisi esimerkiksi mikrotietokoneelle tai muulle ohjelmoitavalle alustalle PID- säädin periaatteella. Kytkenät komponenteille tehtäisiin abiegoliittimillä tai sopivilla liittimillä. [16, s. 5 - 6.; 17]

8 Yhteenveto

Työlle aluksi asetetut tavoitteet biodieselin viskositeetin tutkimisesta muuttuivat työn laaja-alaisuuden takia tutkimukseen tarkoitetun testilaitteen valmistamiseksi ja sen testaamiseksi testiympäristössä. Testilaitteen valmistamisessa onnistuttiin mekaniikan osalta, koska sillä päästiin tekemään alustavia mittauksia tavalliselle dieselille ja NExBTL:lle. Työssä paneuduttiin testilaitteen rakenteelliseen suunnitteluun, sen valmistamiseen ja siinä käytettävien komponenttien toiminnalliseen tarkasteluun sekä kytkentöjen tekemiseen.

Työ ja sen toteuttaminen oli lähtökohtaisesti hyvin mielenkiintoista sen laaja-alaisuuden takia. Työssä tarvitsi monia asioita, joita opinnoissa oli käyty läpi ja opittu. Siinä pääsi suunnittelemaan, valmistamaan ja testaamaan käytännössä. Vaikka laitteella ei päästy tekemään alkuperäistä tutkimusta, joka oli biodieselin viskositeetin tutkiminen eikä aivan saatu laitetta toimimaan luotettavalla tavalla, jotta sillä saisi vertailukelpoisia tuloksia, päästiin kuitenkin lähelle tavoitetta saamalla testilaitteisto toimintakuntoiseksi ja testattua sen toiminta testiympäristössä eli kylmälaboratoriossa.

Suunnittelu ja valmistusvaiheessa päästiin käsittelemään valmistusteknisesti eri vaihtoehtoja yksinkertaisten ja monimutkaisten vaihtoehtojen väliltä. Lähtökohtaisesti laitteen sai suunnitella haluamakseen, mutta se oli pystyttävä rakentamaan ammattikorkeakoulun tiloissa. Päädyttiin valmisteknisesti yksinkertaiseen ratkaisuun, jossa kaikki CR-järjestelmän komponentit olivat sijoiteltuna kehikkomalliseen runkoon ja KLEEdrive sekä korkeapainepumppu sijoiteltuna siten, että ne ovat vastakkain. Muita vaihtoehtoja olisi ollut suunnitella esimerkiksi hihnakäyttöiset komponentit samalle puolelle, mikä olisi vaikeuttanut alkuperäisten korkeapaineputkien käyttöä ja hihnan saamista sopivalle kireydelle ilman erillistä hihnankiristintä. Ajankäytöllisesti valmistusvaiheeseen kului yllättävän paljon aikaa, kun runkoputkia leikkasi ja hitsasi yhteen, sekä siihen, että laitteesta tulisi mekaanisesti toimiva. Tärkeä asia, joka jäi puuttumaan valmistusvaiheessa, oli rungon maalauttaminen. Nyt runko on ruosteessa kondenssista johtuen.

Järjestelmän ja suuttimien ohjaaminen ilman moottorinohjainta osoittautui hankalaksi mutta samalla antoisaksi, koska järjestelmää piti tutkia tarkasti, jotta sen saisi toimimaan oikein.

Haastavaa työssä oli löytää tietoa Siemens VDO -CR- järjestelmän osista. Niitä ei tahtonut löytyä internetistä eikä Boschin ESI[tronic] 2.0 -diagnostiikkaohjelmasta, eikä puhelimitse tai sähköpostitse tietojen tiedustelu Fordilta myöskään tuottanut tulosta. Tämä tiedonsaannin puutteellisuus heijastui lopulta korkeapainepumpun ohjaukseen. Se johti päätökseen ohjata pelkästään järjestelmäjännitteellä paineensäätöventtiiliä, jotta Railin paineen saisi nostettua yli pumpun minimikohtaisen rajan, joka esimerkiksi on Boschin pumpussa 50 bar ilman jännitettä. Koekäytön ja testauksen aikana ilmenneet suuret painevaihtelut ohjaussyklin aikana tulivat jossain määrin yllätyksenä, koska paineen noston testauksen aikana paine pysytteli välillä 520 - 540 bar, kun suutinta ei ohjannut. Paineen odotettiin vaihtelevan noin 50 bar ja eikä 100 bar ruiskutuksen aikana.

Testilaitteesta muodostui lopulta mekaanisesti onnistunut kokonaisuus, joka on korkeapainepumpun ohjauksen tekemisen ja muiden parannusehdotusten jälkeen laite on valmis viskositeetin tutkimuksia sekä muuta testikäyttöä varten.

Lähteet

- 1 The Biofore Concept Car. 2014. Verkkodokumentti. UPM.
<http://www.upm.com/upmcc-en/Pages/default.aspx>. Luettu 20.9.2014
- 2 Biopolttoainelainsäädäntö Euroopan Uniossa.2014. Verkkodokumentti. Neste Oil.
<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,11990,22214,22230,22231>,
20.3.2014. Luettu 20.9.2014.
- 3 Biodiesel statement. 2010. Verkkodokumentti. Volkswagen AG.
<http://www.volkswagen.co.uk/assets/common/pdf/general/biodiesel.pdf> .
3.3.2010. Luettu 20.9.2014.
- 4 Tiainen, Teemu. 2012. Uusiutuvan dieselpolttoaineen testauksen suunnittelu ja testimoottorin valmistaminen. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 5 Kontturi, Joel. 2014. Projekti-insinööri, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Keskustelu 3.4.2014.
- 6 Bosch Diesel Engine Management 4th Edition. 2005. Plochingen: Robert Bosch GmbH.
- 7 Common Rail Injection System Pressure Control. Verkkodokumentti.
https://www.dieselnets.com/tech/diesel_fi_common-rail_control.php. Luettu
23.9.2014
- 8 Unit Injectors with Piezo Valves. 2005. Service Training Self-study Programme 352. Volkswagen AG, http://www.volkspage.net/technik/spp/spp/SSP_352.pdf.
Luettu 20.9.2014.
- 9 ESI[tronic] 2.0 Diagnostic Software. Luettu 20.9.2014.
- 10 Common Rail Diesel. Verkkodokumentti.
<http://www.autoelectricaldieselfuelinjectionandbattery.com/files/siemens.pdf>. Lu-
ettu 20.9.2014.
- 11 Boström, Björn. 2014. Diesel kouluttaja, Bosch Oy, Vantaa. Keskustelu. 5.9.2014.
- 12 Strandén, Kari. 2014. Sähköasentaja, Joen Sähkötekniikka OY. Keskustelu.
30.4.2014.
- 13 Neste-dieselit. 2012. Verkkodokumentti. Neste Oil.
[http://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2c2655%2c2698%2c2707%2c336
1](http://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2c2655%2c2698%2c2707%2c3361). Luettu 23.9.2014

- 14 Uusiutuva NEXTBTL-diesel.2014. Verkkodokumentti. Neste Oil.
<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,11990,22214,22215,22216>.
8.4.2014. Luettu 20.9.2014
- 15 Juvonen, Neea. 2012. Vaihtoehtoisten alkoholien käyttö biodieselin valmistusprosessissa ; ResFuel XS -laitteisto. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
- 16 Kuikka, Sampo. 2014. Biofore-kaupunkiauton moottorinohjauksen säätö ja päästöjenhallinta. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 PID-säätimen rakenne, Proportional-integral-derivative-säädin. 2010. Verkkodokumentti. <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12159966>.
10.1.2010. Luettu 23.9.2014.

Liite 1. Ford Fiestan polttoaineekaavio

ESI[tronic] 2.0

BOSCH FOR 2678 / FORD / Fiesta 1.4 TDCi / JH, JH / 1.4 / 50.0 kW / 11/2001 - 09/2008 / F6J..

KTS 640

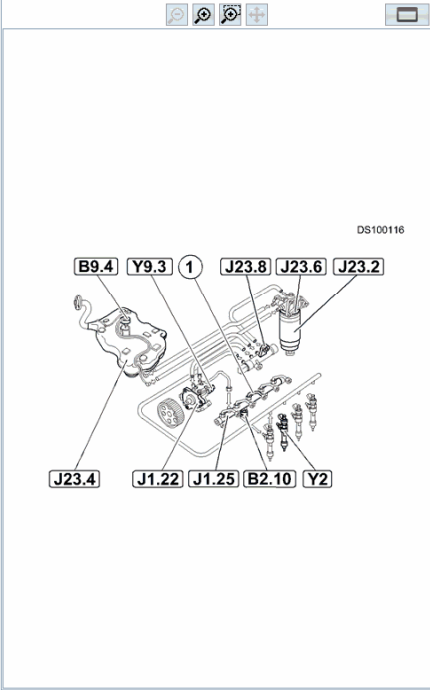
Ajoneuvoinfo Diagnoosi Vianetsintä Huolto KytKentäk. Varustus

Moottorinohjaus/CR/EDC 1.0/Irrotus- ja asennusohje

Ilma-/polttoaineputkistokaavio 2 / 2

Polttoaineputkistokaavio:

- 1 = polttonesteen korkeapaineputki.
- B2.10 = rail-painetunnistin.
- B9.4 = polttoaineen tasoanturi.
- J1.22 = korkeapainepumppu.
- J1.25 = Rail.
- J23.2 = Polttonestesuodatin.
- J23.4 = polttoainesäiliö.
- J23.6 = Polttoainesuodattimen lämmitys.
- J23.8 = polttoaineen esilämmitys.
- Y2 = Ruiskutusventtiili.
- Y9.3 = paineensäätöventtiili.



DS100116

Takaisin Viiteinfo

Jatka

Käynnistä

Diagnostics ohjelma... ESI[tronic] 2.0

12:41

Liite 2. Polttoainejärjestelmän komponenttien liitännäkohdat

ESI[tronic] 2.0

BOSCH FOR 2678 / FORD / Fiesta 1.4 TDCi / JD, JH / 1.4 / 50.0 kW / 11/2001 - 09/2008 / F6J..

KTS 640

Ajoneuvoinfo Diagnoosi Vianetsintä Huolto Kytentäk. Varustus

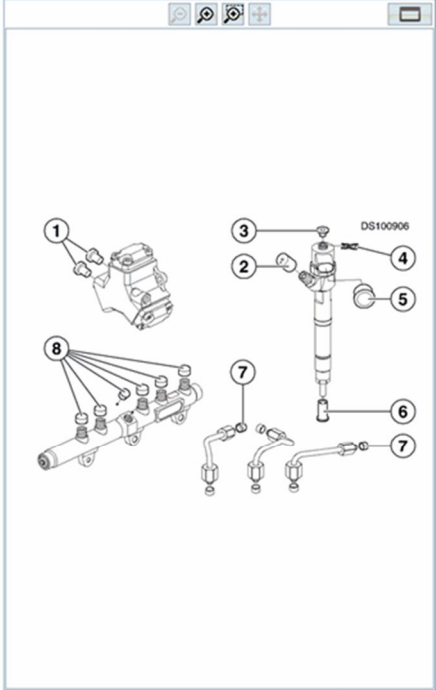
Moottorinohjaus/CR/EDC 1.0/Irrotus- ja asennusohje

Testausedellytykset 7 / 8

Kuva: Valikoima suojakansia ja tulppia seuraaviin kohteisiin:

* <Common Rail> järjestelmä +
<korkeapainepumppu> CP 1.

1 = komponentin <korkeapainepumppu> CP 1 johtoliitännät.
2 = polttonesteen korkeapaineliitäntä.
3 = polttonesteen paluuvirtausliitäntä.
4 = lukkokahva.
5 = liitin.
6 = suutinrunko.
7 = polttonesteen korkeapaineputki.
8 = Rail.



Takaisin Viiteinfo

Jatka

Käynnistä Diagnostics ohjelma... ESI[tronic] 2.0 Omat tiedostot ESI[tronic] - Ajoneuv... FI 13:20