



ResFuel XS – RAKENNE JA TOIMINTA

Piia Soili

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2012
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemianteeniikan koulutusohjelma
Kemianteeniikan suuntautumisvaihtoehto

SOILI, PIIA:
ResFuel XS – Rakenne ja toiminta

Opinnäytetyö 69 sivua, josta liitteitä 11 sivua
Kesäkuu 2012

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Pirkanmaan ammattiopiston hankkiman ResFuel XS -laitteiston rakenteen ja toiminnan selvitys. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tätä laitteistoa ja valmistaa sillä biodieseliä. Lisäksi tarkoituksena oli tehdä yksinkertainen käyttöohje Pirkanmaan ammattiopiston opiskelijoille. Valmistus ResFuel XS -laitteistolla tapahtuu vaihtoesteröintimenetelmällä, jossa alkoholi ja öljy reagoivat katalyytin ja lämmön vaikutuksesta, jolloin lopputuotteeksi saadaan biodieseliä ja glyserolia. Biodieselin valmistuksessa käytettiin alkoholina metanolia, öljynä kalaöljyä ja katalyyttinä natriumhydroksidia.

Laitteisto ei aluksi toiminut halutulla tavalla: ongelmia oli käsiajossa, pesussa sekä biodieselin kirkastumisessa. ResFuel XS -laitteiston toimintaa testattiin Pirkanmaan ammattiopiston tiloissa noin kuukauden, jonka aikana laitteistoon lisättiin vedenpoistiventtiili, pesusäiliön lämmitys ja lämpötilan varmistimet. Tietoa laitteiston komponenteista saatiin netistä, kirjallisuudesta ja laitteen valmistajalta. Lisäksi komponentteja tutkittiin ja testattiin biodieselin valmistuksen yhteydessä. Teoriaosiossa on pyritty painottamaan biodieselin valmistuksen kannalta oleellisimpia asioita.

Laitteistolla saatiin valmistettua kirkasta biodieseliä, joka testattiin toimivaksi Pirkanmaan ammattiopiston auto-osastolla. ResFuel XS -laitteiston käyttöohje kirjoitettiin käyttökokemusten perusteella; käyttöohjeissa käytettiin myös havainnollistavia kuvia.

Projektin päätteeksi Pirkanmaan ammattiopistolle luovutettiin opinnäytetyö sekä ResFuel XS:n käyttöohje. Opinnäytetyön teoriaa ja kuvia voidaan käyttää opetusmateriaalina.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical Engineering

SOILI, PIIA:
ResFuel XS – Construction and Function

Bachelor's thesis 69 pages, appendices 11 pages
June 2012

The objective of this thesis was to examine the structure and function of the ResFuel equipment acquired by Pirkanmaa Vocational Institute. The purpose was to research the equipment and make biodiesel with it. In addition to this, the purpose was to make a simple manual to the students of Pirkanmaa Vocational Institute. The production of biodiesel with the ResFuel XS is conducted with the method of transesterification, in which alcohol and oil react due to the effect of the catalyst and heat. The products are biodiesel and glycerol. In the manufacture of biodiesel, methanol was used as alcohol, fish oil as oil and sodium hydroxide as catalyst.

Initially, the equipment did not work the way it should have worked: There were issues with manual guidance, washing and clearing of the biodiesel. The function of the ResFuel XS was tested in the laboratory of Pirkanmaa Vocational Institute for a month. During that time, the drainvalve, the heating of the washing tank and the temperature safety were added to the equipment. The information concerning the components of the equipment was acquired from the Internet, literature and the manufacturer of the ResFuel XS. In addition, the components were studied and tested simultaneously with the manufacture of biodiesel. The theory part is focused on the essential aspects of the process of manufacture.

Clear biodiesel was managed to process and it was proven functional in the car department of the Pirkanmaa Vocational Institute. The manual of the ResFuel XS was written based on the utilization experience; illustration was also used in the manual.

Ultimately, when the project ended, the Bachelor's thesis was given to Pirkanmaa Vocational Institute along with the manual of the ResFuel XS. The theory and the illustration of this thesis can be used as a teaching material.

Key words: the manufacture of biodiesel, transesterification, ResFuel XS

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	BIODIESEL.....	8
	2.1. Biodieselin raaka-aineet	8
	2.1.1 Kasviperäiset raaka-aineet	8
	2.1.2 Eläinperäiset raaka-aineet	9
	2.2. Biodieselin valmistus	10
	2.3. Biodieselin laatuvaatimukset	11
	2.4. Biodiesel Suomessa.....	11
3	ResFuel XS -LAITTEISTON KOMPONENTIT.....	12
	3.1. Premix-säiliö.....	13
	3.2. Reaktori	13
	3.2.1 Sekoitin	14
	3.2.2 Lämmitin	15
	3.2.3 Lämpötila-anturi	16
	3.2.4 Lämpötilavarmistin.....	17
	3.3. Pesusäiliö.....	18
	3.3.1 Pesusuutin	19
	3.3.2 Kuplitus	20
	3.4. Pumput.....	21
	3.5. Venttiilit.....	23
	3.5.1 Sunttiventtiili	24
	3.5.2 Käsikäyttöiset venttiilit	24
	3.5.3 Toimilaitteelliset venttiilit	26
	3.5.4 Magneettiventtiilit.....	28
	3.5.5 Ulkopuolelta ohjattava venttiili	29
4	BIODIESELIN VALMISTUS ResFuel XS -LAITTEISTOLLA.....	31
	4.1. Lähtöaineet	32
	4.1.1 Öljy	32
	4.1.2 Alkoholi	33
	4.1.3 Katalyytti.....	33
	4.2. Ajoparametrien asetukset	34
	4.3. Valmistus.....	35
	4.4. Lopputuotteet.....	37
	4.4.1 Glyseroli.....	37
	4.4.2 Biodiesel.....	38
	4.4.3 Saippua.....	38

5	ResFuel XS -LAITTEISTON TESTAUS PIRKANMAAN AMMATTIOPISTOSSA.....	40
5.1.	Testausta ennen varsinaisia koeajoja	40
5.2.	Koeajot	41
5.2.1	Koeajot 1 ja 2	41
5.2.2	Koeajot 3 ja 4	42
5.2.3	Koeajot 5 – 9	43
5.2.4	Metanolitesti.....	45
5.2.5	Koeajot 10	46
5.2.6	Koeajojen yhteenveto.....	48
5.3.	Biodieselin toiminnan testaus	49
6	ResFuel XS -LAITTEISTON KÄYTTÖOHJEIDEN LAATIMINEN.....	51
7	TURVALLISUUSNÄKÖKOHTIA.....	52
7.1.	Kemikaalit	52
7.2.	Laitteen turvallisuus	53
8	POHDINTA	54
	LÄHTEET	57
	LIITTEET.....	59
	Liite 1. ResFuel XS:n PI-kaavio (ResFuel XS, käyttöohje 2011, 21).....	59
	Liite 2. ResFuel XS, käyttöohje	60

ERITYISSANASTO

FAME	(Fat Acid Methyl Ester) rasvahappometyyliesteri, rasvaha-poista ja metanolista esteröimällä valmistettu biodiesel
Fischer-Tropsch	Biomassan kaasuttamiseen perustuva biodieselin valmistus-menetelmä
NExBTL-diesel	Kasvi- ja eläinöljyistä vetykäsittelyllä valmistettu biodiesel
Pt100	Lämpötila-anturi, jossa on platinavastus
REE	(Rape Ethyl Ester) rypsietyyliesteri, rypsiöljystä ja etanolista esteröimällä valmistettu biodiesel
Resistanssi	Sähköinen vastus, joka kuvaa johtimen virranvastustuskykyä
RME	(Rape Methyl Ester) rypsimetyyliesteri, rypsiöljystä ja me-tanolista esteröimällä valmistettu biodiesel

1 JOHDANTO

Biopolttoaineiden käyttö lisääntyy ja korvaa fossiilisia polttoaineita pienentäen liikenteen ympäristövaikutuksia. Euroopan unioni velvoittaa jäsenmaitaan lisäämään biopolttoaineitten määrää niin, että vuonna 2020 uusiutuvien polttoaineiden osuus liikennepolttoaineista olisi 10 %.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua Pirkanmaan ammattiopiston hankkiman ResFuel XS -laitteiston rakenteeseen ja toimintaan. Työn tarkoituksena oli testata ja tutkia laitteistoa ja sen komponentteja Pirkanmaan ammattiopistossa. Laitteisto piti saada toimimaan halutulla tavalla. Aluksi ongelmia oli esimerkiksi käsiajossa, pesussa ja biodieselin kirkastumisessa. Tarkoituksena oli myös tehdä käyttöohje Pirkanmaan ammattiopiston käyttöön.

Opetustarkoitukseen kehitetyllä ResFuel XS -laitteistolla voidaan valmistaa biodieseliä vaihtoesteröintimenetelmällä. Vaihtoesteröinnissä öljy ja alkoholi reagoivat katalyytin ja lämmön vaikutuksesta muodostaen biodieseliä ja glyserolia. ResFuel XS:n materiaalina on käytetty pääasiassa ruostumatonta terästä. Laitteisto koostuu kolmesta säiliöstä, joista ensimmäisessä sekoitetaan katalyytti ja alkoholi, toisessa valmistetaan biodiesel ja viimeisessä pestään valmis biodiesel. Lisäksi laitteistoon kuuluu kaksi kalvopumppua, lämmityslaitteisto reaktoriin ja pesusäiliöön, lämpötila-antureita ja venttiilejä.

2 BIODIESEL

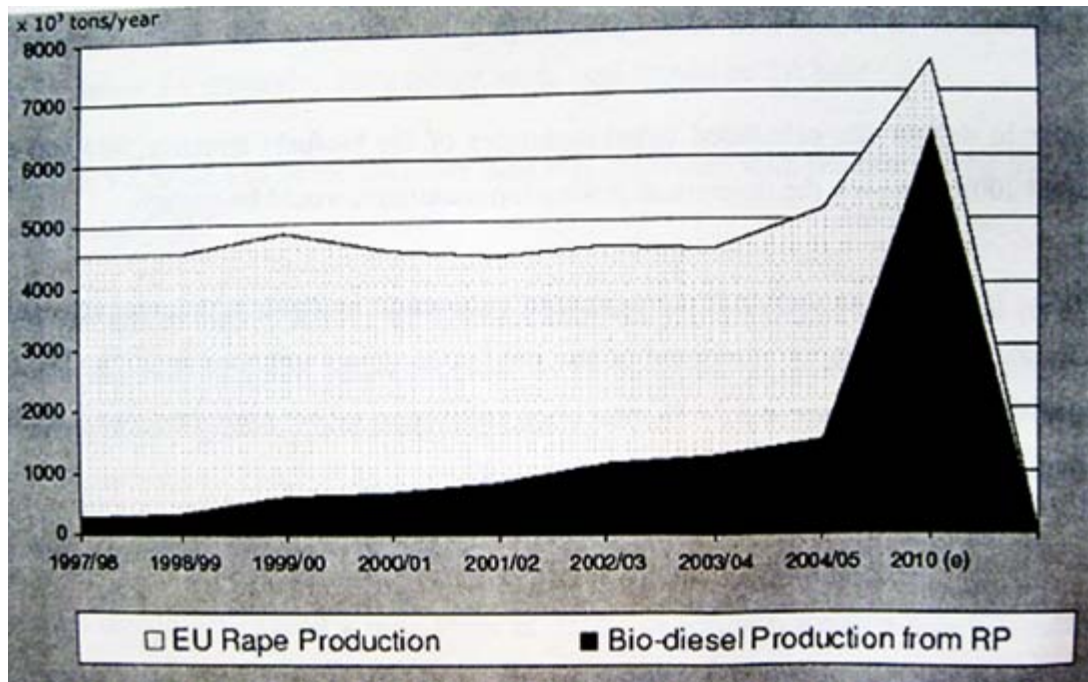
Biodiesel on uusiutuvista raaka-aineista valmistettua polttoainetta, jota käytetään korvaamaan dieselöljyä. Biodieseliä voidaan käyttää yksinään dieselmootoreiden polttoaineena, mutta se on myös mahdollista sekoittaa dieselöljyyn. Biodieseliä voidaan valmistaa useilla eri tavoilla ja eri raaka-aineista. Hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöt vähenevät käytettäessä biodieseliä. Lisäksi sen on todettu parantavan ilmanlaatua. Joidenkin arvioiden mukaan rypsiöljystä valmistetun biodieselin käyttö pienentäisi hiilidioksidipäästöjä jopa 50 %. (Mäihäniemi 2008, 3, 4; Motiva 2009; Pihkala 2011, 247, 248.)

2.1. Biodieselin raaka-aineet

Biodieseliä voidaan valmistaa joko kasvi- tai eläinperäisistä öljyistä. Myös käytetty ruokaöljy soveltuu biodieselin valmistukseen. Seuraavissa luvuissa käydään läpi joitain biodieselin valmistukseen käytettäviä raaka-aineita.

2.1.1 Kasviperäiset raaka-aineet

Biodieselin tuotantoon sopivat lähes kaikki öljypohjaiset kasvit. Yleisimpiä kasviperäisiä raaka-aineita rapsin ja rypsin lisäksi ovat mm. auringonkukka-, palmu- ja soijaöljy. Hieman harvinaisempia biodieselin raaka-aineita ovat jatropa, neempuu, puuvillan siemen, mahua, kokapensas ja levä. Öljypohjaisista kasveista ja niiden siemenistä saadaan öljyä puristamalla. Rapsin siemenestä 40 % tai enemmän on öljyä, kun taas soijapavusta vain 18–20 % on öljyä. Rapsin siemen sisältää siis kasinkertaisen määrän öljyä, mutta siinä on vähemmän proteiinia verrattuna soijapapuun. Biodieselin valmistuksessa proteiinit ovat kuitenkin epäpuhtauksia, jotka voivat sekoittaa reaktiota, joten siemenen pieni proteiinipitoisuus on vain hyvä asia. Seuraavassa kuvassa näkyy, miten rapsin käyttäminen biodieseliin on lisääntynyt EU-maissa viime vuosina (kuva 1). (Lindorfer 2010, 18, 23, 24; Bioste 2012.)



KUVA 1. Rapsin käyttö biodieseliin EU-maissa (Lindorfer 2010, 23)

Maailman suurin öljysiementen ryhmä on soijapapu, jonka tuotanto on noin 56 % öljysiementen kokonaistuotannosta. Toiseksi suurin ryhmä ovat rapsin siemenet, jotka kattavat 13 % öljysiementen tuotannosta. (Lindorfer 2010, 18.)

Kun biodieseliä valmistetaan ravinnoksi kelpaavista raaka-aineista, herää usein eettisiä kysymyksiä. Biodieselin tuotantoon käytettävä kasviöljy voi alkaa kilpailemaan elintarviketuotannon kanssa. Toisaalta biodieselin valmistukseen voidaan käyttää elintarviketeollisuuden liian heikkolaatuisia kasviöljyjä. Lisäksi biodieselin raaka-aineeksi kelpaavaa öljyä voidaan valmistaa, vaikka sato olisi epäonnistunut. (Bioste Oy 2012.)

2.1.2 Eläinperäiset raaka-aineet

Eläinperäistä raaka-aineista valmistettua öljyä alettiin käyttää biodieselin valmistuksessa, koska se on halvempaa kuin kasviöljyt. Raaka-aineista suuri osa tulee teurasjätteestä valmistettavasta öljystä. Eläinperäisiä öljyjä voidaan valmistaa mm. sian, broilerin, hylkeen ja kalaan rasvoista. (Lindorfer 2010, 25.)

Raaka-aine lämmitetään ja sekoitetaan mekaanisesti, jonka jälkeen öljy erotellaan kuduksesta ja proteiineista esimerkiksi sentrifugilla. Tämän prosessin käyneistä teurasjät-

teistä vain noin 20 % on rasvaa, loput ovat proteiinia (20 %) ja vettä (60 %). Öljypitoisuus on siis paljon pienempi kuin esimerkiksi rapsin siemenen. Teuras- tai perkuujätteistä valmistettua öljyä pitää neutralisoida kemikaalien avulla. (Lindorfer 2010, 25, 26.)

2.2. Biodieselin valmistus

Biodieseliä voidaan nykyään valmistaa monilla eri tavoilla. Yksinkertaisin ja varhaisin biodieselin valmistustapa perustuu öljyn vaihtoesteröintiin. Tätä kutsutaan ensimmäisen sukupolven biodieselin valmistukseksi ja tällä tavalla valmistettuja biodieseleitä kutsutaan usein termillä FAME (Fat Acid Methyl Ester, rasvahappometyyliesteri). Kun biodiesel on tehty nimenomaan rypsiöljystä vaihtoesteröimällä, käytetään nimitystä RME (Rape Methyl Ester, rypsimetyyliesteri) tai REE (Rape Ethyl Ester, rypsietyyliesteri) sen mukaan, käytetäänkö alkoholina metanolia vai etanolia. Vaihtoesteröintiin perustuvaa valmistustapaa käytetään myös opinnäytetyön kohteena olleessa ResFuel XS -laitteistossa. Reaktiossa öljy ja alkoholi reagoivat katalyytin ja lämmön avulla, jolloin syntyy glyserolia ja biodieseliä. Biodiesel on kuitenkin pestävä vedellä ja annettava kuivua, ennen kuin se on valmista käytettäväksi. Tästä reaktiosta kerrotaan lisää ResFuel XS -laitteen toimintaan tutustuttaessa. (Bioste Oy 2012.)

Neste Oil on kehittänyt NExBTL-teknologian, jolla voidaan valmistaa NExBTL-dieseliä. Tätä kutsutaan toisen sukupolven biodieselin valmistustavaksi. Menetelmä perustuu kasvi- ja eläinöljyjen vetykäsittelyyn. NExBTL-diesel on uusiutuvista raaka-aineista valmistettua ja sen kemiallinen koostumus on sama kuin perinteisellä dieselillä, mutta se on laadultaan parempaa kuin fossiiliset dieselit tai perinteiset biodieselit. (NExBTL-diesel 2012.)

Kolmannen sukupolven biodieselin valmistus tapahtuu Fischer-Tropsch-menetelmällä. Se perustuu biomassan kaasuttamiseen ja sen raaka-aineina voidaan käyttää kaikenlaisia orgaanisia aineita, esimerkiksi puuta, hakkuutähteitä, biojätettä, kumia, muovia ja turvetta. Valmistuksessa käytetyt raaka-aineet määrittävät sen, onko lopputuote biopolttoväline. (Bioste Oy 2012.)

2.3. Biodieselin laatuvaatimukset

Biodieselille on laatuvaatimuksia, jotka on standardisoitu. Vaihtoesteröimällä valmistetun biodieselin (FAME, rasvahappometyyliesteri) standardi on SFS-EN 14214. Standardissa kerrotaan biodieselin laatuvaatimuksista ja niiden testauksesta. Jokaiselle ominaisuudelle on rajojen lisäksi oma standardisoitu testausmenetelmänsä. (SFS-EN 14214+A1 2009.)

Standardi SFS-EN 14214 sisältää yli 20 testattavaa ominaisuutta. Biodieselistä mitataan esimerkiksi tiheys, viskositeetti, leimahduspiste, setaaniluku sekä happo- ja jodiluku. Testattaville ominaisuuksille on annettu raja-arvoja, joiden välissä mittaustuloksen pitäisi olla. Lisäksi monelle testaukselle on annettu tietty lämpötila, jossa testaus on suoritettava. (SFS-EN 14214+A1 2009.)

2.4. Biodiesel Suomessa

Suomessa biodieseliä Neste Oilin lisäksi valmistaa vain muutaman pieni laitos. Neste Oil valmistaa biodieseliä omalla NExBTL-tekniikalla. Neste Oilin arvioiden mukaan tuotantokapasiteetti vuonna 2012 olisi 2 miljoonaa tonnia. Pienet laitokset käyttävät raaka-aineenaan kasvi- ja kalaöljyjä. Sybimar Oy valmistaa biodieseliä elintarviketuotannon sivuvirroista, esimerkiksi kalaöljystä. Sybimar myös myy biodieselin valmistuslaitteistoja. Tässä opinnäytetyössä käytetty biodieselin valmistuslaitteisto (ResFuel XS) on Sybimar Oy:n valmistama. (NExBTL-diesel 2012; Sybimar Oy.)

Euroopan Unioni on säätänyt direktiivin, jonka mukaan EU:n jäsenvaltioiden on lisättävä biopolttoaineiden määrää. Direktiivin mukaan vuonna 2020 kaikesta kuljetukseen käytettävästä polttoaineesta 20 % pitäisi olla biopolttoaineita. (Lindorfer 2010, 4.)

3 ResFuel XS -LAITTEISTON KOMPONENTIT

ResFuel XS on biodieselin valmistuslaitteisto, jolla voidaan valmistaa biodieseliä vaihtoesteröintimenetelmällä. Laitteistosta ja sen komponenteista saa hyvän yleiskuvan PI-kaaviosta, joka on liitteessä 1. Seuraavassa kuvassa 2 on ResFuel XS -laitteisto.



KUVA 2. ResFuel XS

Oppilaitoskäyttöön tarkoitetun laitteiston pitää olla turvallinen käyttää, sillä opiskelijoilla ei ole samaa ammattitaitoa ja kokemusta kuin työelämässä laitetta käyttävillä. Laitteen komponenttien pitää olla yksinkertaisia ja niiden pitää olla vähän huoltoa vaativia. Lisäksi pitää huomioida käytettävät kemikaalit eli tässä tapauksessa osien piti olla ruostumattomia katalyyttinä käytettävän lipeän takia.

Seuraavissa luvuissa tutustutaan tarkemmin ResFuel XS -laitteiston komponentteihin ja niiden toimintaan. Lisäksi pohditaan hieman komponenttien valintoja.

3.1. Premix-säiliö

Premix-säiliö on yksi laitteiston kolmesta säiliöstä. Säiliön tilavuus on 1 litra ja se on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Siihen mitataan työn alussa alkoholi ja katalyytti sen yläosassa olevasta aukosta. Aukon sulkemiseen on kierteinen metallikorkki. Premix-säiliö on kaasutiivis ja siellä muodostuvat kaasut ja höyryt johdetaan putkea pitkin pois huoneilmasta. Kuvassa 3 on ResFuel XS -laitteiston premix-säiliö. (ResFuel XS, käyttöohje 2011, 7.)



KUVA 3. Premix-säiliö

Premix-säiliö on alkoholin ja katalyytin sekoitusta varten. Sekoitus tapahtuu käynnistämällä pumppu 2 (liite 1) ja avaamalla venttiili 23 (liite 1). Näistä komponenteista kerrotaan lisää myöhemmissä luvuissa.

3.2. Reaktori

Reaktori on laitteiston tärkein säiliö, koska siinä öljystä valmistetaan biodieseliä. Ruostumattomasta teräksestä valmistettu reaktori on tilavuudeltaan 6 litraa ja öljyä siihen saa laittaa enintään 4,2 litraa ja vähintään 3,6 litraa. Reaktori voidaan täyttää joko pumpaamalla öljy letkun avulla säiliöön tai kaatamalla se säiliön yläosan aukosta. Aukko suljetaan kierteisellä metallikorkilla, jossa on myös näkölasi. (ResFuel XS, käyttöohje 2011, 6.)

Kaasutiiviissä reaktorissa muodostuvat höyryt ja kaasut johdetaan hönkäputken avulla pois huoneilmasta. Seuraavassa kuvassa on ResFuel XS -laitteiston reaktori (kuva 4).

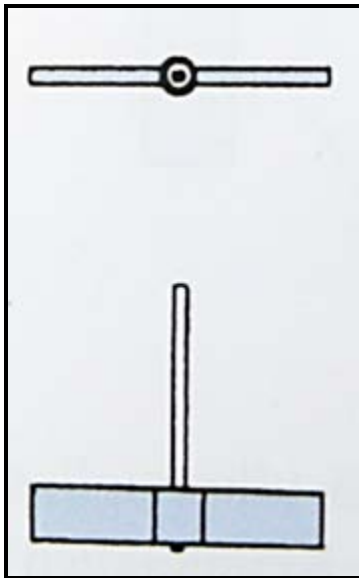


KUVA 4. Reaktori

Reaktorissa on mekaaninen sekoitin, lämmitin, lämpötila-anturi ja lämpötilavarmistin. Näistä kerrotaan lisää seuraavissa luvuissa.

3.2.1 Sekoitin

Reaktorissa on mekaaninen sekoitin, jota käytetään öljyn sekoitukseen lämmityksen ja vaihtoesteröinnin aikana. Reaktorissa käytetty sekoitin on lapasekoitin. Käytetyssä lapasekoittimessa on kaksi lapaa, jotka ovat suorakaiteen muotoiset ja hieman vinosti akseliin nähden. Seuraavassa kuvassa 5 on esitetty periaatekuva kaksilapaisesta sekoittimesta. Kuvan sekoittimen lavat ovat suorat.



KUVA 5. Lapasekoitin (Pihkala 2011,84)

Sekoittimen moottori käynnistetään painamalla M1 (liite 1). Sekoittimen moottori on Depragin valmistama, se toimii paineilmalla ja sen kierroslukua voidaan säätää vaihtamalla käyttöpainetta. Moottoria voidaan säätää myös kuristusventtiilin avulla. (Paineilmamoottori, käyttöohje, 1, 2.)

Sekoitinta käytetään alussa sekoittamaan öljyä, jotta se lämpenee tasaisesti. Vaihtoesteroinnin aikana pelkkä lapasekoitin ei riitä, joten sekoitusta tehostetaan kierrättämällä öljyä pumpun kautta. Tämä tapahtuu avaamalla venttiili 20 (liite 1) ja käynnistämällä pumppu 1 (liite 1).

3.2.2 Lämmitin

Reaktoria pystytään lämmittämään lämmityselementin avulla. Lämmityselementti on eristetyn vaipan sisällä. Lämmityselementtinä toimii mattomainen lämmitin, joka on kiedottu reaktorin ympärille. Tämän ympärille on vielä laitettu eriste ja metallivaippa.

Vaippalämmityksessä lämpöä siirtyy johtumalla suurempienergisestä aineesta pienempienergiseseen aineeseen eli lämpimästä kohdasta kylmempään kohtaan. Aluksi lämpö siirtyy lämmityselementistä reaktorin seinään ja siitä lämmitettävään materiaaliin eli tässä tapauksessa öljyyn. (Pihkala 2011, 102.)

3.2.3 Lämpötila-anturi

Reaktorissa oleva lämpötila-anturi on nimetty T3 (liite 1) ja se on malliltaan Pt100 (kuva 6). Laitteessa käytettävä lämpötila-anturi mittaa lämpötilaa sähköisesti. Lämpötila-anturi on metallivastusanturi ja sen toiminta perustuu vastuksen resistanssin muuttumiseen. Lämpötilamittari mittaa anturissa käytettävän metallin sähköistä resistanssia, joka riippuu lämpötilasta. Antureissa voidaan käyttää vastuksina joko metalleja tai puolimetalleja. (Pihkala 2004, 44.)



KUVA 6. Reaktorin lämpötilamittarin vaipan ulkopuolinen osa

Metallien resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa, joten niillä on positiivinen resistanssin lämpötilakerroin. Platina on yleisin metallivastusantureissa käytettävä metalli. Platinan resistanssi 0 °C lämpötilassa on 100 Ω. Tällaista platina-anturia kutsutaan Pt100-anturiksi. Platina on erityisen hyvä lämpötila-antureissa, koska se on jalometalli. Tämän ansiosta anturin ominaisuudet säilyvät hyvin, vaikka mittaria käytettäisiin korkeissakin lämpötiloissa. (Pihkala 2004, 44, 45.)

Lämpötilakertoimen sijaan riippuvuuden kuvaamiseen käytetään yleensä taulukkoa, koska vastusantureiden lämpötilariippuvuus ei ole täysin lineaarista (Pihkala 2004, 45). Seuraavassa taulukossa 1 on Pt100-anturin resistanssin riippuvuus lämpötilasta.

TAULUKKO 1. Pt100-anturin resistanssin riippuvuus lämpötilasta (Wexon)

t/°C	Pt100/Ω	t/°C	Pt100/Ω
-200	18,49	200	175,86
-100	60,26	300	212,05
-50	80,31	400	247,09
0	100,00	500	280,98
50	119,40	600	313,71
100	138,51	700	345,28
150	157,33	800	375,70

Pt100-anturiin syötetään vakiovirtaa, jolloin jännitehäviön muutoksesta mitataan resistanssin muutos. Lämpötilalähetin muuntaa vastuksen sähköiseksi standardiviestiksi, joka johdetaan tietokoneelle. (Pihkala 2004, 46.)

Lämpötila-antureita ResFuel XS -laitteistossa on kolme. Lämpötila-antureita on reaktorin (T3), pesusäiliön (T2) ja pesuveden (T1) lämpötilan mittaamiseen (liite 1). Kaikki lämpötila-anturit toimivat samalla periaatteella.

3.2.4 Lämpötilavarmistin

Reaktoriin on liitetty lämpötilavarmistin (kuva 7). Lämpötilavarmistin lisättiin, ettei lämpö reaktorissa nouse liikaa. Varmistin tekee laitteesta turvallisemman, sillä voidaan estää, että tyhjäkään reaktori ei kuumene liikaa. Lämpötila-anturi T3 on vasta noin puolessa välissä reaktoria, joten se ei havaitse lämpötilavaihteluita halutulla tavalla, mikäli lämpötila-anturi ei ylety öljyyn asti. Turvallisuuden varmistus on todella tärkeää, sillä laitteisto on tarkoitettu opiskelijoille, jotka eivät ole tottuneet käsittelemään kyseistä laitteistoa.



KUVA 7. Reaktorin lämpötilavarmistin

Lämpötilavarmistimesta lähtee lämpötila-anturi suoraan lämmityselementtiin. Jos lämpötila lämmityselementissä nousee yli sallitun rajan, varmistin sammuttaa lämmityksen. Sallittua rajaa voidaan säätää kiertämällä säädintä.

3.3. Pesusäiliö

Pesusäiliössä biodiesel pestään ja kuivataan. Pesusäiliön tilavuus on 6 litraa ja sen yläosassa on näkölasillinen kierteinen metallikorkki. Myös pesusäiliö on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Biodiesel siirretään pesusäiliöön glyserolin poiston jälkeen. Pesusäiliö on kaasutiivis ja siellä muodostuvat kaasut ja höyryt johdetaan putkia pitkin pois huoneilmasta. Seuraavassa kuvassa on pesusäiliö (kuva 8). (ResFuel XS, käyttöohje 2011, 5, 7.)



KUVA 8. Pesusäiliö

Pesusäiliö sisältää saman lämmityslaitteiston kuin reaktorikin: lämmitin, lämpötilanturi ja lämpötilavarmistin. Ne toimivat saman periaatteen mukaan kuin reaktorissakin. Seuraavissa luvuissa kerrotaan pesusäiliöön kuuluvasta pesusuuttimesta ja kuplituksesta.

3.3.1 Pesusuutin

Biodiesel pestään pesusuuttimen avulla. Vesisuihkun pitää olla tarpeeksi leveä, jotta se suihkuttaa vettä biodieselin koko pinnalle. Suihkun pitää myös olla hienojakoista, jotta biodiesel ei sekoitu liikaa. Biodieselin sekoittuminen on ongelmallista kuivausvaiheessa. Toisaalta sekoitus myös parantaa pesun tehokkuutta.

Vesisuihkuun vaikuttaa suuttimen konstruktion lisäksi myös se, kuinka suurella paineella vettä johdetaan pesusuuttimeen eli kuinka paljon laitteen takana olevat vesihanat ovat auki. Seuraavassa kuvassa kuuma- ja kylmävesiventtiilit ovat sopivasti auki (kuva 9).



KUVA 9. Kuuma- ja kylmävesiventtiilit auki: V26 ja V27

3.3.2 Kuplitus

Biodieselin kirkastumista voidaan nopeuttaa kuplituksen avulla. Kuplitus tapahtuu paineilmalla säiliön pohjasta (kuva 10). Säiliön sisällä on pieni paineilmasuutin (E8), jonka kautta kuplat syntyvät.



KUVA 10. Kuplitus pesusäiliön pohjassa

Säiliön pohjaan johdetaan paineilmaa, jonka voimakkuutta voidaan säädellä kierreventtiilin avulla (kuva 11). Liian suuri kuplitus jäädyttää biodieseliä, joten kuplitus olisi hyvä pitää melko pienenä.



KUVA 11. Kuplituksen säätoventtiili

3.4. Pumput

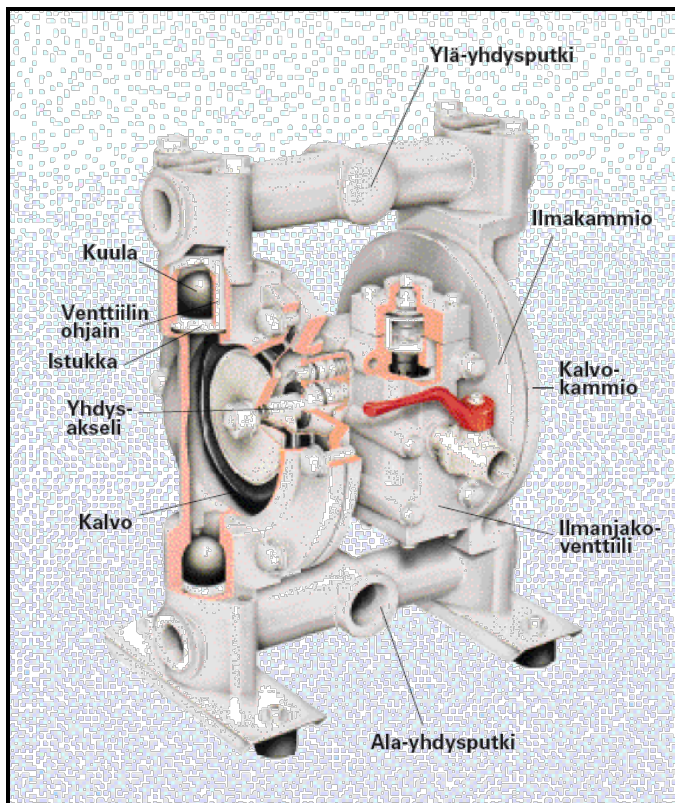
ResFuel XS -laitteistossa on kaksi pumppua, jotka ovat kuvassa 12. Toinen pumpuista (P1) on reaktorin sekoituksen ja biodieselin siirtoon pesusäiliöön. Toinen pumpu (P2) on premix-seoksen sekoituksen ja reaktoriin siirtoon. Laitteistossa on käytetty Husky 307 paineilmakäyttöisiä kalvopumppuja. Ne ovat melko tehokkaita ja yksinkertaisia. Kalvopumput kestävät hyvin opiskelukäytössä, sillä ne voivat pumpata tyhjää rikkoutumatta. Kalvopumppujen haittapuolena on niiden pitämä kova ääni. (Husky, käyttöohje 2004, 32.)



KUVA 12. Pumppu1 ja 2

Kalvopumppu kuuluu syrjäytyspumppuihin, jotka nimensä mukaan syrjäyttävät pesässä olevan nesteen poistoventtiiliin. Syrjäytyspumput jaetaan kahteen ryhmään: edestakaisin liikkuviin ja pyöriviin pumppuihin. Kalvopumppu kuuluu ensimmäiseen ryhmään. (Luukkanen 2001, 15–17.)

Seuraavassa kuviossa on Huskyn kaltaisen kalvopumpun osat nimettyinä (kuvio 1).



KUVIO 1. Kalvopumpun osat (IWAKI Suomi Oy 2004)

Kalvopumpussa paineilma johdetaan toiseen kahdesta kalvakammioista. Joustavat kalvot erottavat pumpattavan nesteen ja kalvakammiot. Kun oikeanpuoleinen kalvakammio täyttyy, vasen tyhjenee. Tällöin keskusakseli siirtyy oikealle, jolloin nestetilavuus pienenee ja pumpattava neste siirtyy ylempää yhdysputkea pitkin pois pumpusta. Samaan aikaan toisen puolen kalvakammion tilavuus kasvaa niin, että sinne muodostuu alipaine, jolloin neste virtaa imusäiliöstä vasempaan kalvakammioon. Tämän jälkeen ilmantventtiili muuttaa asentoaan, jolloin sama prosessi käynnistyy uudelleen. (IWAKI Suomi Oy 2004.)

Tuoton säätö kalvopumpuissa on yksinkertaista. Pumpua voidaan säätää pienemmälle joko kuristamalla nesteen ulostulovirtausta tai pienentämällä paineilmaa. Suuremmalle pumpun tuoton saa päinvastaisilla toiminnoilla. (IWAKI Suomi Oy 2004.)

Kalvopumppujen etuna on se, että niiden syöttö on riippumaton nostokorkeudesta. Lisäksi ne ovat itseimeviä ja niiden hyötysuhde on korkea. Ne sopivat hyvin myös epäpuhtaiden nesteiden ja kemikaalien pumppaamiseen, sillä tiivisteitä ei tarvitse altistaa pumpattavalle nesteelle. Kalvopumppujen sykkivä tuotto on niiden haittapuoli. (Luukkanen 2001, 15–17; Väliäho 2009.)

3.5. Venttiilit

ResFuel XS -laitteistossa on erilaisia venttiilejä. Taulukossa 2 on esitetty tiivistetysti laitteiston venttiilit toimintatarkoituksineen.

TAULUKKO 2. ResFuel XS, venttiilit (ResFuel XS, käyttöohje 2011, 21)

Venttiili	Kuvaus
E9	moottoroitu sunttiventtiili
V18	käikäyttöinen reaktorinsekoitusventtiili
V19	käikäyttöinen reaktorinpanostusventtiili
V20	toimilaitteellinen reaktorinsekoitusventtiili
V21	toimilaitteellinen reaktorinsyhjennysventtiili
V22	toimilaitteellinen premixsäiliönthyjennysventtiili
V23	toimilaitteellinen premixsäiliönsekoitusventtiili
V24	magneettiohjattu pesuvesiventtiili
V25	magneettiohjattu kylmän pesuvien poistovenventtiili
V4	käikäyttöinen glyserolinpoistovenventtiili
V6	käikäyttöinen pesuvien ja saippuanpoistovenventtiili
V10	käikäyttöinen biodieselin poistovenventtiili
V28	ulkopuolelta ohjattava vedenpoistovenventtiili
V26	käikäyttöinen kuumavesiventtiili
V27	käikäyttöinen kylmävesiventtiili

Seuraavissa luvuissa kerrotaan tarkemmin laitteen eri venttiilityypeistä ja niiden toiminnasta.

3.5.1 Sunttiventtiili

Moottoroitu sunttiventtiili (E9) yhdistää kylmä- ja kuumavesiputket (kuva 13). ResFuel XS -laitteistossa venttiili E9 (liite 1) säätelee pesuveden lämpötilaa. Suntiksi kutsutaan venttiiliä, jossa on kolme haaraa: kaksi tuloputkea ja yksi poistoputki.



KUVA 13. Sunttiventtiili E9

Venttiilin avulla pystytään säätämään, kuinka paljon pesuun käytetään kylmää ja kuumaa vettä eli pesuveden kokonaislämpötila. Vesien suhdetta voidaan muuttaa kiertämällä venttiilin päällä olevaa mustaa säädintä. Kuvassa kuuma vesi tulee sunttiin alhaalta ja kylmä vasemmalta. Venttiili on Danfoss:n valmistama AME 435 ja se kestää maksimissaan 130 °C lämpötilan. (AME, käyttöohje 2009, 1, 2.)

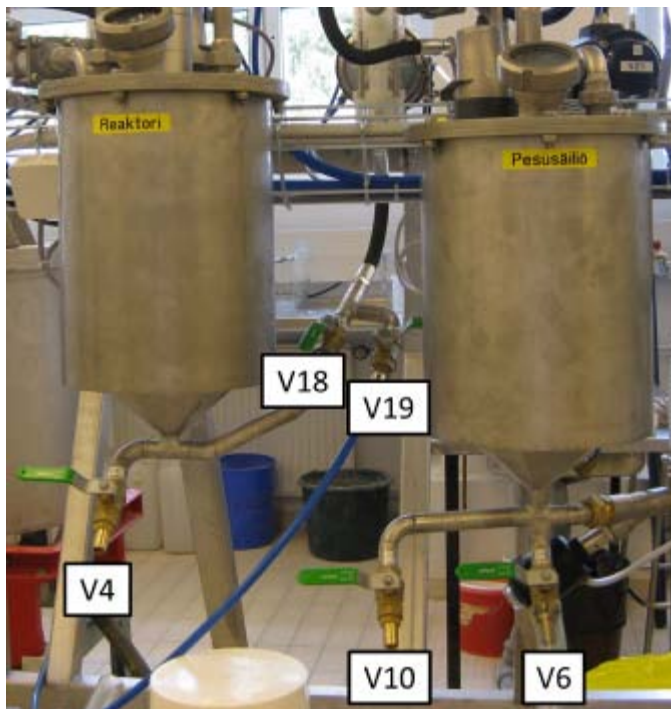
3.5.2 Käsikäyttöiset venttiilit

Venttiilit V18, V19, V4, V6, V10, V26 ja V27 (liite 1) ovat käsikäyttöisiä palloventtiilejä. Seuraavassa kuvassa on venttiilit 18 ja 19 (kuva 14). V18 on reaktorin sekoitukseen ja siirtämiseen tarkoitettu ja V19 on öljyn imemiseen tarkoitettu venttiili.



KUVA 14. Venttiilit V18 ja V19

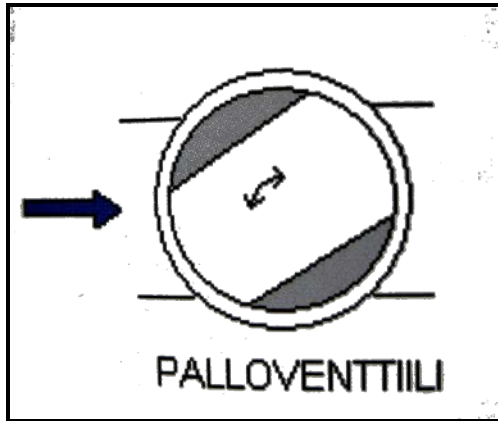
Venttiili 4 on reaktorin pohjassa ja se on glyserolin poistoa varten. Venttiilit 6 ja 10 ovat pesusäiliön pohjassa ja niistä poistetaan loput pesuvedet ja saippuat pesun jälkeen, niistä lasketaan myös lopullinen biodiesel. Laitteiston käsikäyttöiset venttiilit näkyvät seuraavassa kuvassa (kuva 15). Laitteiston takana on vielä V26 ja V27, jotka ovat pesuveden kylmä- ja kuumavesiventtiilit, ne näkyvät aiemmassa kuvassa 9.



KUVA 15. Käsikäyttöiset venttiilit

Palloventtiili on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen. Siinä virtaus tapahtuu sulkuventtiilin läpi, joten se on virtausteknisesti edullinen. Kun venttiili on täysin auki-asennossa, virtausreitti on avoin, joten venttiili ei mene helposti tukkoon. Palloventtiilin etuna on

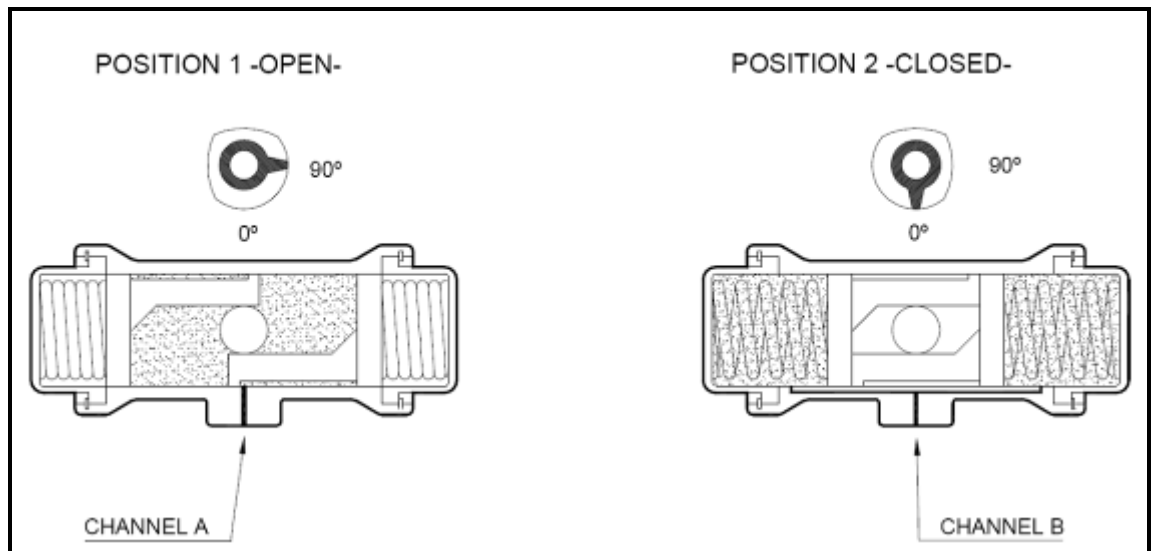
myös pieni painehäviö, josta syntyy energian säästöä. Lisäksi se soveltuu hyvin suuril-
lekin paineille. Palloventtiili on myös hyvä säätöventtiili oikein mitoitetuna, se on käyt-
tövarma ja hyvä toistuvaan käyttöön. Palloventtiilin toimintaperiaate on esitetty seuraav-
vassa kuvassa (kuva 16). (Pulli 2009, 117, 121, 122.)



KUVA 16. Palloventtiili (Pulli 2009, 117)

3.5.3 Toimilaitteelliset venttiilit

Venttiilit V20, V21, V22 ja V23 ovat toimilaitteellisia venttiilejä. V20 on öljyn reaktoriin imemiseen ja reaktorin sekoitukseen käytettävä venttiili (liite 1). V21 käytetään, kun halutaan siirtää biodiesel reaktorista pesusäiliöön (liite 1). V22 on taas lipeän ja alkoholin siirtoon premi-säiliöstä reaktoriin (liite 1). Premix-säiliön sekoituksessa käytetään V23 (kuva 17). Näiden venttiilien toiminta perustuu paineilmaan.



KUVIO 3. PA05 toimintaperiaate (PA05 Toimilaite, käyttöohje 2009, 12)

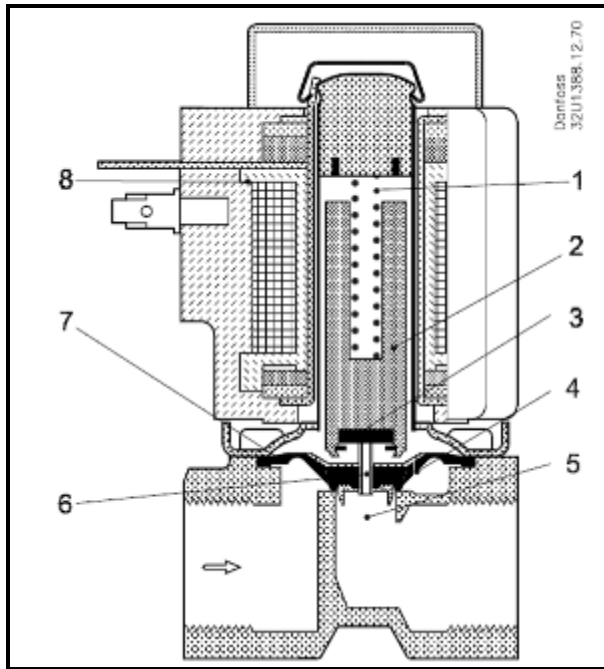
3.5.4 Magneettiventtiilit

Venttiilit V24 ja V25 ovat magneettiohjattuja venttiilejä (liite 1). V24 on pesuvesiventtiili, jota avaamalla pesusuuttimesta alkaa suihkuta vettä pesusäiliöön. Venttiiliä V25 käytetään vain jos pesuvesi on liian kylmää. Venttiilin avulla liian kylmä vesi saadaan johdettua viemäriin. Seuraavassa kuvassa 18 on magneettiohjattu venttiili V25.



KUVA 18. Kylmän pesueden poistiventtiili V25

Seuraavassa kuviossa on numeroitu magneettiventtiilin osat (kuvio 4).



KUVIO 4. Magneettiventtiilin osat (magneettiventtiili, käyttöohje 2008, 4)

Seuraavassa kerrotaan venttiilin sulkeutumisesta. Kun jännitteen syöttö kelaan (8) on lopetettu, venttiililevy (3) on painautunut pilottiaukkoa (6) vastaan jousen (1) voimasta. Paine kalvon (7) toisella puolella kehittyy tasoitetun suuaukon (4) kautta. Tällöin kalvo sulkee pääsuuaukon (5) heti, kun paine kalvossa on yhtä suuri kuin tuloaukon paine. Venttiili pysyy suljettuna niin kauan kuin jännitteen tulo kelaankin on keskeytynyt. (Magneettiventtiili, käyttöohje 2008, 4)

Venttiili avataan kytkemällä jännite kelaan, jolloin pilottiaukko aukeaa. Pilottiaukko (6) on suurempi kuin tasoitettu suuaukko (4). Tällöin kalvon paine putoaa ja kalvo nousee pääsuuaukolta (5). (Magneettiventtiili, käyttöohje 2008, 4)

3.5.5 Ulkopuolelta ohjattava venttiili

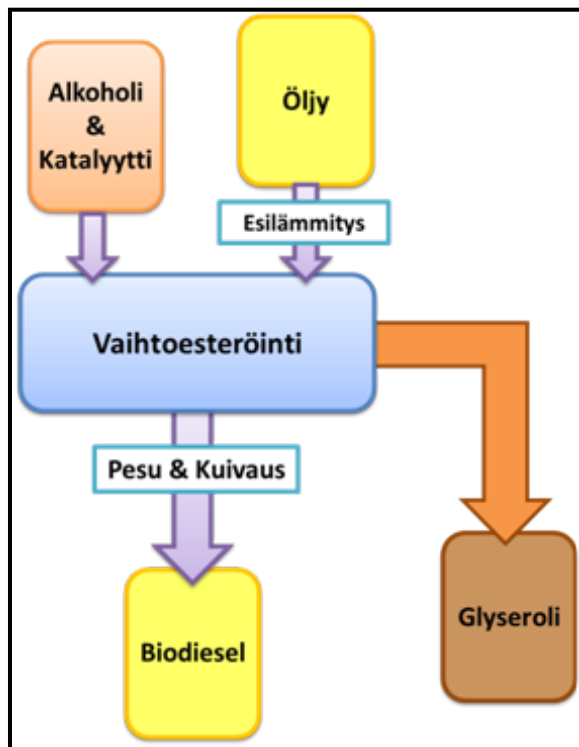
Venttiili V28 on kulmaistukkainen ulkopuolelta ohjattava venttiili (kuva 19). Sitä käytetään pesusäiliön vedenpoistoon. Venttiili toimii korkeillakin lämpötiloilla ja viskositeeteilla, eikä likapartikkelit nesteessä haittaa. Venttiilin materiaalina on käytetty ruostumatonta terästä. (Kulmaistukkaiset ulkopuolelta ohjattavat venttiilit.)



KUVA 19. Kulmaistukkainen ulkopuolelta ohjattava venttiili

ResFuel XS -laitteessa oleva ulkopuolelta ohjattava venttiili on kiinni-malli. Se siis sulkeutuu vasta- ja myötävirtaan, kun taas auki-mallin venttiili sulkeutuu vain vastavirtaan. (Kulmaistukkaiset ulkopuolelta ohjattavat venttiilit.)

Venttiili V28 lisättiin laitteistoon vasta jälkeinpäin, koska huomattiin, että biodieseliä voisi mennä viemäriin ilman kyseistä venttiiliä. Ennen tämän venttiilin asentamista, kun biodiesel siirrettiin pesusäiliöön, osa siitä meni heti pesuveden poistoputkeen ja sitä kautta viemäriin.



KUVIO 5. Biodieselin valmistus

Seuraavissa luvuissa kerrotaan yksityiskohtaisesti biodieselin valmistuksesta ResFuel XS -laitteistolla.

4.1. Lähtöaineet

Biodieselin valmistukseen tarvitaan öljyä, alkoholia ja katalyyttia. Seuraavissa luvuissa kerrotaan tarkemmin lähtöaineista ja niiden määristä.

4.1.1 Öljy

ResFuel XS -laitteistolla valmistettavaan biodieseliin voidaan käyttää lähes kaikkia öljyjä. Laitetta testattiin kalaöljyllä, mutta öljyn valinnalla ei pitäisi olla suurta merkitystä. Tärkeämpää on se, että öljy on puhdasta. Öljyn laatu vaikuttaa katalyytin määrään, siitä kerrotaan lisää katalyytti-luvussa.

Öljyä on valittava sopiva määrä, jotta lämpötila-anturi yltää öljyyn ja toisaalta reaktori ei saa tulla liian täyteen. Öljymäärän on siis oltava 3400 ml–4200 ml.

4.1.2 Alkoholi

Alkoholina biodieselin valmistusprosessissa ResFuel XS -laitteistolla käytetään metanolia. Metanoli on käytetyin alkoholi biodieselin valmistuksessa, koska sillä saadaan korkea vaihtoesteröintituotto lyhyessä reaktioajassa. Metanoli on kuitenkin myrkyllisempi kuin esimerkiksi etanoli, joten etanolin käyttö tekisi biodieselin valmistuksesta turvallisempaa. Valmistuksessa voisi periaatteessa käyttää etanolia tai propanolia, mutta niiden käyttö ei ole yhtä varmaa ja yhtä paljon testattua kuin metanolilla. (Lindorfer 2010, 55.)

Metanolin määrä on riippuvainen öljyn määrästä. Yksi mooli triglyseridiä reagoi kolmen alkoholimoolin kanssa. Kun ottaa huomioon triglyseridin ja metanolin moolimassat havaitaan, että metanolia tarvitaan noin 20 % öljyn määrästä. Esimerkiksi 3600 ml öljyä vaatii 720 ml metanolia. (Lindorfer 2010, 49.)

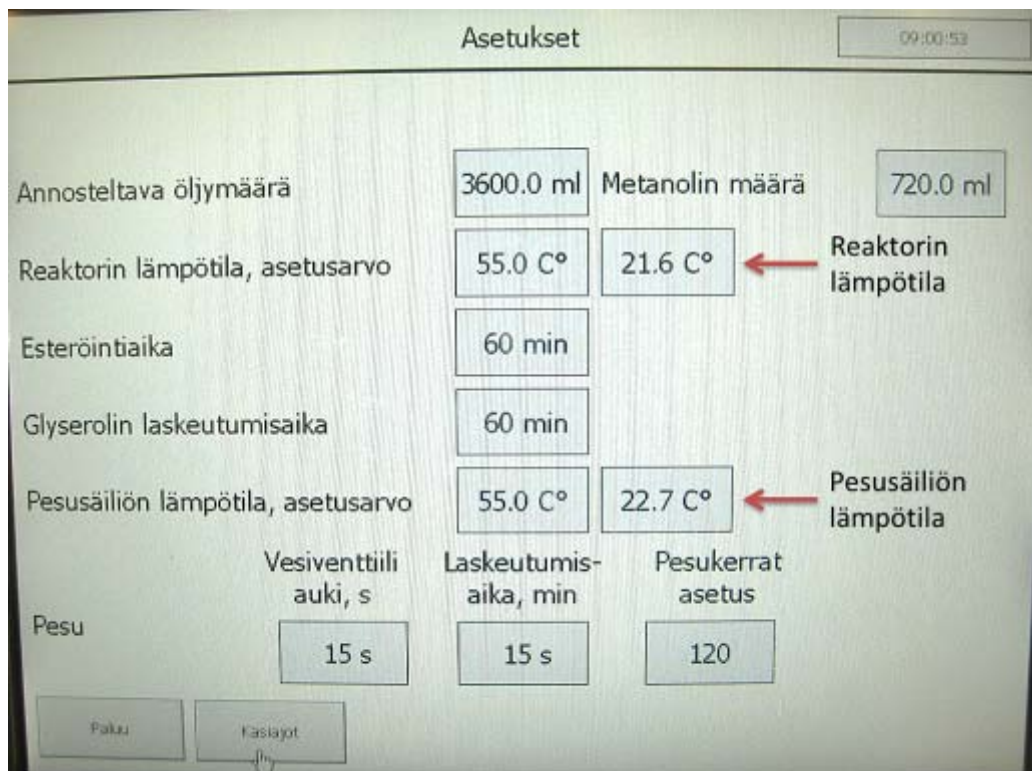
4.1.3 Katalyytti

Katalyytti on aine, joka nopeuttaa reaktiota kulumatta itse. Katalyytti nopeuttaa reaktiota ja mahdollistaa reaktion tapahtumisen alhaisemmassa lämpötilassa. Katalyyttinä ResFuel XS -laitteistossa käytetään lipeää eli kiinteää natriumhydroksidia. Lipeä on vahvasti emäksinen katalyytti. Emäskatalyytit ovat käytetympiä kuin happokatalyytit, koska ne toimivat pienemmissä lämpötiloissa ja niillä saadaan korkea tuotto (98 %) vähäisillä sivureaktioilla ja lyhyellä reaktioajalla. (Lindorfer 2010, 51.)

Katalyytin määrä on riippuvainen käytetyn öljyn laadusta eli vapaiden rasvahappojen määrästä. Eläinperäiset öljyt vaativat enemmän katalyyttiä kuin kasvipohjaiset öljyt. Vapaiden rasvahappojen määrä voidaan määrittää titraamalla kyseistä öljyä 0,1 massa-prosenttisella natriumhydroksidiliuoksella. Titrauksessa sekoitetaan 1 ml öljyä ja 10 ml metanolia ja lisätään noin 3 tippaa fenoliftaleiinia. Sekoituksen jälkeen seos titrataan natriumhydroksidiliuoksella vaaleanpunaiseksi. Saadun titraustuloksen perusteella tarkastellaan ResFuel XS:n käyttöohjeiden taulukosta, paljonko lipeää tarvitaan litraan kyseistä öljyä. (ResFuel XS, käyttöohje 2011, 24, 25.)

4.2. Ajoparametrien asetukset

Laitteistoon on asetettava ajoparametrit, joiden mukaan biodieseliä valmistetaan. Laitteiston asetukset-näyttöön (kuva 21) asetetaan aluksi annosteltavan öljymäärä. Tämän jälkeen laite laskee öljymäärään tarvittavan metanolimäärän (20 %). Reaktorin lämpötilaksi asetetaan lämpötila, johon öljy halutaan aluksi lämmittää ja missä vaihtoesteröityminenkin tapahtuu. Lämpötilan on oltava alhaisempi kuin metanolin kiehumispiste (64,7 °C). Seuraavassa kuvassa näkyy punaisilla nuolilla reaktorin ja pesusäiliön lämpötila-anturien antamat lämpötilat (kuva 21).



KUVA 21. ResFuel XS:n asetukset-näyttö

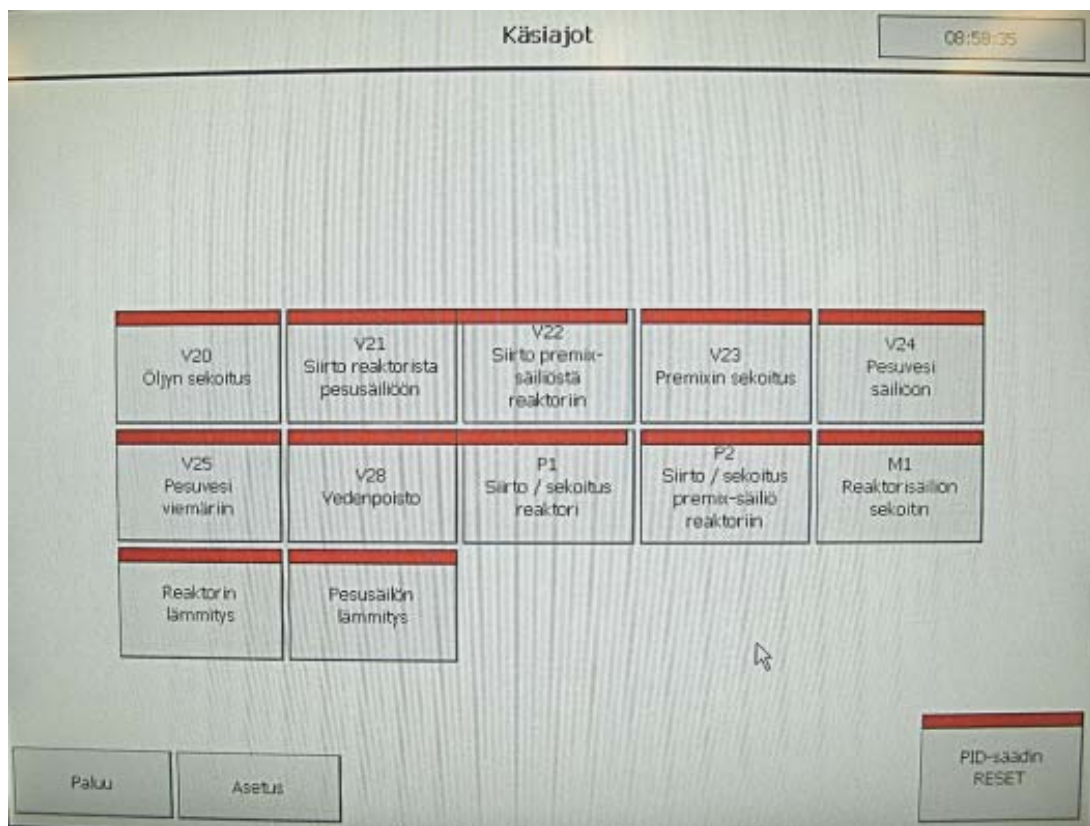
Esteröinti-aikaan asetetaan, kuinka kauan metanolin ja öljyn annetaan reagoita. Esteröinti-aika vaikuttaa glyserolin muodostumiseen. Mikäli reaktioaika on liian lyhyt, kaikki öljy ei ehkä ehdi reagoimaan, mutta pumppuja ja sekoitinta ei kuitenkaan kannata pitää päällä turhaan. Glyserolin laskeutumisaajan pitää olla tarpeeksi pitkä, jotta kaikki glyseroli ehtii laskeutua reaktorin pohjalle.

Pesusäiliön lämmitys nopeuttaa pesua ja sen tulisi olla suunnilleen sama kuin reaktorin lämpötilan. Pesusäiliön lämmitystä voidaan käyttää myös biodieselin kuivaukseen, tällöin lämpötila on nostettava huomattavasti korkeammalle. Öljyn laatu pitää kuitenkin

ottaa huomioon, sillä kaikki öljyt eivät kestä korkeita lämpötiloja. Pesuvaiheeseen määritetään pesun vaiheiden ajat ja pesukerrat. Laskeutumisaajan tulisi olla tarpeeksi suuri, jotta suihkutettu vesi ehtii laskeutua säiliön pohjalle ennen uutta vesisuihkua.

4.3. Valmistus

Valmistuksen aluksi mitatut kemikaalit kaadetaan ja imetään säiliöihin. Premix-säiliöön kaadetaan lipeä ja metanoli. Öljy imetään reaktoriin letkun kautta. Valmistettaessa bio-dieseliä ResFuel XS:n avulla suurin osa toiminnoista tapahtuu seuraavassa kuvassa olevan kosketusnäytön avulla (kuva 22).



KUVA 22. ResFuel XS:n käsiäjo-näyttö

Öljy imetään reaktoriin ensin sulkemalla käsin V18 ja avaamalla V19. Venttiilistä 19 tuleva letku laitetaan öljyyn, jonka jälkeen käynnistetään P1 kosketusnäytöstä. Kun kaikki öljy pumpattu reaktoriin, sammutetaan P1 ja suljetaan V19 sekä avataan V18. Öljy lämmitetään haluttuun reaktiolämpötilaan käynnistämällä reaktorin lämmitys. Jotta lämmitys olisi tasaista, käynnistetään myös reaktorin sekoitin M1. Öljyn lämpenemistä

seurataan asetuksista. Samalla kun öljy lämpenee, liuotetaan lipeä metanoliin sekoittamalla premix-säiliötä. Sekoitus tapahtuu avaamalla V23 ja käynnistämällä P2.

Kun öljy on saavuttanut halutun lämpötilan, premix-seos siirretään reaktoriin. Metanoli ja siihen liuennut lipeä siirtyvät reaktoriin, kun V23 suljetaan ja V22 avataan. Premix-säiliön ollessa tyhjä, sammutetaan P2 ja suljetaan V22.

Vaihtoesteröinnin aikana reaktorin sekoitusta tehostetaan kierrättämällä seosta pumpun kautta, avataan V20 ja P1. Glyserolin laskeutuminen voidaan aloittaa, kun reaktio on tapahtunut loppuun asti. Reaktorin sekoitin ja pumppu 1 sammutetaan sekä V20 suljetaan. Glyserolin laskeuduttua, se poistetaan venttiilistä V4.

Biodiesel siirretään pesusäiliöön, avaamalla V21 ja käynnistämällä P1. Kun biodiesel on siirtynyt, sammutetaan P1, suljetaan V21 ja sammutetaan myös reaktorin lämmitys. Samalla voidaan käynnistää pesusäiliön lämmitys. Pesu aloitetaan avaamalla pesuvesiventtiili V24. Pesusuuttimesta suihkuaa vettä asetusten mukaisesti. Pesu loppuu automaattisesti pesukertojen tullessa täyteen. Pesun loputtua, biodieselin pohjalle jääneet vedet poistetaan pesusäiliöstä avaamalla venttiiliä V6. Biodieseliä tulisi pestä, kunnes pesuvesi on neutraalia, jolloin myös biodiesel on neutraalia. Pesuvedestä kannattaa tarkastaa pH, jolla voidaan varmistaa pesun onnistuminen. Mikäli pesuvesi ei ole neutraalia, on pesua jatkettava.

Pesusäiliössä oleva biodiesel on vielä sameaa, koska siinä on vettä. Biodiesel voidaan kuivata lämmittämällä sitä; nostetaan pesusäiliön lämpötilaa asetuksista 10 – 20 °C korkeammaksi. Lämmityksen lisäksi kuplitus nopeuttaa biodieselin kirkastumista. Kuplitus tulee säätää niin, että kuplia tulee vain vähän ja ettei se jäähtyä biodieseliä liikaa. Biodiesel kirkastuu myös huonelämpötilassa, mutta siinä menee huomattavasti kauemmin; jopa viikkoja. Nopeimmin biodieselin saa kirkkaaksi lämmittämällä sitä lämpölevyllä noin 70 asteeseen. Kaikista öljyistä valmistetut biodieselit eivät kuitenkaan kestä niin korkeaa lämpötilaa, joten lämmittäminen kannattaa aloittaa varovasti.

Biodiesel voidaan poistaa seuraavana päivänä pohjaventtiilistä V6. Valmis biodiesel voidaan vielä suodattaa 10 – 20 µm läpäisevällä suodatinpaperilla. Lopuksi lisätään vielä hieman lisäainetta, jos öljynä on käytetty esimerkiksi kalaöljyä. Lisäaineesta kerrotaan biodiesel-luvussa.

4.4. Lopputuotteet

Lopputuotteena saadaan biodieseliä, glyserolia ja saippuaa. Lopputuotteista kerrotaan hieman seuraavissa luvuissa.

4.4.1 Glyseroli

Vaihtoesteröinnissä syntynyt glyseroli on ruskeaa nestettä, joka jähmettyy jäähtyessään. Glyserolia syntyy biodieselin valmistuksessa sivutuotteena. Se laskeutuu säiliön pohjalle, koska sillä on suurempi tiheys kuin biodieselillä. Glyserolin tiheys on $1,26 \text{ g/cm}^3$ ja biodieselin huomattavasti pienempi $0,9 \text{ g/cm}^3$ (Lindorfer 2010, 63). Seuraavassa kuvassa on prosessista poistettu glyseroli (kuva 23).



KUVA 23. Reaktorista poistettu glyseroli

Glyserolia voidaan hyödyntää, mutta sitä ennen se on neutralisoitava happojen avulla. Puhdistettua glyseroilia voidaan käyttää mm. pehmittimenä muoveissa tai estämään kovettumista liimoissa. Lisäksi glyserolia käytetään ihovoiteissa, hammastahnoissa,

saippuoissa, hiustenpesuaineissa ja voiteluaineissa. Elintarviketeollisuus käyttää glyse-
roilia esimerkiksi säilyttämään kosteutta. Glyseeröilia voidaan käyttää myös nitroglyse-
rolin valmistukseen. Glyserolin puhdistus ei kuitenkaan tässä tapauksessa ole kannatta-
vaa, koska glyseroli voidaan helposti hyödyntää polttamalla lämpölaitoksessa. (Malkki
2006, 15; Glyseroli 2012b.)

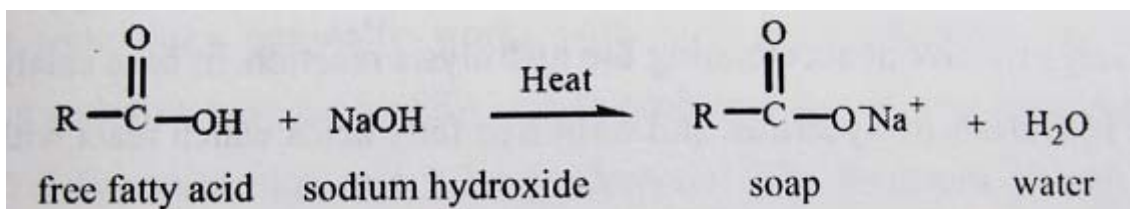
4.4.2 Biodiesel

Valmista biodieseliä voidaan käyttää dieselmoottoreissa tavallisen dieselöljyn tapaan.
Biodiesel saattaa tukkia suodattimia käytön alussa, koska sillä on liuottava vaikutus. Se
ottaa tankista kaiken irtoavan lian mukaansa ja siksi olisi hyvä, jos käytettäisiin muovi-
sia tankkeja.

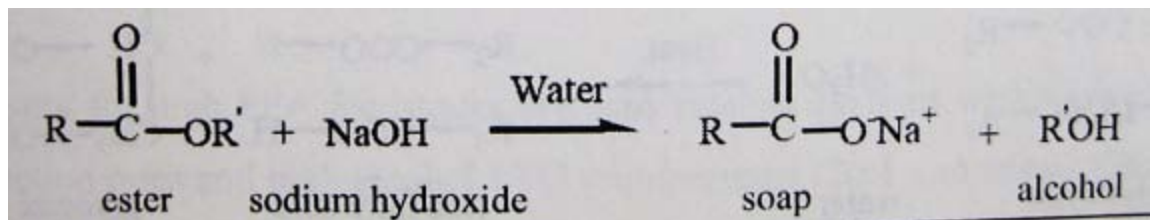
Kalaöljystä valmistettu biodiesel ei säily sellaisenaan kovin hyvin, joten siihen on lisät-
tävä lisäainetta säilymisen ja toimimisen parantamiseksi. Lisäaineena käytettiin Ionol-
bf200, jota lisättiin 6 ml/1000 ml biodieseliä. Lisäaine tekee biodieselistä myös hel-
pompaa käsitellä. (Oxiris.)

4.4.3 Saippua

Biodieselin valmistusprosessissa syntyy yleensä saippuaa. Saippuaa muodostuu seura-
vissa kuvissa olevien reaktioiden mukaisesti, joko vapaista rasvahapoista tai esteristä
(kuvista 24 ja 25).



KUVA 24. Saippuoituminen vapaista rasvahapoista (Lindorfer 2010, 50)



KUVA 25. Saippuoituminen esteristä (Lindorfer 2010, 50)

Saippuoituminen johtuu useimmiten ylimääräisestä lipeästä. Saippuan muodostuminen pesuvaiheessa on yleensä normaalia, mutta liiallinen saippuan muodostuminen on merkki epäonnistuneesta reaktiosta. Pesuvaiheessa poistuvan saippuan mukana lähtee myös katalyyttijäämä. Saippuoituminen voi pienentää saantoa tai vaikeuttaa glyserolin erottumista. (Lindorfer 2010, 49, 50.)

5 ResFuel XS -LAITTEISTON TESTAUS PIRKANMAAN AMMATTIOPIS- TOSSA

Opinnäytetyössä tutuksi tullutta ResFuel XS -laitteistoa testattiin Pirkanmaan ammattiopistossa maaliskuu- ja huhtikuussa 2012. Laitteisto oli ensimmäisiä opetuskäyttöön valmistettuja, joten sen toiminta ei ollut aivan täydellistä. Ongelmia oli etenkin pesussa. Lisäksi laite piti saada toimimaan käsiajolla.

5.1. Testausta ennen varsinaisia koeajoja

Ensin laitteiston toimintaan tutustuttiin ajamalla valmistusprosessi läpi pelkällä vedellä. Vesiajon avulla laitteen toiminnasta saatiin hyvä kuva.

Laitteen käyttämää menetelmää testattiin, valmistamalla biodieseliä erotussuppilossa. Pientestissä käytettiin samoja öljyn ja metanolin suhteita kuin ResFuel XS -laitteistossakin. Öljynä käytettiin kalaöljyä, joka oli valmistettu kirjolohen perkuujätteenä. Öljyn titraustulokseksi saatiin 2,7 ml, joten lipeää tarvittiin 8,2 g/l öljyä (ResFuel XS käyttöohje 2011, 24.) Erotussuppiloon mitattiin 100 ml öljyä ja lisättiin metanoliin (20 ml) sekoitettu lipeä (0,82 g). Erotussuppiloa ravistettiin hetki ja annettiin glyserolin laskeutua muutaman tunnin ajan. Kuvassa 26 näkyy valmistettu biodiesel ja pohjalle laskeutunut glyseroli.



KUVA 26. Erotussuppiloon tehty biodiesel ja pohjalle laskeutunut glyseroli

Kuvan 26 erotussuppilossa on kaksi selkeää faasia, ylhäällä biodiesel ja alhaalla glyseroli. Menetelmä ja ainesuhteet todettiin toimiviksi.

5.2. Koeajot

Laitteistolla tehtiin kymmenen koeajoa, joiden syöttömäärät ja ajoparametrit ovat seuraavassa taulukossa (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Koeajojen tiedot

KOEAJO	PVM	Öljymäärä (ml)	Metanoli (ml)	NaOH (g)	Reaktorin It (°C)	Esteröinti-aika (min)	Glyserolin laskeutumisaika (min)
1.	21.3.2012	3600	720	29,512	45	75	120
2.	22.3.2012	3600	720	29,506	45	75	120
3.	23.3.2012	3600	720	30,6	45	90	90
4.	26.3.2012	3600	720	30,622	45	90	90
5.	27.3.2012	3600	720	n. 30,6	45	90	80
6.	28.3.2012	3600	720	30,606	45	15	55
7.	29.3.2012	3600	720	30,611	50	30	45
8.	2.4.2012	3600	720	22,319	50	30	60
9.	10.4.2012	3600	720	29,52	50 - 55	35	90
10.	18.4.2012	3600	720	26,64	50	30	60

Koeajot suoritettiin kalaöljyllä, mutta laatu vaihteli kirjolohesta siikaan. Öljy- ja metanolimäärät pidettiin samana koeajojen aikana. Seuraavissa luvuissa on tarkempaa tietoa koeajojen suorituksista ja onnistumisista.

5.2.1 Koeajot 1 ja 2

Ensimmäisessä koeajossa seurattiin laitteen valmistajan käyttöohjeita melko tarkasti. Vaihtoesteröinti sekä glyserolin laskeutuminen ja poisto sujuivat ongelmitta. Pesussa ohjeita jouduttiin soveltamaan automaation puuttuessa. Vettä päästettiin noin sekunnin ajan, jonka jälkeen veden annettiin laskeutua viisi minuuttia. Sama toistettiin noin kymmenen kertaa. Seuraavana päivänä vesi ja biodiesel otettiin pois, jolloin saatiin noin litra vettä ja loppu sameaa biodieseliä (kuva 27).



KUVA 27. Vasemmalla pesuvesi ja oikealla biodiesel

Toinen koeajo suoritettiin samalla tavalla. Tällä kertaa pyrittiin selvittämään, missä vaiheessa biodiesel muuttuu sameaksi. Biodieseliä tarkkailtiin jatkuvasti ja prosessin aikana otettiin muutamia näytteitä. Biodieselin huomattiin olevan kirkasta vielä reaktorista lähtiessä, mutta muuttuvan sameaksi pumppauksen aikana.

5.2.2 Koeajot 3 ja 4

Ennen kolmatta koeajoa päätettiin tarkistaa katalyytin määrää, koska tarkaa titraustulosta oli vaikea havaita öljymetanoli-seoksen sameuden takia. Ensimmäisellä kerralla titraustulos jäi hieman vaaleanpunaiseksi. Titrauksen tarkistuksen jälkeen, lipeän määrää lisättiin noin grammalla. Katalyytin määrän lisäys ei kuitenkaan tuottanut haluttua tulosta. Valmistettu biodiesel oli edelleen sameaa.

Neljännessä koeajossa lämmitystä pidettiin päällä myös glyserolin laskeutumisessa. Lisäksi pesu pyrittiin tekemään mahdollisimman lämpimällä vedellä, jottei jo valmiiksi samea biodiesel sameutuisi entisestään. Neljännen koeajon biodieselistä tuli kuitenkin yhtä sameaa kuin aikaisemmistakin.

Biodieselin sameutumisen syytä pyrittiin selvittämään tekemällä pesutestejä. Biodieselistä otettujen näytteitä pestiin erotussuppiloissa. Ensimmäinen näyte oli ennen ja toinen

jälkeen pesusäiliöön pumppauksen. Molemmat näytteet pestiin vesisuihkulla. Seuraavassa kuvassa näkyy pestyt, yön seisseet näytteet (kuva 28).



KUVA 28. Pesutestin tulokset

Testistä voidaan päätellä, että pumpun sekoittama biodiesel pysyy sameana vaikka se pestäisiin käsin.

5.2.3 Koeajot 5 – 9

Koeajossa 5 biodiesel siirrettiin heti vaihtoesteröinnin jälkeen pesusäiliöön. Glyceroli poistettiin pesusäiliöstä. Lisäksi tehtiin uusi 0,1 massaprosenttinen natriumhydroksidiliuos titrausta varten, jotta voitaisiin varmistaa katalyytin määrä oikeaksi. Tulos oli kuitenkin sama molemmilla titrausliuoksilla.

Ennen kuudetta koeajoa, kalvopumppujen pumppausvoimakkuutta säädettiin pienemmäksi. Lisäksi säädettiin sunttiventtiiliä, jotta pesuvesi saataisiin lämpimämmäksi. Tällä kertaa biodiesel ei ollut aivan yhtä sameaa kuin ennen. Pesun jälkeen biodiesel kuitenkin sameni taas.

Koeajosta 7 otettiin biodieseliä kahteen suureen erotussuppiloon. Ensimmäiseen laitettiin biodieseliä ja 50 celsiusasteista vettä ja toiseen biodieseliä ja kylmää vettä. Molempia erotussuppiloita ravisteltiin voimakkaasti. Seuraavassa kuvassa on pesutestin 2, viikonlopun seisomisen jälkeiset, tulokset (kuva 29).



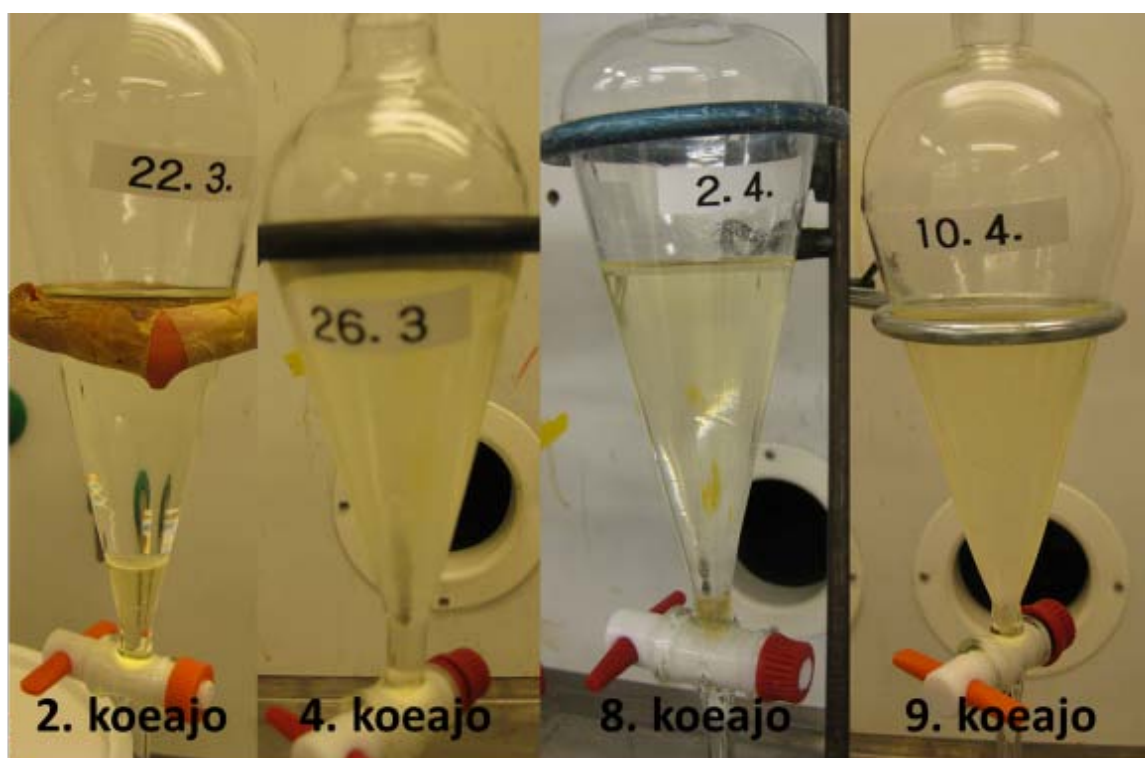
KUVA 29. Pesutesti 2: vasemmalla kuumalla pesty ja oikealla kylmällä pesty

Kuvasta 29 nähdään, että biodieseleissä on selkeä väriero. Molempiin erotussuppiloihin oli erottunut selkeä saippuakerros, josta päätellen katalyytin määrää pitäisi vähentää, jotta saippuaa syntyisi vähemmän.

Koeajossa 8 lipeää laitettiin selvästi vähemmän. Biodiesel oli vieläkin pesun jälkeen sameaa. Koeajossa 9 lipeän määrä palautettiin alkuperäiseen, mutta lopullinen biodieselin pysyi edelleen sameana.

5.2.4 Metanolitesti

Metanolitestissä sekoitetaan metanolia ja biodieseliä suhteessa 9:1, jolloin kaiken biodieselin pitäisi liueta metanoliin. Seosten annetaan laskeutua, jolloin metanoliin liukenematon osuus laskeutuu pohjalle. Metanoliin liukenematon osuus on reagoimatonta kalaöljyä ja epäpuhtauksia. Metanolitesti tehtiin neljän eri koeajon biodieselistä: koeajoista 2, 4, 8 ja 9. Seuraavassa kuvassa näkyy metanolitestin tuloksia (kuva 30). Jos suppilossa on kaksi selkeää faasia, biodieselin esteröitymisprosessi ei ole onnistunut.



KUVA 30. Metanolitestin tulokset

Toisen ja kahdeksannen koeajon metanolitesteissä syntyi kaksi selkeää faasia. Neljännen ja yhdeksännen koeajon tulokset ovat todella hyvät.

Toisen koeajon biodiesel oli huonoa, sillä 10 ml:sta biodieseliä vain 6,8 ml:a oli sekoitunut metanoliin. 3,2 ml oli reagoimatonta kalaöljyä ja epäpuhtauksia, joten vaihtoesteröinti oli luultavasti epäonnistunut, koska silloin ei käytetty pumppua tehostamaan sekoitusta. Neljännen koeajon biodiesel oli todella hyvää, koska tällöin käytettiin pumppua sekoituksen tehostukseen ja lämmitys pidettiin päällä myös glyserolin laskeutumisessa. Kahdeksannen koeajon biodieselissä oli 0,8 ml öljyä ja epäpuhtauksia. Tämä joh-

tuu liian vähäisestä lipeän määrästä. Yhdeksännen koeajon tulos oli todella hyvä, johtuen oikeasta katalyyttimäärästä sekä reaktio- ja laskeutumisaajasta.

5.2.5 Koeajo 10

Biodieselin kuivausta testattiin lämmittämällä niitä lämpölevyllä 70 °C:een. Lämmityksen ansiosta biodiesel kirkastui. Seuraavassa kuvassa oikeanpuoleinen biodiesel on jo kirkastunut, lämpömittarin pää näkyy selkeästi biodieselin pohjalla (kuva 31).



KUVA 31. Biodieselin kuivaus

Aikaisemmista sameista biodieseleistä osaan on tullut ajan myötä pieni kirkas kerros pinnalle. Se on kuitenkin kestänyt useita viikkoja, joten lämmitys on pitkää odottamista parempi vaihtoehto.

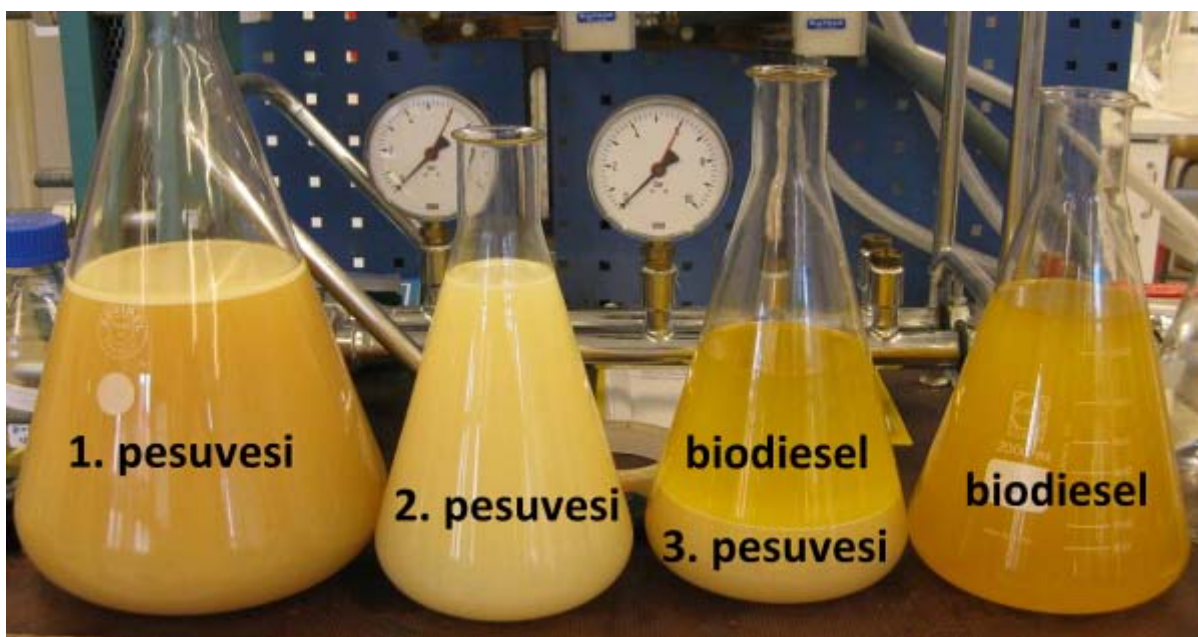
Pesusäiliöön asennettiin lämmityslaitteisto, jotta biodiesel saataisiin kirkastumaan nopeammin. Lisäksi pesu automatisoitiin niin, että pesussa voi valita pesun ja tauon pituudet sekä pesukerrat myös käsiajolla.

Koeajossa 10 käytettiin siiasta tehtyä kalaöljyä, joten lipeää tarvittiin vähemmän. Esteröinti-aika oli 30 min ja glyserolin laskeutumisaika 60 min. Glyserolia reaktiosta tuli noin 450 ml (kuva 32).



KUVA 32. Koeajon 10 glyseroli

Pesun aikana lämpötila säiliössä oli noin 55 °C, vedenpoiston jälkeen lämpötilaa nostettiin 60 °C:een. Kuivauksen aikana käytettiin myös hieman kuplitusta kirkastamaan biodieseliä. Seuraavassa kuvassa on pesuvedet ja reaktorista poistettu biodiesel (kuva 33).



KUVA 33. Pesuvesi ja biodiesel

Kuvasta 33 huomataan, että ensimmäinen pesuvesi on paljon tummempaa kuin toinen pesuvesi. Lisäksi pesuvesien pinnalla näkyy selkeät, mutta pienet saippuakerrokset.

5.2.6 Koeajojen yhteenveto

Laite saatiin loppujen lopuksi toimimaan halutulla tavalla. Kymmenes koeajo oli lähes täydellinen ja lopputulokseen oltiin tyytyväisiä. Ensimmäisetkin laitteistolla tehdyt biodieselit kirkastuivat lämmittämällä. Lisäksi suodatimme kaikki tehdyt biodieselit imusuodatuksella, mikä kirkasti niitä entisestään (kuva 34).



KUVA 34. Suodatus

Kuivauksen ja suodatuksen avulla saimme todella kirkasta biodieseliä. Seuraavassa kuvassa on kuivattuja ja suodatettuja näytteitä eri päivien biodieseleistä (kuva 35).



KUVA 35. Valmiit biodieselit

5.3. Biodieselin toiminnan testaus

ResFuel XS -laitteistolla valmistetun biodieselin toimintaa testattiin Pirkanmaan ammattiopiston auto-osastolla 14.5.2012. Testissä määritettiin moottorin suurinta tehoa valmistamallamme biodieselillä ja tavallisella dieselöljyllä. Määrityksessä käytettiin tehon dynamometri HPA 106:tta. Mittari mittaa tehoa, nopeutta ja kierrosnopeutta.

Testiauto oli Volkswagen Passat 2,0 TDI, jonka suurin teho huoltokirjan mukaan on 100 kW, 4000 rpm. Testissä käytetty auto on kuvassa 36.



KUVA 36. VW Passat 2,0 TDI

Suurinta tehoa mitattiin ensin biodieselillä. Mittauksessa käytettiin 4. vaihdetta ja 4000 rpm kierrosnopeutta. Autoa kiihdytettiin alustalla. Samaan aikaan autoa kuormitettiin jarruttamalla sitä mekaanisesti. Tällöin dynamometri näytti sen hetkellistä tehoa. Korkein tehodynamometrin tehokuma kertoo moottorin suurimman tehon. Biodieselillä suurimmaksi tehoksi saatiin 41 kW. Seuraavassa kuvassa on tehodynamometri biodieselin suurimman tehon kohdalla (kuva 37).



KUVA 37. Tehon dynamometri moottorin suurimmalla teholla

Tämän jälkeen tankkiin lisättiin tavallista dieselöljyä, jotta saatiin vertailutulos. Dieselöljyä laitettiin niin paljon, että biodieselin määrä on vain noin 15 %. Suhde on niin pieni, että biodieseli ei enää vaikuta merkittävästi tuloksiin. Tavallisella dieselöljyllä suurimmaksi tehoksi saatiin 40 kW.

Molemmat tulokset ovat huomattavasti pienempiä kuin huoltokirjassa luvattu 100 kW. Tämä voi johtua joko mittarista tai moottorista. Mittausten aikana mittari ei vaihtanut asteikkoa lainkaan ylemmästä alempaan. Jos kyse oli mittariviasta 41 kW vastaisi 82 kW ja 40 kW vastaisi 80 kW, jolloin tulokset olisivat jo lähempänä huoltokirjan lukua. Auton moottori saattoi myös olla vikatilassa, jolloin moottori saattaa rajoittaa tehojaan.

Ajan puutteen vuoksi, uutta testiä ei tehty. Tästä testissä biodieselillä ja dieselöljyllä saatiin lähes samat tulokset. Voimme siis tämän testin puitteissa todeta valmistetun biodieselin olevan vähintään yhtä hyvää kuin tavallinen dieselöljy.

6 ResFuel XS -LAITTEISTON KÄYTTÖOHJEIDEN LAATIMINEN

Opinnäytetyöhön kuului myös yksinkertaisten käyttöohjeiden tekeminen ResFuel XS -laitteistolle. Pirkanmaan ammattiopiston opinnäytetyönohjaaja pyysi, että käyttöohjeet tehtäisiin opiskelijakäyttöön, sillä laitteen valmistajan ohjeet ovat liian monimutkaiset ja lisäksi moni asia on muuttunut, kun laitteistoa on paranneltu. Alkuperäisissä ohjeissa ei ole mainittu esimerkiksi pesusäiliön lämmitystä, joka lisättiin laitteistoon vasta myöhemmin.

Käyttöohjeiden kohderyhmä, ammattiopiston opiskelijat, pitää ottaa huomioon. Käyttöohjeiden pitää olla yksinkertaiset, selkeät ja helppolukuiset. Lisäksi on tärkeää, että ohjeissa on tekstiä havainnollistavia kuvia. Käyttöohjeet ovat opinnäytetyön liitteenä (liite 2).

Koeajojen aikana laitteiston käyttö tuli tutuksi, joten käyttöohjeet kirjoitettiin lähinnä omien käyttökokemusten perusteella. Käyttöohjeessa käytetyt kuvat on otettu koeajojen ja komponenttien tarkastelun yhteydessä.

7 TURVALLISUUSNÄKÖKOHTIA

ResFuel XS -laitteen käytössä on turvallisuusriskejä. Koska laitteisto on oppilaitoskäyttöön, turvallisuus on erityisen tärkeä asia. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan joistain turvallisuusasioista, jotka tulisi huomioida, kun valmistetaan biodieseliä ResFuel XS -laitteistolla.

7.1. Kemikaalit

Kemikaalit aiheuttavat biodieselin valmistuksessa turvallisuusriskin. Metanoli on myrkyllistä ja helposti syttyvää. Sisään hengitettynä metanoli voi aiheuttaa, päänsärkyä, oksentelua ja jopa kooman. Lisäksi metanoli voi vaikuttaa pysyvästi näkökykyyn. Metanolin nieleminen voi sokeuttaa tai tappaa. Metanolin nieleminen aiheuttaa keskushermostoon vaikutuksia, kuten päihtymystä, päänsärkyä, huimausta ja pahoinvointia. Iho- kosketus metanolin kanssa ärsyttää ihoa ja voi aiheuttaa allergiaa. Silmiin joutuessaan metanoli voi ärsyttää silmiä. Käsiteltäessä metanolia pitää välttää iho- ja silmäkosketusta eli on käytettävä suojakäsineitä ja suojalaseja. (Metanoli 2011, 1–3.)

Natriumhydroksidi syövyttää ihoa voimakkaasti ja vaurioittaa silmiä. Natriumhydroksidi voi syövyttää myös metallia. Nieltynä natriumhydroksidia ei saa oksentaa, vaan suu on huuhdottava. Natriumhydroksidia käsiteltäessä on käytettävä suojakäsineitä, suojavaate- tusta, suojalaseja ja tarvittaessa kasvosuojaimia. (Natriumhydroksidi 2011, 1–3.)

Glyseroli ärsyttää ihoa ja limakalvoja lievästi. Lisäksi glyseroli ärsyttää silmiä ja hengitettynä hengityselimiä ja keuhkoja. Jos glyserolia niellään suurempia määriä, se voi aiheuttaa pahoinvointia, vatsakipua, päänsärkyä, unettomuutta sekä ripulia. Glyserolia käsiteltäessä on käytettävä suojakäsineitä ja -laseja. (Glyseroli 2012a, 1–3.)

Kaikkien kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet tai ainakin tiivistelmät niistä tulisi asettaa laitteen välittömään läheisyyteen, jotta kaikilla opiskelijoilla on mahdollisuus tutustua reagensseihin. Metanolin ja natriumhydroksidin vaaroista tietäminen pitäisi olla ehtona työn aloittamiselle.

7.2. Laitteen turvallisuus

ResFuel XS -laitteiston turvallisuuden varmistamiseksi laitteeseen asennettiin lämpötilan varmistimet reaktorin ja pesusäiliön lämmittimiin. Lämpötila ei pääse nousemaan säädettyä korkeammaksi, sillä varmistin sammuttaa lämmittimen aina kun kyseinen lämpötila ylittyy. Varmistin on erityisen tärkeä silloin, kun lämpötila-anturi ei yllä öljyyn tai biodieseliin ja kun reaktori tai pesusäiliö on tyhjä.

Premix-säiliön paikka vaikuttaa turvallisuuteen, sillä se on melko korkealla ja sinne pitäisi kaataa metanoli ja lipeä. Säiliöön kurottaminen tai tuolilla seisominen ei ole kovin turvallista.

ResFuel XS -laitteessa on kaksi kalvopumppua. Kun vain toinen pumppu on käynnissä, syntyy noin 80 dB:n äänenvoimakkuus. Kun molemmat pumput ovat käynnissä, äänenvoimakkuus on lähes 85 desibeliä. Pumput eivät kuitenkaan ole yhteensä yli tuntia päällä ja alle 86dB:n melulle on turvallista olla altistuneena kaksi tuntia (Elacin). Kuulosuojaimet eivät ole pakollisia, mutta molempien pumppujen ollessa päällä, olisi hyvä olla hieman kauempana laitteesta tai suojata kuulo asianmukaisesti.

Laitteen poistuloventtiilien alla on ruostumattomasta teräksestä valmistettu allas, johon kaikki venttiileistä valunut öljy ja biodiesel menevät. Tämän ansiosta liukastumisvaara pienenee huomattavasti. Jos lattialle kuitenkin joutuu öljyä, on se pestävä välittömästi liukastumisvaaran takia. Lattialle valunut öljy tekee lattiasta vaarallisen liukkaan, jos sitä ei pestä kunnolla.

8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ResFuel XS -laitteistoa ja sen komponentteja sekä valmistaa sillä biodieseliä. Tarkoituksena oli myös laatia opiskelijoille soveltuva laitteiston käyttöohje. ResFuel XS -laitteisto tuli tutuksi koeajojen aikana ja biodieselin valmistus onnistui kymmenennellä koeajolla lähes täydellisesti. Biodiesel saatiin kirkastumaan ja lisäksi pesu saatiin toimimaan halutulla tavalla. Käyttöohje tehtiin omien käyttökokemusten perusteella. Käyttöohjeessa hyödynnettiin myös koeajojen aikana otettuja kuvia.

ResFuel XS -laitteiston rakenteesta ja toiminnasta piti myös tehdä selvitys. Laitteiston komponentteihin tutustuttiin koeajojen yhteydessä ja niiden toimintaperiaatteita selvitettiin tämän opinnäytetyön kolmannessa luvussa.

Laitteisto on toimiva biodieselin valmistuksessa, mutta laitteen käytön aikana tuli muutamia kehitysehdotuksia ja ideoita turvallisuuden parantamiseksi. Premix-säiliö on melko korkealla, ja kun sinne kaatoi metanolia, joutui kurottamaan tai vaihtoehtoisesti nousemaan penkille seisomaan. Jatkossa ResFuel XS -laitteistoja valmistettaessa olisi hyvä miettiä, onko premix-säiliön oltava niin korkealla ja vaikuttaako se prosessin kulkuun tai onnistumiseen. Pirkanmaan ammattiopiston laitteiston premix-säiliötä tuskin siirretään, joten sinne voitaisiin hankkia pieni koroke, joka on tarkoitettu seisomiseen, jotta premix-säiliön pääsisi täyttämään turvallisesti. Koroke voisi myös olla kaksi askelmainen porrasjakkara (kuva 38).



KUVA 38. Porrasjakkara, 2-askelmainen (Prisma)

Reaktorissa ja pesusäiliössä on näkölasit niiden yläosien kaatoaukkojen kierrettävissä metallikorkeissa. Näkölasit ovat melko pienet, ja niistä näkee vain säiliössä olevan nesteen pinnan. Lisäksi ne huurtuvat melko usein, jolloin niistä ei näe läpi juuri mitään. Reaktorin ja pesusäiliön kyljessä pitäisi olla koko säiliön mittainen näkölasi, josta pystyisi helposti tarkkailemaan pinnan korkeutta ja reaktion kehitystä. Koko säiliön pituisesta näkölasista pystyisi esimerkiksi havaitsemaan, kuinka reaktoriin syntyy esteröinnin jälkeen biodiesel- ja glyserolifaasi. Pesusäiliössä taas näkölasista voitaisiin nähdä biodieselin ja veden väliin muodostuva saippuakerros. Lisäksi näkölasin viereen säiliöiden ulkopuolelle voitaisiin lisätä mitta-asteikko. Siitä nähtäisiin esimerkiksi muodostuneen glyserolin määrä, josta voitaisiin päätellä glyserolin laskeutumisaajan riittävyttä. Seuraavassa kuvassa 39 on esitetty, miltä reaktori näyttäisi uudella näkölasilla ja mitta-asteikolla varustettuna.



KUVA 39. Näkölasi ja mitta-asteikko reaktorin kyljessä

ResFuel XS -laitteessa on kaksi kalvopumppua, jotka pitävät melko kovaa ääntä. Kalvopumppujen käynnissä olemisen ajan opiskelijoille pitäisi suositella kuulosuojaimien käyttöä, vaikka näin lyhytaikainen altistus ei siihen pakotakaan. Kuulosuojaimet voisivat olla joko kertakäyttöisiä tai päälakisangallisia kuulosuojaimia. Vaihtoesteröinti kestää puoli tuntia, jonka ajan kalvopumpun on oltava päällä, jotta esteröinti onnistuisi. Jos reaktorin sekoitin olisi tehokkaampi, pumpun ei tarvitsisi pumpata puolta tuntia. Sekoit-

timeen voisi lisätä esimerkiksi toiset kaksi lapaa hieman edellisiä ylemmäs. Lisäksi sekoitusta voisi mahdollisesti tehostaa lisäämällä sekoittimen moottorin paineilmaa.

Metanoli on myrkyllinen aine. Siksi vaihtoehtoisten alkoholien käyttö parantaisi biodieselin valmistuksen turvallisuutta huomattavasti. Muiden alkoholien käyttö ei ole yksinkertaista, koska olosuhteita ja ainemääriä pitäisi muuttaa. Etanolin ja propanolin molekyyliketjut ovat pidempiä, joten ne vaatisivat esimerkiksi pidemmän reaktioajan.

Biodieselin valmistuksessa käytetään myrkyllistä metanolia ja syövyttävää lipeää. Näiden kemikaalien käytössä tulee noudattaa erityistä varovaisuutta. Siksi olisikin hyvä, jos molempien kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet tai niiden tiivistelmät laitettaisiin laitteiston viereen kaikkien käyttäjien nähtäväksi.

LÄHTEET

AME, käyttöohje. 2009. Danfoss. Saatu sähköpostitse. Palmen, T. Sybimar Oy. 27.04.2012.

Bioste Oy. 2012. Biodiesel. Luettu 27.04.2012. http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=8&Itemid=11.

Elacin. Yleistä kuulonsuojauksesta. Luettu 25.05.2012. <http://www.elacin.fi/useinkysytyt-kysymykset>.

Glyseroli. 2012a. Käyttöturvallisuustiedote. Tamro Oyj. Luettu 24.05.2012.

Glyseroli. 2012b. Wikipedia. Luettu 21.05.2012. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Glyseroli>.

Husky, käyttöohje. 2004. Graco. Saatu sähköpostitse. Palmen, T. Sybimar Oy. 27.04.2012.

IWAKI Suomi Oy. 2004. Paineilmatoimiset kalvopumput. [pdf]. Luettu 09.05.2012. http://www.iwaki.fi/media/files/PUMPS/29/Brochure/fi/YAMADA_BRO_FI.pdf.

Kulmaistukkaiset ulkopuolelta ohjattavat venttiilit. Danfoss. Luettu 19.05.2012. <http://www.danfoss.com>.

Lindorfer, J. 2010. Biodiesel Production. Diversification of Feedstock. Saarbrücken: VDM.

Luukkanen, P. 2001. Pumpunvalitsimet integroidussa simulointiympäristössä. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.

Magneettiventtiili, tekninen esite. 2008. Danfoss. [pdf] Luettu 28.09.2012. http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/IC.PD.200.C3.02_01.pdf.

Malkki, L. 2006. Rypsiöljyn metyyliesterin paikallinen valmistus ja käyttö. Jyväskylän yliopisto. Pro gradu -tutkielma.

Metanoli. 2011. Käyttöturvallisuustiedote. Essenticon. Luettu 24.05.2012.

Motiva. 2009. Biodiesel. Luettu 18.05.2012. http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ajoneuvotekniikka/polttoaineet/biodiesel.

Mäihäniemi, M. 2008. Biodieselin valmistusmenetelmät. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Natriumhydroksidi. 2011. Käyttöturvallisuustiedote. Tamro Oyj. Luettu 24.05.2012.

NExBTL-diesel. 2012. Neste Oil. Luettu 27.04.2012. <http://www.nesteoil.fi>.

Oxiris. Antioxidants for biodiesel. Luettu 21.05.2012. <http://oxiris.webcoffer-server.de/index.php?cid=5&subid=76&lang=en>.

PA05 toimilaite, käyttöohje. 2009. Prisma. Saatu sähköpostitse. Palmen, T. Sybimar Oy. 27.04.2012.

Paineilmamoottori, käyttöohje. Deprag. Saatu sähköpostitse. Palmen, T. Sybimar Oy. 27.04.2012.

Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. uudistettu painos. Vantaa: Dark Oy.

Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Tampere: Juvenes Print.

Prisma. Porrasjakkara Major 2-askelmainen, hopea. Luettu 25.05.2012. <http://www.prisma.fi>.

Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka. Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

ResFuel XS, käyttöohje. 2011. Sybimar Oy.

SFS-EN 14214+A1. Sfs-online. 2008, A1 2009. Suomen standardisoimisliitto SFS.

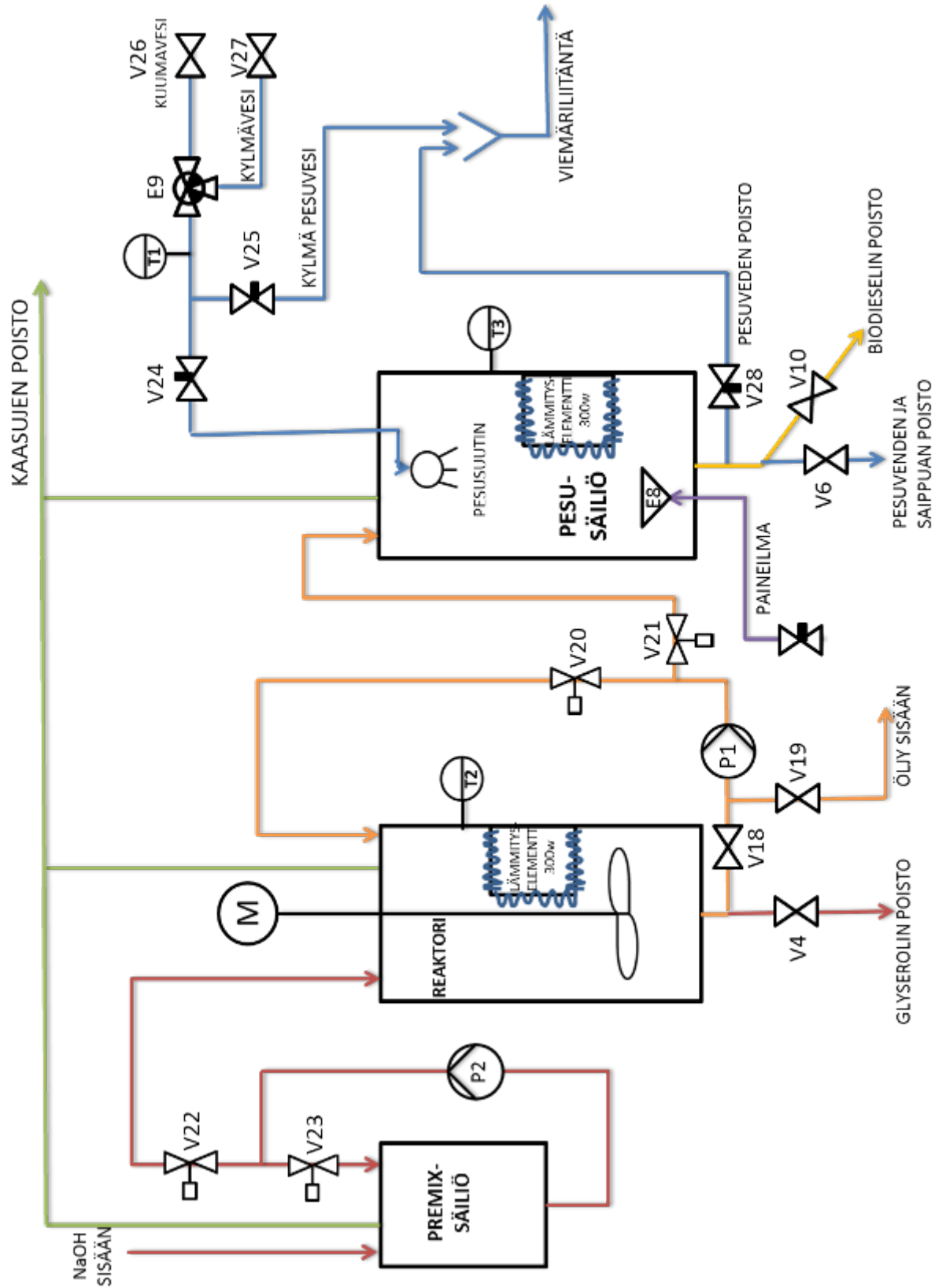
Sybimar Oy. Biopolttoaineet – prosessilaitteet – energiaratkaisut. Luettu 18.05.2012. <http://www.sybimar.fi/sybimar.html>.

Väliaho, E. 2009. Virtaustekniikka. Kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka.

Wexon. PT 100 vastusarvot, tarkkuudet ja kytkennät. Luettu 07.05.2012. <http://www.wexon.fi/sivu.php?id=61>.

LIITTEET

Liite 1. ResFuel XS:n PI-kaavio (ResFuel XS, käyttöohje 2011, 21)



ResFuel XS

Käyttöohje käsiajolle

**Tämän käyttöohjeen on tehnyt Piia Soili
opinnäytetyönsä yhteydessä,
Tampereen ammattikorkeakoulussa
06/2012**



Valmistuksessa tarvittavat kemikaalit

Metanoli on myrkyllistä ja helposti syttyvää. Sisään hengitettynä metanoli voi aiheuttaa, päänsärkyä, oksentelua ja jopa kooman. Lisäksi metanoli voi vaikuttaa pysyvästi näköön. Metanolin nieleminen voi sokeuttaa tai tappaa. Metanolin nieleminen aiheuttaa keskushermostoon vaikutuksia, kuten päihtymystä, päänsärkyä, huimausta ja pahoinvointia. Ihokosketus metanolin kanssa ärsyttää ihoa ja voi aiheuttaa allergiaa. Silmiin joutuessaan metanoli voi ärsyttää silmiä. Käsiteltäessä metanolia pitää välttää iho- ja silmäkosketusta eli on käytettävä suojakäsineitä ja suojalaseja. (Metanoli, KTT 2011.)

Natriumhydroksidi syövyttää ihoa voimakkaasti ja vaurioittaa silmiä. Natriumhydroksidi voi syövyttää myös metallia. Nieltynä natriumhydroksidia ei saa oksentaa vaan suu on huuhdottava. Natriumhydroksidia käsiteltäessä on käytettävä suojakäsineitä, suojavaatetusta, suojalaseja ja tarvittaessa kasvosuojaimia. (Natriumhydroksidi, KTT 2011.)

Glyseroli ärsyttää ihoa ja limakalvoja lievästi. Lisäksi glyseroli ärsyttää silmiä ja hengitettynä hengityselimiä ja keuhkoja. Jos glyserolia niellään suurempia määriä, se voi aiheuttaa pahoinvointia, vatsakipua, päänsärkyä, unettomuutta sekä ripulia. Glyserolia käsiteltäessä on käytettävä suojakäsineitä ja -laseja. (Glyseroli, KTT 2012.)

Työturvallisuus

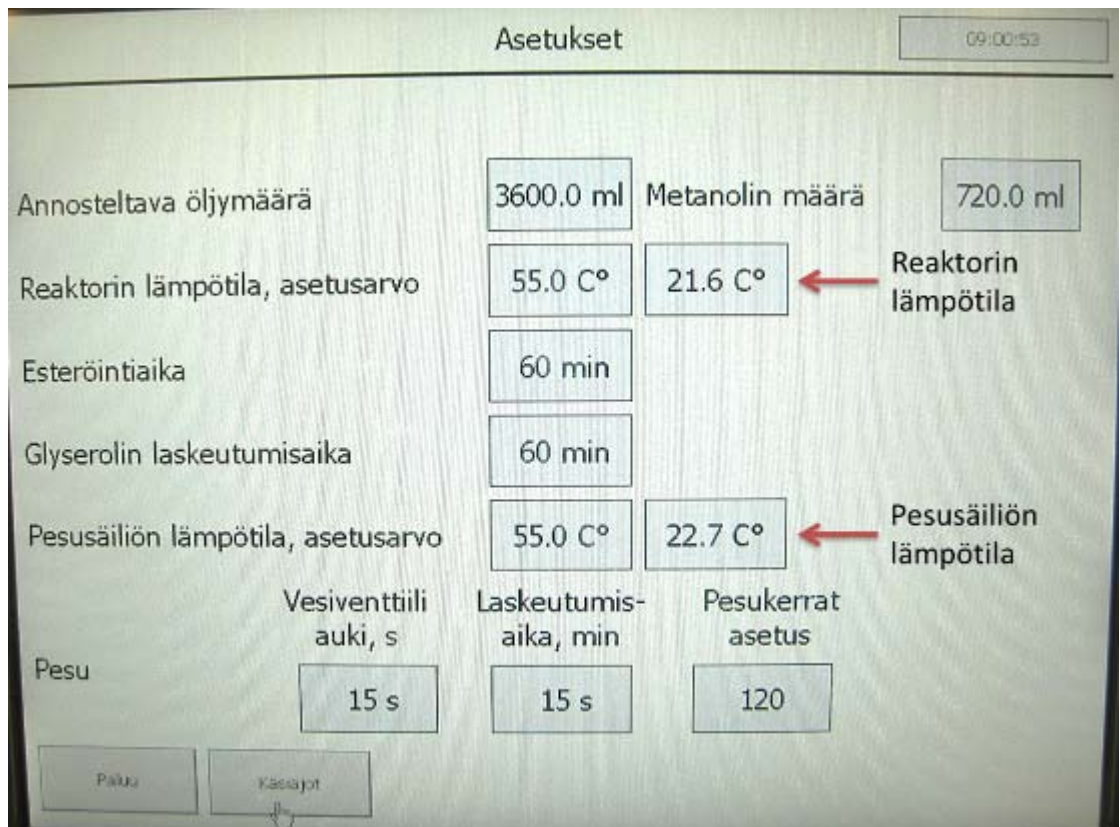
Työn aikana käytettävä seuraavia suojavaarusteita:

- suojavaatetus (takki)
- suojahanskat
- suojalasit
- hengityssuojain

1. Määritetään tarvittava katalyytin määrä titraamalla

- Laitetaan pieneen erlenmeyeriin **10 ml etanolia, 1 ml öljyä ja 3 tippaa fenoliftaleiinia**. Sekoitetaan aineet hyvin keskenään ennen titrauksen aloittamista. Titraataan seos vaaleanpunaiseksi **0,1 m-% NaOH-liuoksella**. Toistetaan titraus, tarkkuuden lisäämiseksi. Katsotaan taulukosta 1 (s. 8) titraustulokseen perustuva tarvittava NaOH määrä. Taulukko kertoo NaOH määrän litraa öljyä kohti. Lasketaan omaa öljymäärää (3,6–4,2 l) vastaava NaOH:n määrä. Punnitaan tarvittava määrä NaOH:a. **HUOM! SUOJAVARUSTEET**

2. Laitteen asetusten muuttaminen (kuva 1)



KUVA 1. Laitteen Asetukset-näyttö

4 (10)

- Vaihdetaan annosteltava öljymäärä laitteen asetuksista (ylin rivi), jolloin laite laskee tarvittavan metanolin määrän.
 - Asetetaan seuraavat parametrit (suositusarvot):
 - Reaktorin lämpötilan asetusarvo (50 – 55 °C)
 - Esteröintiaika (noin 30 min)
 - Glyserolin laskeutumisaika (noin 60 min)
 - Pesusäiliön lämpötilan asetusarvo (45 – 55 °C)
 - Pesu: vesi (15 s) - ja laskeutumisajat (15 s) sekä pesukertojen määrä (120).
 - Reaktorin ja pesusäiliön todelliset lämpötilat on merkitty kuvaan 1 (punaiset nuolet).
 - Käsiäjolla esteröintiaika ja glyserolin laskeutumisaika on mitattava itse (ota ylös aloitusajat)
3. Mitataan tarvittava määrä metanolia (katso laitteesta: Asetukset) litran mittalasiin ja kaadetaan se premix-säiliöön. Kaadetaan säiliöön myös valmiiksi punnittu NaOH. **HUOM! SUOJAVARUSTEET**
4. Mitataan tarkka öljymäärä ämpäriin (3,6–4,2 l).
5. Aukaistaan kylmä- ja kuumahana valmiiksi pesua varten (kuvassa 2 auki)

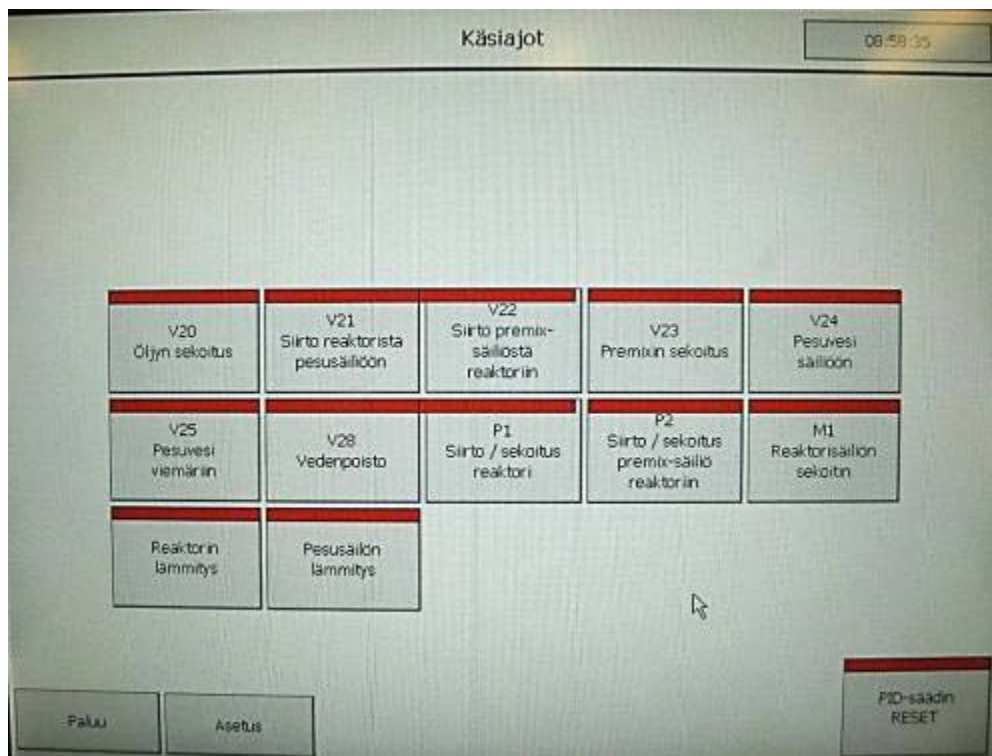


KUVA 2. Kylmä- ja kuumahana (seinä)

6. Avataan laitteen takana olevat vesihanat hieman auki pesua varten (kuvan 3 mukaisesti)



KUVA 3. Kylmä- ja kuumahana (laitteisto)



KUVA 4. Käsiajon näyttö: painamalla kosketusnäytöstä esim. venttiilin kuvaketta, se aukeaa, jolloin kuvakkeen yläreuna näytöllä muuttuu punaisesta vihreäksi

7. Öljyn pumppaus reaktoriin
 - V19 avataan ja V18 suljetaan käsin
 - Imetään öljy reaktoriin: avataan käsiajolla venttiili V20 ja käynnistetään pumppu P1
 - Tarkistetaan reaktorin näkölasista, että öljy on kokonaan siirtynyt reaktoriin ja suljetaan V20 ja P1
 - Suljetaan V19 ja avataan V18

8. Lämmitetään öljy haluttuun lämpötilaan (50 – 55 °C)
 - Reaktorin lämmitys päälle ja M1 eli sekoitin päälle
 - Lämmitystä seurataan asetuksista (kuva 1, punaiset nuolet)

9. Samalla kun öljy lämpenee, NaOH sekoitetaan metanoliin
 - Avataan venttiili V23 ja käynnistetään pumppu P2

10. Kun öljy on saavuttanut halutun lämpötilan (asetukset), premix-seos siirretään reaktoriin
 - Suljetaan V23, avataan V22 ja P2 jätetään päälle
 - Tarkistetaan reaktorin näkölasista, että kaikki seos on siirtynyt reaktoriin
 - Suljetaan V22 ja P2

11. Siirron jälkeen alkaa esteröinti: kestää noin 30 min
 - Jätetään M1 ja reaktorin lämmitys päälle
 - Tehostetaan sekoitusta kierrättämällä seosta pumpun 1 kautta: V22 auki ja P1 päälle
 - Lämpötilan pitäisi pysyä esteröinnin aikana 50 – 55 °C (tarkkaile lämpötilaa asetuksista)

12. Glyserolin laskeutuminen: kestää noin 60 min
 - Suljetaan M1, V22 ja P1
 - Lämpötila pidetään 50 – 55 °C

13. Glyserolin poisto

- Glyseroli poistetaan avaamalla hieman venttiiliä V4 reaktorin pohjasta
- Hana suljetaan, kun venttiilistä alkaa valua glyserolia kirkkaampaa ja juoksevampaa biodieseliä
- Kuvassa 5 on reaktorista poistettu glyseroli
- Glyseroli laitetaan sille tarkoitettuun jäteastiaan



KUVA 5. Reaktorista poistettu glyseroli

14. Biodiesel siirretään reaktorista pesusäiliöön

- Avataan V21 ja P1
- Tarkistetaan pesusäiliön näkölasista, että kaikki biodiesel on siirtynyt
- Suljetaan V21 ja P1
- Sammutetaan reaktorin lämmitys

15. Pesu

- Laitetaan pesusäiliön lämmitys päälle
- Pesu käynnistetään avaamalla pesuvesi säiliöön V24, jolloin vettä suihkuua asetusten mukaisesti: esim. 15 s vesisuihku, 15 s tauko
- Pesu loppuu automaattisesti, kun asetettu pesukertojen määrä tulee täyteen
- Nestepintaa tarkkaillaan pesusäiliön näkölasista. Jos pinta nousee liian korkeaksi, avataan vedenpoistoventtiili V28
- Pesun jälkeen loput vedet poistetaan pohjaventtiilistä V6

16. Kuivaus

- Biodiesel on vielä sameaa, koska sen seassa on vettä. Sitä pitää kuivata lämmittämällä biodieseliä ohjeiden mukaan (max 70 °C)
- Biodiesel kirkastuu myös huoneilmassa, mutta siinä menee huomattavasti kauemmin

17. Kuplitus

- Kuplitusta voidaan käyttää kirkastamaan biodieseliä kuivausvaiheessa
- Kuplitus käynnistetään ja säädetään laitteen takana olevasta venttiilistä (kuva 6)
- Kuplia pitäisi tulla hitaasti biodieselin pinnalle. Liian suuri kuplitus jäädyttää biodieseliä (tarkista näkölasista)



KUVA 6. Kuplituksen säätö

18. Valmiin biodieselin poisto

- Biodieselin poistetaan avaamalla pohjaventtiili V6

19. Suodatus

- Biodieselin puhtautta voidaan lisätä suodattamalla se 10–20 μm läpäisevän suodatinpaperin läpi (kuva 6)



KUVA 7. Biodieselin suodatus

TAULUKKO 1. NaOH määrä yhteen litraan (Sybimar Oy)

Kasvipohjaiset		1000 ml:n	Eläinperäiset	
Titraustulos	NaOH		Titraustulos	NaOH
(ml)	(g)		(ml)	(g)
0	3,5		0	5,5
0,1	3,6		0,1	5,6
0,2	3,7		0,2	5,7
0,3	3,8		0,3	5,8
0,4	3,9		0,4	5,9
0,5	4		0,5	6
0,6	4,1		0,6	6,1
0,7	4,2		0,7	6,2
0,8	4,3		0,8	6,3
0,9	4,4		0,9	6,4
1	4,5		1	6,5
1,1	4,6		1,1	6,6
1,2	4,7		1,2	6,7
1,3	4,8		1,3	6,8
1,4	4,9		1,4	6,9
1,5	5		1,5	7
1,6	5,1		1,6	7,1
1,7	5,2		1,7	7,2
1,8	5,3		1,8	7,3
1,9	5,4		1,9	7,4
2	5,5		2	7,5
2,1	5,6		2,1	7,6
2,2	5,7		2,2	7,7
2,3	5,8		2,3	7,8
2,4	5,9		2,4	7,9
2,5	6		2,5	8
2,6	6,1		2,6	8,1
2,7	6,2		2,7	8,2
2,8	6,3		2,8	8,3
2,9	6,4		2,9	8,4
3	6,5		3	8,5
3,1	6,6		3,1	8,6
3,2	6,7		3,2	8,7
3,3	6,8		3,3	8,8
3,4	6,9		3,4	8,9
3,5	7		3,5	9