



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

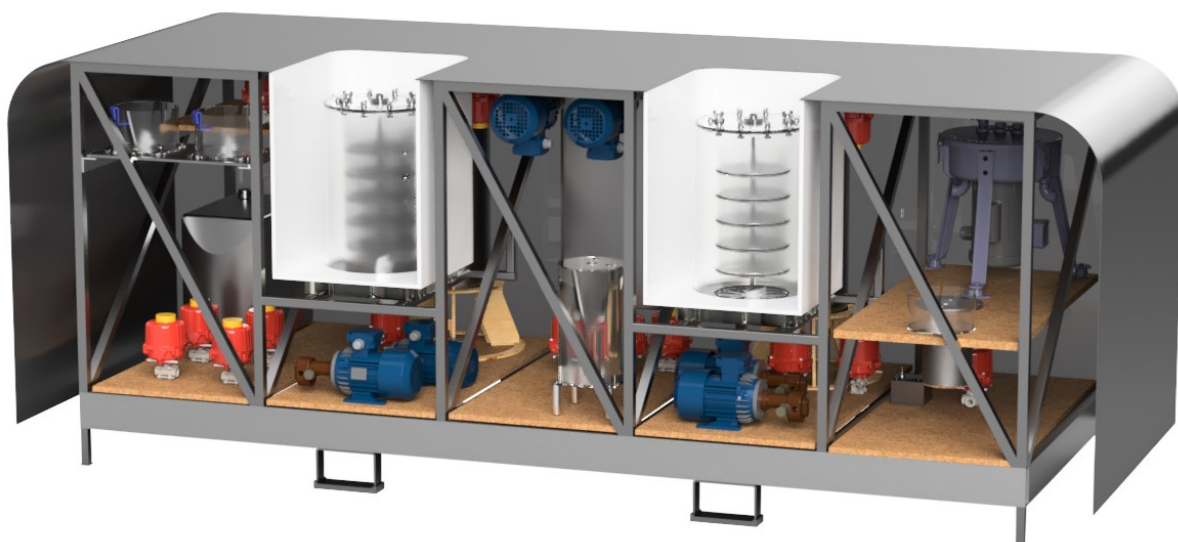
Dokumentasjon, videreutvikling, programmering og innledende testing av BioMax - et anlegg for produksjon av biodiesel til undervisningsbruk.

Tord Reinaas
Maskin, prosess- og produktutvikling

MASTEROPPGAVE

VÅR 2017

Dokumentasjon, videreutvikling, programmering og innledende testing av BioMax - et anlegg for produksjon av biodiesel til undervisningsbruk.



Documentation, further development, programming and initial testing of BioMax - a plant for production of biodiesel for teaching purposes.



Tord Reinaas

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Fakultet for realfag og teknologi

Forord

Denne oppgaven er siste del av mitt masterstudie innen maskin, prosess- og produktutvikling ved RealTek ved NMBU. Omfanget tilsvarer 30 studiepoeng og er utført våsemesteret 2017.

Jeg har sammen med en studentgruppe vært med på prosjektering og bygging av et bioraffineringsanlegg. Jeg hadde lyst til å ta dette videre for å kunne se prosjektet nærme seg ferdigstilling. Det er en spennende oppgave innenfor mitt spesialiseringsfelt, prosessteknikk. Det var også et ønske om å kunne bruke anlegget til å engasjere studenter til å bli med på praktiske prosjekter gjennom Eik idéverksted (prototypeverksted for studenter ved NMBU).

Det har vært en masteroppgave som har utfordret meg tverrfaglig med en spesielt bratt læringskurve innen elektronikk og PLS-programmering.

Takk til Odd-Ivar Lekang for god veiledning gjennom hele prosjektet.

Takk til Erik Sjølund, Fredrik Vangsal, Heidi Ostby, Markus Leonhard Hansen, Martine Digerud Melgård, Oscar Amlie og Samson Langfeldt for prosjektering og bygging av anlegget.

Takk til Pål Ryssdal Tveit som har hjulpet til med programmeringen.

Takk til Kristian Omberg og Ola Omberg for hjelp og veiledning.

Takk til familien for god støtte.

Ås, 15.mai 2017

Tord Reinaas

Sammendrag

Som en del av den fornybare satsningen på NMBU har studenter startet prosjektering og bygging av et lite bioraffineringsanlegg kalt BioMax. I denne masteroppgaven er det jobbet med ferdigstilling av BioMax. Målet er å beskrive anlegget, funksjonsteste komponenter, programmere PLS (programmerbar logisk styring) og utføre innledende testing av styringen på anlegget.

For å gjøre BioMax til en god læringsplattform for studentprosjekter og masteroppgaver er all viktig informasjon samlet i oppgaven: Det er gjort en litteraturstudie på prosessene og innsatsfaktorene for biodieselproduksjon, samt dagens produksjonsformer. Anlegget er beskrevet med flytdiagrammer, P&ID og PLS-koblingsskjema.

BioMax er godt egnet for undervisning og studentprosjekter. Styringen av anlegget er sikker og enkel å bruke og det er mulig å komme i gang ved å slå på hovedbryteren, aktivere kontrolleren og så med to tastetrykk starte programmer. Gjennomsiktige komponenter i akryl gir økt forståelse av prosessen, men det medfører også problemer med sprekkdannelse.

BioMax er mindre egnet for kommersialisering og det er funnet en del svakheter i designet til anlegget. Dette gjelder først og fremst varmesystemet som ikke klarer tilstrekkelig oppvarming (over 100°C). Det gjelder også kjølesystemet som ikke kjøler miksertankene. Ved noen enkle forbedringer vil anlegget gi et vesentlig (opp mot 30 %) større utbytte av biodiesel på kortere produksjonstid. Det bør vurderes å bygge et nytt anlegg som muliggjør gravimetrisk overføring mellom tanker før kommersialisering. Videre bør en økonomisk analyse og en markedsanalyse utføres.

Anlegget er funksjonstestet med olje og vann. Det er ikke gjort tester med katalysator eller alkohol, men det er ingen indikasjoner i arbeidet her som tilsier at anlegget ikke skulle kunne produsere biodiesel.

Anbefalte planer for oppfølging er montasje av varmebånd rundt miksertanken, strupeventil til kjøleanlegget og sikkerhetsventiler etter pumper.

Prosjektet ble startet i januar 2016 og et tverrfaglig prosjektteam på rundt 6-10 aktive personer har holdt på helt til januar 2017. Prosjektet med bygging av anlegg er finansiert med 500 000 NOK fra Sparebankstiftelsen, RealTek og Eik idéverksted.

Abstract

As part of the renewable venture at NMBU, students have started the design and construction of a small bio-refinery plant called BioMax. In this master thesis the focus is on the finalization of BioMax. The aim is to describe the plant, function test components, program PLC (programmable logic control) and start testing the control of the system.

To make BioMax a good learning platform for student projects and master's theses, all important information is collected in the thesis: A literature study has been conducted on the processes and input factors for biodiesel production, as well as today's production methods. The plant is described with flow charts, P&ID and PLC connection diagrams.

BioMax is well suited for teaching and student projects. The control of the plant is safe and easy to use and it is possible to get started by turning the main switch on, activating the controller and then with two key presses starting the programs. Transparent components in acrylic plastic provide increased understanding of the process, however there are problems with crack formation.

BioMax is less suitable for commercialization and some weaknesses have been found in the design of the plant. This applies primarily to the heating system that does not provide sufficient heating (above 100°C). This also applies to the cooling system that does not cool the mixing tanks. With some simple improvements, the plant will provide a significant (up to 30%) greater biodiesel yield in a shorter production time. It should be considered to build a new plant that enables gravimetric transmission between the process steps before commercialization. Furthermore, an economic analysis and a market analysis should be performed.

The plant is function tested with oil and water. There have been no tests with catalyst or alcohol, but there are no indications in the work here that indicate that the plant could not produce biodiesel.

Recommended plans for further work is to mount heat strips around the mixing tank, a stopper valve for the cooling system and an after-pump safety valve.

The project was started in January 2016 and an interdisciplinary project team of around 6-10 active persons has been working until January 2017. The project of construction of facilities is funded with NOK 500 000 from Sparebankstiftelsen, RealTek and Eik idéverksted.

Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	1
1.1	BAKGRUNN	1
1.2	PROBLEMSTILLING	1
1.3	PROSJEKTMÅL OG BEGRENSNINGER.....	2
1.4	OPPGAVENS INNHOLD.....	2
2	TEORI	3
2.1	HVA ER BIODIESEL?	3
2.1.1	<i>Egenskaper til fossil diesel og biodiesel</i>	3
2.1.2	<i>Innblanding og relevante forskrifter</i>	6
2.2	PROSESSENE FOR Å LAGE BIODIESEL	6
2.2.1	<i>Transesterifisering</i>	6
2.2.2	<i>Esterifisering</i>	7
2.2.3	<i>Katalysator</i>	9
2.2.4	<i>Alkoholer</i>	10
2.3	RÅSTOFF	11
2.4	MARKEDER	13
2.5	PRODUKSJON	14
2.6	SMÅSKALA BIODIESELPRODUKSJONSANLEGG	15
2.6.1	<i>Eksempel på småskala biodieselanlegg</i>	16
3	BESKRIVELSE AV TESTANLEGGET	18
3.1	PROSESSBESKRIVELSE MED FLYTSKJEMA	18
3.2	ANLEGGET	20
3.3	KOMPONENTER	22
3.4	P&ID	26
3.5	EN OVERSIKT OVER DET ELEKTRISKE ANLEGGET	27
3.5.1	<i>230 VAC</i>	28
3.5.2	<i>24 VDC</i>	28
3.6	PLS.....	29
4	VALG AV ALKOHOL OG KATALYSATOR	31
4.1	ALKOHOL	31
4.2	KATALYSATOR	31
4.2.1	<i>Esterifisering</i>	31
4.2.2	<i>Transesterifisering</i>	32
4.3	MASSEBALANSE FOR VALGT ALKOHOLTYPE	34
5	UTVIKLING AV PROGRAM FOR STYRING AV ANLEGGET	35
5.1	FUNKSJONSBEKRIVELSE OG KRAV TIL PROGRAM.....	35
5.1.1	<i>Program som kan kjøres samtidig:</i>	38
5.1.2	<i>Program som ikke kan kjøres samtidig:</i>	38
5.2	PROGRAMMERING	38
6	FUNKSJONSTESTING	40

6.1.1	<i>Funksjonstesting av komponenter</i>	40
6.1.2	<i>Funksjonstesting av hele anlegget</i>	42
7	DISKUSJON	43
7.1	FORHOLD VED ANLEGGET	43
7.1.1	<i>Brukersikkerhet</i>	43
7.1.2	<i>Fare for materielle skader</i>	44
7.2	SVAKHETER VED ANLEGGET	45
7.2.1	<i>Varmesystemet</i>	45
7.2.2	<i>Kjølesløyfe</i>	46
7.2.3	<i>Hele varme- og kjølesystemet</i>	46
7.2.4	<i>Akrylplast</i>	46
7.2.5	<i>Væsken strømmer bare i midten av reaktoren</i>	47
7.2.6	<i>Elskapet</i>	48
7.3	STYRING/PROGRAM.....	49
7.4	VALG AV ALKOHOL OG KATALYSATOR	49
7.5	UNDERVISNINGSPLOTTFORM OG LÆRINGSUTBYTTE	50
7.6	KOMMERSIELL SMÅSKALA BIORAFFINERINGSANLEGG	50
7.7	DERSOM ANLEGGET BLIR BYGGET PÅ NYTT:.....	51
7.8	VIDERE ARBEID	51
8	KONKLUSJON	53
9	REFERANSER	55
10	VEDLEGG	I

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Klima- og miljøutfordringene verdenssamfunnet står overfor får økende oppmerksomhet blant politikere så vel som næringsliv. Behovet for å finne alternativer til petroleumsbasert drivstoff har aldri vært mer tydelig. FNs klimapanel anslår at om lag 23% av verdens energirelaterte CO₂-utslipp i 2013 stammer fra transportsektoren [12].

Situasjonen er forholdsvis lik i Norge, hvor 19% av klimagassutslippene i 2016 stammer fra transportsektoren [13]. Ett av de politiske virkemidlene for å forsøke å redusere disse utslippene er krav til høyere innblanding av biodrivstoff. Ved Stortingets budsjettforlik for høsten 2016 ble det vedtatt en økning av omsetningskravet for biodiesel. Fra og med januar 2017 er dette kravet på 7% innblanding av biodiesel. Det ble også vedtatt en målsetning om 20% innblanding i 2020, samt en overgang fra biodrivstoff basert på matvekster til mer avansert biodrivstoff (avfall, trevirke og lignende). Beregninger gjort av Norsk Bioenergiforening viser at dette tilsvarer en omsetning av 504 millioner liter første generasjons biodrivstoff og 168 millioner liter avansert biodrivstoff i 2020 [14]. Dette er et svært ambisiøst mål.

Ved NMBU forskes det på muggsoppolje og algeolje som viser stort potensiale og kan være fremtidig råstoff for biodieselproduksjon. Norsk senter for bærekraftig bio-basert drivstoff og energi, Bio4Fuels, åpnet ved NMBU i vår. Det er et samarbeid mellom SINTEF, NMBU og Forskningsrådet. Som en del av satsingen på bioenergi ved NMBU har det blitt bygd et pilotanlegg for biodieselraffinering.

BioMax er basert på prinsippene presentert i masteroppgaven «Small-scale biodiesel production based on a heterogeneous technology» av Kristian S. Omberg ved NMBU våren 2015. Utvikling av designet ble gjort i faget «Basic Prototyping» av Fredrik Vangsal og Morten Moltubakk. I januar 2016 fikk undertegnede og en gruppe på 6 andre studenter muligheten til å starte prosjektering av bioraffineringsanlegget. Prosjektering og bygging har pågått helt til januar 2017 som en del av et forprosjekt til denne masteroppgaven.

BioMax er tiltenkt som:

- Et **demonstrasjonsanlegg** og **testanlegg** for bioraffinering.
- En **prototype** av et mikroskala bioraffineringsanlegg som kan plasseres på gårder og dekke gårdens behov for drivstoff.
- Et **lavterskel** prosessanlegg der elever kan få praktisk erfaring.

BioMax er tenkt brukt i faget TMPP100 «Olje og gass - produksjon og prosessering» høsten 2017.

1.2 Problemstilling

Oppgavens problemstilling er dokumentasjon, videreutvikling, programmering og innledende testing av BioMax.

1.3 Prosjektmål og begrensninger

Hovedmål:

- Lage en oversiktlig oppgave som gir innsikt i bioraffineringsanlegget BioMax.
- Starte testing av anlegget.

Delmål:

- Gjennomføre en litteraturstudie.
- Innhente informasjon om lignende anlegg
- Lage en detaljert beskrivelse av anlegget.
- Sjekke at alle komponenter er koblet etter P&ID og revidere den.
- Oppdatering av prosessparametere.
- Få alle sensorer og elektriske komponenter koblet til PLS og strøm.
- Komponentteste de ulike delene av anlegget.
- Sette opp prosesskontrollen over anlegget.
- Programmering av PLS
- Vurdere BioMax som læringsplattform og kommersielt bioraffineringsanlegg.

Begrensninger:

- Skal ikke se på andre fornybare drivstoff enn biodiesel av fettsyre-etylester (FAEE) eller fettsyre-metylester (FAME). Begrepet «biodiesel» er i denne oppgaven synonymt med FAME og FAEE.
- Skal i utgangspunktet ikke gjøre større endringer på anlegget. Bygging ble ferdig i januar.
- Det skal ikke tegnes et fullstendig elektrisk koblings skjema for EL-skapet. Det var allerede koblet.
- Det kommer ikke til å bli utført omfattende driftstester av anlegget.

1.4 Oppgavens innhold

Det er gjort en litteraturstudie på prosessene og innsatsfaktorene for biodieselproduksjon: transesterifisering, esterifisering, alkohol, katalysator og råstoff. Det er gjort undersøkelser av dagens produksjonsformer og marked samt en gjennomgang av lignende anlegg. BioMax er dokumentert med flytdiagram, forenklet CAD-tegning, oppdatert P&ID, PLS-koblings skjema, bilder og forklarende tekst. Det er valgt type katalysator og alkohol. PLS-styringen er programmert. Foreløpig kode er først testet i den interne simulatoren og deretter på BioMax. Komponenter er funksjonstestet. Det er oppdaget en del feil og mulige forbedringer på anlegget. Feilene er hovedsakelig rettet opp eller så har det blitt foreslått forbedringer.

2 Teori

I dette kapittelet gjøres det rede for hva biodiesel er, prosessene og innsatsfaktorene i produksjonen av biodiesel. Kapitlet har også en kort gjennomgang av konvensjonell biodieselproduksjon og småskala biodieselanlegg.

2.1 Hva er biodiesel?

Biodiesel er et fornybart, biologisk nedbrytbart og mindre giftig alternativ til fossil diesel. Egenskapene til biodiesel er veldig lik petroleumsdiesel, noe som gjør biodiesel til en egnet erstatning til fossil diesel. Biodiesel produseres av vegetabiliske oljer eller animalsk fett [15].

Den mest brukte metoden for biodieselproduksjonen er transesterifisering [16]. Vegetabiliske oljer (består hovedsakelig av mono-, di- og triglyserider) omdannes ved bruk av alkohol til fettsyre alkylester (FAEE) og biproduktet glyserol. Vegetabiliske oljer konkurrerer med matproduksjon, det gjør ikke brukte vegetabiliske oljer, som er et avfall. Når vegetabiliske oljer kokes vil karbonkjedene i glyseridene brytes og det dannes frie fettsyrer. Frie fettsyrer skaper problemer ved transesterifisering, men kan omdannes til biodiesel gjennom en prosess kalt esterifisering (forestring).

Biodiesel er forskjellige estere. Estere er organiske forbindelser sammensatt av en alkohol og en organisk syre. Glyserol utgjør ti prosent av totalproduktet, men kan ikke brukes som drivstoff. Glyserol er et lavverdiprodukt med mange bruksområder, blant annet blir det brukt i sprengstoff, såper, salver, kosmetikk og innenfor farmasøytisk industri. For tiden er metanol (et petroleumsbasert produkt) den mest brukte alkoholen på grunn av lave kostnader og høy tilgjengelighet.

Biodiesel kan brukes som en direkte erstatning for fossilt diesel f. eks. i offentlig transport. Utslipp fra biodieseljøring (for det meste CO₂) inneholder ikke svovel og representerer en lukket karbonsyklus, det kalles derfor karbonnøytralt brensel.

En nyere metode for å lage miljøvennlig drivstoff er ved hydrogenering, der hydrogen brukes for å fjerne oksygenforbindelsene i planteolje. Produktet kalles grønn diesel eller HVO (hydrogenert vegetabilisk olje) og er enda nærmere de kjemiske egenskaper som fossil diesel har.

Det kommer til å bli sett utelukkende på biodiesel fra fettsyre-metylester eller fettsyre-etylster (FAME og FAEE) i denne oppgaven og alle sammenligninger er med denne dieseltypen. Og begrepet «biodiesel» kommer til å bli brukt om og gjelde bare FAME og FAEE, ingen andre former for grønne drivstoff som kan gå under navnet biodiesel.

2.1.1 Egenskaper til fossil diesel og biodiesel

Det er en rekke egenskaper som påvirker hvor egnet et drivstoff er ved bruk i en dieselmotor. Blant disse kan cetantall, krystallisasjonspunktet, blokkeringspunktet (Cold Filter Plugging Point, CFPP), flammepunkt (flash point), tetthet og viskositet nevnes som viktige parametere som beskriver egenskapene til drivstoffet [11]. Egenskapene er vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Egenskaper til fossilt diesel og biodiesel [17, 18] (m/m er masseprosent).

	Fossil diesel	Biodiesel (FAME)
Spesifikk tetthet	0,84	0,88
Kinematisk viskositet	1,3 – 1,4	4,0 -6,0
Karbon % (m/m)	87	77
Hydrogen % (m/m)	13	12
Oksygen % (m/m)	0	11
Sulfur (ppm)	<10	<1
Brennverdi	43	38
Kokepunkt (°C)	180 til 340	315 til 350
Flammepunkt (°C)	60 til 80	100 til 170
Krystallisasjonspunkt (°C)	-5	-5 til + 15
Blokkeringspunkt (°C)	-42 til -6	-9 til 12
Cetantall	40	50-65
Stabilitet	Bra	Middels

Cetantallet brukes som et mål på kvaliteten av forbrenningen i en dieselmotor. Dieselen sammenliknes med antennen til ren cetan (hexadekan), som antenner lett og derfor er gitt verdien 100. I praksis angir cetantallet forsinkelsen mellom injeksjon og antenne i motoren: et høyt cetantall tilsvarer en liten forsinkelse, hvilket medfører en mer fullstendig forbrenning, jevnere motorgang og lavere utslipp. Eksosen får da et lavere innhold av nitrogenoksider NO_x og partikler (UHC) som dannes ved ufullstendig forbrenning [19].

Krystallisasjonspunktet eller tåkepunktet (cloud point) er den temperaturen det begynner å dannes vokskrystaller i dieselen, kjennetegnet ved et tåkete utseende. Krystalliseringen påvirker viskositeten av drivstoffet, og er skadelig for motoren. Diesel bør derfor ikke lagres utendørs ved lavere temperaturer enn tåkepunktet.

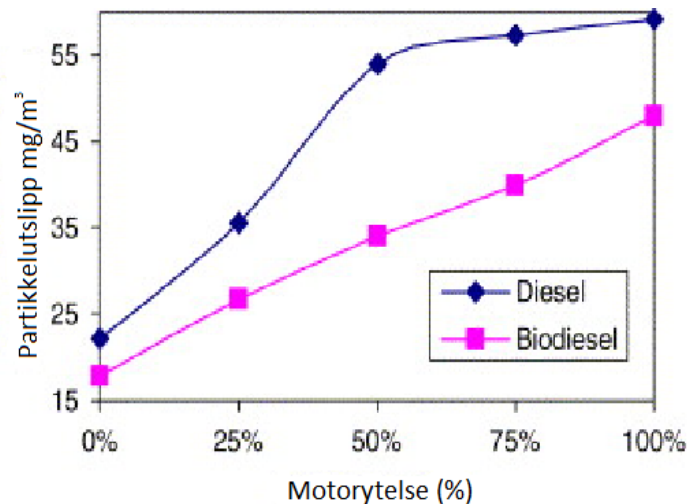
Blokkeringspunktet er den temperaturen der testfilteret starter å tettes av at biodieselen krystalliseres eller klumpes. Blokkeringspunktet er en bedre indikator på kuldeegenskapene til dieselen enn krystalliseringspunkt [11].

Flammepunkt eller fordampningspunkt er laveste temperatur hvor en brennbar væske avgir damp som kan tennes med flamme [20]. Tenntemperatur er temperaturen for selvantenne og er normalt høyere enn flammepunktet. Flammepunktet sier noe om hvilken fareklasse de brennbare væskene tilhører.

Oksygen

Oljer og fett inneholder naturlig oksygen, det gjør at biodiesel også inneholder ca. 11 % oksygen. Fossilt diesel inneholder ikke oksygen. En økning i oksygeninnholdet i dieselblandingen gjør at motoren reduserer sitt partikkelutslipp [10]. Oksygeninnholdet er også grunnen til at biodiesel er polart. Polariteten gjør at biodiesel har høy fuktighet, som er evnen til å skape kontakt med

en fast overflate. Høy fuktighet på biodiesel gjør at den kommer lett i kontakt med metaller og gir god smøring og reduserer korrosjon [21]. Dwivedi et. al. [10] utførte tester med B20 biodieselblanding på forskjellige motorytelser og sammenlignet det med petroleumdiesel (Figur 2-1). Reduksjonen i utslipp kommer av økt oksygeninnhold, lavere svovelinnhold og lavere aromatinhold i biodiesel. I tillegg til lavere partikkelutslipp er det en generell reduksjon av metallutslipp fra biodieseleksosen.



Figur 2-1: Sammenligning av partikkelutslipp fra fossil diesel og biodiesel ved forskjellige motorytelser [10].

Oksidasjon av biodiesel gjør den vanskeligere å oppbevare over lenger tid. Biodiesel har den samme fettsyreprofilen som oljen eller fett det er laget av [22]. Dobbelbindinger i umettede fettsyrer reagerer lett med oksygen når de kommer i kontakt med luft. Problemene med lagring forverres når oljen blir utsatt for lys, temperaturer høyere enn omgivelsene og andre stoffer/forurensinger som fungerer som katalysatorer for oksidasjonen. Dette kan sammenlignes med smør som blir harskt.

Tabell 2-2: Gjennomsnittlig utslipp fra biodiesel (FAME) sammenlignet med fossil diesel (økning/reduksjon i % av fossil diesel) [23].

Type utslipp	Ren biodiesel B100	20% biodiesel + 80 % fossil diesel
Hydrokarboner	-67	-20
Karbon monoksid	-48	-12
Svevestøv	-47	-12
NO _x	+10	+2
Sulfater	-100	-13
Tjærestoffer	-80	-13
Potensiale for lav høyde ozondannelse	-50	-10

2.1.2 Innblanding og relevante forskrifter

Den hyppigste bruken av biodiesel foregår ved innblanding i fossil diesel [24]. Dieselblandingen klassifiseres etter hvor stor volumprosent biodiesel som er innblandet. Blandingsforholdet benevnes med en B etterfulgt av prosenten biodiesel som er tilsatt. En innblanding på 5 vol% karakteriseres dermed som B5, mens ren biodiesel omtales som B100. Dieselen som omsettes i Norge i dag må oppfylle kravene i den europeiske standarden EN 590. Standarden tillater innblanding av inntil 7% biodiesel (FAME) i fossil diesel. Drivstoff som overholder denne standarden er godkjent til bruk i samtlige dieselmotorer. Er biodrivstoffinnholdet over 10 % skal det merkes ved salgsstedet [25]. En oversikt over standardene EN 14214, ASTM D6751 og EN 590 ligger i vedlegg A.

Det stilles krav til kvaliteten på fettsyre metylesteren, selve biodieselen, som enten benyttes rent eller til innblanding. Regelverket i Norge følger den europeiske standarden EN 14214, som angir krav til produktet samt prøvingsmetoder for å avgjøre hvorvidt kravene er oppfylt. Standarden er vanskelig å oppnå med andre råmaterialer enn rapsolje, det er fordi kuldeegenskapene til biodiesel laget av rapsolje er mye bedre enn biodiesel fra andre råstoff som soyaolje, jatropha, palmeolje, talg og kyllingfett [2, 26]. Det har med strukturen til fettsyrene: lengde på fettsyrekjedene, graden av umettethet og hvordan den er grenet. Rapsolje inneholder høye verdier av den lange fettsyren Erucin (22:1).

All biodiesel som blir omsatt i Norge skal rapporteres inn til Miljødirektoratet [27]. Drivstoffet må oppfylle bærekraftskriterier for biodrivstoff: drivstoffet må bidra til reduksjon av klimagassutslipp på minst 50% gjennom livsløpet, sammenlignet med fossilt drivstoff. Arealkrav er satt for å sikre at råstoffet ikke er dyrket på områder med høy biodiversitet eller høyt karboninnhold. Det skal for eksempel ikke dreneres myr eller hogges regnskog for å lage råstoffet. Andre generasjon biodrivstoff gir dobbelttelling i dette regnskapet. Altså, ved å bruke biodiesel fra eksempelvis brukt fritureolje trengs bare et innblandingsforhold på 3,5 %, i motsetning til 7 % ved bruk av 1. generasjon biodiesel fra palmeolje. Dobbel telling skal fungere som et incitament for å bruke avfall/rester til biodieselproduksjon. Mer om fornybardirektivet og bærekraftskriteriene i kapittel 2.3 Råstoff.

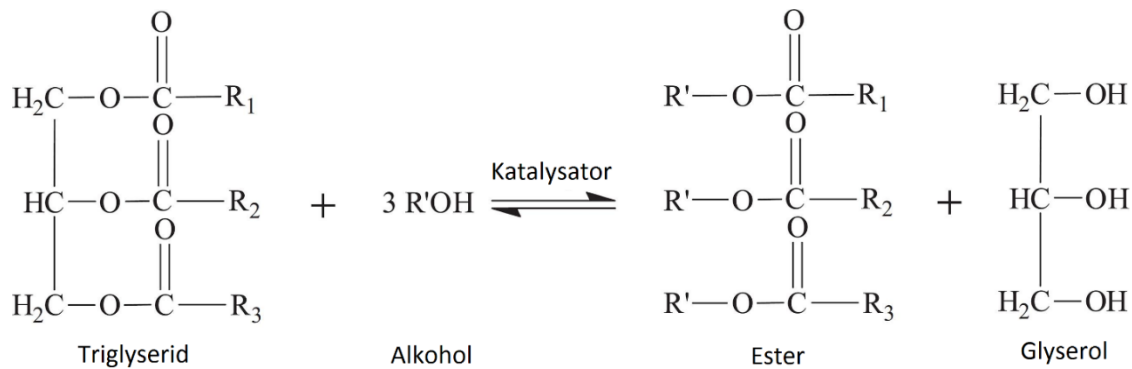
2.2 Prosessene for å lage biodiesel

Dette kapitlet er en gjennomgang av de viktigste kjemiske reaksjonene ved biodieselproduksjon. Kapitlet beskriver typer av katalysator og sammenligner de mest brukte alkoholene: etanol og metanol.

2.2.1 Transesterifisering

Den vanligste kjemiske prosessen som brukes for å lage biodiesel er transesterifisering [16]. Transesterifisering er prosessen der triglyserider i fett eller olje sammen med alkohol danner ester og glyserol. En katalysator brukes for å øke reaksjonsraten og utbytte.

Transesterifisering er et generelt begrep som beskriver prosessen der en ester transformeres til en annen ester gjennom utveksling av alkoksy-delen (hydrokarbonkjede enkelt bundet til oksygen) [28]. Om den originale esteren reagerer med en alkohol kalles transesterifiseringsprosessen alkoholyse, for metanol blir det metanolyse, for etanol blir det etanolyse. Transesterifisering brukes ofte om alle alkoholyser innenfor biodieselproduksjon og det kommer også til å bli gjort i denne oppgaven.



Figur 2-2: Transesterifisering av triglyserid til alkylester [9].

Omdanningen av triglyserider til ester består av tre påfølgende reversible reaksjoner [29]. Triglyserid konverteres til diglyserid, diglyserid konverteres til monoglyserid, monoglyserid konverteres til glyserol. Det lages en ester for hver konvertering, som gir et utbytte på 3 estermolekyler for hvert triglyseridmolekyl ved fullstendig konvertering. Start- og sluttproduktene i reaksjonen er vist i Figur 2-2. Fri glyserol er $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$. Total glyserol = fri glyserol + bunden glyserol (mono-, di- og triglyserider)

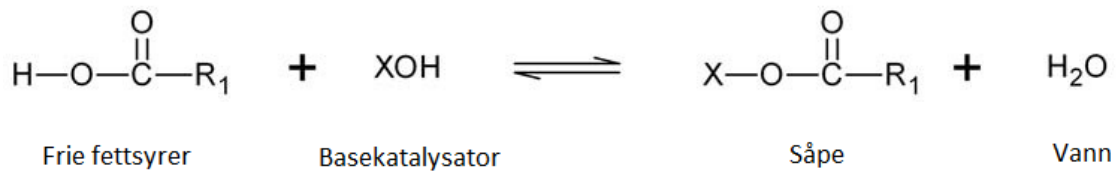
Produktet fra alkoholyse er fettsyreakylestere (FAAE). Ved bruk av metanol dannes fettsyremetylestere FAME (fatty acid methyl ester) og ved bruk av etanol dannes fettsyreetylestere FAEE (fatty acid ethyl ester).

Ren FAAE i biodieselen gir den optimale motorytelsen, men det er i praksis ikke økonomisk mulig [30]. Lav konvertering, sidereaksjoner og vanskeligheter ved separasjon av produkt gjør at det blir urenheter i biodieselen. Frie fettsyrer sammen med vann er de mest uønskede stoffene i dagens biodieselproduksjon. Dannelsen av såpe reduserer kvaliteten på biodieselen. Dette gjør at esterifisering av frie fettsyrer til biodiesel er nødvendig før alkoholyse starter [31].

2.2.2 Esterifisering

Frie fettsyrer er fettsyrer som ikke er bundet sammen slik som i triglyserid. Tre frie fettsyrer og et glyserol danner et triglyserid. Frie fettsyrer har en negativ effekt på transesterifiseringsprosessen, og spesielt ved bruk av homogene basiske katalysatorer. Frie fettsyrer og basiske katalysator fører til såpedannelse som gjør det vanskelig å rengjøre oljen. Figur 2-3 viser en vanlig reaksjon der såpe dannes.

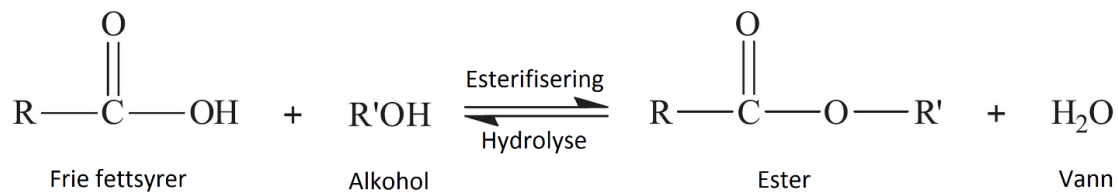
Teori



Figur 2-3: Eksempel på såpedannelse der X i basekatalysator kan være Na, K, Ca osv. [3].

For råstoff som inneholder større mengder frie fettsyrer kan det være gunstig med et ekstra prosessstrinn, nemlig esterifisering.

Ved esterifisering reagerer en fri fettsyre med en alkohol, og danner en alkylester og vann (Figur 2-4). Esterifiseringsreaksjonen i Figur 2-4 er reversibel og kalles da hydrolyse. Vann er derfor uønsket under transesterifisering av triglyserider, da det senker esterutbyttet ved å muliggjøre hydrolyse.



Figur 2-4: Esterifisering av frie fettsyrer [9].

Tabell 2-3: Innhold av frie fettsyrer i forskjellige biodieselryråstoff [32].

Råstoff	Frie fettsyrer (%)
Rå planteolje	1-3
Rapsolje	1,5 -2
Brunt fett	90-100
Palmeoljedestillat	90
Brukt fritryolje	3-90
Algeolje	0,7-10
Talg (innvollsfett fra storfe og sau)	3-10
Smult (hvitt fettprodukt fra svin)	2
Jatropha (Hardfør giftig busk med frø som inneholder 30% olje)	5-9
Surgjort råsåpe (restprodukt fra basekatalysert raffinering av vegetabiliske oljer)	40
Tallolje (biprodukt fra celluloseproduksjon)	90
Stearinsyre	100

Syretall er et mål for mengden frie fettsyrer det er i fett. Det angis som antall milligram (mg) kaliumhydroksid (KOH) som trengs for å nøytralisere frie fettsyrer i 1 g fett [33].

2.2.3 Katalysator

Både esterifisering og transesterifisering er reversible endoterme reaksjoner. Det brukes en katalysator for å senke temperaturen og eventuelt trykket reaksjonen trenger for å fungere optimalt. Katalysatoren gjør reaksjonen mulig med en lavere aktiveringsenergi. Den ønskede reaksjonen vil dermed foregå raskere og ved lavere temperatur enn uten bruk av katalysator. Katalysatoren inngår ikke som en reaktant i reaksjonen, og brukes heller ikke opp.

Katalysatorer som benyttes i biodieselproduksjon kan kategoriseres som følger:

- Homogene katalysatorer:
 - Syre
 - Base
- Heterogene katalysatorer:
 - Syre
 - Base
 - Enzymatisk

Homogene katalysatorer løses opp i oljen og alkoholen og forblir i væskeform under prosessen. Heterogene katalysatorer holder seg i en annen fase og løses ikke opp i væsken, det kan være faste stoffer, uløselige væsker eller gasser.

Heterogene katalysatorer har egenskaper som gir høyere biodieselutbytte, høyere glyserolrenhet, enklere å separere og enklere å gjenbruke katalysatoren, billigere, sikrere, mer miljøvennlig og det reduserer behovet for et vaskesteg av esteren [16]. Men heterogene katalysatorer er ikke egnet i industriskala biodieselproduksjon, fordi det kreves mye overflødig alkohol under reaksjonen og høyere reaksjonstemperatur, som fører til et høyt energiforbruk.

Basekatalysatorer har høyere katalytisk effektivitet, lavere kostnad, lavere reaksjonstemperatur og trykk enn syrekatalysatorer [16]. Basekatalysatorer er foretrukket framfor syrekatalysatorer for transesterifikasjon. Men basekatalysatorer kan reagere med frie fettsyrer under transesterifikasjon (Figur 2-3), det fører til dannelsen av såpe som hemmer katalysatoren og reduserer effektiviteten. Ved høyt innhold av frie fettsyrer er det vanlig å bruke en syrekatalysator for esterifisering av oljen før transesterifiseringen [21]. I industriell skala er de vanligste homogene basekatalysatorene for transesterifikasjon lut (NaOH), kaliumhydroksid (KOH), natriummetanolat (CH_3ONa), kaliummetanolat (KCH_3O) og natriumetoksid ($\text{CH}_3\text{O}_2\text{Na}$) [29, 34, 35].

Enzymatiske reaksjoner påvirkes ikke av frie fettsyrer og vann [21]. De krever mildere reaksjonsforhold og gir høyere renhet på produkt sammenlignet med andre katalysatorer [36]. Det gjør enzymatiske reaksjoner med eksempelvis immobiliserte lipaser godt egnet for biodieselproduksjon av brukt frityrolje. Høye priser på produksjon av enzymene begrenser bruken i industriell skala.

2.2.4 Alkoholer

Mange alkoholer kan brukes i produksjon av biodiesel, for eksempel metanol, etanol, propanol, butanol og amyl alkohol [37]. Høye priser på alkohol samt dyre og komplekse driftskriterier for alkoholsen gjør metanol og etanol best egnet for praktisk bruk. Metanol er den klart vanligste alkoholen å bruke, grunnet pris [29].

Sammenligning av metanol og etanol:

Metanol [29, 37, 38]:

- Lavest kostnad, lett tilgjengelighet. Blir først og fremst produsert fra fossilt materiale, men kan utvinnes fra fornybare plantematerialer.
- Gode fysiske og kjemiske egenskaper: høyest polaritet, enkleste alkoholforbindelsen. Metanol reagerer raskt med triglyserider og den mye brukte katalysatoren NaOH er lett løselig i det. Enkel fase-separasjon og milde reaksjonskriterier. Metanolyse er enkel å utføre og krever mindre etterbehandling for å få ut ferdig produkt
- Meget giftig for mennesker og dyr. Små doser (7 -8 gram) kan føre til alvorlig kvalme, blindhet og kreft. Større doser (30-50 gram) kan føre til død. Metanolrester er ikke ønskelig i mat og vil ved metabolisme omdannes til maursyre som er sterkt etsende.

Etanol [16, 39]:

- Produksjon av etanol er dyrere enn metanol. Lages hovedsakelig av fornybare kilder.
- Det er litt mindre polart og nest enkleste alkoholforbindelse. Reagerer litt tregere enn metanol, men har mye bedre løselighet i vegetabiliske oljer, som forsterker massetransporten under transesterifisering.
- Ikke giftig i samme grad. Etanoldamp fører ikke til blindhet og er ikke irriterende for åndedrettsystemet. Både etanoldamp og metanoldamp er lettantennelige.

Tabell 2-4: Sammenligning av lipasekatalysert transesterifisering av triglyserider med metanol og etanol [37].

Olje	Alkohol	Ester (%)
Soyabønner	Metanol	75,4
	Etanol	97,4
Rapsfrø	Metanol	77,3
	Etanol	98,2
Talg	Metanol	94,8
	Etanol	98,3
	Etanol + 6mol% H ₂ O	68

Fra Tabell 2-4 sees det at enzymatisk alkoholisering med etanol gir et høyere utbytte enn med metanol. Dette kommer av den negative effekten fra mer polart metanol og glyserol [37]. Vann har stor innvirkning på esterutbyttet. Både metanol og etanol er veldig følsomme for vanninnhold. Når ren etanol blir erstattet med ≈ 95 vol% etanol så endrer esterutbyttet seg fra 98 % til 68 %. Det er forskning som viser at en blanding av metanol og etanol gir gode resultater [40].

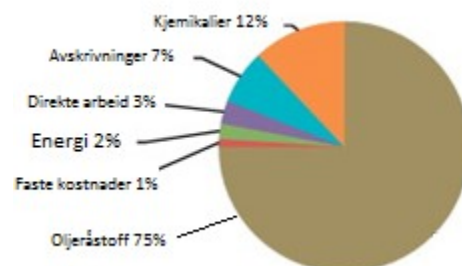
Alkoholforholdet som trengs er 3:1 molforhold alkohol til olje (ca. 0,9:10 volumforhold). Reaksjonene er reversible og det er derfor ønskelig å øke mengden alkohol for å presse likevektspunktet mot produktsiden (ester). Det vanligste er et forhold på 6:1 (mol), men det kan være helt opp i 9:1 (mol) [21].

FAME er det klart vanligste biodieselproduktet i dag. Den europeiske standarden gjelder derfor bare FAME, ikke FAEE. Men det er en økende interesse for FAEE som på noen punkter er bedre enn FAME, blant annet ved at den er mer miljøvennlig. FAEE trenger kortere reaksjonstid og mindre alkohol og katalysatormengde enn FAME [41].

FAEE gir lavere eksostemperatur, røykopasitet (grad av ugjennomsiktighet, indikerer partikkelmengde i røyk) og flytepunkt [37]. Når eksosutslipp analyseres er den mindre miljøskadelig enn FAME (inkludert nitrogen oksider, CO₂ og røyktetthet). Egenskaper som lavt tåke- og flytepunkt er viktig for at bilen skal kunne starte ved kalde temperaturer uten hjelp av antifrys tilsetninger eller forvarming. Dette er spesielt viktig i nordiske land der kalde vintre ville gjort biodieselen skadelig for bilen. Lavt tåke- og flytepunkt gjør også FAEE enklere å lagre fordi den er mindre utsatt for oksidasjon [16].

2.3 Råstoff

Opp mot 75 % av kostnaden ved å produsere biodiesel ligger i pris på råmaterialene [11]. Tilbud og pris på råvarer som raps, mais og soyabønner påvirker lønnsomheten til biodieselproduksjonen. Ved å ta i bruk brukt fritureolje (WCO) kan kostnaden reduseres med 60-90 % [42].



Figur 2-5: Fordeling av kostnader ved stor skala biodieselproduksjon [11].

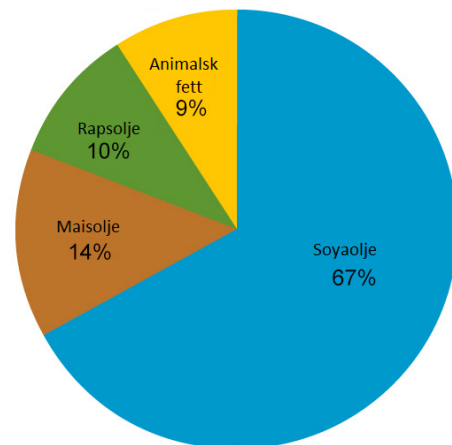
Globalt er det mer enn 350 forskjellige avlinger som inneholder oljer som kan brukes i biodieselproduksjon. Det gjør biodieselproduksjon så allsidig [11].

Avlingene kan deles inn i 4 kategorier [11]:

- Spiselige vegetabiliske oljer slik som
 - Rapsolje
 - Soyaolje

Teori

- Peanøttolje
- Solsikkeolje
- Palmeolje
- Kokosolje
- Uspiselige vegetabiliske oljer:
 - Jatropha
 - Karanja
 - Algeolje
- Brukt eller resirkulert olje.
- Dyrefett:
 - Talg
 - Gult fett
 - Kyllingfett
 - Biprodukter fra fiskeolje



Figur 2-6: Råstoff brukt i biodieselproduksjon i USA i 2015. Totalt 3,3 millioner tonn [5].

Biodrivstoff deles inn i generasjoner etter råmateriale og hvor «avansert» utvinningsprosessen er [43].

- Førstegenerasjon biodrivstoff: Biodiesel produsert fra olje-, sukker- eller stivelsesrike jordbruksvekster. Første generasjon dominerer markedet fullstendig, men produksjonsvolumene er små sammenlignet med fossilt drivstoff.
- Andregenerasjon biodrivstoff: Baserer seg på avfall eller celluloseholdig biomasse. Det kan produseres fra slakteavfall, brukt fritryolje, trevirke og halm. Kjenetegnes ved at det er en mer avansert produksjonsprosess som blant annet trenger forbehandling av råstoffet.
- Tredjegerasjons biodrivstoff lages av mikro- og makroalger. Alger kan under optimale forhold produsere betydelig mer biomasse per areal og tid enn noen annen landplante.

2. og 3. generasjon biodrivstoff blir kalt avansert drivstoff og er som EU definerer det: produsert fra råmaterialer som ikke konkurrerer direkte med avlinger for mat eller føde. Bare 2 prosent av produsert biodiesel er 2. generasjon [6]. Ifølge Statens energimyndighet (2015) i Sverige vil etterspørselen etter 1. generasjon FAME fra rapsolje reduseres i EU. Dette fordi det har kommet nye regler for dobbelttelling av avfallsbaserte biodrivstoff i fornybardirektivet [2].

Fornybardirektivet er EU sin plan for å øke produksjonen av energi fra fornybare kilder. I november 2016 kom kommisjonen med et nytt forslag til fornybardirektiv som skal gjelde fra 2020 til 2030. Det nye målet er 27% fornybar energi i det totale energiforbruket i EU [44]. Hvert enkelt land har fått tilpassede mål (Malta 10 %, Sverige 49%, Norge 67,5%) og kan selv lage en plan for hvordan målet skal nås.

Det er krav om 10 prosent fornybar energi i transportsektoren. Denne fornybare energien har fått strenge krav om bærekraft, for å sikre reduksjon i karbonutslipp. For å innfri disse kriteriene må drivstoffet i 2018 oppnå en reduksjon av drivhusgass på 60 % sammenlignet med fossilt brensel [45]. Alt utslipp gjennom livssyklusen blir lagt sammen, både dyrking, prosessering og transport.

Typer brukt fett

Det er ingen klare definisjoner på begrepene «waste vegetable oil», «used cooking oil», «yellow grease» og «brown grease». WVO og UCO er mye det samme, noen bruker WVO om UCO som er rensset for matrester/dyrefett etter steking. Gult fett blir brukt som en samlebetegnelse på UCO og WVO, men kan også brukes om talg av lav kvalitet. Gult fett inneholder vanligvis mellom 3 og 15 % frie fettsyrer[46]. Brunt fett er i hovedsak samlet opp i fettutskillere som samler opp fett fra avløpsvannet før det størkner og øker faren for tilstopping i kloakksystemet. Det er forbundet med råtne matrester og høyt innhold av frie fettsyrer og ansett som lite gjenbrukbart. Varme og vann kan øke mengden av frie fettsyrer med 1 % eller mer per uke [46].

2.4 Markeder

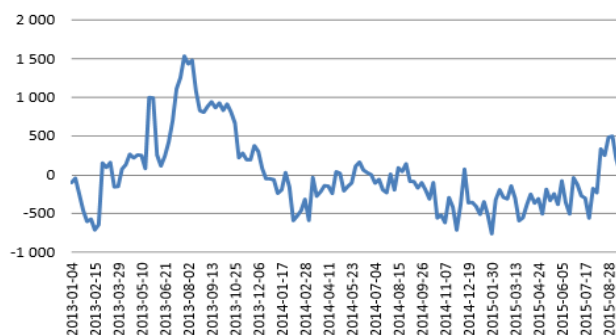
Så godt som alt biodrivstoff som brukes i Norge er importert, i hovedsak fra Tyskland (60 prosent) og Frankrike (11 prosent) [27].

Det europeiske biodieselmarkedet styres i hovedsak av politiske beslutninger [2]. Biodrivstoff er avhengig av nasjonale subsidier for å kunne konkurrere med petroleumprodukter. Innenfor EU er det Finland og Sverige som har størst andel flytende biodrivstoff innenfor transportnæringen i 2014, med henholdsvis 23% og 19%.

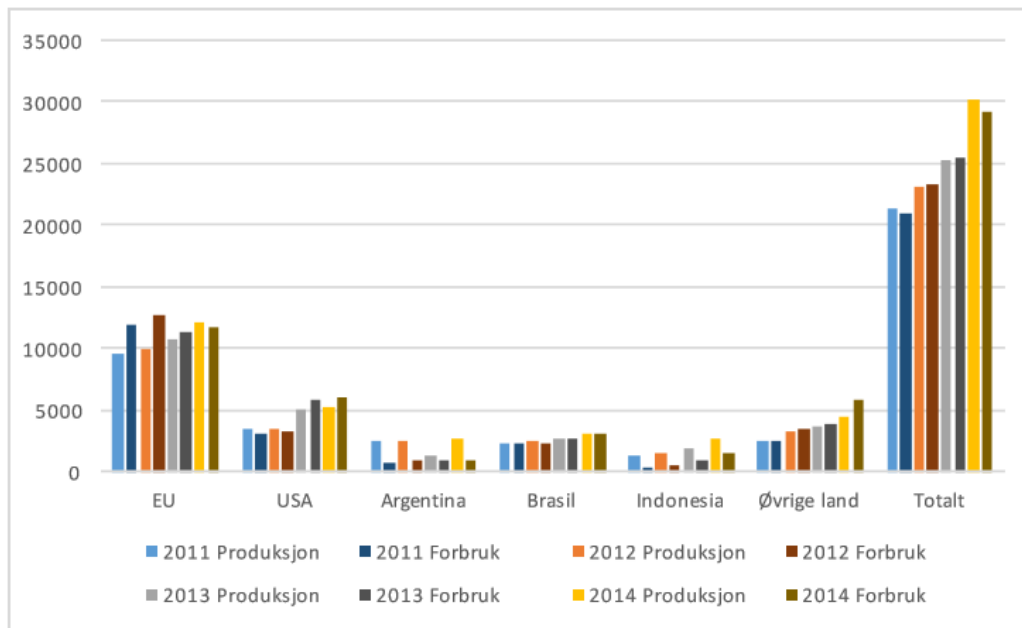
Analysen gjort av Vista Analyse AS for Samferdselsdepartementet [43] viser en forventet global økning i produksjon og forbruk fram mot 2024, mens prisene forventes å holde seg stabile.

Denne økningen vil bli dekket av lokal produksjon og førstegenerasjons biodrivstoff vil fortsatt dominere markedet. Høye kapitalkostnader og usikkerhet om fremtidig politikk bidrar til økt usikkerhet blant investorer, som kommer til å forsinke overgangen til annengenerasjon biodrivstoff.

Hydrogenert vegetabilsk olje (HVO) tok markedsandeler av FAME i EU gjennom 2014, dette fordi HVOs fordelaktige egenskaper er etterspurt av drivstoffbedriftene [2].



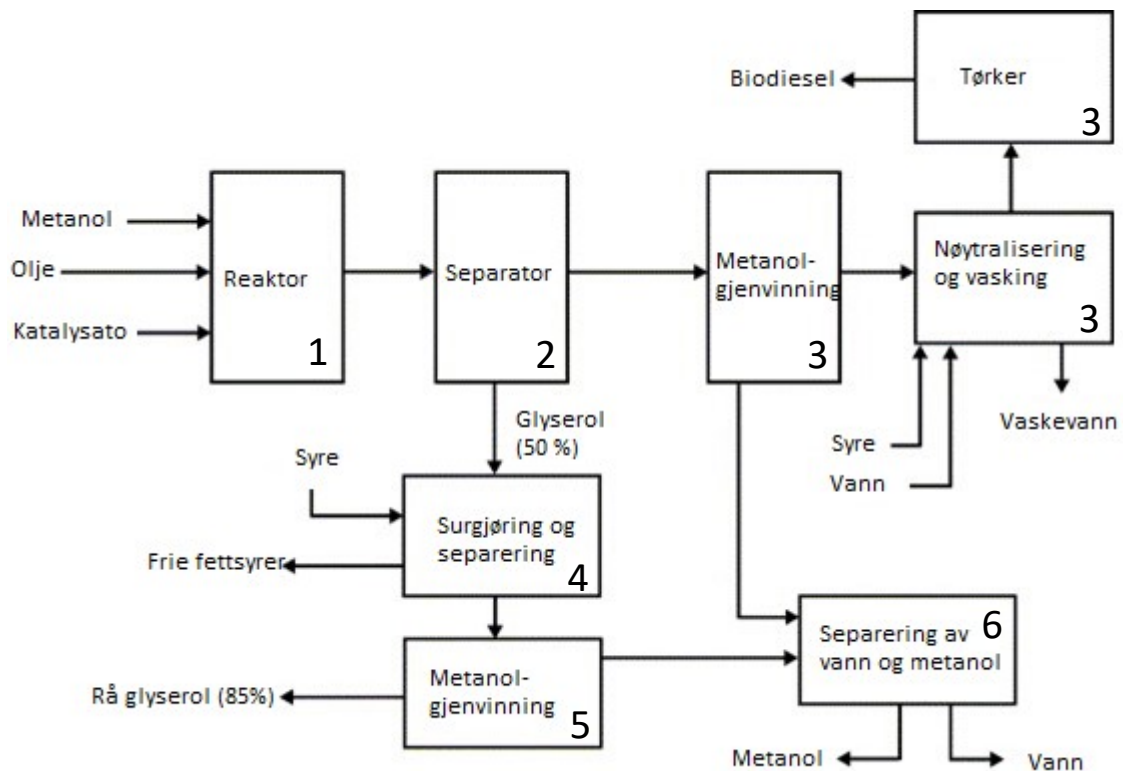
Figur 2-7: Utviklingen i produksjonsmarginer for FAME-produksjon i EU. SEK/tonn [2].



Figur 2-8: Utviklingen i produksjon og forbruk av biodiesel. 1000 m³ [2].

2.5 Produksjon

Den «konvensjonelle» produksjonsprosessen for å lage FAME er med metanol og homogen katalysator. Prosessen består i hovedsak av 4 steg: Reaksjon, separasjon, vasking og tørking. I tillegg kommer gjenvinning av alkohol og glyserol. Separasjon av katalysator, glyserol og alkohol fordyrer biodieselprosessen, men er helt nødvendig for å innfri kravene til renhet [29].



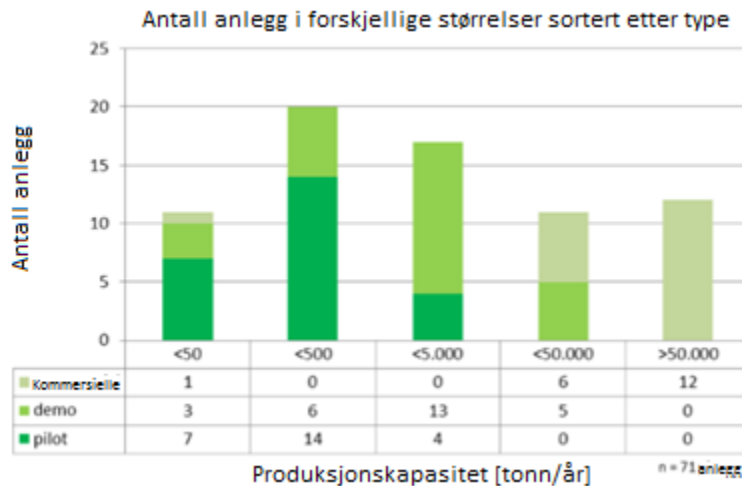
Figur 2-9: Flyttdiagram med stegene i et konvensjonelt biodieselanlegg [8].

Figur 2-9 viser et eksempel på prosessstegene i vanlig biodieselproduksjon med heterogen katalysator og metanol [8]. Stegene er forklart under:

1. Transesterifiseringen krever råstoff med høy renhet (lite frie fettsyrer, vann og uønskede partikler).
2. Glycerol har høyere tetthet enn vann mens biodiesel har lavere tetthet. I tillegg har glyserol lav løselighet i vann. Glycerol og biodiesel kan derfor separeres raskt enten ved sentrifuge eller væske-væske separator (separeringstank).
3. Metanol fjernes, biodieselen nøytraliseres og vaskes med vann. Syre er tilsatt biodieselen for å nøytralisere rester etter katalysatoren og dele opp såpe som har blitt dannet under reaksjonen. Såpe vil reagere med syren og danne vannløselige salter og frie fettsyrer. Saltet fjernes med vannet fra biodieselen, frie fettsyrer blir i biodieselen. Vaskingen er ment å fjerne alle rester etter katalysator, såpe, salt, metanol eller fri glyserol. Eventuelle vannrester kokes bort under vakuu.
4. I tillegg til glyserol så skilles det også ut litt metanol og mesteparten av katalysatoren og såpen. Syre tilsettes for å splitte såpen til fire fettsyrer og salter. Frie fettsyrer er ikke løselige i glyserol og vil skilles ut som avfall.
5. Metanol fordampes og glyserol med omtrentlig 85% renhet sendes til egne glyserolraffineri for foredling.
6. Metanol pleier å ta til seg vann som har kommet inn i prosessen. Metanolen blir derfor destillert før den sendes tilbake til reaktoren.

2.6 Småskala biodieselproduksjonsanlegg

Småskala produksjon av biodiesel skiller seg fra medium- og storskala produksjon. De fleste store anleggene (> 4 000 tonn/årlig) bruker en kontinuerlig prosess med kontinuerlig rørt reaktorer (CSTR) eller kontinuerlig-rør-reaktor (PFR) [8]. Småskala anlegg kjører ofte prosessen i batch da det er en mindre kompleks prosess. Konverteringskostnader (direkte arbeid og indirekte variable kostnader) står for 10 % ved store anlegg, og mellom 25 og 40 % ved små anlegg. Bacovsky et al. [6] deler opp størrelsen på anleggene ved 50, 500, 5 000 og 50 000 tonn per år. I Figur 2-10 er en oversikt over antall anlegg i forskjellige produksjonstørrelser (2012). Oversikten er ikke begrenset til FAME eller FAEE, anleggene kan produsere etanol, HVO, FAME, BTL og flere.



Figur 2-10: Oversikt over antall anlegg i forskjellige produksjonstørrelser (2012) [6].

Fore et al. [47] vurderte økonomien til småskala biodieselproduksjon på gårder i Midtvesten, USA. Det ble sett på anlegg med årlig produksjon på mellom 20 000 og 35 000 l/år fra rapsoljer eller soyaoljer. Det tilsvarer 150 -200 l per batch, og prisen lå på mellom 8 og 12 NOK/l (2007 dollar). Om det er lønnsomt avhenger i hovedsak av prisen på petroleumsdiesel, men også av kapitalkost, råvarepris og arbeidskost. Fordeler med lokal produksjon var at prisen på biodieselen som gården produserte var uavhengig av markedets dieselpri. Det er usikkert hvordan endring i skala, råvare og kapitalkost vil påvirke resultatet. De kommer fram til at småskala biodieselproduksjon er en god løsning for å utnytte økonomien i råmaterialet samtidig som gården blir mer selvforsynt.

2.6.1 Eksempel på småskala biodieselanlegg

Springboard Biodiesel [48]

Springboard Biodiesel produserer og selger kommersielle biodieselanlegg. Produktene er automatiserte og lager biodiesel som innfrir de amerikanske ASTM-D6751 kravene. De har to produkter, BioPro190 som produserer 190 l (NOK 96 000) og BioPro380 som produserer 380 l (NOK 128 000), på 48 timer. Ved kjøp av ekstra utstyr kan produksjonstiden reduseres til 11,5 timer (+ NOK 80 000). Årlig produksjonskapasitet blir da fra 29 tonn (BioPro190 uten ekstrautstyr) til 236 tonn (BioPro380 med alt ekstrautstyr). Anlegget benytter syrekatalysert (svovelsyre) esterifisering og basekatalysert (NaOH/KOH) transesterifisering i omdannelsen av brukt fritryolje til biodiesel. Biodieselen må vaskes separat før den kan brukes.



Figur 2-11: BioPro380 biodieselanlegg [1].

Utahbiodieselsupply [49]

Utahbiodieselsupply selger biodiesel byggesett som monteres selv. Det er batchstørrelser på 100 (NOK 4 000 +) til 380 liter. Olje, metanol og lut varmes opp og mikses sammen over 2-3 timer. Når reaksjonen er ferdig står blandingen i 18 -24 timer for å skille ut glyserol før uvasket biodiesel vaskes. Ved vasking så fjernes alkohol, rester av glyserol og katalysator samt andre forurensninger [50]. Vasketanker må kjøpes i tillegg.

- Prosessen tar tid, ca. 2 døgn, der det trengs arbeid på ujevne tidspunkt.
- Det er ikke noe system på rensing av avfallsvannet som lages i prosessen.
- Anlegget må settes opp selv



Figur 2-12: 1: 114 l prosesstank, 4 000 NOK . 2: 30 gallon prosesstank med 190 l vasketank 3: 300 l prosesstank med 4 stk 210 l vasketanker. [4]

Pilotskala anlegg i Nevada [51]

Det er laget et pilotanlegg ved Iowa Energy Center's Biomass Energy Conversion Center (BECON) i Nevada, Iowa. Anlegget skal produsere biodiesel fra råstoff med høyt innhold av frie fettsyrer. Anlegget er bygget for å kunne prosessere biodiesel fra et stort utvalg råstoff. Et syrekatalysert forbehandlingssteg reduserer innholdet av frie fettsyrer til under 1 prosent [52]. Etter forbehandlingen kommer basekatalysert transesterifisering. Anlegget er laget for en 190 liters batch med homogen katalysator. Det er testet med gult fett (9% frie fettsyrer) og brunt fett (40% frie fettsyrer). De kommer fram til at laboratorieskala biodieselproduksjon kan skaleres opp til pilotanlegg-skala, hvis olje, alkohol og katalysator blir godt blandet.

Pilotskala anlegg i Tamil Nadu, India [7]

Anlegget består av varmer, agitator, kjemisk miksertank, 3 fellingstanker for glyserol og vasketank (Figur 2-13). Kapasiteten er 250 liter/dag og har kostet 2,5 lakhs (300 000 NOK). *Jatropha curcas* frø brukes som råstoff og gjennom transesterifisering og vasking lages biodiesel. De har kommet fram til at *Jatropha* biodiesel er en ideell løsning for å møte et økende behov for diesel i India.



Figur 2-13: Bilde av pilotalegget i Tamil Nadu [7].

3 Beskrivelse av testanlegget

I dette kapittelet beskrives prosessene og komponentene på bioraffineringsanlegget «BioMax».

3.1 Prosessbeskrivelse med flytskjema

Overordnet beskrivelse av BioMax-anlegget

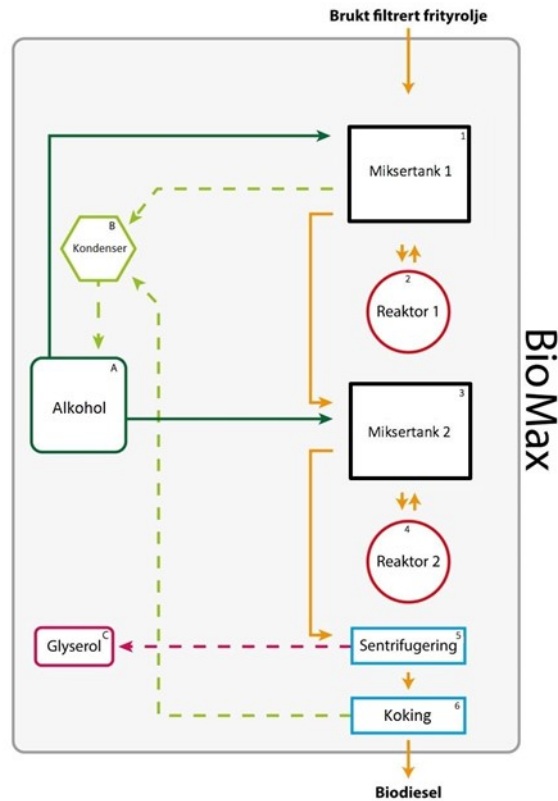
Hensikten med BioMax-anlegget er å produsere biodiesel (FAME eller FAEE) fra ulike typer vegetabilsk olje, hovedsakelig brukt vegetabilsk olje. Prosessen består av 2 hovedsteg, først foregår en esterifisering av de frie fettsyrene i olje som kommer inn ved tilsats av alkohol og under oppvarming. Deretter gjennomføres en transesterifisering av triglyseridene i oljen, også med tilsats av en alkohol og varme. Resultatet er dannelsen av biodiesel, vann og glyserol. Glyserol skiller ut i en sentrifuge. Hovedstrømmen som kommer ut av sentrifugen er så en biodieselblanding som også inneholder vann og alkohol, disse fjernes ved koking. Produktet er nå ferdig og eventuelt utkokt vann ledes bort og alkoholen gjenbrukes.

Nedenfor er prosessen beskrevet mer detaljert. Tall og bokstaver i parentes henviser til merking på Figur 3-1 der et enkelt flytskjema av prosessen er vist.

Prosessbeskrivelse

Olje (3,2 – 9 liter) fylles manuelt på i miksertank 1 (1), mens alkohol i riktig mengde (1:0,39 volumforhold olje: alkohol) pumpes inn fra en egen alkoholtank (A). I miksertank 1 er det satt inn en varme- og kjølespiral som varmer opp blanding til 30 grader. Et eget vannsystem forsyner varme- og kjølespiralen med sirkulerende vann (3 l/min) med temperaturer i intervallet mellom 15 og 85 grader. Fra miksertanken suges blanding over i reaktor 1 (2), som er fylt med en katalysator (Amberlyst 15) for å sikre gode reaksjonsforhold. Deretter suges blandingen ut av reaktor 1 og pumpes tilbake til miksertank 1. Den oppvarmede blandingen sirkulerer så mellom miksertank 1 og reaktor 1 ved at pumpen går og skaper sirkulasjon. Sirkulasjonen foregår i typisk 1 – 3 timer avhengig av mengde frie fettsyrer i utgangsoljen, ønsket renhet på produktet og valgt katalysator. Dette omtales som trinn 1 i prosessen.

Deretter ledes den esterifiserte oljen over i en ny miksertank, miksertank 2 (3). Dette styres ved hjelp av en treveis reguleringsventil. Miksertank 2 inneholder også en varme- og kjølespiral som varmer den esterifiserte oljen opp til 60 grader, ved å pumpe varmt vann gjennom et varmeelement og videre gjennom spiralen. Det blir det også pumpet inn ekstra alkohol (1:0,44 volumforhold olje: alkohol) fra alkoholtanken til miksertank 2. Denne oppvarmede blanding suges så over i en ny reaktor, reaktor 2 (4) som inneholder en katalysator (CaO) for å sikre optimal reaksjon. Blanding blir så satt til å sirkulere mellom miksertank 2 og reaktor 2 og det vil nå bli en transesterifisering av den esterifiserte oljen som ble pumpet inn. Dette pågår i 2-3 timer og prosesstrinnet omtales som trinn 2 i prosessen.



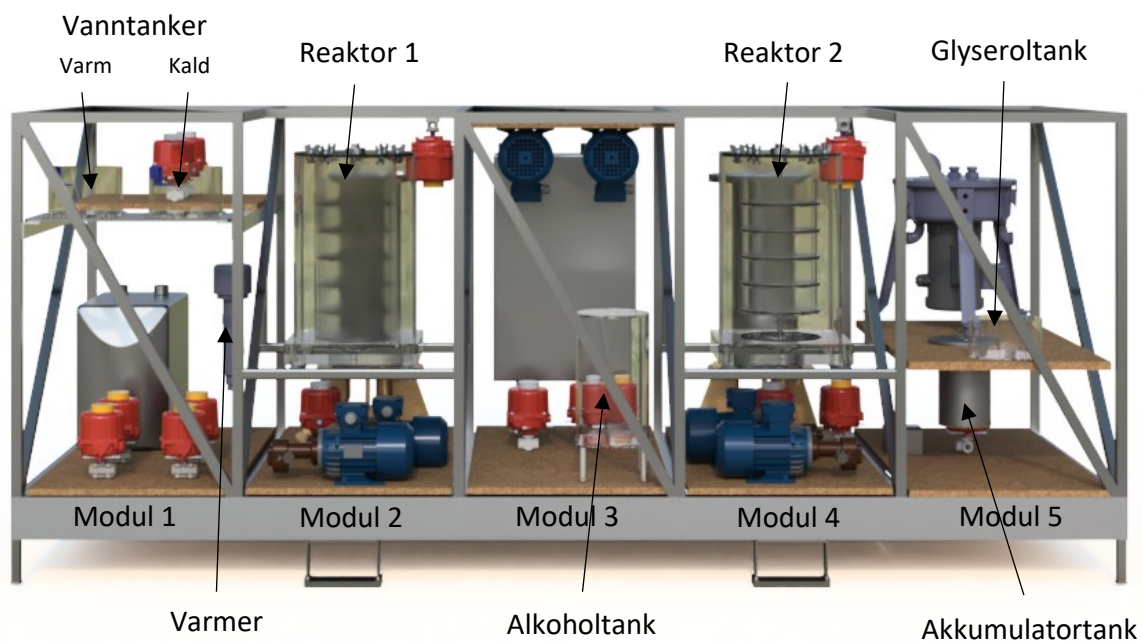
Figur 3-1: Flytskjema over hovedstegene i prosessen for å lage biodiesel med BioMax.

Etter at transesterifiseringen er avsluttet blir blanding, som nå består av metyl/etyl-esterfettsyre, vann og glyserol, pumpet til sentrifugen som skiller den transesterifiserte oljen fra glyserolen. Glyserolen er det tyngst produkt og renner fra sentrifugen til en tank som et avfallsprodukt (det blir ca. 100 ml glyserol for hver liter biodiesel). Den transesterifiserte oljen som fortsatt inneholder en del utskilt vann fra esterifiseringen, og alkohol som ikke har reagert fra begge prosesser, pumpes til koking (destillasjon). Koking foregår i miksertank 2, og ved å øke temperaturen til over kokepunktet til alkoholen (etanol 78 °C), fordampes ut alkoholen. Den fordampede alkoholen ledes gjennom en kondensator før det renner tilbake til alkoholtanken for gjenbruk. Det gjenværende produktet er nå biodiesel, det kjøles ned og ledes til en ekstern tank. Utbyttet av biodiesel er omtrentlig lik mengden olje som ble sendt inn i anlegget. Biodieselen inneholder noe vann som burde vært fjernet etter esterifiseringen, men som anlegget ikke klarer per i dag.

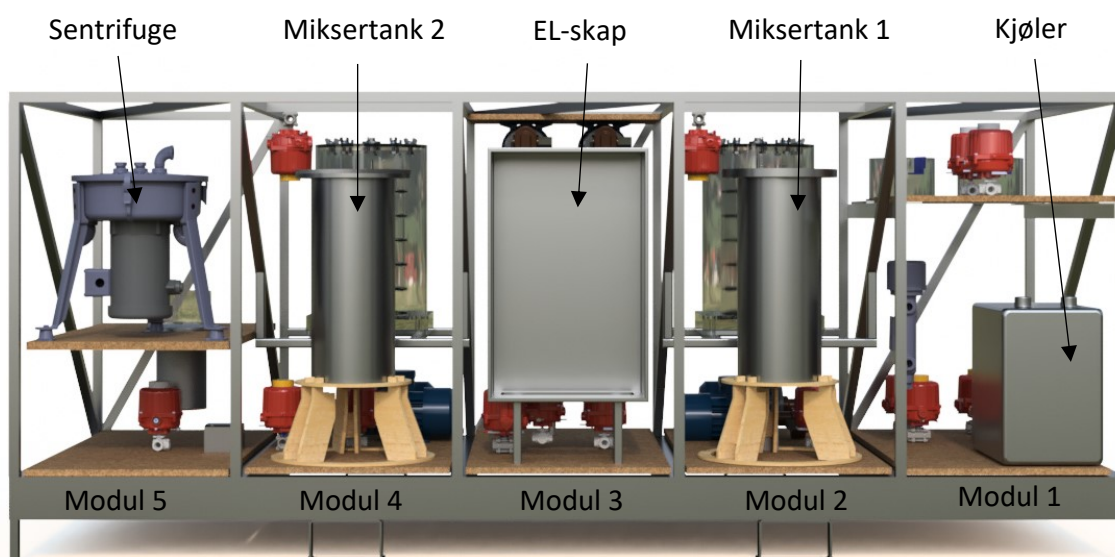
Varmesystemet til BioMax består av en vanntank, pumpe og varmeelement på 1000W. Kjølesystemet består av en vanntank, pumpe og kjøler. Kjøling og varming deler mesteparten av slangesystemene til miksertankene, og spiralen inne i miksertanken. Det er et sett med ventiler som styrer vannstrømmen dit den skal, derfor kan en miksertank ikke varmes og kjøles samtidig. Det går bare kaldt vann til kondensatoren og det går alltid vann til kondensatoren når kjølesystemet kjører, altså det er ingen ventil som stopper vannet fra å strømmen gjennom kondensatoren.

3.2 Anlegget

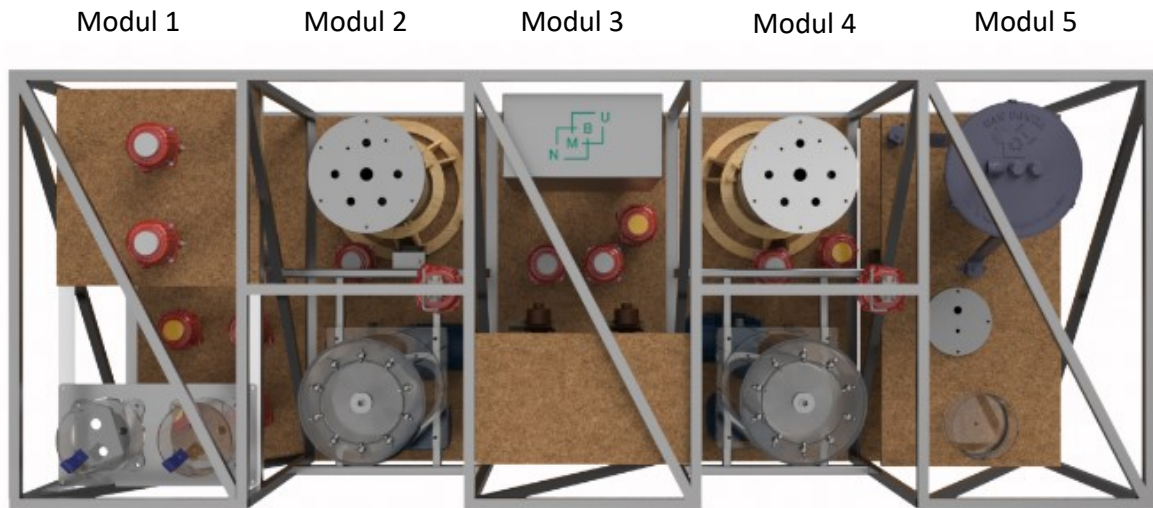
I dette delkapitlet er Fusion 360 fra Autodesk brukt til å lage modeller i 3D av BioMax. Ved hjelp av skyrendering er modellene renderte til fine bilder der hovedkomponentene er merket med piler. Figur 3-2 viser framsiden, Figur 3-3 viser baksiden, Figur 3-4 viser oversiden og Figur 3-5 viser skrått framsiden av BioMax. Anlegget er delt opp i 5 moduler, framsiden er den siden reaktorene står på, baksiden er den siden styringsskapet og miksertankene står på.



Figur 3-2: Framsiden av Biomax.

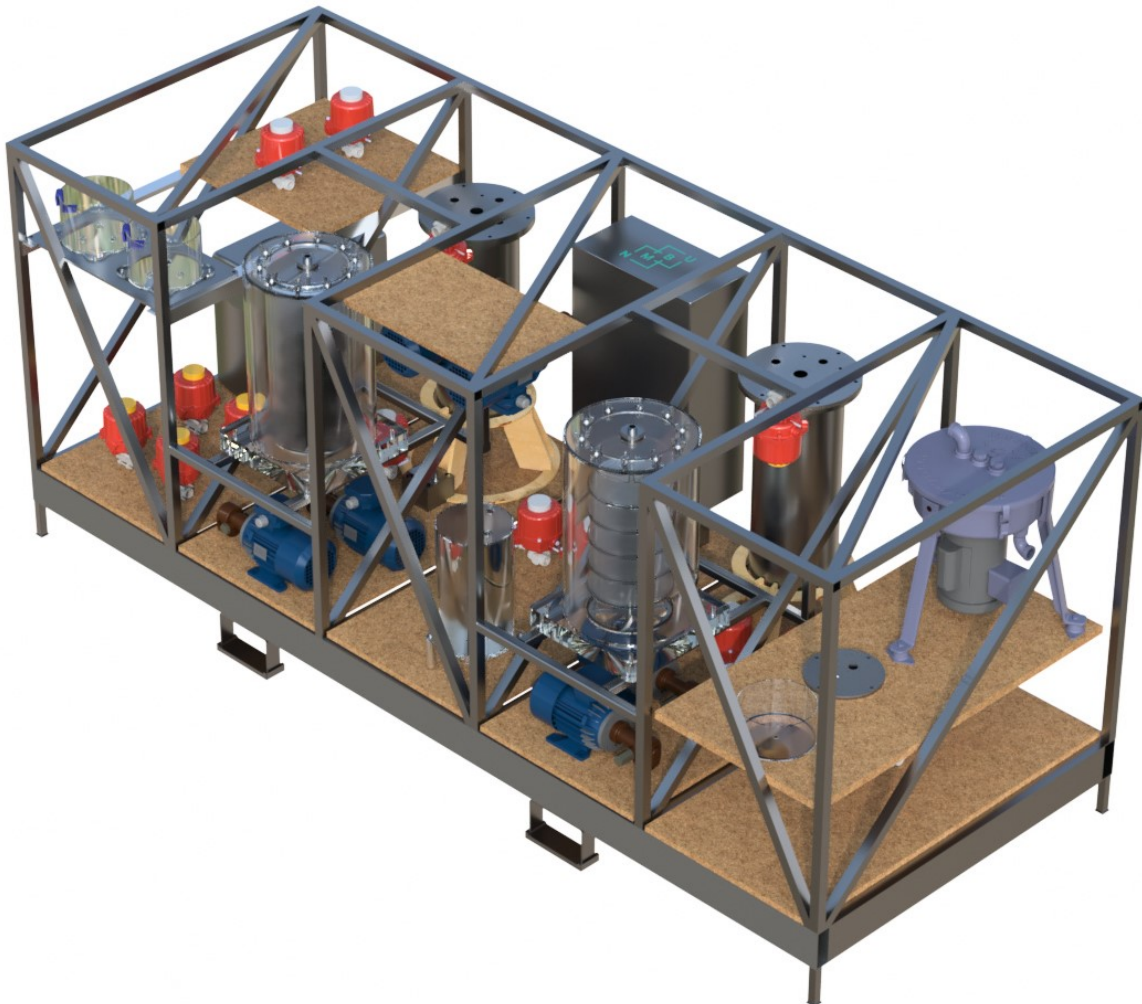


Figur 3-3: Baksiden av BioMax.



Figur 3-4: Oversiden av BioMax.

Framsida



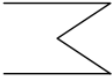


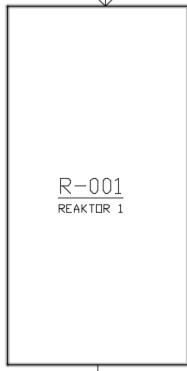


Figur 3-5: BioMax uten deksel.

3.3 Komponenter








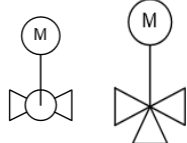
Videre følger en detaljert beskrivelse av hovedkomponentene, inklusiv bilde og symbol på P&ID-tegningen for BioMax-anlegget. Figur 2-5 viser P&ID for anlegget.


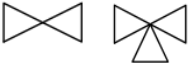

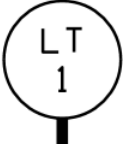

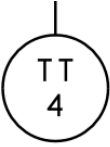

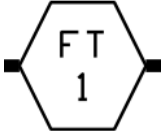


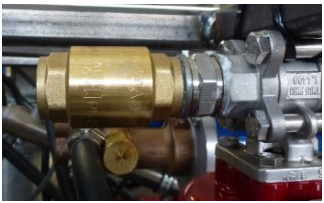

Tabell 3-1: Hovedkomponenter med bilde og P&ID-symbol [53-59].

Bilde	Komponent	Symbol
 <p data-bbox="288 999 501 1025">Figur 3-6: Miksertank</p>	<p data-bbox="608 472 927 544">Miksertank M-001 og M-002</p> <p data-bbox="608 555 951 734">Miksertankene er produsert av <i>Dynatec SMV</i>. Alle deler er i syrefast stål. Innvendig varme- og kjølespiral har indre rørtykkelse på 3/8".</p> <p data-bbox="608 745 951 1032">Øverst på tanken er det: 5 tilkoblinger med 1/2" utvendig gjenget nippel; 2 tilkoblinger med 3/8" utvendig gjenget nippel til kjøling og varming; en åpning til gjennomføring av nivåtransmitterslange med kabelgjennomføring.</p> <p data-bbox="608 1043 919 1144">I bunnen av tanken er det: 3 tilkoblinger med 1/2" utvendig gjenget nippel.</p> <p data-bbox="608 1155 967 1256">Innvendig er tanken 500mm høy med diameter på 200 mm. Den rommer 14,5 liter væske.</p>	 <p data-bbox="999 965 1337 1066">Spiralen som ligger på innsiden av tanken er tegnet i Autocad P&ID med symbolet:</p> 
 <p data-bbox="233 1626 552 1682">Figur 3-7: Reaktor med 6 tomme katalysatorbeger.</p>  <p data-bbox="209 1917 584 1973">Figur 3-8: Katalysatorbeger med kuler som simulerer katalysator.</p>	<p data-bbox="608 1267 911 1301">Reaktor R-001 og R-002</p> <p data-bbox="608 1312 967 1637">Reaktoren er produsert av Superprint AS. Alle deler er i PMMA akrylplast, utenom stolpen i midten og skruene som er i syrefast stål. Seks «beger» med rustfri netting i bunn har maskestørrelse 600µm og skal holde på den heterogene katalysatoren.</p> <p data-bbox="608 1648 967 1749">Reaktoren er 500 mm høy og med diameter 200 mm, rommer den 10 liter væske.</p>	

 <p>Figur 3-9: Alkoholtank i bunn med slange opp til kondensator.</p>	<p>Alkoholtank A-001</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bunn og topp er laserkuttet i PMMA og limt til rørstammen med Acrifix. - Sveisenipler er limt med Tek7. - Rommer 6,8 l væske. <p>Kondensator E-001</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kondensatoren er en varmeveksler i titan og fylt med rustfri stålull på gassiden. - Varmeoverføringsareal: 0,251 m². 	<p>Kondensator</p>  
 <p>Figur 3-10: Kjøler</p>	<p>Kjøler C-001</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hailea HC 150A - Ytre mål: 420x248x365mm, 15 kg - Kjøleeffekt: 165 watt - Strømningsrate: 250-1200l/time - Kjølevæske: R134a <p>Leverandør: GartnerbutikkenAS</p>	
 <p>Figur 3-11: Varmer</p>	<p>Varmer W-001</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1000 watt varmeelement - Integreert termostat 16°C til 120°C. - Strømningsretning er fra bunn til topp. <p>Leverandør: Selkomotor AS</p>	
 <p>Figur 3-12: Sentrifuge</p>	<p>Sentrifuge S-001</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sentrifuge i syrefast stål - Gravimetrisk mating - Sentrifugerer 94 liter per time - Ved 6000 rps genereres det ca. 3800 Gkrefter. - Styringsboks ACS55 fra ABB <p>Leverandør: Selkomotor AS</p>	

Beskrivelse av testanlegget

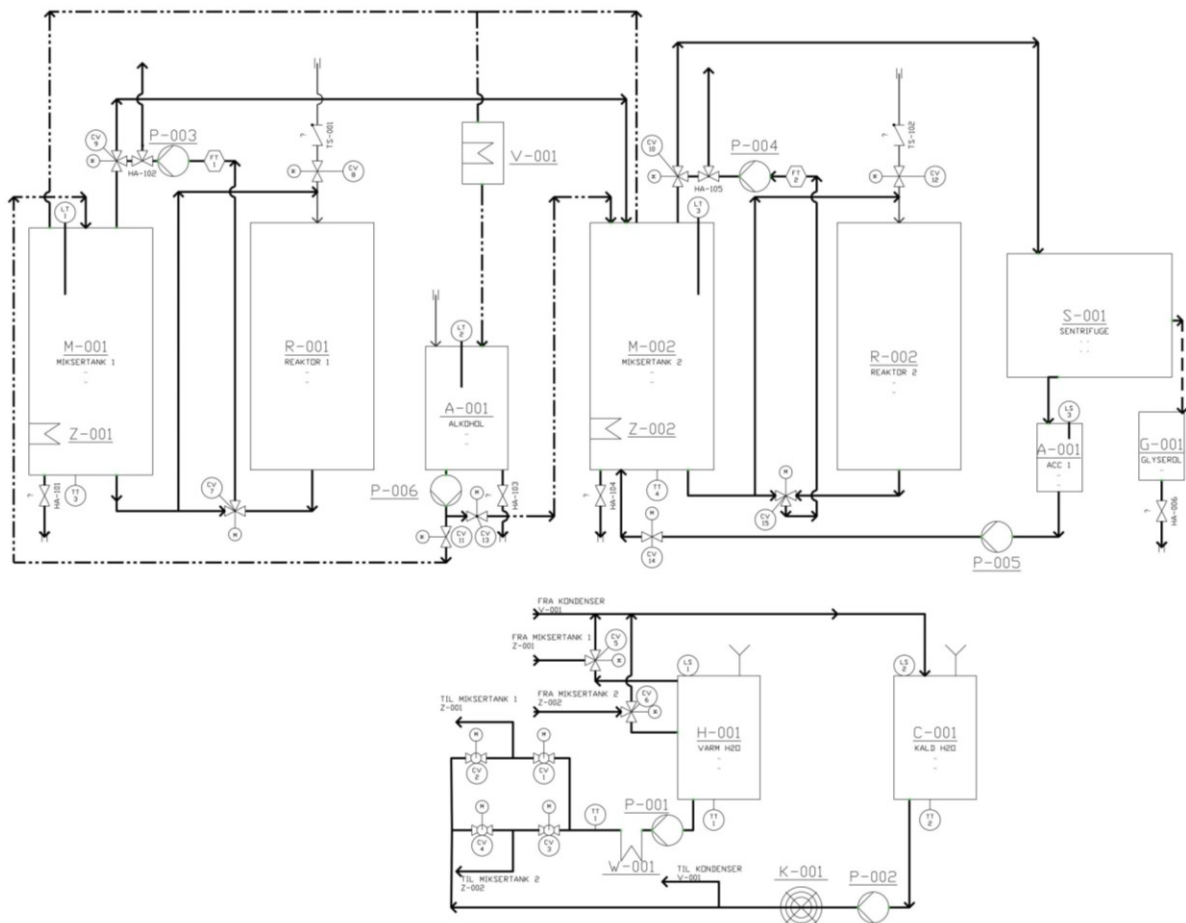
 <p><i>Figur 3-13: Akkumulatortanken med lokk</i></p>	<p>Akkumulatortank A-001</p> <ul style="list-style-type: none"> - Produsert av Dynatec SMV - Alle deler er i rustfritt stål - Rommer 2,5 liter væske. 	
 <p><i>Figur 3-14: Vanntanker</i></p>	<p>Vann og glyseroltanker V-001, K-001 og G-001</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bunn og topp er laserkuttet i PMMA og limt til rørstammen med Acrifix. - Sveisenipler i bunn er limt med Tek7. - Rommer 2,2 l væske. 	
 <p><i>Figur 3-15: Pumpe</i></p>	<p>Tannhjulpumpe</p> <ul style="list-style-type: none"> - 12 V, 370 W - Pumpehus i bronse - ¼".250-18 FNPT gjenger - 5 mVs sugehøyde - Maks 10 bar mottrykk. - 3 l/min ved fri flyt – 2,5 l/min ved flyt @3bar. - Model: N999RE <p>Leverandør: OEM Automatic AS</p>	
 <p><i>Figur 3-16: Aktuator</i></p>	<p>Aktuator RCEL003</p> <ul style="list-style-type: none"> - 90° og 180° - Aktuert 12V DC - Kapslingsgrad IP67 - Merket CV1 til CV15 <p>3-veis ventil:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Syrefast stål - T-løp - Innvendige BSPP gjenger <p>2-veis ventil: T-321</p> <ul style="list-style-type: none"> - Syrefast stål - Innvendig BSPP gjenger <p>Leverandør: Bagges AS</p>	

 <p><i>Figur 3-17: Manuell 3-veis ventil</i></p>	<p>Manuell ventil</p> <ul style="list-style-type: none"> - Syrefast stål - 3-veis ventil har L-løp - Merket HA001 til HA006 <p>Leverandør: Tess AS</p>	
 <p><i>Figur 3-18: Nivåtransmitter</i></p>	<p>Nivåtransmitter SGE-25</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vann og olje - Kalibreres fra 0 - 1 m - Hus i komplett syrefast stål - DNV marine sertifisert - Piezoresistiv sensor - Forkortet LT <p>Leverandør: OEM Automatic AS</p>	
 <p><i>Figur 3-19: Temperaturtransmitter</i></p>	<p>Temperaturtransmitter CTGB1</p> <ul style="list-style-type: none"> - -50 °C til +150 °C - Kapslingsgrad IP65 - Følerlomme i syrefast stål - Forkortet TT <p>Leverandør: OEM Automatic AS</p>	
 <p><i>Figur 3-20: Strømningstransmitter</i></p>	<p>Strømningstransmitter VHZ-020GA050E</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0,5 til 50 l/min gjennomstrømning - Medietemperatur maks 80 °C - Tilpasset tregtflytende væsker som oljer - Forkortet FT <p>Leverandør: OEM Automatic AS</p>	
 <p><i>Figur 3-21: Nivåbryter</i></p>	<p>Nivåbryter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rustfritt stål - Kapslingsgrad IP65 - $\geq 0,66 \text{ g/cm}^3$ tetthet - Forkortet LS <p>Leverandør: OEM Automatic AS</p>	
 <p><i>Figur 3-22: Tilbakeslagsventil</i></p>	<p>Tilbakeslagsventil</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperaturområde: -20 °C til +100°C - Åpningstrykk: 0,005 BAR. - Maks trykk 25 bar <p>Leverandør: Tess AS</p>	

3.4 P&ID

P&ID (Piping and instrumentation diagram) er en detaljert tegning av prosessen som viser rør, tanker og instrumenter. Rør og instrumenter er forenklet som streker og symboler. Symbolene er forklart i Tabell 3-1. Stiplede linjer er ren alkohol. Elektriske komponenter og ledninger er ikke tegnet inn.

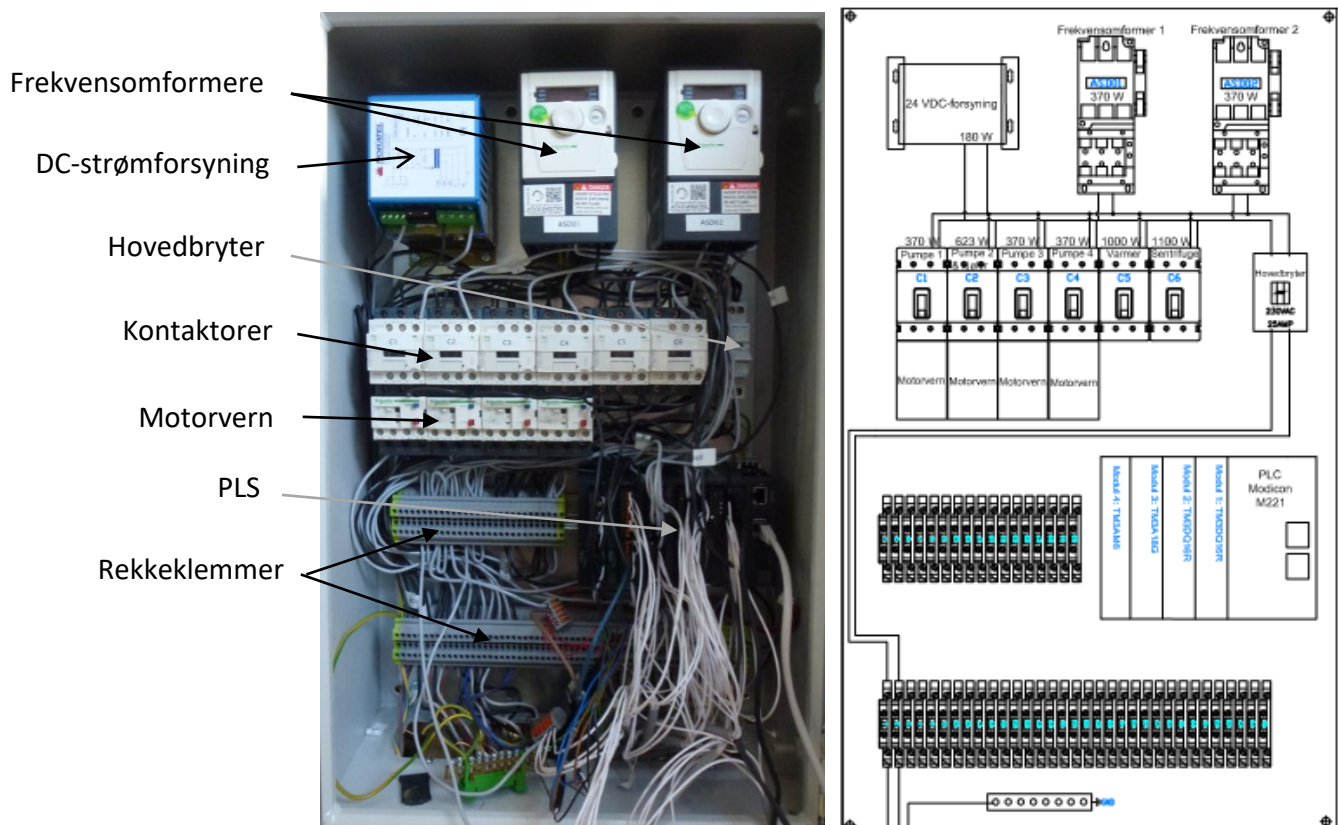
AutoCAD P&ID 2017 er brukt til å lage en P&ID-tegning over prosess og instrumenteringsutstyret som brukes. Funksjonsbeskrivelse av styringsprogrammet er å finne i kapittel 5.1 Funksjonsbeskrivelse. P&ID i full størrelse ligger vedlegg B.



Figur 3-23: P&ID av BioMax-anlegg (Tegnforklaring i Tabell 3-1).

3.5 En oversikt over det elektriske anlegget

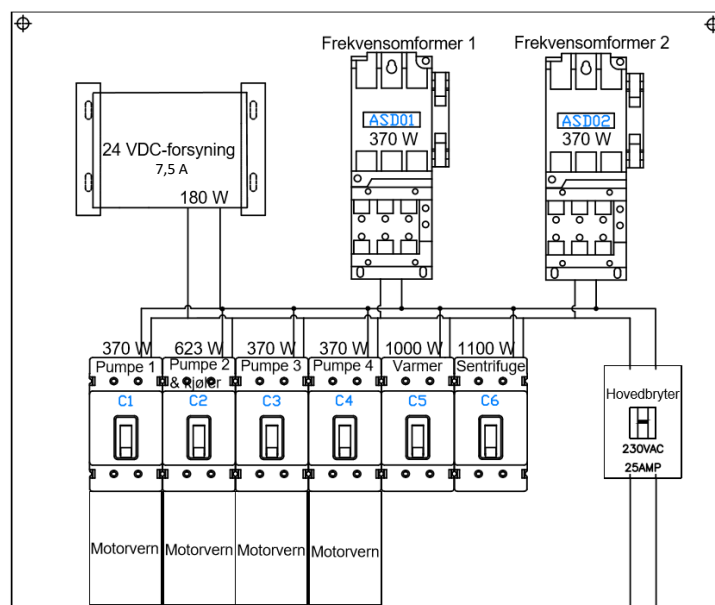
For å styre pumpene og ventilene i anlegget, og for å ta imot signaler fra transmittere er det brukt en PLS (programmerbar logisk styring). I tillegg til PLS med moduler, består det elektriske anlegget (Figur 3-24) av en hovedbryter som kobler ut strømmen til alle elektriske komponenter. En DC-strømforsyning (transformator og likeretter) som senker spenningen fra 230 V til 24 V og likeretter den fra vekselspenning (AC) til likespenning (DC). Den har en 7,5 A flatsikring på 24 VDC utgang, for å hindre overbelastning. To frekvensomformere gjør det mulig å regulere hastigheten til pumpe 3 og pumpe 4. De resterende 4 pumpene skal bare slås av eller på og er derfor styrt av en kontaktorer og beskyttet av et motorvern (termisk relé). En kontaktor er en bryter (relé) som tåler større elektriske strømmer enn reléet som sitter i en PLS. En svak strøm fra PLS styrer kontakten. Motorvernet skal sikre pumpene fra å trekke mer strøm enn de tåler ved overbelastning. Sentrifuge og varmer får strøm fra to kontaktorer. Sentrifugen har egen frekvensstyring som står ved sentrifugen. Kjøler er koblet på samme kontaktor som pumpe 2 (pumpen som driver kjølekretsen). Figur 3-24 viser en oversikt over det elektriske systemet med plassering i el-skapet.



Figur 3-24: Bilde av elskapet med komponenter koblet sammen. Og en forenklet skisse over elskapet.

3.5.1 230 VAC

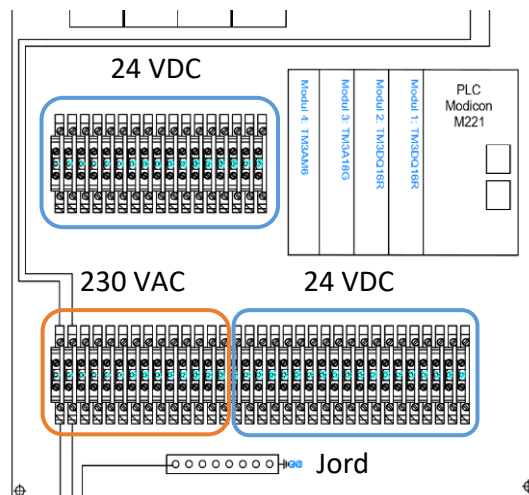
I Figur 3-26 og Figur 3-25 er ledninger som leder 230 VAC inn i skapet tegnet inn. Anlegget forsynes med 230 VAC fra et vegguttak. Vegguttaket ledes inn i rekkeklemmer i bunn av elskapet, for så å gå gjennom hovedbryter til anlegget. Etter hovedbryteren fordeles det 230 VAC til 2 stk frekvensomformere, 6 kontaktorer og en DC-strømforsyner (Figur 3-25).



Figur 3-25: Oversikt over komponenter i øvre del av elskapet. Det er tegnet inn de ledningene som leder 230 VAC gjennom hovedbryteren og til komponentene.

3.5.2 24 VDC

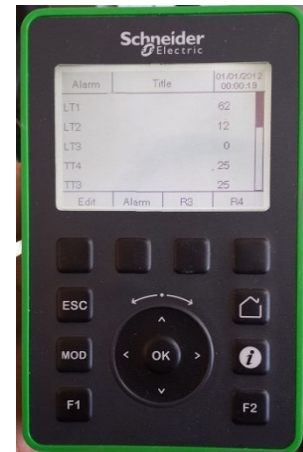
Inne i DC-strømforsyneren er det en transformator og en likeretter som senker spenningen til 24 VAC før den likerettes til 24 VDC. 24VDC fordeles til PLS-modulen og rekkeklemmene der sensorer og komponenter er koblet til. Ventiler (15 stk), temperaturtransmittere (5 stk), nivåtransmittere (3 stk), nivåbrytere (3 stk), strømningstransmittere (2 stk), nødstop og grønn knapp henter 24 VDC fra rekkeklemmene (se koblingsskjema Figur 3-28 til Figur 3-31 eller vedlegg C).



Figur 3-26: Nedre del av elskapet. Blå merking viser hvor det er lasket 24 V. Oransje merking brukes av komponenter med 230 V.

3.6 PLS

PLS'n (programmerbar logisk styring) er levert av Schneider Electric. Produktserien heter Modicon og er rettet mot «hardwired» arkitektur (permanente elektriske kretser og koblinger). Den er modulbasert med mulighet for å øke antallet inn- og utganger. Det er brukt 4 moduler på BioMax. Hovedmodulen kobles til PC og får et styringsprogram (se kapittel 5.2 Programmering) overført, deretter kan prosessen styres fra et håndholdt display. Displayet kan programmeres til å vise verdier fra transmittere og programvalg. Batteri og minnekort muliggjør logging av data. Display TMH2GDB er vist i Figur 3-27.



Figur 3-27: Display

Til sammen er det 40 digitale utganger, 8 digitale innganger, 14 analoge innganger og 2 analoge utganger. Ikke alle inn- og utganger er brukt, så det er mulig å legge til flere sensorer og komponenter. Det er 2 analoge innganger, 2 digitale utganger og 3 digitale innganger ledig.

AutoCAD Electrical 2017 er brukt til å lage koblingsskjema for PLS. Koblingsskjemaet viser hvordan PLS'n er koblet til de forskjellige komponentene og hvor de forskjellige komponentene får strøm fra. Se vedlegg C for større bilder.

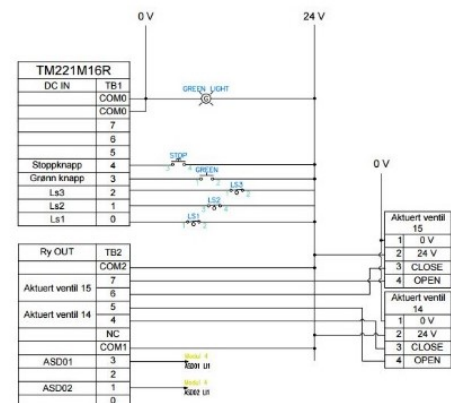
Hovedmodul: TM221M16R

8 digitale innganger (3 ledig)

8 digitale utganger (2 ledig)

2 analoge innganger (bare 0-10 V, ikke 4-20 mA)

Hovedmodulen er koblet til 24V. Den får digitale signaler fra nivåbryter 1, 2, 3 samt grønn og rød knapp. Den gir signaler til pumpe 14 og 15 og digitale (start/stopp) signaler til frekvensomformerne som styrer pumpe 3 og 4. (Figur 3-28)

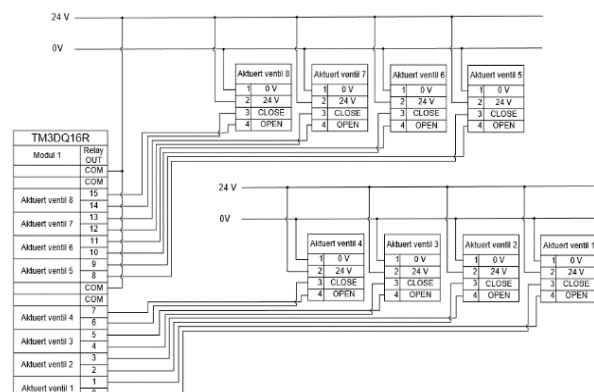


Figur 3-28: Hovedmodul

Modul 1: TM3DQ16R

16 digitale utganger

Modul 1 gir signaler til aktuert ventil 1-8. (Figur 3-29)



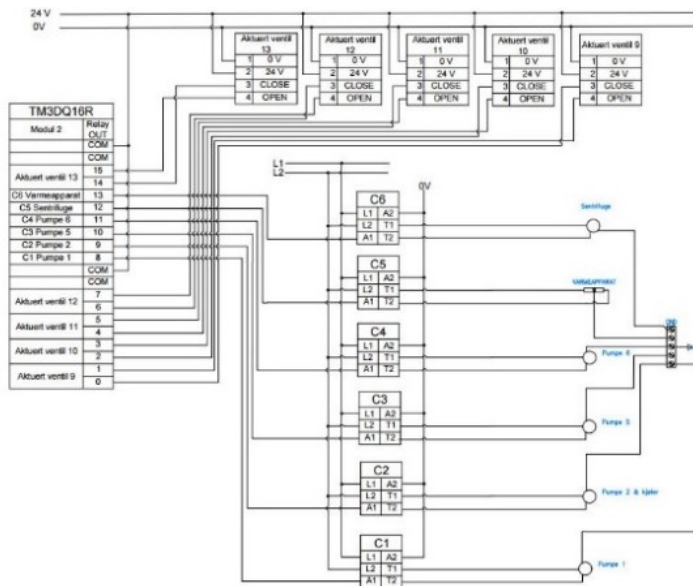
Figur 3-29: Modul 1

Beskrivelse av testanlegget

Modul 2: TM3DQ16R

16 digitale utganger

Modul 2 gir signal til aktuert ventil 9 - 13 og C1-6. C1-6 styrer pumpe 1, 2, 5, 6, sentrifuge og varmer. (Figur 3-30)



Figur 3-30: Modul 2

Modul 3: TM3AI8G (Figur 3-32)

8 analoge innganger (1 ledig)

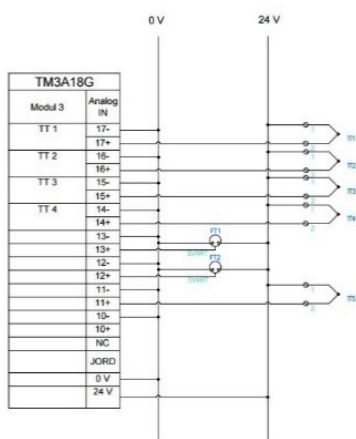
Modul 3 får analoge signaler (4-20mA) fra temperaturtransmitter 1-5 og strømningstransmitter 1 og 2. (Figur 3-32)

Modul 4: TM3AM6

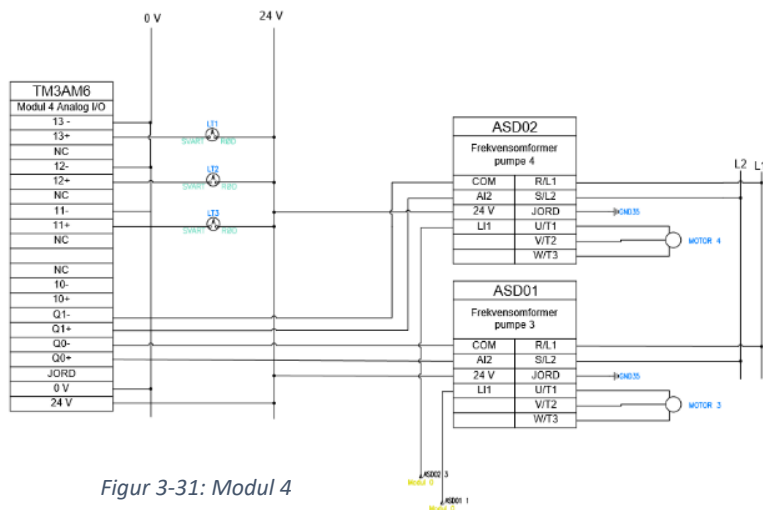
4 analoge innganger (1 ledig)

2 analoge utganger

Modul 4 får analoge signaler (4-20mA) fra nivåtransmitter 1, 2, 3 og gir analoge signaler (0-10V) til frekvensomformerne som styrer farten på pumpene. Frekvensomformerne får også digitale start/stopp signaler fra Modul 0. (Figur 3-31)



Figur 3-32: Modul 3



Figur 3-31: Modul 4

4 Valg av alkohol og katalysator

Dette kapittelet har en gjennomgang av hvilken alkohol og katalysator som er valgt. De er valgt for å ha noe sikkert å gå etter når programmeringen av styringen skal gjøres og som gir resultater når anlegget skal brukes under faget TMPP100 høsten 2017. Selv om det er satt parametre å gå ut ifra er ønsket at det skal være et anlegg med høy funksjonalitet og fleksibilitet.

4.1 Alkohol

Etanol er valgt som alkohol, framfor metanol. Etanol har egenskaper som både taler for og imot, sammenlignet med metanol (se kapittel 2.2.4 Alkoholer). Det som er utslagsgivende for valget er egenskaper som:

- Ikke giftig
- Fornybart

Esterifisering: Det er valgt **9:1** molforhold etanol til frie fettsyrer tilsatt alkohol ved esterifisering

Transesterifisering: Det er valgt **7:1** molforhold etanol til triglyserider tilsatt alkohol ved transesterifisering.

Talebian-Kiakalaieh et al. [42] har kommet med en gjennomgang av nye prosesser for biodieselproduksjon fra brukt fritureolje. Der nevnes det flere som har brukt 9:1 (molforhold alkohol til olje) ved bruk av homogen katalysator for esterifisering, og med gode resultater. For transesterifisering brukes det mellom 6 og 8 molforhold alkohol til triglyserider.

Renhet: 96 - 99 %.

4.2 Katalysator

4.2.1 Esterifisering

Den kommersielle katalysatoren Amberlyst®15 er valgt til esterifisering av frie fettsyrer i første steg av prosessen. Amberlyst® lages av The Dow Chemical Company og er en produktserie med flere varianter: Amberlyst®15, 16, 21, 26, 36 og 123. Amberlyst®15 er en sterk base katalysator som det er gjort en del forskning på:

Hykkerud og Marchetti [60] esterifiserte frie oljesyrer samme med etanol i kontakt med Amberlyst 15. De fant optimal temperatur ved 75 °C. Likevektspunktet i reaksjonen ble ikke oppnådd og total konvertering endte på 53%. Det vises av høyere konsentrasjon av katalysator øker reaksjonsraten. Det vises også at lavere alkoholkonsentrasjon (ned mot 1:1 molforhold alkohol til fettsyre) øker reaksjonsraten. Høyere alkoholkonsentrasjoner gir lavere hastighet, men best utbytte ved samme produksjon av biodiesel.

Valg av alkohol og katalysator

Khan, Jamal et al. [61] testet Amberlyst®15 med eddiksyre og oljesyre sammen med etanol i et kompakt lag reaktorforsøk. Resultatet er 95,2 % konvertering for eddiksyre og 43,8 % konvertering for oljesyre ved 75°C.

Veillette et al. [31] tester katalysatorer og konkluderer med at Amberlyst®15 gir høyere konvertering av frie fettsyrer på kortere tid enn de andre katalysatorene i testen. Rapsolje med 27 og 33 vekt% frie fettsyrer ble brukt. Ved reaksjonstid lenger enn 30 min viser det seg at katalysatormengder på 2,5 og 5 vekt% presterer like bra. Alkoholforholdet var på 5:1 (mol).

Talukder et al. [62] fikk 97 % biodieselutbytte med Amberlyst®15 selv etter 15 kjøring med samme katalysator. Reaksjonstemperatur 50-60°C og katalysatormengde 10 vekt% av oljen.

Mengde katalysator i reaktor 1: min 2,5 vekt% av olje

Temperatur under esterifisering: 75 °C

Sirkuleringstid: 2 timer

De viktigste argumentene for valget av Amberlyst®15 som katalysator til esterifisering er:

- Godt dokumentert.
- Tilgjengelighet, den selges av Sigma Aldrich for NOK 4 360 per 2,5 kg [63].
- Gode resultater for konvertering av oljer med høyt innhold av frie fettsyrer.

4.2.2 Transesterifisering

Kalsiumoksid (CaO) er valgt som katalysator i transesterifisering av triglyserider i andre steg av prosessen. Av alkalioksidene er kalsiumoksid en av de heterogene katalysatorene som er best dokumentert. CaO har gode egenskaper som høy basisitet, lav oppløselighet, lav kostnad og enkel å håndtere [35]. Kalsiumoksid er kjent som brent kalk, det dannes fra kalkstein (CaCO_3) som varmes til temperaturer på 1200-1300 °C. Prosessen kalles kalkbrenning og frigjør CO_2 . Kalsiumoksid er i ren tilstand et snøhvitt stoff som etser og gir sår i kontakt med hud. Av kjemiske produkter er det bare svovelsyre det blir produsert større mengder av enn brent kalk i verden [64].

Kawashima et al. [65] viser til 90,5 biodieselutbytte for transesterifisering av rapsolje og metanol ved 60°C i 3 timer. De mener en aktivering av katalysatoren med metanol før transesterifiseringen økte reaksjonsraten. Det begrunnes med at det dannes metoksid ($\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$) som fungerer som et initierende middel.

Katalysatoren kan også lages fra avfall. Krabbeskall, eggeskall, snegleskall, rekeskall og muslingskall med mer, kan fungere som katalysator ved varmebehandling (varmes opp og kjøles naturlig ned). Eggeskall inneholder 97,1 % CaO. Correia et al. [66] viser til 97,8 % biodieselutbytte (FAEE) ved bruk av behandlet (900°C i 2 timer) eggeskall som katalysator. Navajas et al. [67] viser til 100% biodieselutbytte. Ved bruk av industrielt eggeskallavfall til å

transesterifisere den allerede esterifisert brukte frityrolje. Transesterifiseringen tok 5 timer ved 60°C og metanol til olje forhold på 24:1 og 4 vekt% katalysator i forhold til oljemengde.

De viktigste argumentene for valget av kalsiumoksid som katalysator til transesterifisering er:

- God dokumentert.
- Gjentakende god konvertering.
- Lav pris (986 NOK / 5kg [68]) og lett tilgjengelighet [69].

Mengde katalysator i reaktor 2: min 4 vekt% av olje

Temperatur under transesterifisering: 60 °C

Sirkuleringstid: 3 timer

Tabell 4-1: Katalysatorvalg oppsummert.

Katalysator	Temperatur	Sirkuleringstid	Minimum mengde katalysator
Amberlyst® 15	75 °C	2 timer	2,5 vekt%
CaO	60 °C	3 timer	4 vekt%

4.3 Massebalanse for valgt alkoholtype

Forskjellige oljer består av forskjellige mengder med ulike typer fettsyrer. For å regne på massebalanser gjennom prosessen er det laget en gjennomsnittlig molar vekt for den spesifikke oljen. Brukt frityrolje varierer veldig i innhold av frie fettsyrer. Det er derfor laget noen eksempler på forskjellig olje og innhold av frie fettsyrer. De viktigste resultatene er hvor mye vann som blir produsert og utbyttet av biodiesel.

Parametre:

Konverteringsgrad esterifisering → 97 %:

- Amberlyst®15 skal brukes som katalysator ved esterifisering. Talukder et al. [62] testet Amberlyst®15 og fikk 97% konvertering som gjennomsnitt etter 15 esterifiseringsprosesser med samme katalysator.

Konverteringsgrad transesterifisering → 90 %:

- CaO skal brukes som katalysator ved transesterifisering. Alba-Rubio et al. [70] testet heterogen CaO og fikk utbytte på over 90% etter 2 timer.

Alkohol tilført miksertank 1 → 9:1 molforhold etanol til frie fettsyrer

Alkohol tilført miksertank 2 → 6:1 molforhold etanol til triglyserider

Vegetabiliske oljer:

1. Abidin et al. [71] har funnet fettsyrefordeling i brukt frityrolje med ca 6,1% frie fettsyrer.
2. Olivenolje [72] er en olje med gode egenskaper ved steking og fritering. Regne med 15 % innhold av frie fettsyrer.
3. Vanlig rapsolje [73] er en mye brukt frityrolje og er kjøpt inn til testing av anlegget. Skal regne med 15%, 30% og 60% innhold av frie fettsyrer.

Mengden frie fettsyrer varierer etter hvor blant annet steketemperatur, steketid, hvor gammel oljen er. Det er interessant å teste med 30 % og 60% for å virkelig kunne gjøre nytte av de oljer som karakteriseres som avfall.

Masseberegningene ligger i vedlegg E.

5 Utvikling av program for styring av anlegget

I dette kapittelet blir utvikling av program for PLS gjennomgått. Brukermanual ligger blant vedlegg.

5.1 Funksjonsbeskrivelse og krav til program

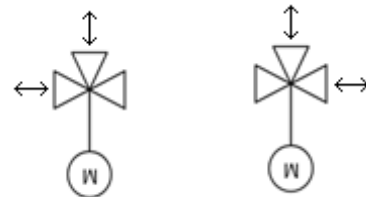
BioMax skal kunne bruke flere forskjellige katalysatorer, oljer og alkoholer. Derfor skal parametre som temperatur, strømningshastighet og oppholdstid enkelt kunne endres og optimaliseres.

Under arbeidet med styringen er det blitt tatt utgangspunkt i gitte parameter som er satt med tanke på valg av katalysator og begrensningen i at anlegget ikke er bygget for høyere temperaturer enn 90 °C.

Før man kan starte prosessen skal brukt frityrolje være silt for matrester og aske. Det kjøres batch der ti liter olje fylles på i miksertank 1 (Vedlegg D). I alkoholtanken må det være 3,5 liter etanol. I reaktor 1 fylles det på minimum 230 g med katalysatoren Amberlyst®15. I reaktor 2 fylles det på minimum 370g med katalysatoren CaO.

Tabell 5-1: Verdier som brukes i programmeringen og som er tatt tiden på.

Funksjon	Tid (sek)
Endre posisjon på 2-veis ventil	12
Endre posisjon på 3-veis ventil	24
Akselerasjonstid pumpe	3
Akselerasjonstid sentrifuge (kan endres)	30
Tømming akkumulatortank	38



Figur 5-2: Venstre posisjon.

Figur 5-1: Høyre posisjon.

Funksjonsbeskrivelsen refererer til ventiler og komponenter merket i P&ID i Figur 3-23.

Programkoden ligger i vedlegg J. I kursiv står kort hensikt med programmet før det forklares grundigere i avsnittet under.

Program: Alkohol til miksertank 1

Det pumpes 7dl etanol inn i miksertank 1.

«Alkohol til miksertank 2» må være av før CV013 stenges og CV011 åpnes. Etter 12 sek starter pumpe 6. Programmet stoppes når 7 enheter (dl) alkohol er pumpet ut av alkoholtanken.

Program: Varming av miksertank 1

Olje-etanolblandingen i miksertank 1 varmes opp til 75 °C.

Utvikling av program for styring av anlegget

Minimum mengde olje må være i tanken før ventilene CV002 og CV003 stenges, CV001 åpnes og CV005 stilles til venstre posisjon. Etter 24 sek starter pumpe og varmeelement. Varmeelementet står på helt til temperaturen når 75°C mens pumpa kjører 20 sek lenger.

Program: Sirkulering miksertank 1

Esterifisering av oljen starter i reaktor 1.

«Overføre fra miksertank 1 til 2» må være av før ventilene CV007 og CV009 stilles til høyre posisjon og CV008 stenges. Etter 24 sek starter pumpe 3, som kjøres på hastighet 6 dl/min (2 av 10 V fra frekvensomformer) i 2 timer.

Program: Tømme reaktor 1

Reaktor 1 tømmes for olje.

«Sirkulering miksertank 1» skal være av før ventil CV007 stilles til høyre posisjon og CV008 åpnes. Pumpe 3 går i 5 sek før FT1 tar over og stopper pumpa når strømningshastigheten er under 0,2 l/min (tilnærmet ingen strømming).

Program: Overføre til miksertank 2

Oljeblandingen sendes videre til neste steg, transesterifisering i miksertank 2.

«Sirkulering miksertank 1» må være av før ventilene CV009 og CV007 stilles til venstre posisjon. Pumpe 3 kjører i 5 sek før FT1 eller LT3 stopper pumpa, enten pga. lav strømningshastighet eller for mye olje i miksertank 2.

Program: Alkohol til miksertank 2

Det pumpes 2,8 liter etanol inn i miksertank 2.

«Alkohol til miksertank 2» må være av før CV011 stenges og CV013 åpnes. Etter 12 sek starter pumpe 6. Programmet stoppes når 28 enheter (dl) alkohol er pumpet ut av alkoholtanken.

Program: Varming av miksertank 2

Oljeblandingen i miksertank 2 varmes opp til 60 °C.

«Kondensator» må være på før CV003 stenges, CV004 åpnes og CV006 settes i venstre posisjon. Etter 24 sek starter pumpe 1 hvis CV004 er åpen. Varmeelementet starter 10 sek etter pumpe 1 og går når TT4 er under 60°C, TT1 er under 85°C og pumpe 1 går.

Program: Sirkulering miksertank 2

Transesterifisering av oljen starter i reaktor 2.

Ventil CV015 og CV010 stilles til høyre posisjon og CV012 stengt. Etter 24 sek starter pumpe 4, som kjøres på hastighet 6 dl/min (2 av 10) i 3 timer.

Program: Tømme reaktor 2

Reaktor 2 tømmes helt

«Sirkulering miksertank 2» skal være slått av før CV015 stilles til høyre og CV012 åpnes. Pumpa går i 12 sek før FT2 tar over og stopper pumpa når strømningshastigheten er under 0,2 l/min.

Program: Sentrifugere

Glyserol sentrifugeres ut av væsken og sendes til egen oppbevaring.

CV015 og CV010 stilles til venstre posisjon, CV014 åpnes, sentrifugen starter. Etter 12 sek, starter pumpe 4 og den kjører på halv fart. Når LS3 gir signal om at væskenivået er i toppen av tanken starter pumpe 5 og kjører i 38 sek, den kjører også når programmet manuelt stoppes på kontrollenheten, for å tømme tanken.

Program: Kondensator

Starter kondensatoren

Så lenge det er vann i kald tank så går pumpe 2. CV002 og CV004 stenges.

Program: Koking i miksertank 2

Blandingen varmes opp til 80 grader og holdes ved 80 °C i 60 min til etanol er fordampet.

«Kondensator» må være på før CV001 og CV004 stenges, CV003 åpnes og CV005 stilles til venstre posisjon. Etter 24 sek starter pumpe 1 hvis CV003 er åpen. Varmeelementet starter 10 sek etter pumpe 1 og går når TT4 er under 80°C, TT1 er under 85°C og pumpe 1 går.

Program: Kjøling miksertank 2

Blandingen er for varm til å tappes direkte, så den kjøles ned til 40 °C.

«Varming miksertank 2» skal være av før «kondensator» stoppes, CV003 og CV002 stenges, CV004 åpnes, CV006 stilles til høyre posisjon og pumpe 2 starter hvis TT3 viser over 40°C. Når programmet er ferdig starter «kondensator».

Program: Tømme miksertank 2

Ferdig biodiesel pumpes ut av BioMax.

CV015 til venstre posisjon. Pumpe 4 kjører i 5 sek før FT2 tar over og stopper pumpe 4 når FT2 er under 0,2 l/min.

5.1.1 Program som kan kjøres samtidig:

- Trinn 1 og trinn 2 kan operere uavhengig av hverandre, det eneste som binder dem sammen er «overføring til miksertank 2». Dette gjør at «Sentrifugere» eller «Sirkulering miksertank 2» kan kjøres samtidig med «Sirkulering miksertank 1» blant annet.
- «Alkohol til miksertank 1» kan kjøres samtidig med både «Sirkulering miksertank 1» og «Varming av miksertank 1».
- «Alkohol til miksertank 2» kan kjøres samtidig med både «Sirkulering miksertank 2» og «Varming av miksertank 2».
- «Varming miksertank 1» kan kjøres samtidig med «Varming miksertank 2».
- «Starte kondensator» kan kjøres uavhengig av andre programmer.

5.1.2 Program som ikke kan kjøres samtidig:

- «Overføring til miksertank 2» kan ikke kjøres når sirkulering skjer i trinn 1 eller 2.
- «Kjøl miksertank 2» kan ikke kjøres samtidig som «Varming miksertank 2» eller «Koking».
- «Sentrifugering» kan ikke kjøres samtidig med «Sirkulering miksertank 2».
- «Alkohol til miksertank 1» og alkohol til miksertank 2» kan ikke kjøres samtidig.

5.2 Programmering

PLS er en styreenhet som kan utføre forhåndsprogrammerte handlinger. PLS'en består i hovedsak av en CPU, interne minneområder og I/O (innganger/utganger).

Programmet SoMachine Basic V1.5 fra Schneider Electric blir brukt til å programmere PLS-styringen. Programmet er gratis og kan lastes ned fra hjemmesiden til Schneider.

Forklaring av programmet

Hvert "program" har sin egen POU (Program Organization Unit). Med program menes et prosess-steg som kan startes fra menyen i displayet. Hver POU er bygd opp av flere «runger». En rung har et eller flere inngangssignaler, og kan inneholde betingelser eller funksjoner før den gir et eller flere utgangssignaler.



Figur 5-3: Eksempel på rung.

Stigeprogrammering fungerer slik at alle signaler inn til programmet leses, så kjører programmet gjennom alle runger og samler opp utgangssignaler før den utfører alle samtidig. Det er derfor viktig at det bare gis signal til en utgang av gangen. Avlesning av inngangene har en høy frekvens, opp mot 5000Hz.

Displayet kan vise minner og input, starte programmer og endre analoge utganger.

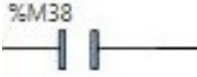
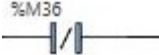
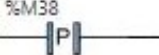
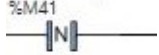
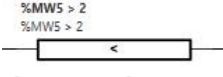

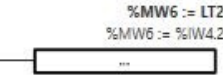



Digitale inngangsadresser er merket %Ix.xx, digitale utgangsadresser er merket %Qx.xx, analog utgangsadresser er merket %QWx.xx, analog inngangsadresser er merket %IWx.xx. Første tallet før punktum angir hvilken modul adressen viser til, for eksempel adressen IW2.13 er signalet som er koblet til modul 2 på inngang 13. PLS'en sjekker ikke om noen av adressene overlapper hverandre, så det er viktig å ha kontroll på hvilke adresser som er i bruk.

I tillegg til I/O adressene har PLS'en et internminne som kan brukes til mellomlagring av variabler, disse er merket med %Mxxx.

Programmet er gått gjennom og effektivisert, kortet ned på antall linjer. Så lenge det ikke går utover forståelse av programmet. Det kommer til å bli jobbet videre med andre studenter så det er viktig at koden er forståelig.

I Tabell 5-2 er de logiske blokkene som er brukt i programmet vist. Koden ligger i vedlegg J.

Tabell 5-2: Logiske blokker som er brukt i programmet.

Operasjon	Bilde
Kontakt (Contact)	
Benektet kontakt (Negated Contact)	
Stigende kant (Rising edge)	
Fallende kant (Falling edge)	
Sammenligningsblokk (Comparison block)	
Tidtaker: teller ned fra gitt tid og forsinker signalet (TON) eller forlenger det (TOF).	
Operasjonsblokk	
Spole	
Set spole	
Reset spole	

6 Funksjonstesting

Det er gjennomført en funksjonstest av BioMax for å avdekke eventuelle feil og mangler med anlegget. Videre følger en oppsummering av registrerte feil og mangler, og tiltak for utbedring.

6.1.1 Funksjonstesting av komponenter

Temperaturtransmittere

- *De flimrer mellom alle verdiene eller viser bare null.*

Utført endring: Kobler i serie, kontakt nr. 1 til 24V og kontakt nr. 2 til PLS. Kalibrerer temperaturverdiene fra -50 og til 150 °C.

Nivåtransmittere

- *De gir ikke rett mengder selv etter kalibrering.*

Utført endring: Benytter Fusion 360 til å nøyaktig beregne volumet i tank minus spiral og nivåtransmitter. Dette gir et mer nøyaktig resultat.

Nivåbryter

- *Nivåbryteren i akkumulatortank er montert i toppen av tanken ikke i bunn slik den var tiltenkt.*

Utført endring: Endring skjer i hvordan tømningen blir programmert.

Strømningstransmitter

- *Strømningstransmitter 2 er koblet feil vei.*

Utført endring: Kobler til riktig vei.

Aktuerte 3-veisventiler

- *De er ikke stilt inn til å rotere 180° før de ble montert.*

Utført endring: Justerer de to øverste «skivene» slik at ventilen roterer 180 grader (t-ventil).

- *Aktuert ventil 15 er koblet speilvendt*

Utført endring: Endrer P&ID, slik at høyre og venstre blir rett.

Pumper

- *Pumpe 5 og 6 har feil pumperetning.*

230V var koblet på hjelpespolen, ikke hovedspolen slik den skal. Utført endring: Kobles om slik det står anvist på koblingsskjema til motoren.

- *Pumpe 3 har feil pumperetning.*

Utført endring: Kobler PLS-signalkabel fra «forward» til «reverse» på frekvensomformer ASD02.

- *Pumpe 3 og 4 greier ikke skape undertrykk i luft når de er montert i toppen av ramma.*

Utført endring: Legger pumpene i bunn og fyller systemet så godt som mulig med olje.

Varmer

- *Varmeren er koblet feil, inn i topp og ut i bunn.*

Utført endring: Kobler om.

- *Skittent vann i varm sirkuleringsløyfe, oljerester fra varmer og smørefett fra slangenippler samles opp i varm tank.*

Utført endring: Skifter vannet i systemet 2 ganger.

- *Varmeren sluttet å fungere.*

Det er kjøpt nytt. Det er montert en ekstra temperaturtransmitter ved utløpet fra varmeren for å unngå gjentakelser.

Reaktor

- *Reaktoren er ikke tett.*

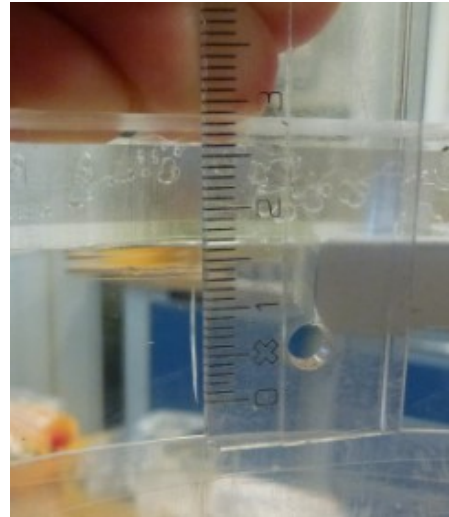
Utført endring: Fjerner ytterste rør, lager ny pakning og smører inn med olje.

- *Ikke nok undertrykk til at tilbakeslagsventilen åpnes helt.*

De fjernes.

- *Sprekk i reaktor*

Det er oppdaget en sprekk (12,5 mm lang) i toppen av reaktorveggen på reaktor 1 (Figur 6-1). Sprekken er sjekket kontinuerlig og siste gang 01.05 og har ikke vokst.



Figur 6-1: Sprekk i toppen av reaktor 1.

PLS

- *Sikring slår ut og PLS hovedmodul sluttet å fungere.*

Utført endring: Sikring skiftes. Det er kjøpt ny hovedmodul da reklamasjonstiden var usikker. Det er derfor en ekstra hovedmodul til overs.

Funksjonstesting

Glyseroltank

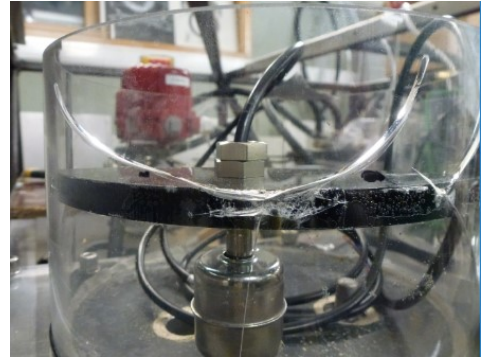
- *Sveisenippelen festet til bunnen av glyseroltanken løsnet.*

Utført endring: Laget en slangeforlenger som fører glyserol ned i midlertidig oljekanne.

Vanntank

- *Krakkelering i tankvegg*

Setter på nytt tankvegg og endrer festeanordningen for nivåbryteren.



Figur 6-2: Krakkelering i vanntank

6.1.2 Funksjonstesting av hele anlegget

Kjøling miksertank 2

-Vannstrømmen fordeles ikke mellom kondensator og miksertankene

Se diskusjon.

Varming

- *Greier mest sannsynlig ikke varme miksertankene opp til ønsket temperatur.*

Se diskusjon.

Reaktor

- *Reaktoren fylles ikke opp med olje*

Se diskusjon.

7 Diskusjon

I dette kapittelet er sikkerheten i og ved anlegget diskutert. Svakheter ved anlegget nevnes sammen med mulige tiltak. Det vurderes om BioMax er egnet som læringsplattform og kommersielt biodieselanlegg.

7.1 Forhold ved anlegget

7.1.1 Brukersikkerhet

Det er viktig at BioMax er sikkert og kan benyttes uten fare for operatør eller elever. Videre er det gitt en vurdering av brukersikkerheten til anlegget.

Ved normal drift av anlegget er det liten risiko for at folk rundt kan bli skadet. Det er relativt lave temperaturer (<90°C), det opereres ikke med vesentlig trykk over atmosfærisk trykk og det er ingen bevegelige deler som ikke er beskyttet.

Ved feil bruk kan det imidlertid oppstå farlige situasjoner ved anlegget. Det kan for eksempel skje ved at programmet blir endret på eller at komponenter slutter å fungere slik de er tiltenkt.

Det mest kritiske er om en pumpe blir blokkert, av ventil eller fremmedlegeme i tank eller rør. Da vil det kunne bygges opp trykk på inntil 10 bar (maks dimensjonert mottrykk på pumpe). Det kan også skje ved lukking av de manuelle 3-veisventilene HA002 og HA005, da disse er plassert rett etter pumpe.

Ved blokkering mellom pumpe og ventil er det mest sannsynlig at slangen vil sprette av slangenippelen. Slangenippelene er smurt med fett før de ble trykket inn i slangeenden og de klemmes bare sammen av en slangeklemme.

Mulige blokkeringer (spesielt ventiler) kan skje når nye personer begynner å sette seg inn i programmet og anlegget. Det er derfor viktig å være årvåken og benytte nødstopppknappen når det kommer ulyder, eller når det høres at pumpa går tyngre.

Det er ikke lagt inn noe svakt punkt på anlegget som vil ryke tidlig ved blokkering for å beskytte andre mer kritiske komponenter fra å ødelegges (les reaktor). Styringen som er laget er testet og det er sjekket at ventilene ikke lukkes rett etter pumpe. Ved videre arbeid med styringen av elever vil det imidlertid være hensiktsmessig å lage svake punkter og da er den beste løsningen å løsne slangeklemmene på slangebiten etter pumpe (så lenge det ikke begynner å lekke).

Om det skjer en blokkering vil komponenter kunne ødelegges og i verste fall eksplodere (brå trykkendring). Det vil kunne spre seg deler av plast og metall og væske i form av etanol, metanol, olje og/eller vann på opp mot 90°C. Etanol og metanol er begge brannfarlige og metanol er i tillegg giftig.

En god løsning er å installere sikkerhetsventiler etter alle pumper. Sikkerhetsventilen åpnes når trykket overstiger forhåndsinnstilt verdi. Det vil fjerne eksplosjonsfaren helt.

Diskusjon

Det er viktig å behandle alkohol og katalysator med omtanke. Metanol som kan brukes på anlegget er som sagt giftig, se 2.2.4 Alkoholer. Katalysatorene er sterke syrer eller baser og kan være skadelige ved kontakt. Det må være påbudt å bruke støvmaske, øyebeskyttelse og hansker ved håndtering av katalysatorene, og sikkerhetsutstyret må ligge lett tilgjengelig.

På BioMax er det ikke lagt inn noen form for varsling ved unormale forhold. I stedet for å varsle når temperaturen bli for høy så stoppes varmeelementet. En mulig varslingsfunksjon som kunne vært hensiktsmessig å ha i anlegget er en alkoholdampsensor. Den vil kunne oppdage alkoholdamp som tyder på en lekkasje. Da ville det kunne stoppe anlegget og utøse en alarm om at det er brann/eksplosjonsfare og at det må luftes og folk må trekke unna anlegget.

7.1.2 Fare for materielle skader

BioMax er tenkt som et enkelt prosessanlegg i tillegg til en testrigg. Det er derfor viktig at engasjerte studenter uten god kjennskap til BioMax kan bruke det. Samtidig må anlegget være bygget så det ikke så lett ødelegges ved feil bruk. Derfor gjøres det i oppgaven en vurdering av fare for eventuelle materielle skader på anlegget. Dette er med i bedømmelsen av hvem som kan bruke anlegget, og hvor mye innføring/opplæring de må ha for å kunne holde på med det.

Det er mange ting som kan ødelegges ved feil bruk. Hvor kritisk det er avhenger av pris og tilgjengelighet på komponent og hvor lett det kan skje et uhell med komponenten. Nedenfor er de komponentene som anses som mest kritiske listet opp og hvilke tiltak som er gjort for å sikre dem.

Varmeelementet: Det er montert et kraftig varmeelement beregnet på oljer med høyere kokepunkt enn vann. Den manuelle termostaten på varmeelementet er ikke merket. Under testing av varmeelementet ble det kortsluttet. Det er gjort tiltak for å sikre komponenten, men ved feil bruk kan det kortsluttes. Den manuelle reguleringen av termostatstyringen i toppen av varmeelementet bør kunne låses på lav varme. Med en slik løsning vil risikoen for kortslutning bli vesentlig redusert.

Pumper: Tørrkjøring av pumper over lenger tid kan føre til havari. Størst fare for tørrkjøring er på de pumpene som kjører med vann og alkohol. Pumpene med olje smører pumpehuset godt og risikoen er mindre. Det er mulig å høre på pumpene når de tørrkjører, men det kan igjen bli vanskelig når flere pumper går samtidig.

Feilkobling av **sensorer** og **elektriske** komponenter kan føre til kortslutning.

Det er viktig å passe på at metallspen ikke kommer inn i slanger eller i akslingene til pumpene. Det kan ødelegge eller redusere virkningen av strømningstransmittere og pumper.

Det er å anbefale at de som skal holde på med BioMax har grunnkunnskaper i elektronikk, elektroteknikk (pumper) og fått innføring/veiledning fra noen med erfaring fra BioMax eller tilsvarende anlegg. Det anbefales at elever som skal gjøre endringer på anlegget har fullført 2. klasse eller har relevant fagbrev.

7.2 Svakheter ved anlegget

BioMax fungerer i hovedsak som tiltenkt, men det er flere komponenter som bør endres eller forbedres. Dette er spesielt viktig ved eventuell kommersialisering.

7.2.1 Varmesystemet

Varmesystemet fungerer ikke som ønsket:

1. Overslagsberegninger vist i vedlegg G viser at det kan ta lang tid, (5 timer) å dampe bort all etanol med eksisterende varmesystem. Dette er for lang tid.
2. Det ikke mulig å koke bort rester av vann. Mengden vann i biodieselen øker i takt med innholdet av frie fettsyrer (vedlegg E), og har en hemmende effekt på utbyttet av biodiesel. Dersom anlegget skal kommersialiseres eller brukes til videre forskning er det viktig å få fjernet rester av vann.

Varmesystemet er begrenset av energibæreren, vann. Hvis vannet overstiger 100 grader vil faseovergangen skje og vann vil utvide seg til damp, noe som vil skape økt trykk i rør og spiral. Vannets faseovergang til damp gjør at vannet reduserer sin kjølede effekt, dette øker risikoen for at varmeelementet kortsluttes.

Fordamping er nok en av grunnene til at varmeelementet kortsluttes. For å være sikker på at dette ikke skjer igjen er det montert en temperaturtransmitter ved utløpet til varmeelementet. Det vil gi en rask og nøyaktig måling av temperatur rett etter varmeelementet. Med tilhørende programmering av utkobling av varmeelementet når temperaturen blir for høy unngås det at varmeelementet kortslutter.

En mulig metode for å få miksertanken varmet opp til over 100 °C er montasje av varme-folieelement utenpå tanken. Det er et varmeelement som er støpt inn i glassfiberforsterket silikongummi. Disse elementene festes på utsiden av tanken og varmer opp tanken som igjen varmer opp væsken inne i tanken. Syrefast stål som er i miksertankene har god konduktiv ledningsevne og er dermed godt egnet, men det må likevel regnes med varmetap. Varmetapet kan begrenses med isolasjon rundt varme-folieelementene. Folieelement er mindre brannfarlig (mindre energiintens per areal) og mer effektiv (mindre varmetap) enn eksisterende løsning. Den kan fungere i kombinasjon med eksisterende løsning eller erstatte den helt.

Ved varming av oljen til over 100°C vil vannet i spiralen koke, og fordampningen vil skape en lokal trykkøkning. Systemet er åpent, det er ikke konstant trykk i systemet, så moderate hastigheter på denne trykkøkningen vil fordeles i systemet og forsvinne ut. Det anses derfor ikke som noen stor fare eller risiko å gjøre det på denne måten. Oljen kjøles ned av kaldtvannet i spiralen etter kokingen.

Ved oppvarming til over 100°C i miksertankene er det noen forhold som må vurderes:

- Slangene er beregnet for maks 100°C.
- Nivåtransmittere er beregnet for maks 75 °C
- Temperaturtransmitterne er beregnet for maks 150 °C

Diskusjon

- Kabelgjennomføringer er beregnet for maks 80°C.

De to slangedelene under miksertanken kan skiftes til syrefast stålrør som tåler varmen. Nivåtransmittere kan fjernes fra tanken og da trengs heller ikke kabelgjennomføringen. Å vite nivået i miksertankene er fint, men de er ikke uunnværlige og brukes med dagens program bare et par ganger for ekstra sikkerhet mot overfylte tanker (altså ikke kritisk).

Oppvarming av væsken i miksertankene vil ikke øke faren ved en eventuell blokkering, dette er diskutert tidligere i delkapittelet. Dette fordi oppvarmingen og de høye temperaturene bare opptrer i miksertanken, og væsken skal kjøles ned før den transporteres videre.

7.2.2 Kjølesløyfe

Det er oppdaget at det ikke transporteres vann inn til kjølespiralene i miksertankene når ventilene åpnes, det medfører ingen kjøling i miksertankene. Høyeste punkt på kondensatorsløyfen er lavere enn høyeste på miksertanksløyfene, noe som gjør at vannet tar letteste vei gjennom kondensatoren. Dette merkes spesielt godt når kondensatorsløyfen brukes før kjølingen og det allerede er fart i kondensatorsløyfen som ved hjelp av hevertprinsippet drar vannet dit. Mulig løsning er å sette en strupeventil på kondensatorsløyfen slik at det strømmer mindre vann der. Ved å strupe kondensatorsløyfen vil det bygges opp trykk nok til at det også strømmer vann i miksertankene.

7.2.3 Hele varme- og kjølesystemet

Det er brukt samme ½" slange av nitril på hele anlegget. Varme- og kjølesystemet er bare i kontakt med vann og kan endres til 3/8" (spiral i miksertankene og kjøler er i 3/8") i et annet rimeligere materiale.

Varme- og kjølesystemet bruker samme materialer som resten av anlegget: pumpehus er i bronse mens ventiler og ansatsnippler er i syrefast stål. Komponentene er valgt med tanke på å tåle korrosjon fra diesel, men varme- og kjølesystemet er bare i kontakt med vann så alle komponentene kan byttes ut med komponenter i messing, og kanskje også plast.

Det er en del svakheter med varme- og kjølesystemet. Varmesystemet greier ikke høye temperaturer mens kjølesystemet ikke greier å kjøle miksertankene tilstrekkelig. Et forslag til nytt varme- og kjølesystem er vist i vedlegg F.

Som undervisningsanlegg er ikke temperaturbegrensningene like kritisk. Det kan sees på som et sikkerhetstiltak å holde seg under 100°C, men på bekostning av utbyttet.

7.2.4 Akrylplast

Akrylplast (PMMA) er et lite egnet materiale for prosessanlegg. Tanker av pleksiglass er skjøre og lite driftssikre sammenlignet med tanker i syrefast stål. Gjennomsiktigheten gjør imidlertid at de er veldig egnet for undervisning og elevantlegg og det er enkelt å følge med på endring i væsknivå. Dette gjør at man får en bedre forståelse for hva som skjer i anlegget og raskt kan oppdage hva som er gjort (feil) ved programmering av styring.

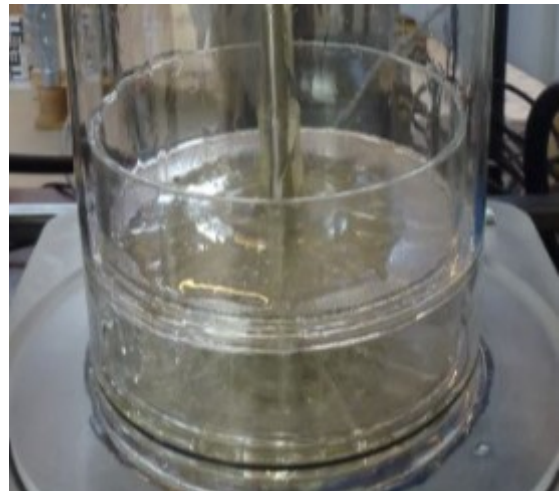
Det er oppdaget følgende problemer med Pleksiglass:

1. Laserkuttet akryl og alkohol kan føre til krakelering (sprekddannelse) i akrylet. Høy varme i konsentrert laser fører til store spenningskonsentrasjoner i akrylet. Alkohol angriper akryl og fører til spenningskorrosjon i materialet. Laserkuttet akryl og alkohol passer derfor ikke sammen og fører til krakelering så fort de er i kontakt.
2. En av to like vanntanker har krakelert på grunn av laserkutting (den har ikke vært i kontakt med alkohol). Acrifix 1-komponentlim er laget for liming av akryl. Det reagerer med akrylet og «smelter» overflatene sammen. Tankveggen (4 mm trykk) er ikke laserkuttet, men det var likevel denne som sprakk. Delen som skal holde nivåbryteren i bunnen av tanken er laserkuttet og limt til veggen med Acrifix. Denne platen er dobbelt så tykk (8 mm) og det er nok grunnen til at den ikke sprakk.
3. Det er en liten sprekk i reaktoren. Det er ingen andre tegn på fysisk skade så det er nok en utmattingssprekk. Det kan brukes en dremel for å slipe ned sprekken og fylle med Acrifixlim.

Akryl er ikke langtids bestandig i kontakt med løsemiddel som alkohol, så alkoholtank bør byttes. Det må ved videre arbeid på BioMax vurderes hvilke komponenter som kan lages i Akryl. Læringsutbytte kontra robusthet og bruksegenskaper må vurderes.

7.2.5 Væsken strømmer bare i midten av reaktoren.

Reaktoren har strømningsretning fra topp til bunn. På Figur 7-1 vises det at oljen trekker gjennom nettingen og lager en sirkel i utbredelse, oljen fordeles ikke helt ut i kantene. Disse skålene skal fylles med katalysator og når oljen renner over katalysatoren så kan det bli en væskesøyle i midten. Det betyr at oljeblandingen renner rett gjennom katalysatoren i midten av reaktoren, mens katalysatoren i ytre kant av reaktoren ikke er i kontakt med oljeblandingen. Katalysatoren får redusert kontakt med oljen og dermed ikke full effekt.



Figur 7-1: Bilde av reaktor under sirkulering.

Det er ikke sikkert det samme vil skje når det fylles på med katalysator. Med katalysator vil det være et 4 cm pakket lag med økt friksjon, og ikke en tynn netting. Men katalysatoren har større partikkelstørrelse enn maskestørrelsen til nettingen som skal holde den på plass, så det er sannsynlig at noe lignende også vil opptre når begrene er fylt med katalysator. Det er flere faktorer som avgjør om en slik hendelse vil opptre: væskehastighet, friksjon gjennom katalysatoren og væskespeilet i reaktoren.

Om væskespeilet kunne justeres i reaktoren hadde det ikke vært noe problem, men dette er ikke mulig på BioMax. Det er samme pumpe som trekker væske inn i reaktor og som trekker

Diskusjon

væske (like mye) ut av reaktoren. Siden ventil i toppen av reaktor åpnes og reaktoren tømmes etter fullført reaksjon så kommer den alltid til å være «tom».

Ved testing av reaktoren er det observert følgende: Ved olje i reaktoren og pumpen starter, så synker væsknivået 3-4 cm før det bygges opp en væskestrøm fra toppen av reaktoren. Etter et par sekunder greier undertrykket i reaktoren å dra oljen over i reaktoren. Det vil ta kortere tid når miksertanken er full (høyere vannspeil → lavere pumpehøyde), men det vil likevel ta litt tid. Mengden væske som kommer inn i reaktoren er lik mengden som pumpes ut, så reaktoren kommer ikke til å fylles med olje. Dette forsterker faren for at det dannes en væskesøyle, altså at det bare renner olje i midten av katalysatorbegrene.

Mulige løsninger for å bedre dette forholdet kan være:

1. En løsning er å skifte retningen på væskestrømmen i reaktoren. Hvis væsken suges oppover i reaktoren vil det ikke dannes noen «søyle» i midten, da det bare er undertrykket som drar væsken oppover. Det er avhengig av at pumpa (5mVs sugekapasitet) greier å suge væsken gjennom reaktoren. Overslag (Vedlegg H) viser at dette er mulig, men med færre katalysatorbegre og redusert væskehastighet. Denne løsningen krever at et t-stykke må flyttes (Vedlegg H).
2. En ufullstendig og midlertidig løsning for reaktor 1 er å manuelt fylle oljen i reaktoren før sirkuleringen starter. Dette kan ikke gjøres i reaktor 2.
3. En løsning er å plassere pumpen før reaktor og pumpe istedenfor pumpe oljen oppover i reaktoren. Reaktoren er ansett som svakeste komponent på anlegget så det er en risiko ved dette. Men med sikkerhetsventil ved reaktor skal det trolig gå bra.

Dagens løsning bør først testes med glasskuler på størrelse med katalysatoren og videre med katalysator for å avkrefte/bekrekte om det dannes en væskesøyle. Deretter kan foreslåtte løsninger blir implementert og testet på samme vis.

7.2.6 Elskapet

Elskapet har vist seg å være for lite. Det gjør at EL-skabet ikke er så oversiktlig som det kunne ha vært.

- Det mangler rekkeklemmer. Alle ledninger skal egentlig være festet i rekkeklemmer som skal koble det som er utenfor skabet til det som er innenfor. Derfor er komponentene koblet direkte i PLS.
- Frekvensstyring til sentrifugen er plassert utenfor skabet.
- Det er ikke mulig å sette inn flere elektriske komponenter i skabet, noe som vanskeliggjør utvidelser og modifikasjoner på BioMax.

7.3 Styring/program

Stigeprogrammering er brukt i denne oppgaven og er å foretrekke på undervisningsversjonen av BioMax, da det er en oversiktlig og visuell måte å programmere styring på. Det har tatt tid å sette seg inn i programmet. Vurderingen er at programmet hovedsakelig fungerer godt, og bare har en svakhet: det er ingen varsel for samtidig bruk av like utganger. Dersom «pro» versjonen SoMachine V4 har denne funksjonen må det vurderes om framtidige versjoner av BioMax kan oppgraderes med «pro»-versjonen.

Det er et større prosjekt å implementere en avansert MPC-styring. Det gir en mye mer optimal prosesstyring på store anlegg og er derfor foretrukket i prosessindustrien. Dette er i så fall rettet mot kommersialiseringen av anlegget.

Det ble vurdert om hele anlegget skulle automatiseres med ett program, men dette er det gått bort i fra. Det er enklere å teste koden med oppdeling av programmet og det er en fordel å kunne vise deler av prosessen når anlegget skal brukes i undervisning. Med kunnskapen opparbeidet i arbeidet med denne oppgaven ansees det ikke som en stor jobb å sette programmene sammen for full automatisering av BioMax-anlegget.

Det foreslås følgende videreutvikling av styringen:

- Automatisere styringen ved å lage et ekstra program der en knapp kjører hele prosessen.
- Starte logging av data fra gjennomkjøringer og optimalisere innsatsfaktorer og parameter som temperatur, reaksjonstid og strømningshastighet.

7.4 Valg av alkohol og katalysator

Ved kommersiell bruk eller ved bruk som testanlegg er det kritisk å ha så ren etanol som mulig. Vann har en begrensende virkning (30% reduksjon ved 5% vann i etanol) på esterutbyttet under biodieselproduksjon (se delkapittel 2.2.4 Alkoholer). For læringsplattform vil det være en ekstra kostnad og ikke nødvendig med samme renhet. Det er også usikkert hvor lenge det går å opprettholde etanolen ved høy renhet (>96%) ved bruk under esterifisering og senere gjenbruk. Etanol tar som kjent til seg fuktighet fra luft.

Ved kompakt-lag-reaktor («packed bed») avgjør mengden katalysator sammen med strømningshastigheten hvor lenge oljen er i kontakt med katalysatoren. Prosentmengde katalysator som er foreslått er hentet fra forsøk der en heterogen katalysator er kontinuerlig omrørt i en reaktor og mengden er derfor ikke direkte overførbare. Reaksjonstiden kan derfor bli lenger enn antatt, men dette krever det testing for å dokumentere.

Anlegget er i testfase så det er viktig å ha katalysatorer som gjør det mulig å sammenligne BioMax med kommersielle industrieanlegg og forskningsresultater. Da er det mulig å finne en virkningsgrad på anlegget. Dette må gjøres før det kan eksperimenteres med katalysatorforskning.

7.5 Undervisningsplattform og læringsutbytte

Med gjennomslittige reaktorer og tanker sammen med sensorene er det oversiktlig og enkelt å se hva som skjer og anlegget vil være egnet for bruk til en undervisningsplattform. Det er en del svakheter i designet som er fine og lærerike oppgaver for elever å forbedre.

Elever vil lære hvordan flytdiagram, P&ID, koblingsskjema og beskrivelser av anlegget tolkes og oversettes til et fysisk anlegg. De vil få kjennskap til styring og optimalisering av et prosessanlegg. PLS er mye brukt i industrien selv om mer avansert MPC-styring brukes på de største anleggene. Elever får praktisk kjennskap til de fysiske komponentene prosessanlegg, reaktorer og miksertanker så vel som mindre deler som ansatsnipler, T-stykker, slangenippler, festeanordninger, pakninger og så videre.

BioMax kan eventuelt også selges som læringsplattform, selv om mye av læringen ligger i utviklingen av anlegget. Anlegget har likevel stort potensiale som et lite prosessanlegg for undervisning også på andre skoler. Før eventuelt kommersielt salg bør det imidlertid gjøres endringer som er beskrevet i delkapittel 7.7.

7.6 Kommersiell småskala bioraffineringsanlegg

Det er ingen andre lignende mobile anlegg for mikroskala biodieselproduksjon med heterogen katalysator ute på markedet. Det er ikke gjort noen kostnadsanalyse for BioMax, noe som vil være nødvendig før en går videre og prøver å selge det som kommersielt småskala bioraffineringsanlegg. Markedet for produksjon av biodiesel er usikkert og det er styrt av statlige tiltak. Det kan hende at teknologi må modnes og nasjonale subsidier og omsetningskrav stabiliseres for at gårdskonseptet vellykket kan kommersialiseres. Fram til da bør det jobbes videre med mer omfattende testing av anlegget og endring på svake ledd i prosessdesignet.

Punkter som vil være relevante ved en kommersialisering av BioMax:

- Implementere forbehandling: Dersom anlegget skal utvikles for småskala produksjon ved bedrifter, gårder og lignende så kan neste steg være å implementere filtrering i selve anlegget. Brukt fritureolje er vanlig å selge ubehandlet/ufiltrert og oljen inneholder derfor matrester og askeprodukter. For å fjerne disse komponentene bør fritureoljen gjennomgå filtrering før det kan helles på BioMax. Skal det brukes brukt fritureolje så må filtreringen uansett gjøres og da vil det være praktisk at dette er en del av anlegget.
- Øke kapasiteten og se på muligheter for å kjøre hele prosessen kontinuerlig og ikke som batch.
- Vurdere andre formål for dette mobile prosessanlegget.

Punkter som må gjøres før mulig kommersialisering av BioMax:

- Økonomisk analyse av anlegget
- Markedsundersøkelse
- Eventuell spesialisering av anlegget etter markedsundersøkelsen

7.7 Dersom anlegget blir bygget på nytt:

Slik BioMax er laget er det liten mulighet for å utnytte gravitasjonskraften for overføring mellom tanker. Dersom anlegget bygges på nytt hadde det vært en fordel om en mer aktivt kunne brukt gravitasjonskrefter og bygget anlegget i høyden. Det hadde muliggjort naturlig fall mellom prosessstegene.

Følgende omgjøringene kunne vært gjort:

- Alkoholtank plasseres over miksertankene: Dette sparer en pumpe, varm etanoldamp stiger uten problemer opp til kondensatoren som er over alkoholtanken.
- Sentrifugen plasseres over miksertank 2: Da er pumpe og akkumulatortank overflødig.
- Designe varme- og kjølesystemet på nytt. Det brukes i dag 6 ventiler og 2 pumper på noe som ikke fungerer optimalt.
- Sirkuleringen mellom miksertank og reaktor er ikke optimal.
- Det er to helt like miksertanker og reaktorer. Det er mulig å skifte katalysator i den ene reaktoren og klare seg med bare en miksertank-reaktor-sløyfe. Det er vanskelig å optimalisere prosessen når reaktor 1 går i 2 timer og miksertank 2 går i 3 timer før den skal sentrifugeres og kokes (5 timer) i samme tank. Det må eventuelt flere tanker til (ekstra destillasjonstank) slik at separering blir et adskilt steg i prosessen.

7.8 Videre arbeid

For at anlegget skal fungere som en testtrigg eller pilotanlegg for biodieselproduksjon er det helt nødvendig å endre varme- og kjølesystemet. Dersom ikke hele varme- og kjølesystemet endres så er det 2 mindre forslag til utbedringer for utbytte, i tillegg er det to forslag for å øke sikkerheten som bør gjøres uansett:

Oppvarming

For å kunne koke bort vann og øke hastigheten på etanolkokingen kan det installeres folieelement. Norske Bakker AS er en leverandør av slike folieelement. Elementene leveres med effekter på 300 til 1500 W [74].

Nedkjøling av miksertank 2

Ved å montere en strupeventil på kondensatorsløyfen vil det også strømme vann inn til miksertank 2. Strupeventiler fås blant annet på TESS og WURTH [75].

Sikkerhet

Clas Ohlson og Biltema har begge sikkerhetsventiler som løses ut ved 8 bar og koster rundt NOK 125 [76, 77]. Sammen med t-stykker kan de installeres etter pumpene og kan enkelt skiftes dersom de utløses.

Diskusjon

Alkoholsensorer kan sammen med en Arduino gi signaler til PLS [78]. De registrerer ofte bare etanol, det er viktig å huske på dersom metanol brukes på anlegget.

Etter at utbedringene er gjort så blir det videre å teste med katalysator og alkohol og se hva utbyttet biodiesel blir på BioMax.

8 Konklusjon

I denne oppgaven er det arbeidet med ferdigstilling og igangkjøring av et nytt produksjonsanlegg for biodiesel – BioMax.

Følgende er gjort:

- Det elektriske anlegget er koblet inklusive styringssystemet (PLS), pumper, ventiler og transmittere.
- Det er utviklet program for styring av anlegget (PLS)
- De elektriske komponentene og styringssystem er testet.
- Anlegget er funksjonstestet.
- Anlegget er dokumentert med tegninger, P&ID og komponentbeskrivelse.

Det er valgt katalysator og alkohol til bruk i anlegget. Nødvendige funksjonstester med valgt katalysator og alkohol er ikke gjennomført, men det er ingen indikasjoner i arbeidet gjennomført som tilsier at anlegget ikke skulle kunne produsere biodiesel.

Anlegget er evaluert og det er kommet med forslag til utbedring basert på utbytte biodiesel og sikkerhet.

Til bruk ved undervisning fungerer anlegget tilstrekkelig.

BioMax anlegget er ikke egnet for kommersialisering på nåværende tidspunkt. Det er funnet en del svakheter i designet til anlegget. Det bør bygges nytt anlegg og jobbes med en økonomisk analyse og en markedsanalyse før det kan gjøres en ny vurdering av kommersialisering av anlegget.

Konklusjon

9 REFERANSER

- [1] Springboard Biodiesel. (09.04). *The BioPro 380*. Available: <http://store.springboardbiodiesel.com/>
- [2] Statens energimyndighet, "Marknaderna för biodrivmedel 2015," Fornybara flygbränslen vol. ER 2015:31, 2015.
- [3] Oranges N' Amour. (19.04). *Saponification*. Available: <http://orangesnamour.weebly.com/saponification-reaction.html>
- [4] Utah Biodiesel Supply. (08.04). *Photo galleries*. Available: <http://utahbiodieselsupply.com/photogalleries.php#processors>
- [5] U.S. Energy Information Administration (EIA). (10.05). *Monthly Biodiesel Production Report, July 2016*. Available: https://www.eia.gov/energyexplained/?page=biofuel_biodiesel_home#tab2
- [6] D. Bacovsky, N. Ludwiczek, M. Ognissanto, and M. Wörgetter, *Status of advanced biofuels demonstration facilities in 2012: A report to IEA Bioenergy Task 39*. IEA Bioenergy Task 39, 2013.
- [7] D. Ramesh, A. Samapathrajan, and P. Venkatachalam, "Production of biodiesel from *Jatropha curcas* oil by using pilot biodiesel plant," *The Jatropha Journal*, vol. 18, no. 9, pp. 1-6, 2006.
- [8] J. V. Gerpen, "Biodiesel processing and production," *Fuel Processing Technology*, vol. 86, no. 10, pp. 1097-1107, 6/25/ 2005.
- [9] C. O. Pereira, M. F. Portilho, C. A. Henriques, and F. M. Z. Zotin, "SnSO₄ as Catalyst for Simultaneous Transesterification and Esterification of Acid Soybean Oil," *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 25, pp. 2409-2416, 2014.
- [10] D. Dwivedi, A. K. Agarwal, and M. Sharma, "Particulate emission characterization of a biodiesel vs diesel-fuelled compression ignition transport engine: A comparative study," *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 29, pp. 5586-5595, 9// 2006.
- [11] A. E. Atabani, A. S. Silitonga, I. A. Badruddin, T. M. I. Mahlia, H. H. Masjuki, and S. Mekhilef, "A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 4, pp. 2070-2093, 5// 2012.
- [12] IPCC. (24.04). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change -Chapter 8: Transport*. Available: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter8.p
- [13] SSB. (24.04). *Utslipp av klimagasser, 1990-2015, endelige tall*. Available: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/aar-endelige>
- [14] Norsk Bioenergiforening (Nobio). (24.04). *Solid grunnlag for biodrivstoffproduksjon fra norske ressurser*. Available: <http://nobio.no/nyheter/371>
- [15] U.S. Department of Energy. (17.02). *Biodiesel Definition*. Available: http://www.afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_basics.html
- [16] Z. Yaakob, M. Mohammad, M. Alherbawi, Z. Alam, and K. Sopian, "Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 18, pp. 184-193, 2// 2013.
- [17] T. N. Kalnes, K. P. Koers, T. Marker, and D. R. Shonnard, "A technoeconomic and environmental life cycle comparison of green diesel to biodiesel and syndiesel," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 28, no. 1, pp. 111-120, 2009.
- [18] R. O. Dunn, "Effects of minor constituents on cold flow properties and performance of biodiesel," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 35, no. 6, pp. 481-489, 12// 2009.
- [19] D. Tong, C. Hu, K. Jiang, and Y. Li, "Cetane Number Prediction of Biodiesel from the Composition of the Fatty Acid Methyl Esters," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, journal article vol. 88, no. 3, pp. 415-423, 2011.
- [20] Store norske leksikon. (2009, 09.04). *Flammepunkt*. Available: <https://snl.no/flammepunkt>

REFERANSER

- [21] A. Abbaszaadeh, B. Ghobadian, M. R. Omidkhah, and G. Najafi, "Current biodiesel production technologies: A comparative review," *Energy Conversion and Management*, vol. 63, pp. 138-148, 11// 2012.
- [22] G. Knothe, "Some aspects of biodiesel oxidative stability," *Fuel Processing Technology*, vol. 88, no. 7, pp. 669-677, 7// 2007.
- [23] A. Demirbas, "Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review," *Applied Energy*, vol. 86, Supplement 1, pp. S108-S117, 11// 2009.
- [24] T. L. Alleman, R. L. McCormick, E. D. Christensen, G. Fioroni, K. Moriarty., and J. Yanowitz, "Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition)," 2016, Accessed on: 10.05.
- [25] *Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter (produktforskriften)*, Miljøverndepartementet, 2004.
- [26] C. Echim, J. Maes, and W. D. Greyt, "Improvement of cold filter plugging point of biodiesel from alternative feedstocks," *Fuel*, vol. 93, pp. 642-648, 3// 2012.
- [27] Miljødirektoratet. (2016, 17.02). *Raps er det mest brukte biodrivstoffet i Norge* Available: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter>
- [28] U. Schuchardt, R. Sercheli, and R. M. Vargas, "Transesterification of vegetable oils: a review," *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 9, pp. 199-210, 1998.
- [29] G. Knothe and L. F. Razon, "Biodiesel fuels," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 58, pp. 36-59, 1// 2017.
- [30] A. Bouaid, R. Vázquez, M. Martinez, and J. Aracil, "Effect of free fatty acids contents on biodiesel quality. Pilot plant studies," *Fuel*, vol. 174, pp. 54-62, 6/15/ 2016.
- [31] M. Veillette, A. Giroir-Fendler, N. Fauchoux, and M. Heitz, "Esterification of free fatty acids with methanol to biodiesel using heterogeneous catalysts: From model acid oil to microalgae lipids," *Chemical Engineering Journal*, vol. 308, pp. 101-109, 1/15/ 2017.
- [32] TransBiodiesel Ltd. (09.04). *Brouchure: "A New Game-Changing Technology"*. Available: <http://www.transbiodiesel.com/products-and-services/products-overview>
- [33] Store norske leksikon. (2009, 07.05). *Syretall*. Available: <https://snl.no/syretall>
- [34] H.-J. Kim *et al.*, "Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst," *Catalysis Today*, vol. 93-95, pp. 315-320, 9/1/ 2004.
- [35] M. R. Avhad and J. M. Marchetti, "Innovation in solid heterogeneous catalysis for the generation of economically viable and ecofriendly biodiesel: A review," *Catalysis Reviews*, vol. 58, no. 2, pp. 157-208, 2016/04/02 2016.
- [36] M. Babaki, M. Yousefi, Z. Habibi, and M. Mohammadi, "Process optimization for biodiesel production from waste cooking oil using multi-enzyme systems through response surface methodology," *Renewable Energy*, vol. 105, pp. 465-472, 5// 2017.
- [37] M. F. M. Yusoff, X. Xu, and Z. Guo, "Comparison of Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters as Biodiesel Base Stock: a Review on Processing and Production Requirements," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, journal article vol. 91, no. 4, pp. 525-531, 2014.
- [38] E. R. Bernatek. (2009, 17.02). *Metanol*. Available: <https://snl.no/metanol>
- [39] Store norske leksikon. (2011, 07.03). *Etanol*. Available: <https://snl.no/etanol>
- [40] M. K. Lam and K. T. Lee, "Mixed methanol-ethanol technology to produce greener biodiesel from waste cooking oil: A breakthrough for SO₄²⁻/SnO₂-SiO₂ catalyst," *Fuel Processing Technology*, vol. 92, no. 8, pp. 1639-1645, 8// 2011.
- [41] R. Guzzato, D. Defferrari, Q. B. Reznautt, Í. R. Cadore, and D. Samios, "Transesterification double step process modification for ethyl ester biodiesel production from vegetable and waste oils," *Fuel*, vol. 92, no. 1, pp. 197-203, 2// 2012.

- [42] A. Talebian-Kiakalaieh, N. A. S. Amin, and H. Mazaheri, "A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 683-710, 4// 2013.
- [43] Vista analyse, "Markedsutsikter for biodrivstoff," Samferdselsdepartementet 2016.
- [44] EU. (19.04). *Renewable energy directive*. Available: <https://ec.europa.eu/energy>
- [45] EU. (19.04). *Sustainability criteria*. Available: <https://ec.europa.eu/energy/node/73>
- [46] PAER. (19.04). *Yellow Grease, Used Cooking oil and Waste Vegetable Oil*. Available: <http://pacaltenergy.com/uco.html>
- [47] S. R. Fore, W. Lazarus, P. Porter, and N. Jordan, "Economics of small-scale on-farm use of canola and soybean for biodiesel and straight vegetable oil biofuels," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 1, pp. 193-202, 1// 2011.
- [48] Springboard Biodiesel. (20.04). *Commercial Biodiesel Processors*. Available: <http://www.springboardbiodiesel.com>
- [49] Utah Biodiesel Supply. (08.04). *How biodiesel is made*. Available: <http://utahbiodieselsupply.com/makingbiodiesel.php>
- [50] Utah Biodiesel Supply Blog. (08.04). *Water washing biodiesel 101*. Available: <http://www.utahbiodieselsupply.com/>
- [51] C. Mustafa and G. Jon Van, "A Pilot Plant to Produce Biodiesel from High Free Fatty Acid Feedstocks," *2001 ASAE Annual Meeting*, 2001.
- [52] M. Canakci and J. Van Gerpen, "Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids," *Transactions-American Society of Agricultural Engineers*, vol. 44, no. 6, pp. 1429-1436, 2001.
- [53] Hydro-Grow. (15.03). *Hailea HC-150a Water Cooler - chiller*. Available: <http://www.hg-hydroponics.co.uk>
- [54] Utah Biodiesel Supply. (15.03). *Raw Power Centrifuge*. Available: <http://www.utahbiodieselsupply.com/centrifugewvo.php>
- [55] OEM Automatic. (15.03). *Serie N - Direkte monterter*. Available: <http://www.oem.no/Produkter/Pumper/Tannhjulspumper>
- [56] The Remote Control Range. (15.03). *RCEL003-RCEL250 - Electric Actuators*. Available: <http://www.remotecontrol.se/english/english/pdf.shtml>
- [57] OEM Automatic. (15.02). *APLISENS SGE-25 nivåtransmitter*. Available: http://www.oem.no/Produkter/Trykk_amp_Flow/Nivakomponenter
- [58] OEM Automatic. (15.03). *Temperatur transmitter, CTGB1*. Available: http://www.oem.no/Produkter/Trykk_amp_Flow/Temperatur
- [59] OEM Automatic. (15.03). *HONSBURG nivåbryter NM*. Available: http://www.oem.no/Produkter/Trykk_amp_Flow/Nivakomponenter
- [60] A. Hykkerud and J. M. Marchetti, "Esterification of oleic acid with ethanol in the presence of Amberlyst 15," *Biomass and Bioenergy*, vol. 95, pp. 340-343, 12// 2016.
- [61] J. A. Khan, Y. Jamal, A. Shahid, and B. O. N. Boulanger, "Esterification of acetic and oleic acids within the Amberlyst 15 packed catalytic column," *Korean Journal of Chemical Engineering*, journal article vol. 33, no. 2, pp. 582-586, 2016.
- [62] M. M. R. Talukder, J. C. Wu, S. K. Lau, L. C. Cui, G. Shimin, and A. Lim, "Comparison of Novozym 435 and Amberlyst 15 as Heterogeneous Catalyst for Production of Biodiesel from Palm Fatty Acid Distillate," *Energy & Fuels*, vol. 23, no. 1, pp. 1-4, 2009/01/22 2009.
- [63] Sigma-Aldrich Co. (06.05). *Amberlyst® 15 hydrogen form*. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/216380>
- [64] H. M. Haraldsen, Joar. . (2009, 20.04). *Kalsiumoksid*. Available: <https://snl.no/kalsiumoksid>

REFERANSER

- [65] A. Kawashima, K. Matsubara, and K. Honda, "Acceleration of catalytic activity of calcium oxide for biodiesel production," *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 2, pp. 696-700, Jan 2009.
- [66] L. M. Correia *et al.*, "Characterization of calcium oxide catalysts from natural sources and their application in the transesterification of sunflower oil," *Bioresource Technology*, vol. 151, pp. 207-213, Jan 2014.
- [67] A. Navajas, T. Issariyakul, G. Arzamendi, L. M. Gandia, and A. K. Dalai, "Development of eggshell derived catalyst for transesterification of used cooking oil for biodiesel production," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, vol. 8, no. 5, pp. 742-748, Sep 2013.
- [68] Sigma-Aldrich Co. (06.05). *Calcium oxide* Available: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/229539>
- [69] P.-L. Boey, G. P. Maniam, and S. A. Hamid, "Performance of calcium oxide as a heterogeneous catalyst in biodiesel production: A review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 168, no. 1, pp. 15-22, 3/15/ 2011.
- [70] A. C. Alba-Rubio *et al.*, "Heterogeneous transesterification processes by using CaO supported on zinc oxide as basic catalysts," *Catalysis Today*, vol. 149, no. 3-4, pp. 281-287, 1/30/ 2010.
- [71] S. Z. Abidin, D. Patel, and B. Saha, "Quantitative analysis of fatty acids composition in the used cooking oil (UCO) by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)," *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 91, no. 12, pp. 1896-1903, 2013.
- [72] F. O. Ayorinde, K. Garvin, and K. Saeed, "Determination of the fatty acid composition of saponified vegetable oils using matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry," *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, vol. 14, no. 7, pp. 608-615, 2000.
- [73] Biodieseleducation. (07.04). *Triglyceride Molecular weight calculator*. Available: http://biodieseleducation.org/TOOLS/Calculators/Molecularweight_calculator.html
- [74] Backer Norge AS. (04.05). *Silikon*. Available: <http://www.norskebacker.no/Produkter>
- [75] Wurth. (10.05). *Stillbar strupeventil høytrykk*. Available: <https://nettbutikk.wuerth.no/>
- [76] Biltema. (07.05). *Sikkerhetsventil*. Available: <http://www.biltema.no/no/Bygg/VVS>
- [77] Clas Ohlson. (07.05). *SIKKERHETSVENTIL* Available: <http://www.clasohlson.com/no/SIKKERHETSVENTIL-50-2112>
- [78] Learning about Electronics. (07.05). *MQ-3 Alcohol Sensor Circuit Built with an Arduino*. Available: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles>
- [79] B. S. G. LTD. (20.04). *Biodiesel Standards*. Available: <https://www.biofuelsystems.com/biodiesel/specification.htm>
- [80] The engineering ToolBox. (07.04). *Densities of common liquids like acetone, beer, oil, water and more* Available: http://www.engineeringtoolbox.com/liquids-densities-d_743.html
- [81] Cayman Chemical. (23.04). *Products*. Available: <https://www.caymanchem.com/Home>
- [82] The Engineering Toolbox. (03.05). *Steel Pipes - Heat Loss Diagram*. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/steel-pipes-heat-loss-d_53.html
- [83] The engineering ToolBox. (29.04). *Absolute, Dynamic and Kinematic Viscosity*. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/dynamic-absolute-kinematic-viscosity-d_412.html
- [84] W. Y. e. al, "Determination of adsorption and kinetic parameters for methyl acetate esterification and hydrolysis reaction catalyzed by Amberlyst 15 " *Applied Catalysis A: General* 260 2003.
- [85] Crane Manufacturing Co., "Crane Flow of Fluids," *Technical Paper No. 410.*, 1976.

10 VEDLEGG

INNHALDSFORTEGNELSE VEDLEGG

1VEDLEGG	I
10.1 FIGUROVERSIKT	II
10.2 TABELLOVERSIKT	III
10.3 BRUKERMANUAL	IV
10.4 VEDLEGG A: BIODIESELSTANDARDENE EN 14214, ASTM D6751 OG EN 590.	V
10.5 VEDLEGG B: P&ID	VII
10.6 VEDLEGG C: OVERSIKT ELSKAP OG PLS-KOBLINGSSKJEMA	VIII
10.7 VEDLEGG D: BEREGNING AV MENGDER OLJE OG ALKOHOL:	XIV
10.8 VEDLEGG E: MASSEBEREGNINGER	XVI
10.9 VEDLEGG F: FORSLAG TIL FORBEDRING AV VARME- OG KJØLESYSTEM	XXII
10.10 VEDLEGG G: TIDSOVERSLAG FOR KOKING AV ETANOL.	XXIII
10.11 VEDLEGG H: TRYKKTAP I SIRKULERINGSSLØYFE	XXIV
10.12 VEDLEGG I: INNKJØP	XXVI
10.13 VEDLEGG J: PROGRAMKODE	XXVI

10.1 Figuroversikt

FIGUR 2-1: SAMMENLIGNING AV PARTIKKELUTSLIPP FRA FOSSIL DIESEL OG BIODIESEL VED FORSKJELLIGE MOTORYTELSE [10].	5
FIGUR 2-2: TRANSESTERIFISERING AV TRIGLYSERID TIL ALKYLESTER [9].	7
FIGUR 2-3: EKSEMPEL PÅ SÅPEDANNELSE DER X I BASEKATALYSATOR KAN VÆRE Na, K, Ca OSV. [3].	8
FIGUR 2-4: ESTERIFISERING AV FRIE FETTSYRER [9].	8
FIGUR 2-5: FORDELING AV KOSTNADER VED STOR SKALA BIODIESELPRODUKSJON [11].	11
FIGUR 2-6: RÅSTOFF BRUKT I BIODIESELPRODUKSJON I USA I 2015. TOTALT 3,3 MILLIONER TONN [5].	12
FIGUR 2-7: UTVIKLINGEN I PRODUKSJONSMARGINER FOR FAME-PRODUKSJON I EU. SEK/TONN [2].	13
FIGUR 2-8: UTVIKLINGEN I PRODUKSJON OG FORBRUK AV BIODIESEL. 1000 M ³ [2].	14
FIGUR 2-9: FLYTIDIAGRAM MED STEGENE I ET KONVENJONELT BIODIESELANLEGG [8].	14
FIGUR 2-10: OVERSIKT OVER ANTALL ANLEGG I FORSKJELLIGE PRODUKSJONSTØRRELSER (2012) [6].	16
FIGUR 2-11: BIOPRO380 BIODIESELANLEGG [1].	16
FIGUR 2-12: 1: 114 L PROSESSTANK, 4 000 NOK . 2: 30 GALLON PROSESSTANK MED 190 L VASKETANK 3: 300 L PROSESSTANK MED 4 STK 210 L VASKETANKER. [4].	17
FIGUR 2-13: BILDE AV PILOTALEGGET I TAMIL NADU [7].	17
FIGUR 3-1: FLYTSKJEMA OVER HOVEDSTEGENE I PROSESSEN FOR Å LAGE BIODIESEL MED BIOMAX.	19
FIGUR 3-2: FRAMSIDEN AV BIOMAX.	20
FIGUR 3-3: BAKSIDEN AV BIOMAX.	20
FIGUR 3-4: OVERSIDEN AV BIOMAX.	21
FIGUR 3-5: BIOMAX UTEN DEKSEL.	21
FIGUR 3-6: MIKSERTANK	22
FIGUR 3-7: REAKTOR MED 6 TOMME KATALYSATORBEGGER.	22
FIGUR 3-8: KATALYSATORBEGGER MED KULER SOM SIMULERER KATALYSATOR.	22
FIGUR 3-9: ALKOHOLTANK I BUNN MED SLANGE OPP TIL KONDENSATOR.	23
FIGUR 3-10: KJØLER	23
FIGUR 3-11: VARMER	23
FIGUR 3-12: SENTRIFUGE	23
FIGUR 3-13: AKKUMULATORTANKEN MED LOKK	24
FIGUR 3-14: VANNTANKER	24
FIGUR 3-15: PUMPE	24
FIGUR 3-16: AKTUATOR	24
FIGUR 3-17: MANUELL 3-VEIS VENTIL	25
FIGUR 3-18: NIVÅTRANSMITTER	25
FIGUR 3-19: TEMPERATURTRANSMITTER	25
FIGUR 3-20: STRØMNINGSTRANSMITTER	25
FIGUR 3-21: NIVÅBRYTER	25
FIGUR 3-22: TILBAKESLAGSVENTIL	25
FIGUR 3-23: P&ID AV BIOMAX-ANLEGG (TEGNFORKLARING I TABELL 3-1).	26
FIGUR 3-24: BILDE AV ELSKAPET MED KOMPONENTER KOBLET SAMMEN. OG EN FORENKLET SKISSE OVER ELSKAPET.	27
FIGUR 3-25: OVERSIKT OVER KOMPONENTER I ØVRE DEL AV ELSKAPET. DET ER TEGNET INN DE LEDNINGENE SOM LEDER 230 VAC GJENNOM HOVEDBRYTEREN OG TIL KOMPONENTENE.	28
FIGUR 3-26: NEDRE DEL AV ELSKAPET. BLÅ MERKING VISER HVOR DET ER LASKET 24 V. ORANSJE MERKING BRUKES AV KOMPONENTER MED 230 V.	28
FIGUR 3-27: DISPLAY	29
FIGUR 3-28: HOVEDMODUL	29
FIGUR 3-29: MODUL 1	29
FIGUR 3-30: MODUL 2	30

FIGUR 3-31: MODUL 4	30
FIGUR 3-32: MODUL 3	30
FIGUR 5-1: HØYRE POSISJON.	35
FIGUR 5-2: VENSTRE POSISJON.	35
FIGUR 5-3: EKSEMPEL PÅ RUNG.	38
FIGUR 6-1: SPREKK I TOPPEN AV REAKTOR 1.	41
FIGUR 6-2: KRAKKELERING I VANNTANK.	42
FIGUR 7-1: BILDE AV REAKTOR UNDER SIRKULERING.	47
FIGUR 10-1: KONTROLLER	IV
FIGUR 10-2: ANIMERING AV VÆSKEN I MIKSERTANK, VOLUM TIL SPIRAL OG NIVÅTRANSMITTER ER FJERNET.	XV
FIGUR 10-3: FORSLAG TIL PLASSERING AV VARMER PÅ UTKLIPP AV P&ID. ORANGE SIRKEL MARKERER ENDRINGEN: VARMER OG TEMPERATURTRANSMITTER NR.5	XXII
FIGUR 10-4: FORSLAG TIL FORBEDRET KJØLESYSTEM.	XXII
FIGUR 10-5: NY KOBLING	XXV
FIGUR 10-6: EKSISTERENDE KOBLING	XXV

10.2 Tabelloversikt

TABELL 2-1: EGENSKAPER TIL FOSSILT DIESEL OG BIODIESEL [17, 18] (M/M ER MASSEPROSENT)	4
TABELL 2-2: GJENNOMSNTLIG UTSLIPP FRA BIODIESEL (FAME) SAMMENLIGNET MED FOSSIL DIESEL (ØKNING/REDUKSJON I % AV FOSSIL DIESEL) [23].	5
TABELL 2-3: INNHOLD AV FRIE FETTSYRER I FORSKJELLIGE BIODIESELRÅSTOFF [32].	8
TABELL 2-4: SAMMENLIGNING AV LIPASEKATALYSERT TRANSESTERIFISERING AV TRIGLYSERIDER MED METANOL OG ETANOL [37].	10
TABELL 3-1: HOVEDKOMPONENTER MED BILDE OG P&ID-SYMBOL [53-59].	22
TABELL 4-1: KATALYSATORVALG OPPSUMMERT.	33
TABELL 5-1: VERDIER SOM BRUKES I PROGRAMMERINGEN OG SOM ER TATT TIDEN PÅ.	35
TABELL 5-2: LOGISKE BLOKKER SOM ER BRUKT I PROGRAMMET.	39
TABELL 10-1: BIODIESELSTANDARD [79]	V
TABELL 10-2: BLOKKERINGS-PUNKT FOR ENKELTE LAND UNDER EN 14214 [79]	VI
TABELL 10-3: TETTHET OG MOLAR MASSE FOR RAPSOLJE OG ETANOL.	XIV
TABELL 10-4: PARAMETER FOR UTREGNING AV TRYKKTAP I REAKTOR 1.	XXIV
TABELL 10-5: INNKJØP BIOMAX	XXVI
TABELL 10-6: MASTERBUDSJETT	XXVI

10.3 Brukermanual

Fra kontrolleren er det mulig å lese av væsknivåer i 3 tanker, temperaturen fra 5 forskjellige plasser i anlegget og strømningshastigheten etter reaktor 1 og 2. For å starte et av de 14 programmene må kontrolleren være låst opp.

For å få liv i kontrollere og BioMax må først hovedbryteren inne i elskapet skrus på.

Vise transmitterverdier (trenger ikke låse opp kontrollere for å vise verdier)

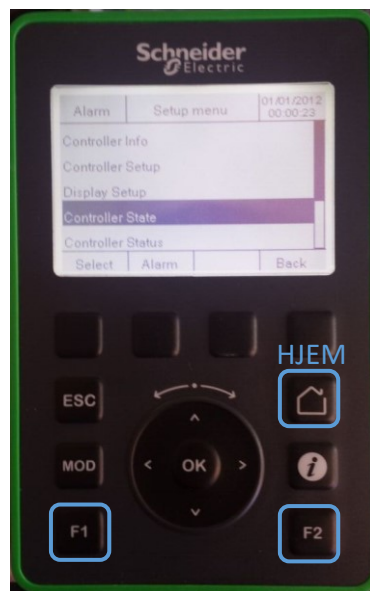
1. Trykk F1 for å komme til «Menu»
2. Velg «FT & TT» i menyen og trykk «Select»
3. Bla til du finner rett transmitterverdi.

Låse opp kontrollere

1. Trykk på hjemknappen for å komme til «Setup menu»
2. Velg «Controller State»
3. Skriv inn 1000 for så å bekrefte med «Valid»
4. Trykk «Run» og bekreft med «Yes» på at du vil låse opp kontrollere.
5. Så er det bare å gå videre med F1, F2 eller hjem.

Starte og stoppe et program

1. Trykk F2-knappen for å komme til «Program Menu»
2. Velg ønsket program og trykk «On» for å starte programmet
3. Trykk «Off» for å avslutte programmet.



Figur 10-1: Kontroller

Måter å stoppe anlegget:

- **NØDSTOPP**

Nødstoppen stopper alle pumpene, varmer og sentrifuge. Programmene som er startet på PLS går fortsatt så ved å vri den tilbake til åpen posisjon starter anlegget der det slapp.

- **Slå av programmet i menyen**
- **Slå av hovedbryteren i elskapet**

Skjer det ikke noe?

1. Sjekk at kontrolleren er låst opp.
2. Er programmet startet vent 24 sek, det kan hende ventiler allerede står i rett posisjon, og nedtellingen starter uansett.
3. Sjekk at ikke NØDSTOPP er trykket inn.
4. Slå av og på hovedbryter

10.4 Vedlegg A: Biodieselstandardene EN 14214, ASTM D6751 og EN 590.

Tabell 10-1: Biodieselstandard [79]

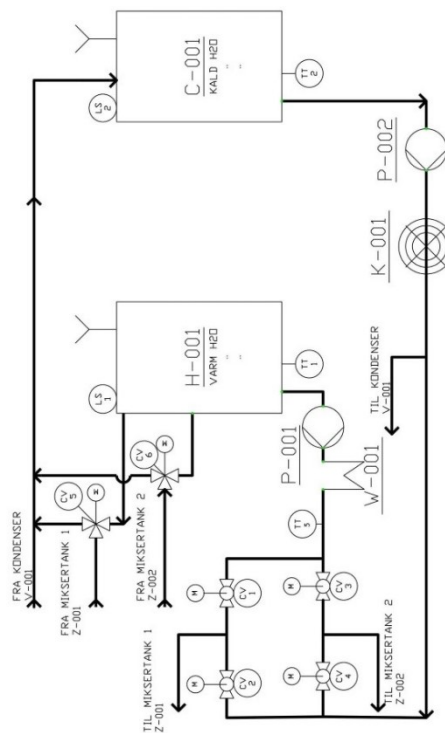
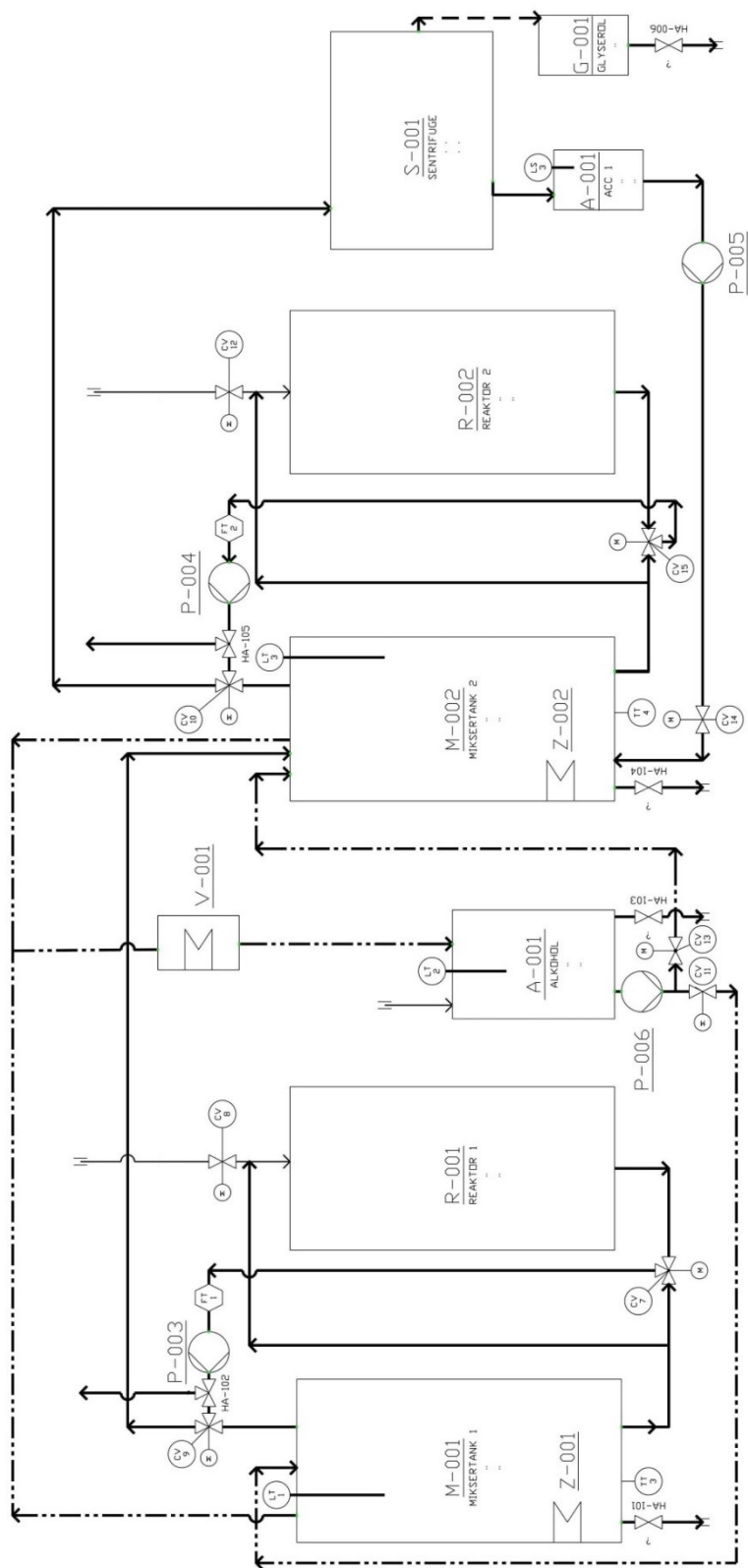
Biodiesel		Europa	USA	Europa
Egenskap	Enhet	EN 14214:2008	ASTM D 6751-07b	EN 590:1999
Gjelder type biodiesel		FAME	FAAE	Fossil diesel
Tetthet 15°C	g/cm ³	0.86-0.90		0.82-0.845
Viskositet 40°C	mm ² /s	3.5-5.0	1.9-6.0	2.0-4.5
Destillasjon	% @ °C		90%,360°C	95%,360°C
Flammepunkt (Fp)	°C	101 min	93 min	55 min
Blokkeringspunkt	°C	Se tabell xx		* Settes nasjonalt
Svovel	mg/kg	10 maks	15 maks	350 maks
CCR 100%	% (m/m)		0.05 maks	
Tjærerester (ved 10 % destillasjon)	% (m/m)	0.3 maks		0.3 maks
Sulfataske	% (m/m)	0.02 maks	0.02 maks	
Oksidaske	% (m/m)			0.1 maks
Vann	mg/kg	500 maks	500 maks	200 maks
Total forurensning	mg/kg	24 maks		24 maks
Cu korrosjon maks	3t/50°C	1	3	1
Oksidasjonsstabilitet	t;110°C	6 timer min	3 timer min	N/A (25 g/m ³)
Cetantall		51 min	47 min	51 min
Syretall	mg KOH /g	0.5 maks	0.5 maks	
Metanol	% (m/m)	0.20 maks	0.2 maks eller Fp <130°C	
Ester innhold	% (m/m)	96.5 min		
Monoglyseridinnhold	% (m/m)	0.8 maks		
Diglyseridinnhold	% (m/m)	0.2 maks		
Triglyseridinnhold	% (m/m)	0.2 maks		
Fritt glyserol	% (m/m)	0.02 maks	0.02 maks	
Totalt glyserol	% (m/m)	0.25 maks	0.24 maks	
Jodverdi		120 maks		
Linolensyre-metylester	% (m/m)	12 maks		
Flerumettet (≥ 4 doble bindinger) metylester	% (m/m)	1 maks		
Fosforinnhold	mg/kg	4 maks	10 maks	

Alkalimetaller (Na, K)	mg/kg	5 maks	5 maks
Jordalkalimetaller (Ca, Mg)	mg/kg	5 maks	5 maks
PAHs	% (m/m)		11 maks
Smøring / bruk	µm @ 60°C		460 maks

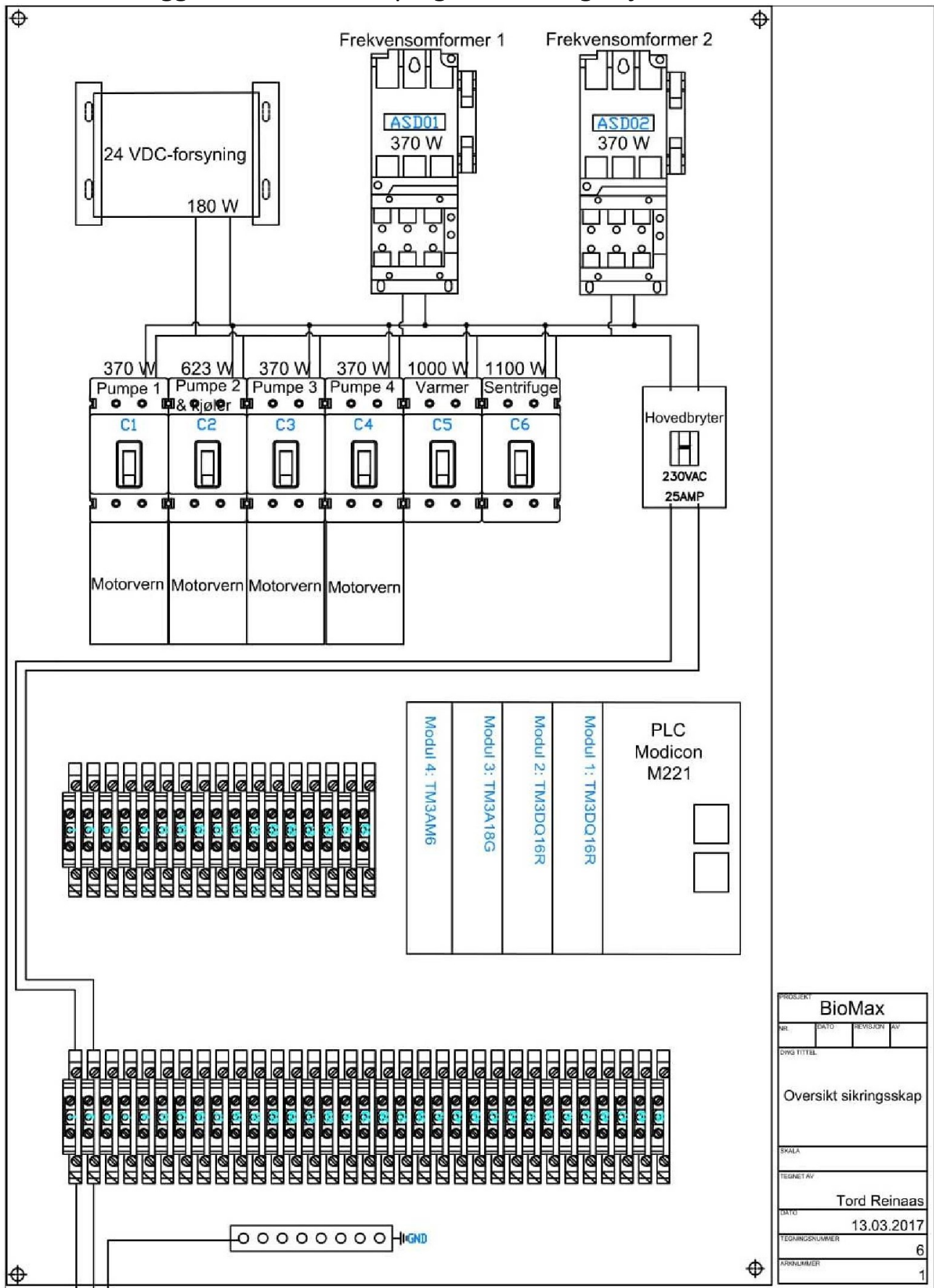
Tabell 10-2: Blokkeringspunkt for enkelte land under EN 14214 [79]

Land	Sesong	Maks CFPP (°C)
Storbritannia	Sommer	-5°C
	Vinter	-15°C
Østerrike	Sommer	+5°C
	Vinter	-20°C
	Spring	-15°C
Estland	Sommer	-5°C
	Vinter	-26°C
Frankrike	Sommer	0°C
	Vinter	-15°C
Tyskland	Sommer	0°C
	Vinter	-20°C
	Spring	-10°C
	Høst	-10°C
Hellas	Sommer	+5°C
	Vinter	-5°C
Irland	Sommer	-5°C
	Vinter	-15°C
Italia	Sommer	0°C
	Vinter	-10°C
Nederland	Sommer	0°C
	Vinter	-15°C
	Resten av året	-5°C
Portugal	Sommer	0°C
	Vinter	-10°C
	Vår	-5°C

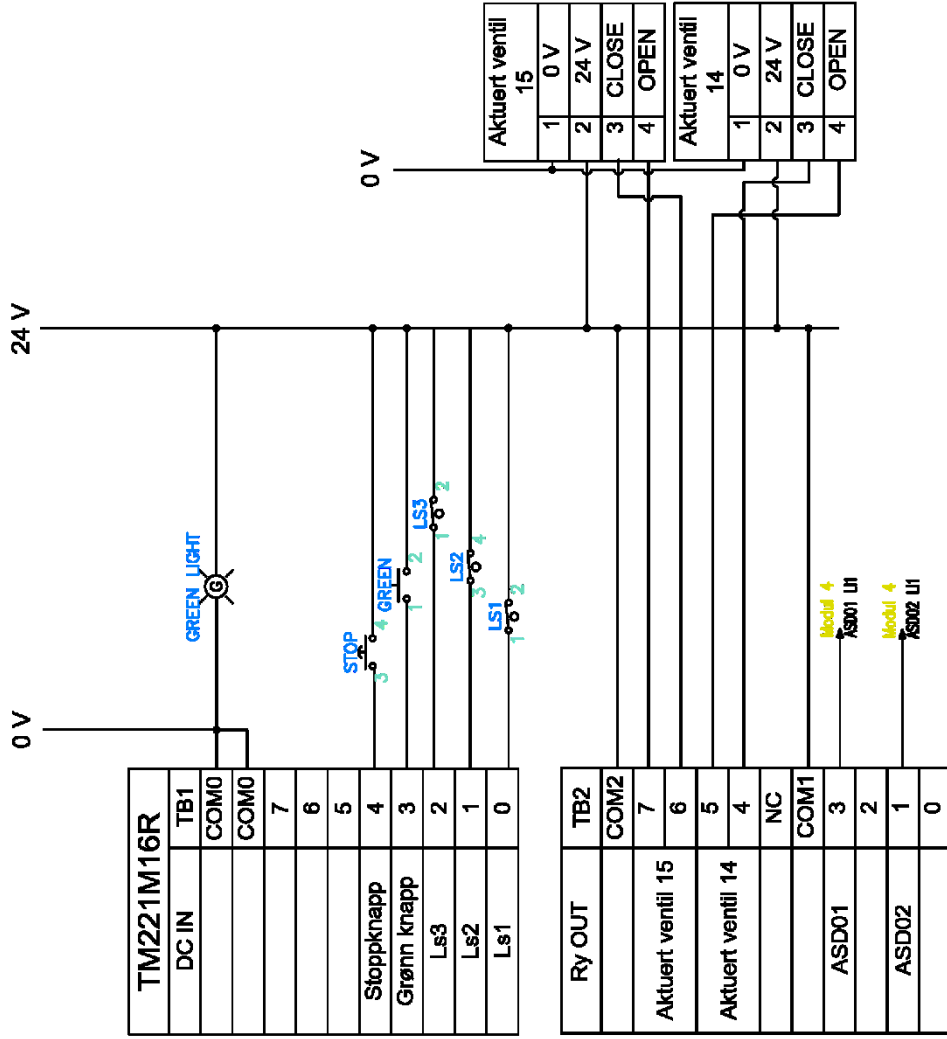
10.5 Vedlegg B: P&ID



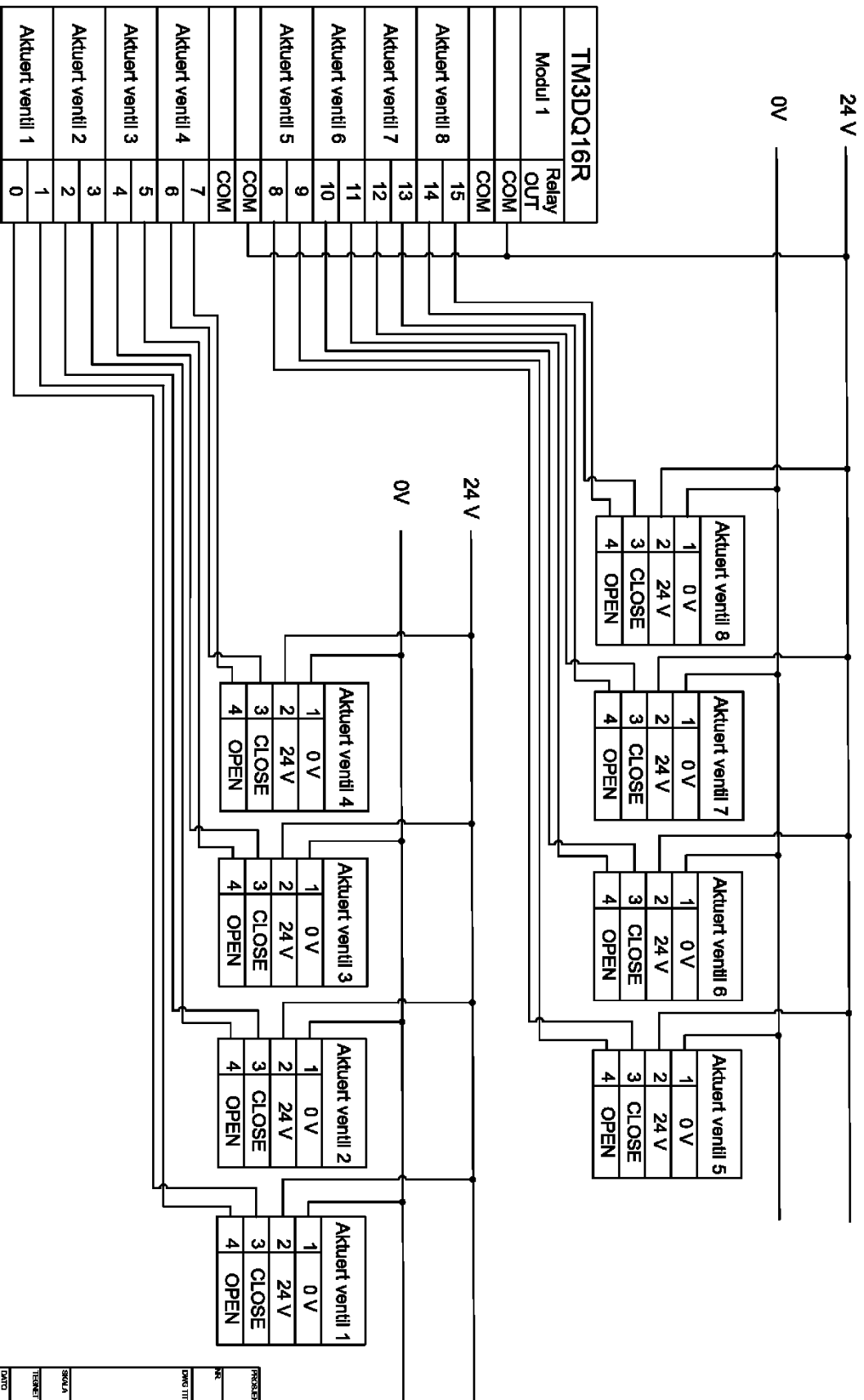
10.6 Vedlegg C: Oversikt elskap og PLS-koblingskjema



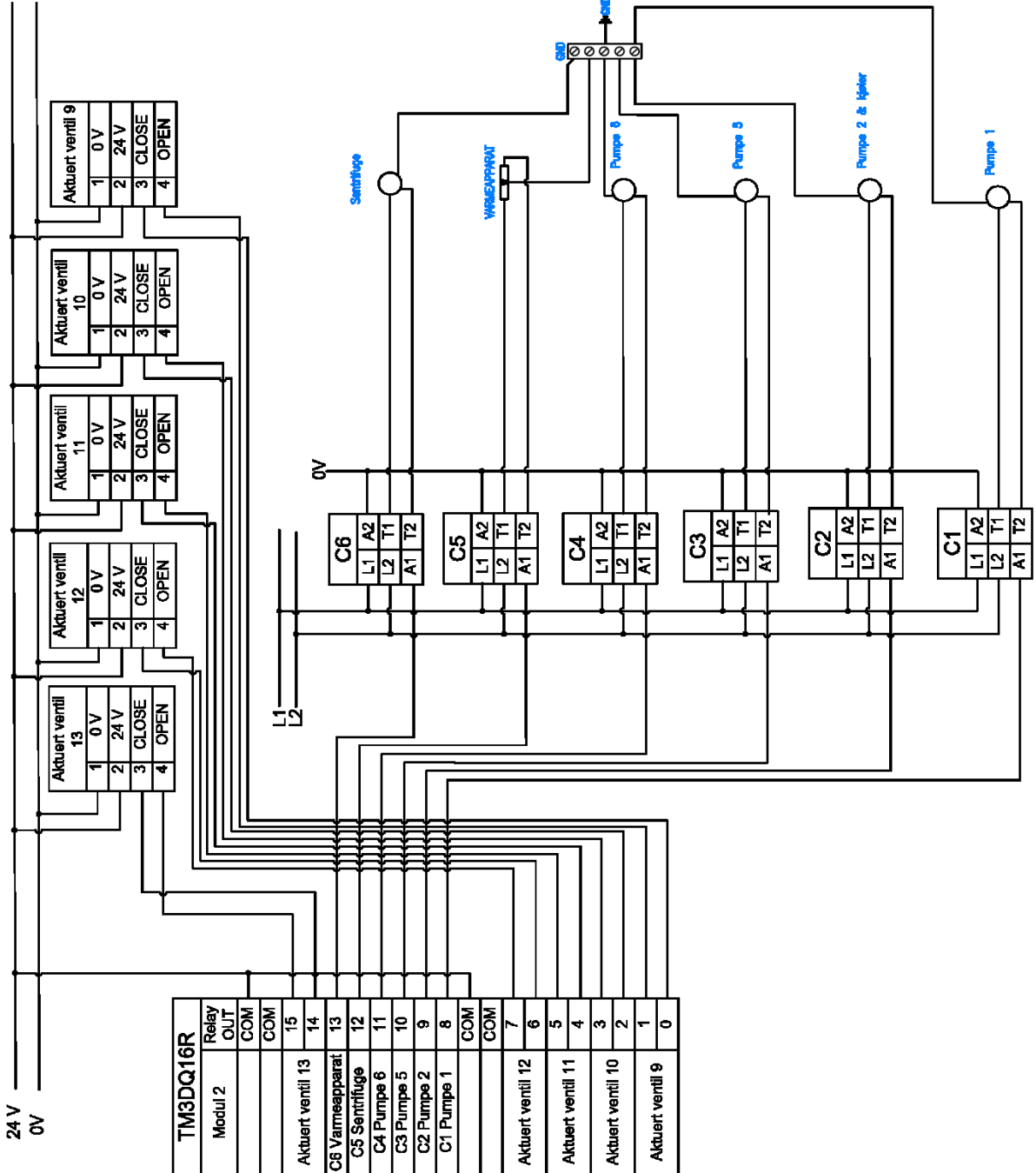
PROSJEKT			
BioMax			
NR.	DATE	REVISJON	AV
DWG TITTEL			
Oversikt sikringskapp			
SKALA			
TEGNET AV			
Tord Reinaas			
DATE			
13.03.2017			
TEGNINGSNUMMER			
6			
ARKNOMMER			
1			



PROSJEKT		BioMax	
NR.	DATE	REVISJON	AV
DOKUMENTTITTEL			
Hovedmodul			
SKALA			
TEKNET AV			
Tord Reinhaas			
DATE	13.03.2017		
TEKSTNUMMER	1		
FIGURNUMMER	1		



PROSJEKT		Biomax
NK:	DATO:	REVISJON/NIVÅ:
IDNOG TITTEL		
Modul 1		
SOKLA		
TEKNET AV		
Tord Rainass		
DATO		
13.03.2017		
TEKSTNUMMER		
2		
APPNUMMER		
1		



24 V
0V

TM3DQ16R
Relay
OUT
COM
COM
15
14
Aktuert ventill 13
C6 Vanneapparat
C5 Sentrifuge
C4 Pumpe 6
C3 Pumpe 5
C2 Pumpe 2
C1 Pumpe 1
8
COM
COM
7
6
5
4
Aktuert ventill 12
Aktuert ventill 11
Aktuert ventill 10
2
1
Aktuert ventill 9
0

Aktuert ventill 9	1	0 V
	2	24 V
	3	CLOSE
	4	OPEN

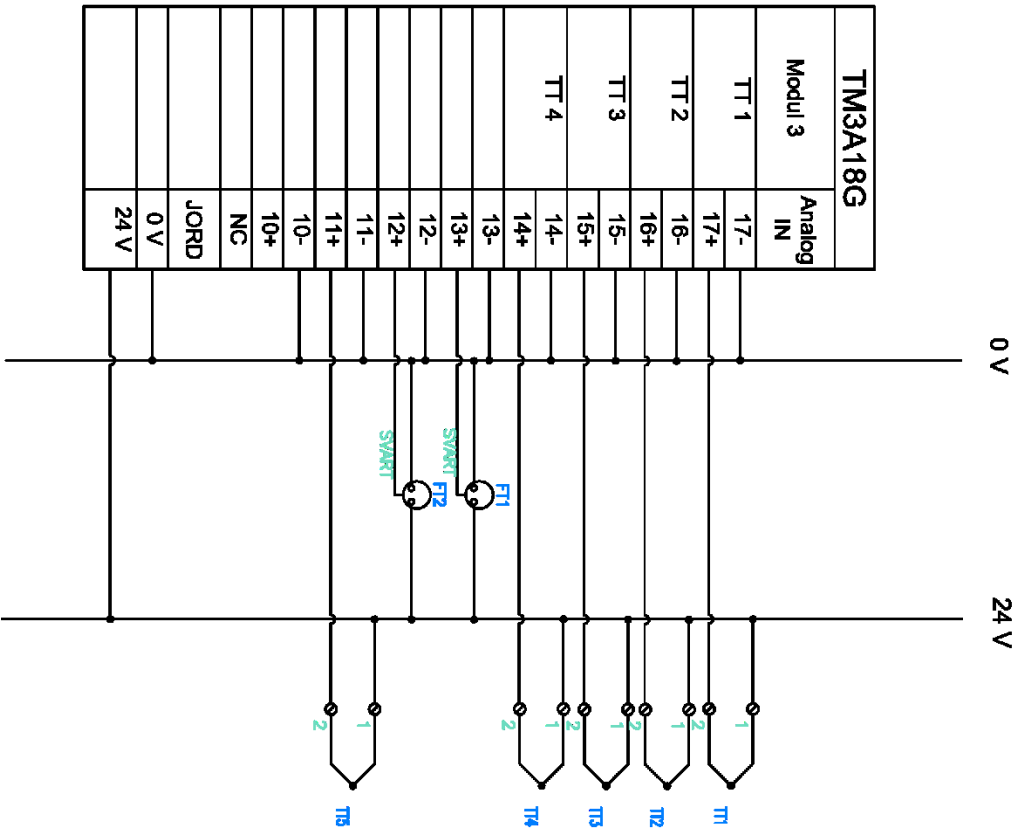
Aktuert ventill 10	1	0 V
	2	24 V
	3	CLOSE
	4	OPEN

Aktuert ventill 11	1	0 V
	2	24 V
	3	CLOSE
	4	OPEN

Aktuert ventill 12	1	0 V
	2	24 V
	3	CLOSE
	4	OPEN

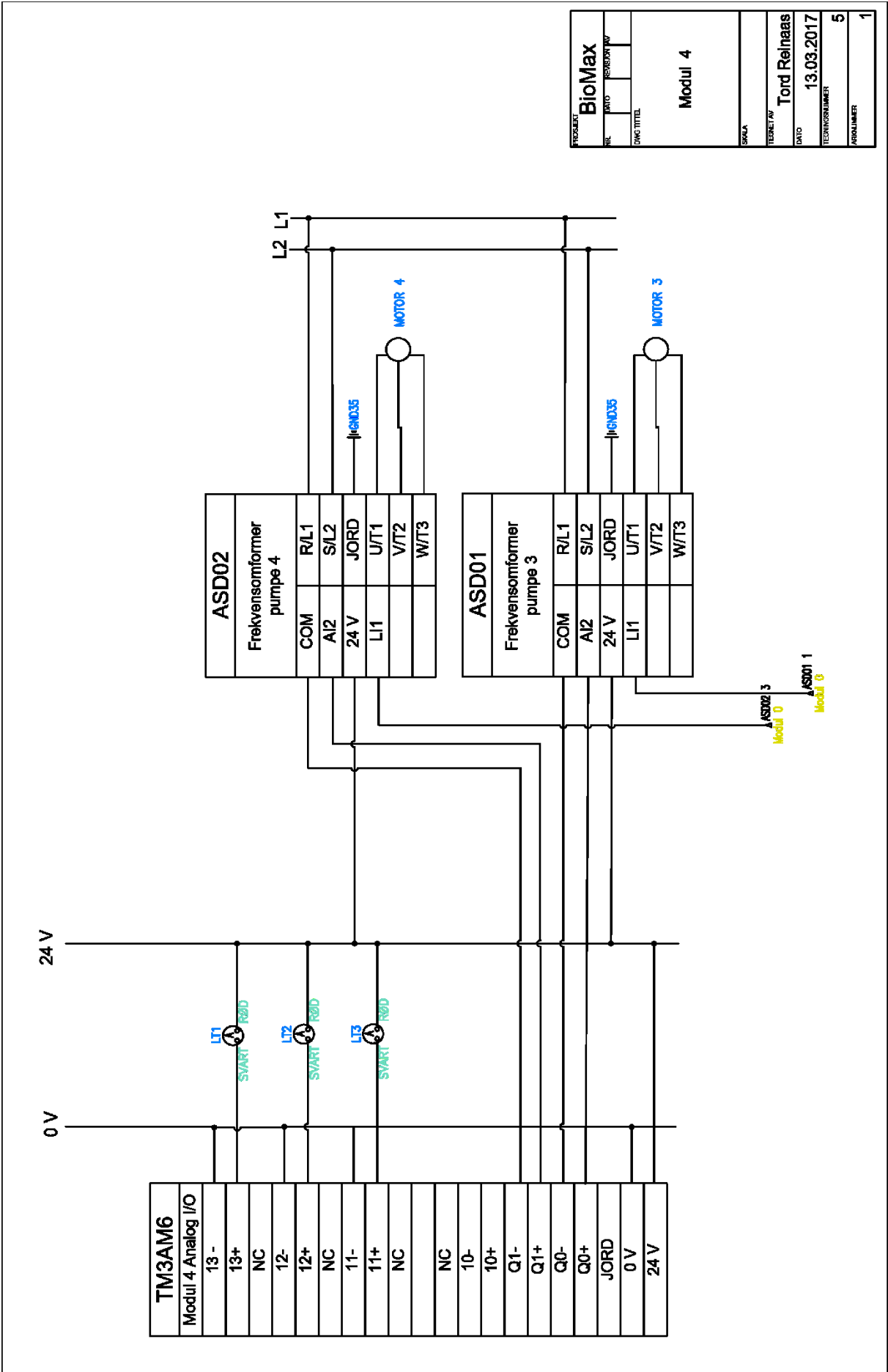
Aktuert ventill 13	1	0 V
	2	24 V
	3	CLOSE
	4	OPEN

BioMax	
ART	REVISION NR
OPDATER	
Modul 2	
SØK	
FORBEREDET	Tord Reihneas
DATO	13.03.2017
TEGERSNUMMER	3
APP. NR.	1



TM3A18G	
Modul 3	Analog IN
TT 1	17-
	17+
TT 2	16-
	16+
TT 3	15-
	15+
TT 4	14-
	14+
	13-
	13+
	12-
	12+
	11-
	11+
	10-
	10+
	NC
	JORD
	0 V
	24 V

PROJEKT		BioMax	
NR.	DATE	REVISION NR.	
DIMOS TITTEL			
Modul 3			
SOKLA			
TEKNIKER NR.		Tord Reirnaas	
DATE		10.04.2017	
TEKNIKERSTAMPEL NR.		4	
FORNUMMERNR.		1	



PROJEKT	BioMax
RIK	DRYTO
REVISJON	REV
DWG TITTEL	Modul 4
SKALA	
TEKNET NAV	Tord Reinaas
DRYTO	13.03.2017
TEKNIKSNUMMER	5
ARBEIDSLINJE	1

10.7 Vedlegg D: Beregning av mengder olje og alkohol:

Det skal tilsettes alkohol sammen med oljen for transesterifisering. Molforholdet alkohol:frie fettsyrer er 9:1 ved esterifisering. Molforholdet alkohol:triglyserider er 7:1 ved transesterifisering. Brukt rapsolje olje skal brukes med gjennomsnittlig innhold av frie fettsyrer på 15%.

Tabell 10-3: Tetthet og molar masse for rapsolje og etanol.

Olje	Tetthet [kg/m ³]	Molar masse [kg/kmol]
Rapsolje [73, 80]	920	974,5
Etanol [39]	789	46,07

Alkoholforhold ved esterifisering i miksertank 1

Mengde alkohol per liter olje tilført anlegget:

$$\text{Antall mol frie fettsyrer} = \frac{920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,001 \text{ m}^3 \cdot 0,15}{974,5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0,00014 \text{ kmol}$$

Esterifisering med olje:alkohol molforhold 1:9

$$\text{Mengde etanol} = \frac{0,00014 \text{ kmol} \cdot 9 \cdot 46,07 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,000074 \text{ m}^3$$

Olje-alkoholvolumforholdet er 1:0,07. Det skal tilføres 0,7 dl etanol for hver liter olje i miksertank 1.

Alkoholforhold ved transesterifisering i miksertank 2

Mengde alkohol per liter olje tilført anlegget:

$$\text{Antall mol triglyserider} = \frac{920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,001 \text{ m}^3 \cdot 0,85}{974,5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0,00080 \text{ kmol}$$

$$\text{Mengde etanol} = \frac{0,00080 \text{ kmol} \cdot 6 \cdot 46,07 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,00028 \text{ m}^3$$

Det skal tilføres 2,8 dl etanol i miksertank 2 for hver liter olje som opprinnelig er tilført miksertank 1.

Maksimum oljemengde per batch

Kapasiteten til BioMax begrenses av størrelsen på miksertank 2. Tanken rommer 14 l (Figur 10-2). Antall liter olje som kan fylles på er 10 l.

$$x + x \cdot 0,07 + x \cdot 0,28 = 14$$

$$x = 10,4 L$$



Figur 10-2: Animering av væsken i miksertank, volum til spiral og nivåtransmitter er fjernet.

Minimum væske i miksertank

Det er målt 7 cm opp til spiralen fra bunnen av tanken. Diameter på tanken er 20 cm.

$$V = \pi \cdot 0,1^2 m \cdot 0,07 m = 0,0022 m^3$$

Det trengs 2,2 liter væske i miksertank før spiralen får kontakt med væsken og begynner å varme eller kjøle. Dobles mengden til 4,4 liter vil 2 av 13 spiraler være nedsunket i væske. 4,4 liter settes til minimumsmengden som kan kjøres per batch. Blir det mindre enn 4,4 liter vil ikke anlegget fungere slik det er tiltenkt. 4,4 liter olje-alkohol tilsvarer 4,1 liter olje og 0,3 liter alkohol med forhold 1:0,07. Minste mengde med olje som kan fylles på anlegget er 4,1 liter.

Mengde katalysator

$$\text{Mengde katalysator i miksertank 1: } 10 l \cdot 0,920 \frac{kg}{l} \cdot 0,025 = 0,23 kg$$

$$\text{Mengde katalysator i miksertank 2: } 10 l \cdot 0,920 \frac{kg}{l} \cdot 0,04 = 0,37 kg$$

10.8 Vedlegg E: Masseberegninger

Caymanchem [81] har spesifisert molar vekt til fettsyrene og etylfettsyrene. Fra de frie fettsyrene er det en økning i molar vekt på 28 g/mol opp til FAEE. Det stemmer med molar vekt av alkohol minus molar vekt av vann.

Det antas at all olje som ikke er frie fettsyrer er triglyserider. For å finne molar masse til triglyserider så tas 3 stykk av gjennomsnittet til frie fettsyrer og plusses på et glyserolhode. Glyserolhodet er da CH-C-CH → C₃H₂ og gir molar vekt: 3*12+2*1 = 38 g/mol. Det er 1:1 molforhold frie fettsyrer til ester, vann og alkohol. Det kjøres batch på 10 liter olje. Tabellen under viser konstantene:

Liter olje inn	10,0	l
Vekt olje inn	8803,2	g
Konverteringsgrad esterifisering	0,97	%
Konverteringsgrad transesterifisering	0,90	%
Metanol	32,0	g/mol
Etanol	46,0	g/mol
Vann	18,0	g/mol
Glyserol	92,0	g/mol

Fettsyrer og tilsvarende etsylester med molar vekt og oljesammensetning:

Fettsyre	Molar vekt olje [g/mol]	Molar vekt FAEE [g/mol]	UCO 1 [%]	Olivenolje 2 [%]	Rapsolje 3 [%]
Oljesyre (Oleic acid)	282,5	310,5	33,7	70,5	11,5
Linolsyre (Linolei acid)	280,5	308,5	43,9	16,5	11,6
Linolensyre (α-linolenic acid)	278,5	306,5	4,7	0,6	8,9
Palmitinsyre (Palmitic acid)	256,5	284,5	13,6	10,9	2,6
Stearinsyre (stearic acid)	284,5	312,5	4,1		0,8
Erucinsyre (erucic acid)	338,5	352,5			54
Gadoleinsyre (Gadoleic acid)	310,5	314,5			6,5

Summering av present, utregning av molar vekt til frie fettsyrer, triglyserider (TG) og fettsyre-etyler (FAEE) til oljen i samme kolonne:

Tot %	100,0	98,5	95,9
FFA	278,0	279,3	314,6
TG	871,9	875,8	981,9
FAEE	306,0	307,3	333,1

Brukt frityrolje med 6 % frie fettsyrer.

FFA og TG i oljen som kommer inn.	0,06 %
Antall liter alkohol esterifisering	0,30 l
Antall liter alkohol transesterifisering	2,81 l

Resultater:

Esterifisering

INN:

Tilført alkohol	259,2 g
Frie fettsyrer	523,2 g
Triglyserider	8196,2 g

UT:

Lager gram FAEE	558,6 g
Lager gram vann	32,9 g
Rester alkohol	200,7 g
Rester frie fettsyrer	15,7 g
Triglyserider	8196,2 g

Transesterifisering

INN:

Vann	32,9 g
FAEE	558,6 g
Triglyserider	8196,2 g
Gammel alkohol	200,7 g
Ny alkohol	2300,8 g
Rester frie fettsyrer	15,7 g

UT:

Vann	32,9 g
FAEE	8324,4 g
Alkohol	1689,3 g
Glyserol	778,3 g
Rester frie fettsyrer	15,7 g
Rester triglyserider	819,6 g

Olivenolje med 15 % frie fettsyrer

FFA og TG i oljen som kommer inn.	0,15 %
Antall liter alkohol esterifisering	0,74 l
Antall liter alkohol transesterifisering	2,81 l

Resultater:

Esterifisering

INN:		UT:	
Tilført alkohol	650,8 g	Lager gram FAEE	1402,0 g
Frie fettsyrer	1313,7 g	Lager gram vann	82,1 g
Triglyserider	7444,2 g	Rester alkohol	504,7 g
		Rester frie fettsyrer	39,4 g
		Triglyserider	7444,2 g

Transesterifisering

INN:		UT:	
Vann	82,1 g	Vann	82,1 g
FAEE	1402,0 g	FAEE	8453,7 g
Triglyserider	7444,2 g	Alkohol	1860,0 g
Gammel alkohol	504,7 g	Glyserol	703,8 g
Ny alkohol	2089,7 g	Rester frie fettsyrer	39,4 g
Rester frie fettsyrer	39,4 g	Rester triglyserider	744,4 g

Rapsolje med 15 % frie fettsyrer

FFA og TG i oljen som kommer inn.	0,15 %
Antall liter alkohol esterifisering	0,74 l
Antall liter alkohol transesterifisering	2,81 l

Resultater:

Esterifisering

INN:		UT:	
Tilført alkohol	650,1 g	Lager gram FAEE	1520,1 g
Frie fettsyrer	1312,4 g	Lager gram vann	82,1 g
Triglyserider	7436,9 g	Rester alkohol	504,1 g
		Rester frie fettsyrer	39,4 g
		Triglyserider	7436,9 g

Transesterifisering

INN:		UT:	
Vann	82,1 g	Vann	82,1 g
FAEE	1520,1 g	FAEE	9165,2 g
Triglyserider	7436,9 g	Alkohol	1857,3 g
Gammel alkohol	504,1 g	Glyserol	703,8 g
Ny alkohol	2087,6 g	Rester frie fettsyrer	39,4 g
Rester frie fettsyrer	39,4 g	Rester triglyserider	743,7 g

Rapsolje med 30 % frie fettsyrer

	FFA og TG i oljen som kommer inn.	0,30 %
	Antall liter alkohol esterifisering	1,49 l
Resultater:	Antall liter alkohol transesterifisering	2,31 l

Esterifisering

INN:

Tilført alkohol	1300,2 g
Frie fettsyrer	2624,8 g
Triglyserider	6124,5 g

UT:

Lager gram FAEE	3040,2 g
Lager gram vann	164,3 g
Rester alkohol	1008,2 g
Rester frie fettsyrer	78,7 g
Triglyserider	6124,5 g

Transesterifisering

INN:

Vann	164,3 g
FAEE	3040,2 g
Triglyserider	6124,5 g
Gammel alkohol	1008,2 g
Ny alkohol	1415,8 g
Rester frie fettsyrer	78,7 g

UT:

Vann	164,3 g
FAEE	9336,1 g
Alkohol	1819,2 g
Glyserol	579,6 g
Rester frie fettsyrer	78,7 g
Rester triglyserider	612,4 g

Rapsolje 60 % frie fettsyrer

FFA og TG i oljen som kommer inn. 0,60 %

Antall liter alkohol esterifisering 2,97 l

Antall liter alkohol transesterifisering 1,32 l

Resultater:

Esterifisering

INN:

Tilført alkohol	2600,5 g
Frie fettsyrer	5249,5 g
Triglyserider	3499,7 g

UT:

Lager gram FAEE	6080,3 g
Lager gram vann	328,5 g
Rester alkohol	2016,4 g
Rester frie fettsyrer	157,5 g
Triglyserider	3499,7 g

Transesterifisering

INN:

Vann	328,5 g
FAEE	6080,3 g
Triglyserider	3499,7 g
Gammel alkohol	2016,4 g
Ny alkohol	462,3 g
Rester frie fettsyrer	157,5 g

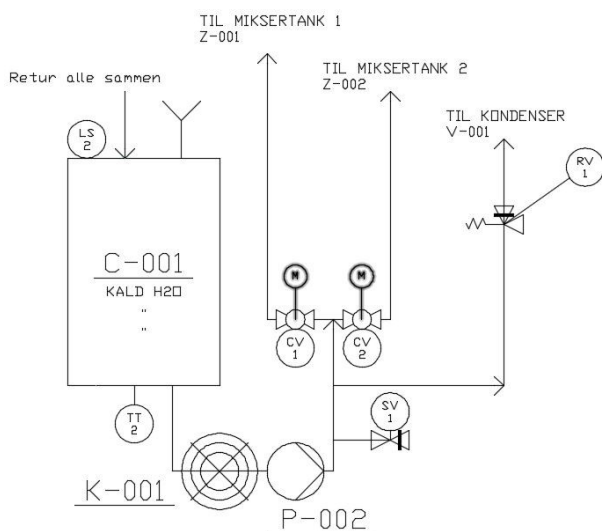
UT:

Vann	328,5 g
FAEE	9678,0 g
Alkohol	2133,1 g
Glyserol	331,2 g
Rester frie fettsyrer	157,5 g
Rester triglyserider	350,0 g

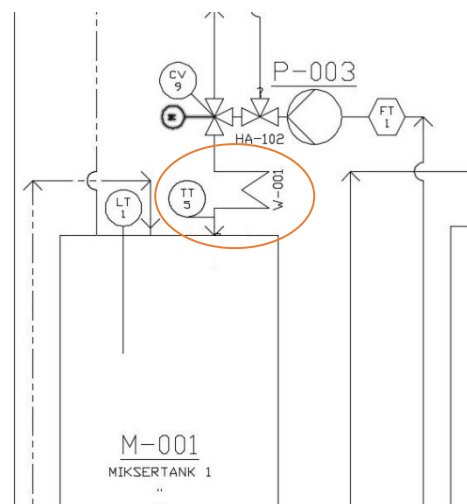
10.9 Vedlegg F: Forslag til forbedring av varme- og kjølesystem

Forslag til forbedret varme- og kjølesystem på BioMax. Det i hovedsak tenkt å bruke komponenter fra eksisterende varme- og kjølesystem, men det må også kjøpes inn 2 stk folieelement, 1 stk strupeventil, 1 stk sikkerhetsventil (6 stk dersom alle pumper skal ha det). Forenklingen av varme- og kjølesystemet gjør at det frigjøres 2 stk aktuert 2-veisventiler, 2 stk aktuert 3-veisventiler, 1 stk pumpe, 1 stk temperaturtransmitter og 1 stk nivåbryter som kan brukes til andre ting på BioMax.

Bruker eksisterende kald tank, kjøler flyttes til før pumpe fordi det alltid er tryggere på sugende side av pumpen. Etter pumpe er det et t-stykke med en sikkerhetsventil. Så brukes et t-stykke til å dele væskestrømmen ut til kondensator, som har en strupeventil monter for å begrense vannstrømmen. Ved å begrense flyten i kondensatorsløyfen vil det bygges opp trykk etter pumpen. Med økt trykk kommer det til å strømme vann gjennom miksertankene når ventil CV1 eller CV2 åpnes. RV1 er strupeventilen, det er ikke korrekt symbol.



Figur 10-4: Forslag til forbedret kjølesystem.



Figur 10-3: Forslag til plassering av varmer på utklipp av P&ID. Orange sirkel markerer endringen: Varmer og temperaturtransmitter nr.5.

Varmeelementet er plassert etter pumpe og ventiler, rett før miksertanken. Ventil CV9 står plassert i gulvet, varmer monteres rett etter slik at det kommer til å stå olje i slangen og elementet hele tiden. FT1 kan brukes til å skru det av ved synkende væskestrøm. TT5 er god sikkerhet rett etter varmeelementet. Plasseringen gjør også at det ikke lages mer pumpemotstand i sugesløyfen.

10.10 Vedlegg G: Tidsoverslag for koking av etanol.

Det er gjort et overslag på hvor lang tid det vil ta å koke bort all overflødig alkohol fra biodieselen.

The Engineering Toolbox [82] har en tabell som viser varmetap fra stålrør. Laveste verdi på endring i temperatur til luften på utsiden av røret er 50 °C. Etanol kommer til å være ved 78°C, vannet i varmespiralen ved maks 85-90°C, temperaturforskjell blir da på maks 12°C. Minste rørtykkelse i tabell er ½", varmespiralen er 3/8". Ved 50°C temperaturforskjell er varmeeffekten gjennom røret 30 W/m. Varmeroverføringsevnene er ikke lineær, men antar konservativ side selv ved å halvere varmeeffekten. Varmespiralen er under 4 meter.

$$15 \frac{W}{m} \cdot 4m = 60 W$$

Det er ca. 1,7 liter alkohol som skal kokes bort ved 10 liter olje med 6% frie fettsyrer.

$$\frac{1,7 l \cdot \frac{790g}{l}}{46 \frac{g}{mol}} = 29,2 mol$$

$$\frac{29,2 mol \cdot 38,56 \frac{kJ}{mol}}{60 \frac{J}{s}} = 312 min = 5,2 t$$

Det tar mer enn 5 timer å koke bort etanolen som brukes i prosessen, med nåværende varmeløsning.

10.11 Vedlegg H: Trykktap i sirkuleringsløyfe

Det regnes ut trykkfallet over reaktor 1 der Amberlyst 15 er katalysator.

Ergun ligningen er en generell formel for trykktap gjennom «packed bed» og gjelder både for turbulent og laminær strøm.

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{150 \cdot \mu \cdot U \cdot (1 - \varepsilon)^2}{x^2 \cdot \varepsilon^2} + \frac{1,75 \cdot \rho_f \cdot U^2 \cdot (1 - \varepsilon)}{x \cdot \varepsilon^3} \quad (10.1)$$

Tabell 10-4: Parameter for utregning av trykktap i reaktor 1.

Tegn	Forklaring	Verdi
Δp	Trykkfall	
	Antall katalysatorlaget	6 stk
x	Sfærisk diameter på partikkel	0,001 m
ρ	Tettheten til rapsolje [80]	$920 \frac{kg}{m^3}$
μ	Viskositet [83]	0,1 Pas
ε	Porøsitet [84]	0,36
U	Overflateshastighet til væsken	
r	Radius til katalysatorlaget	0,085 m
Q	Volumstrøm	3 l/min
H	Høyde til katalysatorlag	0,04 m

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{3 \frac{l}{min}}{\pi \cdot 150^2 mm^2} = 0,00071 \frac{m}{s} \quad (10.2)$$

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{150 \cdot 0,1 \cdot 0,0007 \cdot (1 - 0,36)^2}{0,001^2 \cdot 0,36^2} + \frac{1,75 \cdot 920 \cdot 0,00071^2 \cdot (1 - 0,36)}{0,001 \cdot 0,36^3} = 33\,863 \text{ Pa}$$

Dette er for et katalysatorlag, det er 6 stk i reaktorene:

$$\Delta p_{tot} = 6 \cdot 33869 \text{ Pa} = 203 \text{ kPa}$$

Ved å halvere strømningshastigheten til 1,5 m/s blir $\Delta p = 101 \text{ kPa}$ som er 10 mVs

Det sees bort fra friksjonstap i slanger når farten er liten.

Trykktap i ventiler og albuer:

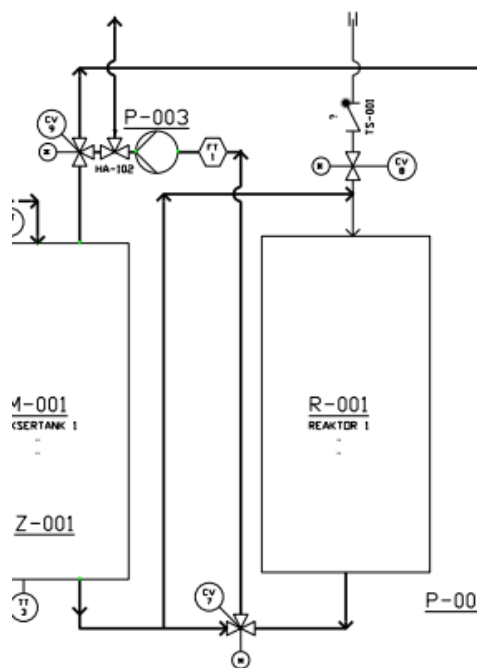
$$H_l = K_r \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (10.3)$$

Det er 2 stk 90° albuer ($K_r = 30$), 2 stk T-stykker der strømmen går ut gjennom gren ($K_r = 60$) og 1 stk 90° kuleventil ($K_r = 30$) [85].

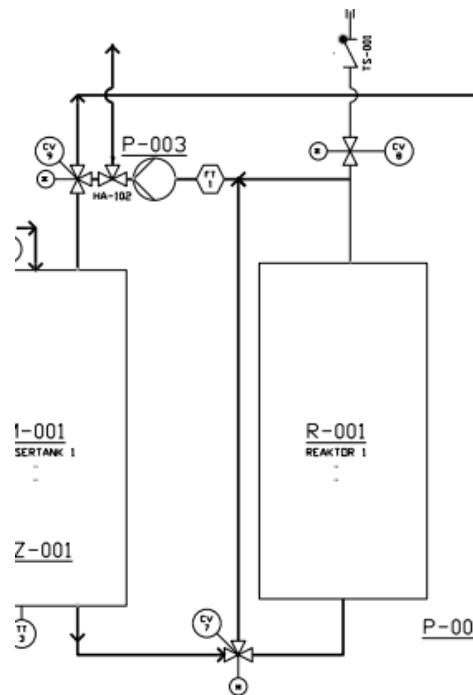
$$H_{tot} = 2 \text{ stk} \cdot 30 \cdot \frac{0,39^2}{2 \cdot 9,81} + 2 \text{ stk} \cdot 60 \cdot \frac{0,39^2}{2 \cdot 9,81} + 30 \cdot \frac{0,39^2}{2 \cdot 9,81} = 1,63 \text{ mVs}$$

Pumpen klarer bare 5 mVs, så ved å redusere til 3 beger og senke farten ytterligere vil det trolig gå. Strømningshastigheten har ikke så mye å si er lav, oljen får kontakt med katalysatoren uansett.

Endring for å få det til å fungere:



Figur 10-6: Eksisterende kobling



Figur 10-5: Ny kobling

10.12 Vedlegg I: Innkjøp

Tabell 10-5: Innkjøp BioMax

Sum ink. mva.	Leverandør	Komponent/vare
3 083	Plastkompaniet AS	Acrifix
9 912	Ruukki Norge AS Ccb Stål A/S	Materialer til biomax - stål
6 664	Bryggselv AS	Kjøling
31 250	Superprint AS	Reaktor
45 850	Tess Østfold AS	Ansatsnipler med mer.
59 538	Bagges AS	Aktuerte ventiler
49 375	Skiptvet Mek. Verksted A.S	Skall til biomax
5 184	Gartnerbutikken AS	Kjøler
124 169	OEM Automatic AS	Pumper, og transmitter.
32 150	Otra Norge AS	Reguleringsteknisk
43 750	Skiptvet Mek. Verksted A.S	Miksere og tanker
410 925	NOK total	

Tabell 10-6: Masterbudsjett

Sum ink. mva.	Leverandør	Komponent/vare
562	Europris	Syv stk 3L rapsoljekanner
3 400	RS Components AS	PLS hovedmodul Modicon M221
1 670	Selko Motor AS	Varmeelement
200	Tess Østfold AS	T-stykke bronse
5 632	NOK total	

10.13 Vedlegg J: Programkode

Programkoden er skrevet ut med SoMachine sin rapportfunksjon.

POU

Master Task

1 - Alkohol til miksertank 1

Master Task

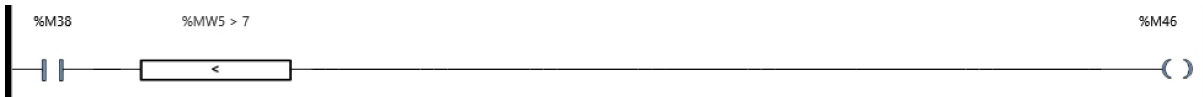
Rung0



Variables used:

%M36		Overføring alkohol til miksertank 2
%M38		Overføring av alkohol til miksertank 1
%M109	MCV013_CLOSE	
%M134	MCV011_OPEN	

Rung1



Variables used:

%M38		Overføring av alkohol til miksertank 1
%M46		
%MW5		

Rung2



Legend:

1 %MW5 := %MW6 - %IW4.2

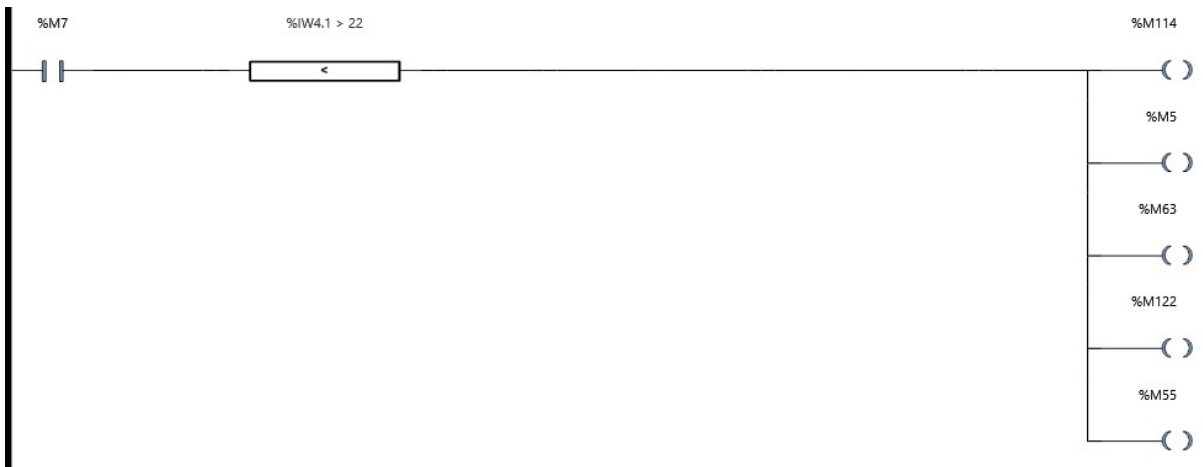
Variables used:

%IW4.2	LT2	
%M38		Overføring av alkohol til miksertank 1
%MW5		
%MW6		

2 - Varming miksertank 1

Master Task

Rung0 - Ventiler



Variables used:

%IW4.1	LT1	
%M5	MCV002_CLOSE_1	
%M7		Varming miksertank 1
%M55		start tempsjekk
%M63	MCV003_CLOSE_2	
%M114	MCV001_OPEN	
%M122	MCV005_VENSTRE	

Rung1 - Utsettelse



Variables used:

%M7		Varming miksertank 1
%M58		
%TM12		

Rung2



Variables used:

%IW3.5	TT3	
%M55		start tempsjekk
%M56		

Rung3



Variables used:

%IW3.5 TT3
%M56
%MW7

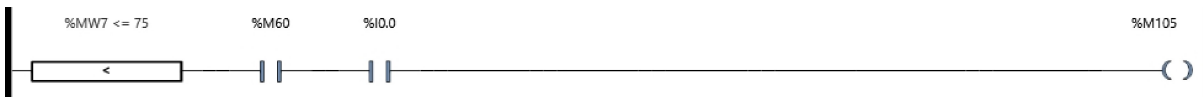
Rung4 - Start pumpe



Variables used:

%M58
%M60 MP001_1
%M114 MCV001_OPEN
%TM11

Rung5 - Varmeelement



Variables used:

%I0.0 LS1 Varm
%M60 MP001_1
%M105 MHEATER_V001
%MW7

Rung6



Variables used:

%I0.0 LS1 Varm
%M7 Varming miksertank 1

3 - Sirkulering miksertank 1

Master Task

Rung0 - Ventiler



Variables used:

%M10		Start sirkulering
%M73		Overøfre fra miksertank 1 til 2
%M125	MCV007_HØYRE	
%M127	MCV008_CLOSE	
%M129	MCV009_HØYRE	

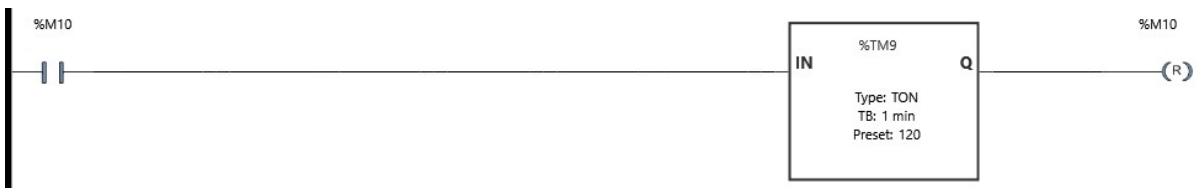
Rung1 - Pumpe



Variables used:

%M10		Start sirkulering
%M40	MPUMPE3_1	fra start sirkulering til pumpe 3
%TM18		

Rung2



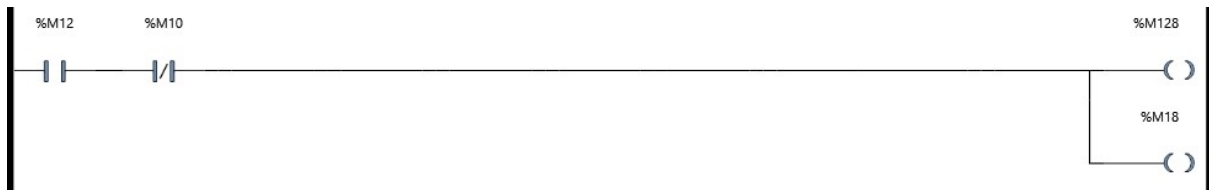
Variables used:

%M10		Start sirkulering
%TM9		

4 - Tøm reaktor 1

Master Task

Rung0 - Start tøm reaktor



Variables used:

%M10	Start sirkulering
%M12	Tøm reaktor 1
%M18	MCV007_HØYRE_1
%M128	MCV008_OPEN

Rung1 - Forsinkelse ventil



Variables used:

%M10	Start sirkulering
%M12	Tøm reaktor 1
%M14	
%TM6	

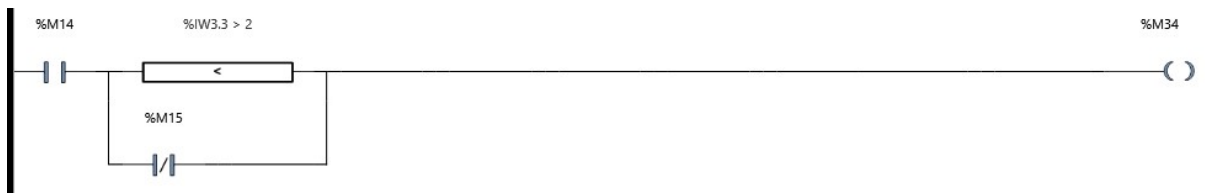
Rung2 - Forsinkelse FT



Variables used:

%M14	
%M15	
%TM8	

Rung3 - FT stopper pumpe



Variables used:

%IW3.3 FT1
%M14
%M15
%M34 MPUMPE3_0

5 - Overføre fra miksertank 1 til 2

Master Task

Rung0 - Ventiler



Variables used:

%M10		Start sirkulering
%M19		
%M73		Overføre fra miksertank 1 til 2
%M126	MCV007_VENSTRE	
%M130	MCV009_VENSTRE	

Rung1 - Forsinkelse ventiler



Variables used:

%M16
%M19
%TM3

Rung2 - Forsinkelse

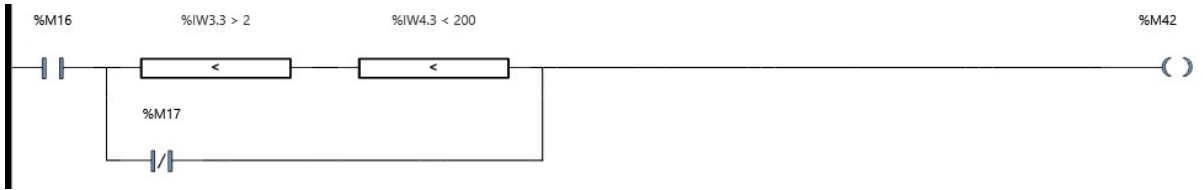


Variables used:

%M16
%M17
%TM19

Rung3 - FT stopper pumpe

Comment: Det kan også gjøres med å bruke leveltransmitteren i miksertank 1



Variables used:

%IW3.3	FT1	
%IW4.3	LT3	
%M16		
%M17		
%M42	MPUMPE3_2	fra tøm reak til pumpe 3

Rung4 - Avslutte programmet



Variables used:

%M42	MPUMPE3_2	fra tøm reak til pumpe 3
%M73		Overøfre fra miksertank 1 til 2

6 - Alkohol til miksertank 2

Master Task

Rung0



Variables used:

%M36	Overføring alkohol til miksertank 2
%M38	Overføring av alkohol til miksertank 1
%M110	MCV013_OPEN
%M133	MCV011_CLOSE

Rung1



Variables used:

%M36	Overføring alkohol til miksertank 2
%M37	MP006_2
%TM13	

Rung2



Variables used:

%IW4.2	LT2
%M36	Overføring alkohol til miksertank 2
%MW2	

Rung3



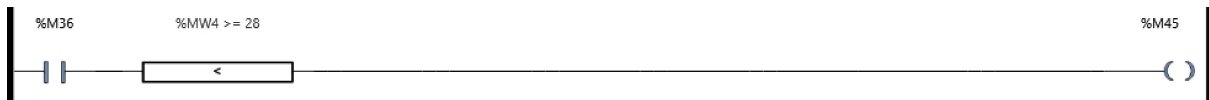
Legend:

1 %MW4 := %MW2 - %IW4.2

Variables used:

%IW4.2	LT2
%M36	Overføring alkohol til miksertank 2
%MW2	
%MW4	

Rung4



Variables used:

%M36	Overføring alkohol til miksertank 2
%M45	Stop pumpe
%MW4	

Rung5



Variables used:

%M36	Overføring alkohol til miksertank 2
%M45	Stop pumpe

7 - Varming miksertank 2

Master Task

Rung0 - Ventiler



Variables used:

%M4	M4	Start kondenser
%M64		
%M67		start tempsjekk
%M80	MCV001_CLOSE_1	CV1 close
%M81	MCV004_CLOSE_2	v4 close
%M82	MCV003_OPEN_1	v3 open
%M83	MCV005_VENSTRE_1	v5 venstre

Rung1



Variables used:

%IW3.4	TT4	
%M67		start tempsjekk
%M79		

Rung2



Variables used:

%IW3.4	TT4	
%M79		
%MW8		

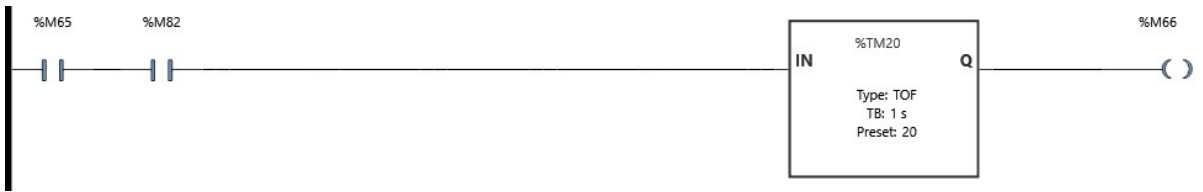
Rung3 - Utsettelse



Variables used:

%M64
 %M65
 %TM17

Rung4 - Start pumpe



Variables used:

%M65
 %M66 MP001_2
 %M82 MCV003_OPEN_1 v3 open
 %TM20

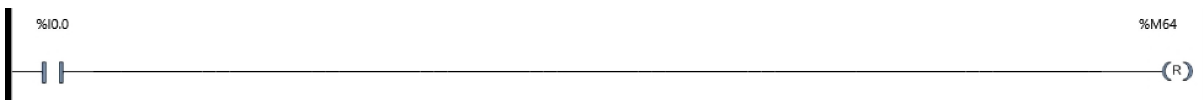
Rung5 - Varmeelement



Variables used:

%I0.0 LS1 Varm
 %M66 MP001_2
 %M84 MHEATER_V001_1 heater on
 %MW8
 %TM1

Rung6



Variables used:

%I0.0 LS1 Varm
 %M64

8 - Sirkulering miksertank 2

Master Task

Rung0 - Ventiler



Variables used:

%M77		Sirkulering miksertank 2
%M107	MCV015_HØYRE	
%M131	MCV010_HØYRE	
%M135	MCV012_CLOSE	

Rung1 - Pumpe



Variables used:

%M20		
%M41	MPUMPE4_1	pumpe 4
%TM4		

Rung2



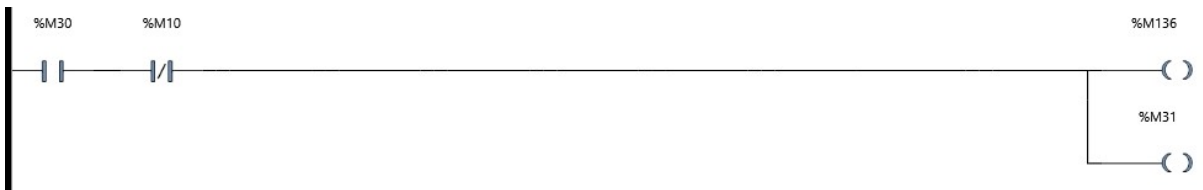
Variables used:

%M41	MPUMPE4_1	pumpe 4
%M77		Sirkulering miksertank 2
%TM24		

9 - Tøm reaktor 2

Master Task

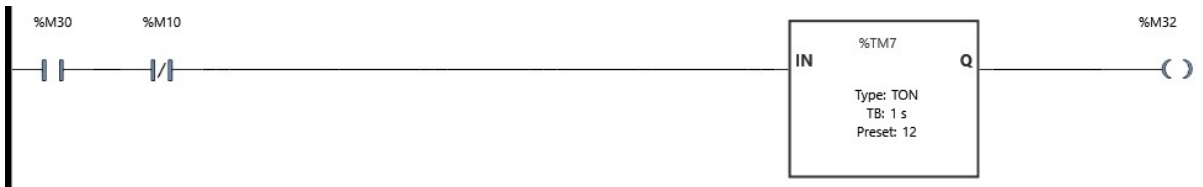
Rung0 - Start tøm reaktor



Variables used:

%M10		Start sirkulering
%M30		Tøm reaktor 2
%M31	MCV015_HØYRE_1	ventil 15 høyre
%M136	MCV012_OPEN	

Rung1 - Forsinkelse ventil



Variables used:

%M10		Start sirkulering
%M30		Tøm reaktor 2
%M32		
%TM7		

Rung2 - Forsinkelse FT



Variables used:

%M32		
%M33		
%TM10		

Rung3 - FT stopper pumpe



Variables used:

%IW3.2	FT2	
%M32		
%M33		
%M43	MPUMPE4_3	pumpe 4

10 - Sentrifuge

Master Task

Rung0 - Ventiler og sentrifuge



Variables used:

%M23

%M78

%M106 MSENTRIFUGE

%M108 MCV015_VENSTRE

%M132 MCV010_VENSTRE

%M138 MCV014_OPEN

Rung1 - Pumpe 4



Variables used:

%M23

%M24

%M25 MP004FORWARD_1

PUMPE 4

%TM5

Vente på ventiler

Rung2 - Pumpe 4 fart

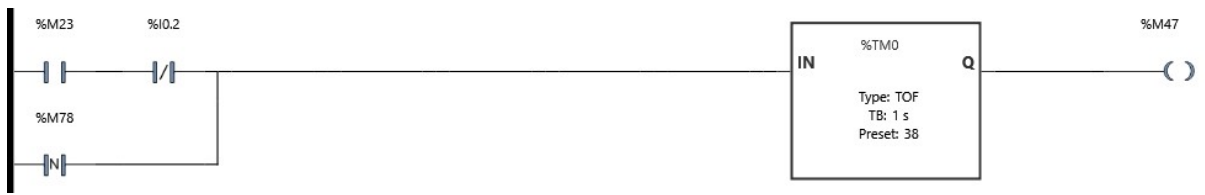


Variables used:

%M24

%QW4.1 P004_FREKVENNSTYRING

Rung3 - Akkumulatortank



Variables used:

%I0.2	LS3	Akkumulatortank
%M23		
%M47	MP005_1	pumpe 5
%M78		
%TMO	T0	Akkumulatoren slutter å gå etter xx tid

11 - Start kondenser

Master Task

Rung0 - Start kondenser

Label: %L0



Variables used:

%I0.1	LS2	Kald
%M4	M4	Start kondenser
%M61	MCV002_CLOSE_4	
%M62	MCV004_CLOSE_1	
%M102	MP002	

12 - Koking miksertank 2

Master Task

Rung0 - Ventiler



Variables used:

%M4	M4	Start kondenser
%M85		
%M86	MCV001_CLOSE_2	v1 close
%M87	MCV004_CLOSE_3	v4 close
%M88	MCV003_OPEN_2	v3 open
%M89	MCV005_VENSTRE_2	v5 venstre
%M90		start tempsjekk

Rung1



Variables used:

%IW3.4	TT4	
%M90		start tempsjekk
%M91		

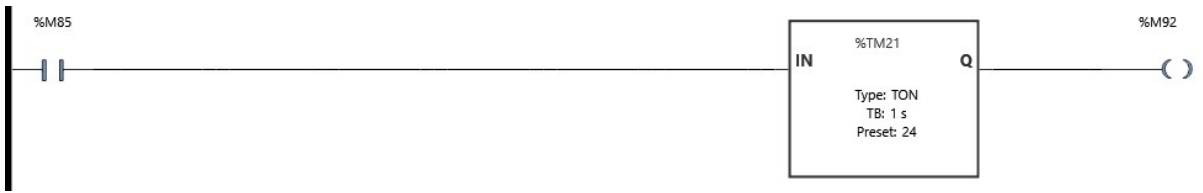
Rung2



Variables used:

%IW3.4	TT4	
%M91		
%MW9		

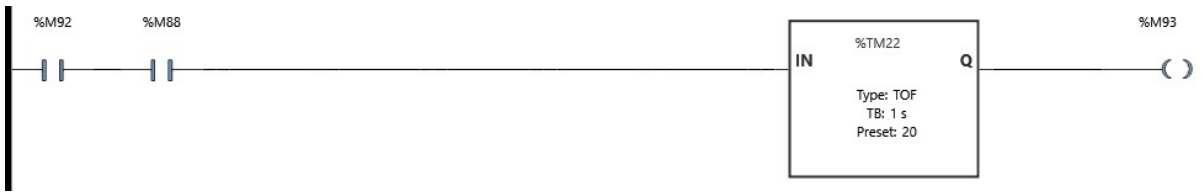
Rung3 - Utsettelse



Variables used:

%M85
 %M92
 %TM21

Rung4 - Start pumpe



Variables used:

%M88	MCV003_OPEN_2	v3 open
%M92		
%M93	MP001_3	p01 on
%TM22		

Rung5 - Varmeelement



Variables used:

%I0.0	LS1	Varm
%M93	MP001_3	p01 on
%M94	MHEATER_V001_2	heater on
%MW9		

Rung6



Variables used:

%I0.0	LS1	Varm
%M85		

13 - Kjøling miksertank 2

Master Task

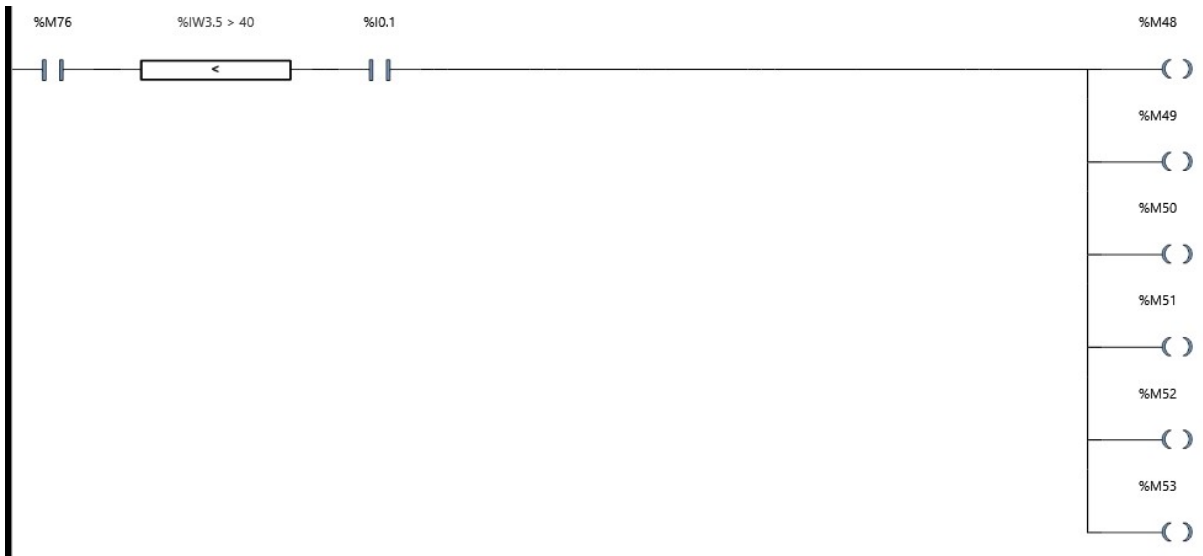
Rung0



Variables used:

%M4	M4	Start kondenser
%M54		start program
%M75		Klargjør varming miksertank 2
%M76		

Rung1



Variables used:

%I0.1	LS2	Kald
%IW3.5	TT3	
%M48	MCV003_CLOSE_1	cv3 close
%M49	MCV002_CLOSE_3	c2 close
%M50	MCV004_OPEN_1	cv4 open
%M51		
%M52	MP002_1	p002
%M53	MCV006_HØYRE_1	cv6 høyre
%M76		

Rung2



Variables used:

%M4 M4

%M51

Start kondenser

14 - Tøm miksertank 2

Master Task

Rung0 - Ventil



Variables used:

%M2 MCV015_VENSTRE_1
%M3 M3

Rung1 - Forsinkelse



Variables used:

%M3 M3
%M95
%TM16

Rung2



Variables used:

%M0 M0
%M95
%TM14

Rung3 - Utsettelse før pumpe 4



Variables used:

%IW3.2 FT2
%M0 M0
%M1 MPUMPE4_2 start pumpe 4
%M95

15 - Ventiler

Master Task

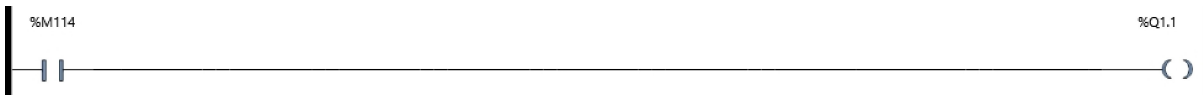
Rung0



Variables used:

%M80	MCV001_CLOSE_1	CV1 close
%M86	MCV001_CLOSE_2	v1 close
%M113	MCV001_CLOSE	
%Q1.0	CV001_CLOSE	

Rung1



Variables used:

%M114	MCV001_OPEN	
%Q1.1	CV001_OPEN	

Rung2



Variables used:

%M5	MCV002_CLOSE_1	
%M8	MCV002_CLOSE_2	
%M49	MCV002_CLOSE_3	c2 close
%M61	MCV002_CLOSE_4	
%M115	MCV002_CLOSE	
%Q1.2	CV002_CLOSE	

Rung3



Variables used:

%M116	MCV002_OPEN
%Q1.3	CV002_OPEN

Rung4



Variables used:

%M48	MCV003_CLOSE_1	cv3 close
%M63	MCV003_CLOSE_2	
%M117	MCV003_CLOSE	
%Q1.4	CV003_CLOSE	

Rung5



Variables used:

%M82	MCV003_OPEN_1	v3 open
%M88	MCV003_OPEN_2	v3 open
%M118	MCV003_OPEN	
%Q1.5	CV003_OPEN	

Rung6



Variables used:

%M62	MCV004_CLOSE_1	
%M81	MCV004_CLOSE_2	v4 close
%M87	MCV004_CLOSE_3	v4 close
%M119	MCV004_CLOSE	
%Q1.6	CV004_CLOSE	

Rung7



Variables used:

%M50	MCV004_OPEN_1	cv4 open
%M120	MCV004_OPEN	
%Q1.7	CV004_OPEN	

Rung8



Variables used:

%M121	MCV005_HØYRE	
%Q1.8	CV005_CLOSE	

Rung9



Variables used:

%M83	MCV005_VENSTRE_1	v5 venstre
%M89	MCV005_VENSTRE_2	v5 venstre
%M122	MCV005_VENSTRE	
%Q1.9	CV005_OPEN	

Rung10



Variables used:

%M53	MCV006_HØYRE_1	cv6 høyre
%M123	MCV006_HØYRE	
%Q1.10	CV006_CLOSE	

Rung11



Variables used:

%M124	MCV006_VENSTRE	
%Q1.11	CV006_OPEN	

Rung12



Variables used:

%M18	MCV007_HØYRE_1	
%M125	MCV007_HØYRE	
%Q1.12	CV007_CLOSE	

Rung13



Variables used:

%M126 MCV007_VENSTRE
%Q1.13 CV007_OPEN

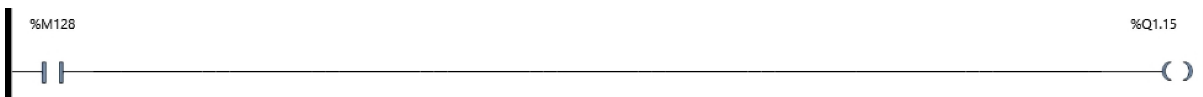
Rung14



Variables used:

%M127 MCV008_CLOSE
%Q1.14 CV008_CLOSE

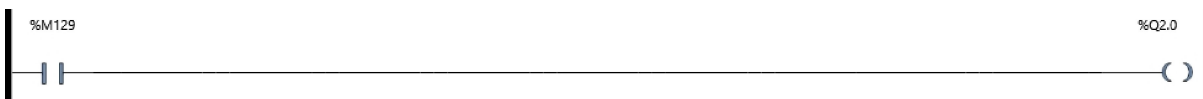
Rung15



Variables used:

%M128 MCV008_OPEN
%Q1.15 CV008_OPEN

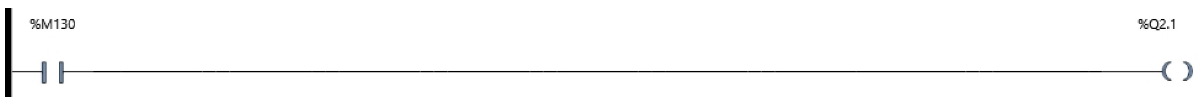
Rung16



Variables used:

%M129 MCV009_HØYRE
%Q2.0 CV009_CLOSE

Rung17



Variables used:

%M130 MCV009_VENSTRE
%Q2.1 CV009_OPEN

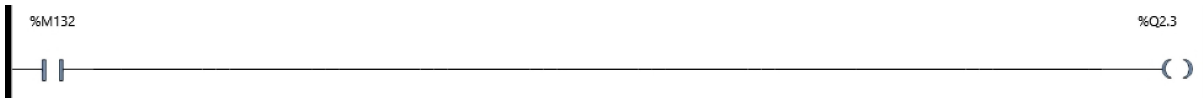
Rung18



Variables used:

%M131 MCV010_HØYRE
%Q2.2 CV010_CLOSE

Rung19



Variables used:

%M132 MCV010_VENSTRE
%Q2.3 CV010_OPEN

Rung20



Variables used:

%M133 MCV011_CLOSE
%Q2.4 CV011_CLOSE

Rung21



Variables used:

%M134 MCV011_OPEN
%Q2.5 CV011_OPEN

Rung22



Variables used:

%M135 MCV012_CLOSE
%Q2.6 CV012_CLOSE

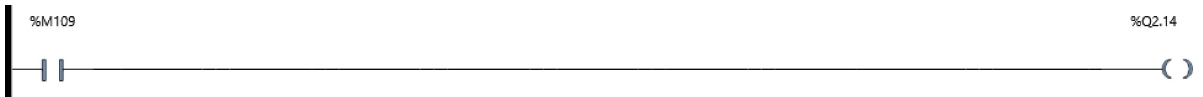
Rung23



Variables used:

%M136 MCV012_OPEN
%Q2.7 CV012_OPEN

Rung24



Variables used:

%M109 MCV013_CLOSE
%Q2.14 CV013_CLOSE

Rung25



Variables used:

%M110 MCV013_OPEN
%Q2.15 CV013_OPEN

Rung26



Variables used:

%M137 MCV014_CLOSE
%Q0.4 CV014_CLOSE

Rung27



Variables used:

%M138 MCV014_OPEN
%Q0.5 CV014_OPEN

Rung28



Variables used:

%M31 MCV015_HØYRE_1 ventil 15 høyre
%M107 MCV015_HØYRE
%Q0.7 CV015_OPEN

Rung29



Variables used:

%M2 MCV015_VENSTRE_1
%M108 MCV015_VENSTRE
%Q0.6 CV015_CLOSE

16 - C1 til C6

Master Task

Rung0



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M60	MP001_1	
%M66	MP001_2	
%M93	MP001_3	p01 on
%M101	MP001	
%Q2.8	P001	

Rung1



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M52	MP002_1	p002
%M102	MP002	
%Q2.9	P002_OG_K001	Pumpe og kjøler

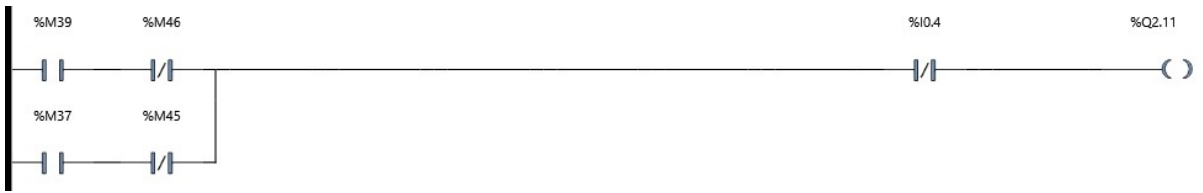
Rung2



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M47	MP005_1	pumpe 5
%M103	MP005	
%Q2.10	P005	

Rung3



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M37	MP006_2	
%M39	MP006_1	
%M45		Stop pumpe
%M46		
%Q2.11	P006	

Rung4



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M57		TT5 sjekk
%M84	MHEATER_V001_1	heater on
%M94	MHEATER_V001_2	heater on
%M105	MHEATER_V001	
%Q2.12	HEATER_V001	

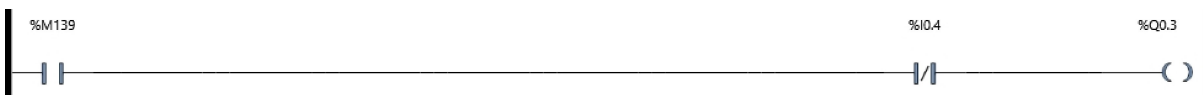
Rung5



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M106	MSENTRIFUGE	
%Q2.13	SENTRIFUGE_S001	

Rung6



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M139	MP003FORWARD	
%Q0.3	P003FORWARD	

Rung7



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M25	MP004FORWARD_1	PUMPE 4
%M140	MP004FORWARD	
%Q0.1	P004FORWARD	

17 - Pumpe 3

Master Task

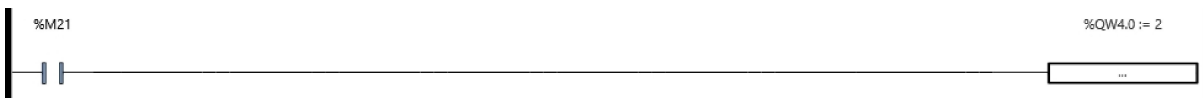
Rung0 - Pumpe



Variables used:

%I0.4	RØD_NØDSTOPP	
%M21		
%M34	MPUMPE3_0	
%M40	MPUMPE3_1	fra start sirkulering til pumpe 3
%M42	MPUMPE3_2	fra tøm reak til pumpe 3
%M139	MP003FORWARD	

Rung1 - Fart



Variables used:

%M21		
%QW4.0	P003_FREKVENNSTYRING	

18 - Pumpe 4

Master Task

Rung0



Variables used:

%M1	MPUMPE4_2	start pumpe 4
%M22		
%M35	MPUMPE4_0	
%M41	MPUMPE4_1	pumpe 4
%M43	MPUMPE4_3	pumpe 4
%M140	MP004FORWARD	

Rung1



Variables used:

%M22		
%QW4.1	P004_FREKVENNSTYRING	

19 - Pumpe 6

Master Task

Rung0



Variables used:

%M37	MP006_2
%M39	MP006_1
%M45	Stop pumpe
%M46	
%M104	MP006

20 - Varmeelement sikkerhet

Master Task

Rung0



Variables used:

%IW3.1	TT5	
%M57		TT5 sjekk
%M105	MHEATER_V001	



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway