

CHALMERS



Zeolit Pt/H- β som isomeriseringskatalysator för biodiesel

JOHAN ALMBLAD

EMEL CANSEY

ANDERS CARDFELT

CARL-ROBERT FLORÉN

FILIP NEDIN

Institutionen för kemi- och bioteknik

Avdelningen för teknisk ytkemi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2013

KBTX01-13-15

Abstract

Preem refinery in Gothenburg is currently manufacturing biofuel by adding renewable fuel compounds to fossil fuel. The renewable fuel compounds consist of linear n-alkanes, which are easily crystallized and thus impairing the cold properties of the fuel. Therefore, a smaller amount of renewable compounds can be added during winter. It is desirable to enable an increased composition of renewable compounds in biofuel which can be achieved by catalytic isomerization and thereby branching linear n-alknes.

Consequently a catalyst mass is constructed consisting of zeolite H- β , catalyst support and binder and loaded with 1.14 weight percent platinum. The catalyst is placed in a pilot plant in order to study the reaction of a diesel flow enriched with 10 weight percent hexadecane over the reactor whilst varying temperature and LHSV, which denotes the fraction between volumetric flow and catalytic volume. The temperature is varied between 210 °C and 240 °C and LHSV is varied between 0.6 m³/(m_{cat}³ · hour) and 1.46 m³/(m_{cat}³ · hour). The study uses hexadecane in order to imitate the linear n-alkane components of renewable fuel.

Samples are extracted from the pilot plant and analyzed with gas chromatography and distillation after which the densities and cloud points are investigated. The cloud point indicates at what temperature the fuel starts to crystallize. The results determined whether the cold properties have been improved and what reactions take place in the reactor. Also, after being used in the reactor, a sample of catalyst is investigated on the degree of coke formation, which deactivates the catalyst.

The results show cloud points below -22 °C for each temperature and LHSV setting. In addition, the results indicate considerable cracking at some variable settings, which entails loss of product. At 210 °C and LHSV 1,46 m³/(m_{cat}³ · hour) a low cloud point and little cracking is obtained. This indicates that isomerization actually takes place and that those settings are suitable for production. Withal, further studies should be made to evaluate temperatures below 210 °C and LHSV over 1,46 m³/(m_{cat}³ · hour) since there may be even better settings.

Sammanfattning

Preemraff i Göteborg tillverkar idag biodiesel genom att tillsätta biomaterial till fossil diesel. Biomaterialet består av linjära kolkedjor, vilka kristalliseras lätt och därmed har biodieseln sämre köldegenskaper än fossil diesel, vilket medför att inblandningen av biomaterial måste minskas under vintertid. Målet är att i framtiden kunna ha en hög inblandning av biomaterial oberoende av årstid, vilket kan genomföras genom att katalytiskt isomerisera, och därmed förgrena, de linjära kolkedjorna i biomaterialet.

Därför tillverkas en katalysatormassa av zeolit H- β , bärmaterial samt bindemedel, vilken laddas med 1,14 viktprocent platina. Massan installeras i en pilotanläggning för att studera hur ett dieselbälte med 10 viktprocent inblandning av hexadekan reagerar då temperatur och LHSV, som är kvoten mellan volymsflödet genom pilotanläggningen och katalysatorvolymen, varierar. Temperaturen varierar mellan 210 °C och 240 °C, medan LHSV varierar mellan 0,60 m³/(m_{kat}³ · timma) till 1,46 m³/(m_{kat}³ · timma). Hexadekan används i studien för att efterlikna de linjära biokomponenterna i biodieseln.

Produktprover tas från pilotanläggningen och analyseras med gaskromatografi och destillation, varefter provernas densitet samt cloud point utreds. Cloud point visar vid vilken temperatur en dieselblandning börjar kristallisera. Med resultaten kan det avgöras om köldegenskaperna förbättras och vilka reaktioner som sker i anläggningen. Därefter utreds ett prov av katalysatormassan för att konstatera om koks bildning sker, vilket förgiftar katalysatormassan.

Resultaten visar att cloud point är under -22 °C för samtliga inställningar av temperatur och LHSV. De visar även att det sker betydande andel krackning vid vissa parameterinställningar, vilket är negativt eftersom det medför produktförlust. Vid 210 °C och LHSV 1,46 m³/(m_{kat}³ · timma) erhålls en låg cloud point och lite krackning, vilket antyder att isomerisering sker samt att driftinställningarna är lämpliga för kontinuerlig drift. I framtiden vore det vidare av intresse att undersöka temperaturer under 210 °C och LHSV över 1,46 m³/(m_{kat}³ · timma) för att undersöka om bättre driftinställningar existerar.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Problem	1
1.4	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Egenskaper hos katalysatormassan	3
2.1.1	Zeoliter	3
2.1.1.1	Struktur	3
2.1.1.2	Sura aktiva säten	4
2.1.2	Platina	5
2.1.3	Bärmaterial	6
2.1.4	Bindemedel	6
2.2	Egenskaper hos biodieseln	6
2.3	Reaktioner	7
2.3.1	Isomerisering	7
2.3.2	Krackning	8
2.3.3	Hydrogenering	9
2.3.4	Alkylering	9
2.3.5	Koksbildning	9
2.4	Selektivitet	9
2.4.1	Selektivitet genom katalysatorns egenskaper	10
2.4.2	Selektivitet genom driftparametrar	11
3	Materiel och metod	11
3.1	Materiel	11
3.1.1	Pilotanläggning	12
3.1.2	Destillationsapparat	12
3.1.3	Gaskromatograf	12
3.2	Metod	13
3.2.1	Tillverkning av katalysatormassa	13
3.2.2	Montering i pilotanläggning	13
3.2.3	Kontinuerlig provtagning	14
3.2.4	Analys av produktprover	15
3.2.5	Destillation	15
3.2.6	Analys utförda av Preemraff i Göteborg	15
3.2.7	Analys av katalysatormassa	15
4	Resultat	16
5	Diskussion	19
5.1	Utvärdering av resultat	19
5.2	Granskning av utförande	20
5.3	Förslag på förbättringar	21
6	Slutsats	22

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det svenska oljebolaget Preem säljer idag en diesel med upp till 30 % inblandning av biomaterial, vilket sänker det fossila koldioxidutsläppet jämfört med fossil diesel [1]. På grund av svensk miljölagstiftning har biodiesel stora skattelättnader jämfört med fossil diesel, vilket i sin tur lämnar utrymme för biodiesel att konkurrera som drivmedel ur lönsamhetssynpunkt [2]. Därför finns det stora vinster i att finna lösningar som kan öka halten förnybar råvara i diesel. Biodiesel har dock sämre koldgenskaper än fossil diesel, eftersom de linjära n-alkanerna i biodieseln börjar kristalliseras vid högre temperatur än motsvarande förgrenade iso-alkaner och därför måste andelen biomaterial i dieseln minskas på vintern.

För att förbättra koldgenskaperna hos biodieseln och därmed möjliggöra större inblandning av biomaterial i bränslet även på vintern är det alltså av intresse att omvandla n-alkaner till iso-alkaner, vilket sker genom isomerisering. Vid isomeriseringen sker dock många andra reaktioner. Därför används katalytisk isomerisering, då katalysatorn, förutom att accelerera reaktionerna, även påverkar selektiviteten, så att isomerisering föredras framför andra reaktioner.

Katalys spelar idag en avgörande roll vid industriell produktion av kemikalier. För petroleumindustrin har katalys inneburit att större andel av råoljan kan utnyttjas, vilket har medfört stora vinster. En intressant grupp katalytiska ämnen inom petroleumindustrin är zeoliter, vilka är mikro-porösa strukturer med porer av karaktäristisk storlek och som med fördel kan impregneras med ädelmetaller, exempelvis platina, och användas som katalysatorer [3]. Zeolit H- β är en intressant zeolit som har porer av molekyllär storleksordning och därmed bör vara lämplig som katalysator-massa.

1.2 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att tillverka katalysatorpartiklar av platinaladdad zeolit H- β och utvärdera dem som isomeriseringskatalysator för biodiesel. Erhållna resultat ska underlätta val av isomeriseringskatalysator för Preemraff i Göteborg så att de i framtiden kan producera biodiesel med en högre halt biomaterial med bra koldgenskaper oberoende av årstid.

1.3 Problem

För att kunna utvärdera zeolit Pt/H- β som isomeriseringskatalysator för biodiesel behöver katalysatorpartiklar tillverkas med given sammansättning av zeolit H- β , bärmaterial och bindemedel för att därefter laddas med platina. Eftersom blandningen uppträder dilatant efter tillsats av vatten [4], det vill säga att den ökar sin viskositet då den utsätts för skjuvning, behöver rätt mängd vatten tillsättas till blandningen för att framställningen av katalysatorpartiklarna ska vara möjlig.

Det måste verifieras att de erhållna katalysatorpartiklarna är aktiva och kan isomerisera biodiesel överhuvudtaget. Dessutom kommer katalysatorpartiklarna inte ha konstant aktivitet; framförallt i början har katalysatormassan hög aktivitet på grund av de mycket sura aktiva säten som då finns i zeoliten [5]. Dessa aktiva säten förgiftas dock snabbt genom koks bildning tills att katalysatorn når en lägre approximativt konstant aktivitetsnivå [5]. Även efter denna initiala koks bildning fortsätter förgiftningen av katalysatorn, om än långsammare. För att kunna urskilja om resultat härrör från aktivitetsförändringar hos katalysatormassan eller om resultat kommer av ändringar av kontrollerade parametrar bör alltså förgiftningen av katalysatormassan undersökas.

Då katalysatormassan installeras i en pilotanläggning förväntas ett flertal reaktioner ske förutom isomerisering, varav endast ett fåtal är gynnsamma. En betydande sidoreaktion är krackning, vilken

i viss mån kan vara konstruktiv men som ofta medför stora förluster och därför önskas minimeras. Selektiviteten för isomerisering, samt de reaktioner som är gynnsamma för isomerisering, beror av flera driftparametrar, varav temperatur och uppehållstid på katalysatormassan är de viktigaste. För att katalysatorn i en eventuell framtida storskalig användning ska uppträda optimalt ska optimala driftparametrar identifieras, varför försök utförs med varierande temperatur i reaktorn och varierande flöde av biodiesel, vilket direkt relaterar till dess uppehållstid på katalysatormassan. För att studien ska ge resultat som är jämförbara och ger möjlighet till uppskallning av pilotanprocessen används måttet Liquid Hourly Space Velocity, LHSV, för att mäta flödet i reaktorn. LHSV definieras enligt

$$\text{LHSV} = \frac{q}{V_{\text{kat}}} \quad (1)$$

där q är volymsflödet i m^3/timma och V_{kat} är volymen m_{kat}^3 som katalysatorpartiklarna upptar i reaktorn.

Dessutom är det av intresse att kunna förklara katalysatormassans aktivitet teoretiskt, som främst beror av katalysatormassans partikel- och porstorlek samt hur dess sura aktiva säten är beskaffade; täthet, surhet och position av de sura aktiva sätena påverkar katalysatorns aktivitet och selektivitet [3]. Därför kommer strukturen och de sura sätena att undersökas teoretiskt.

1.4 Avgränsningar

För att utvärdera katalysatormassan görs ett flertal avgränsningar i arbetet. De består främst av egenskaper hos katalysatorn samt andra parametrar som påverkar omsättningsgraden men som inte ryms i kandidatarbetet på grund av begränsningar i tid och analysmetoder.

En central avgränsning är att det i projektet ej används industriellt framställd biodiesel, utan biodieseln efterliknas med fossil diesel med tillsats av cirka 10 viktsprocent hexadekan. Preemraff i Göteborg framställer biodiesel genom att tillsätta fettsyror från tallolja [1], som bland annat innehåller 49,3 % oljesyra ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) och 45,1 % linolsyra ($\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$) [6] [7], till den vanliga dieseln. Därför hade det varit lämpligt att använda en linjär alkan med cirka 18 kolatomer för att simulera biokomponenterna i biodieseln. På grund av tillgång och pris används istället hexadekan, vilket är en linjär kedja av 16 kolatomer.

Vid tillverkningen av katalysatormassan skulle även effekten av dess sammansättning kunna utredas genom att skapa flera katalysatormassor och undersöka dessa. Framförallt halten av platina och zeolit H- β vore av intresse att optimera, eftersom dessa komponenter medför stora investeringskostnader. Dessutom vore det av intresse att undersöka valet av bärmaterial och bindemedel. Under projektets gång undersöks dock endast en katalysatormassa, eftersom det endast finns tillgång till en pilotanläggning och därmed upptar undersökningen av en katalysatormassa stor del av projekt-tiden.

Övriga egenskaper hos katalysatormassan som ej utreds är effekten av filmtransport vid katalysatorpartiklarnas yta samt portransporten inom katalysatorpartiklarna. Dessa transportprocesser påverkar både omsättningen över katalysatormassan och selektiviteten för olika reaktioner. Effekten kan utredas genom att variera partikelstorleken och därmed förhållandet mellan partikelytan och längden av porerna. Som tidigare nämnt medför begränsningar i tid att endast en katalysatormassa hinner utredas, varför partikelstorleken inte varierar.

Under den teoretiska utredningen av katalysatormassans egenskaper avgränsas dessutom arbetet till att endast undersöka katalysatorns enskilda beståndsdelar. Därmed anses katalysatormassans egenskaper kunna beskrivas som en summa av egenskaperna hos dess beståndsdelar. För att kunna

utreda katalysatormassans egentliga egenskaper bör egenskaperna hos en katalysatormassa med samma beståndsdelar utredas, men en sådan katalysatormassa har ej påträffats i litteraturstudien, varför detta utelämnas i arbetet.

Det finns även driftparametrar som ej utreds. Åtminstone totaltrycket över reaktorn och flödet av vätgas är två driftparametrar som påverkar omsättning och selektivitet, men som ej utreds. Totaltrycket varierar ej, eftersom trycket i den storskaliga anläggningen hos Preemraff i Göteborg är begränsat till cirka 55 bar. Effekten av varierat gasflöde undersöks ej eftersom det ej ryms i projekttiden; varje ny inställning av vätgasflödet medför ett stort antal extra prover.

2 Teori

För att kunna förstå katalysatormassans aktivitet behövs kännedom om hela systemet som används i projektet. Katalysatormassans egenskaper är förvisso centralt för studien men även biodieseln egenskaper, reaktionerna som sker i reaktorn samt selektiviteten för reaktionerna påverkar resultatet och måste därmed utredas. Med informationen kan sedan katalysatormassans egenskaper förklaras och informationen ger även möjlighet att ge förslag på förbättringar eller rentav förslag på en optimal katalysatormassa för isomerisering av biodiesel.

2.1 Egenskaper hos katalysatormassan

Egenskaperna hos katalysatormassan anses kunna beskrivas genom egenskaperna hos dess beståndsdelar. Särskild vikt läggs då vid de komponenter som antas vara viktiga för den katalytiska aktiviteten: zeoliten och platinat. Dock utreds även bärmaterialet och bindemedlet för att se hur dessa komponenter påverkar katalysatormassan.

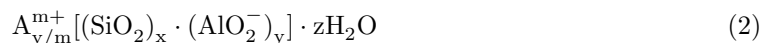
2.1.1 Zeoliter

Zeoliternas katalytiska effekt har sedan 1960-talet haft stor betydelse för den petrokemiska industrin, då zeolit Y introducerades och möjliggjorde katalytisk krackning. Denna katalytiska process medförde stora vinster genom att fraktioner av råoljan som tidigare hade lågt värde kunde omvandlas till fraktioner med högre värde, vilket anses vara den största revolutionen inom oljeraffinering hittills [8].

Zeoliter är mikroporösa kristallina strukturer som består av silikater och aluminiumsilikater [9]. De har flera egenskaper som är fördelaktiga för en katalysatormassa såsom stor ytarea, porer av molekylär storleksordning, sura aktiva säten och stor förmåga att adsorbera reaktanter till porytan. Dessutom är det möjligt att modifiera zeoliternas katalytiska aktivitet genom att påverka de elektroniska egenskaperna hos de aktiva sätena i zeoliten [9]. Zeoliternas katalytiska aktivitet anses bero på deras tredimensionella struktur samt deras sura aktiva säten.

2.1.1.1 Struktur

Zeoliternas grundläggande byggstenar är tetraediska enheter av SiO_4 och AlO_4 , vilka binds ihop med syreatomerna till en tredimensionell oorganisk makromolekyl [3] [9]. Eftersom de tetraediska oxiderna binds ihop med sina syreatomer bli nettoformeln för enheterna i ramverket SiO_2 och AlO_2^- och den negativa laddningen hos tetraederna med aluminium kompenseras med motjoner. Därmed kan en zeolit allmänt beskrivas med nettoformeln



där A är en godtycklig katjon med laddningen $m+$, x och y är antalet kisel- respektive aluminium-tetraedrar per kristallografisk enhetscell och z är antalet vattenmolekyler som ryms i hålrummen per kristallografisk enhetscell. Kvoten x/y utgör alltså $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$, vilket är en kvot som används för att karaktärisera zeoliterna. För kvoten gäller att $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}} \geq 1$, eftersom endast vissa bindningar är tillåtna i strukturen; bindningar av typen Al-O-Al är instabila [10], vilket innebär att endast bindningar av typen Al-O-Si och Si-O-Si existerar i zeolitstrukturen och att två aluminiumtetraedrar ej kan ligga bredvid varandra [3].

Nätverket av tetraediska enheter bygger upp en tredimensionell struktur med kanaler och porer. Zeoliterna har generell por- och kanaldiametrar som är mindre än 2 nm [3], vilket innebär att porerna och kanalerna är av molekylär storleksordning [3] [9]. Detta medför att zeoliter räknas som mikroporösa material [11], jämfört med andra solider som normalt har pordiametrar från 10 nm [3] och därmed räknas som makroporösa. Pordimetrarna är dessutom strikt uniforma i hela zeoliten, vilket särskiljer zeoliterna från andra solida katalysatorer [3]. Just zeolit H- β har förhållandevis vida elliptiska kanaler, som består av ringar av 12 tetraedrar [12]. Medeldimensionerna för kanalerna i hela strukturen är $0,64 \times 0,76$ nm [13], där måtten anger konjugataxeln respektive transversalaxeln i det elliptiska tvärsnittet för kanalen. Mer specifikt består zeolit H- β av två olika sorters kanaler; den ena sorten utgörs av linjära kanaler med diameterna $0,57 \times 0,75$ nm [12] ($0,62 \times 0,72$ nm [9]), medan den andra typen är mer komplexa kanaler med diametern $0,56 \times 0,65$ nm [12] ($0,55 \times 0,55$ nm [9]). Kanalerna i zeolit H- β korsar varandra, vilket innebär att även om en kanal blockeras kan en molekyl i kanalen transporteras vidare i porsystemet via en annan korsande kanal [14].

Storleken på porstrukturen begränsas av hur stora kristallina partiklar som skapas vid katalysator-tillverkningen. Därmed påverkar partikelstorleken katalysatorns aktivitet; beroende på partiklarnas storlek kommer reaktionerna på partikelns yta eller reaktioner i partikelns porer att dominera. För en zeolitpartikel är normalt partikelytan försumbar jämfört med porytan och reaktionerna i porsystemet kommer därför att dominera. Då kan det vara fördelaktigt att tillverka zeolitpartiklar med liten partikeldiameter, eftersom det medför kortare sträcka i porsystemet och därmed blir portransporten inte är lika begränsande och reaktionshastigheten vid porytan utnyttjas till fullo [3]. Om kristallstorleken minskas för mycket, så att kristalldiametern är mindre än cirka $0,1 \mu\text{m}$, blir dock kristallytan inte längre försumbar jämfört med porytan, vilket är starkt negativt för selektivitet med avseende på storlek och form, eftersom det endast kan ske i zeolitens kanaler och håligheter [3].

2.1.1.2 Sura aktiva säten

Många reaktioner inom organ kemi är syrakatalyserade, varför de sura sätena i zeoliterna är av intresse. I zeolitstrukturer finns det sura säten av både Lewis- och Brønstedtyp, vilket medför att zeoliterna kan anses vara syror i fast fas [12]. Parametrar som påverkar den katalytiska aktiviteten för ett aktivt säte är vilken typ av surt säte det är (Lewis eller Brønsted), koncentrationen av de sura sätena, surheten hos de aktiva sätena samt de sura sätenas placering [3].

De sura sätena av Brønstedtyp består av de protoner som agerar motjoner vid aluminiumtetraedrarna i zeoliterna [9] och kan skapas på flera olika sätt. Vanligtvis ersätts de metalliska motjonerna i (2) med NH_4^+ genom jonbyte och värms därefter tills ammoniumjonen sönderfaller och lämnar kvar H^+ . Sura säten av Brønstedtyp kan även skapas genom att tillsätta ett salt av en katjon med högre oxidationstal (exempelvis $[\text{La}(\text{H}_2\text{O})_n]^{3+}$) och sedan värma tills dehydrering sker. Det är även möjligt att skapa sura säten av Brønstedtyp genom jonbyte med H^+ , men det undviks eftersom det kan leda till en minskning av aluminium i nätverket. Om zeoliten innehåller mycket aluminium skulle en sådan minskning kunna leda till kollaps av den tredimensionella strukturen [3].

Oavsett vilket sätt som Brønstedtsyrorna skapas på är den kemiska naturen för de Brønstedsuras aktiva sätena densamma: överbryggande hydroxylgrupper vilka skapas av H^+ och ett syre från en AlO_4 -tetraeder. Vid höga temperaturer (högre än $500\text{ }^\circ C$) dehydroxyleras sätena, vilket efterlämnar Lewissura aktiva säten, vars struktur är oklar. Det är tveksamt om de sura sätena av Lewistyp har någon inverkan alls på syrakatalyserade reaktioner. Under vissa förhållanden kan dock Lewissura aktiva säten förstärka styrkan av närliggande Brønstedsuras säten [3].

Zeolit H- β är en stark Brønstedsyra [12] och har, liksom andra zeoliter mycket surare aktiva säten än de amorfa strukturer av kisel och aluminium som tidigare användes inom industrin [3]. Koncentrationen av och styrkan på de sura sätena i zeoliten beror till stor del på nätverkets aluminiuminnehåll, eftersom det är AlO_4 -tetraederna som huserar protonerna [3]. Därmed är det tydligt att koncentrationen av sura säten i zeoliten beror direkt av kvoten n_{Si}/n_{Al} ; en låg kvot ger en större koncentration av sura aktiva säten. Även styrkan hos sätena beror av aluminiuminnehållet, men på en mer kompakt sätt. På grund av att kisel har högre elektronegativitet än aluminium kommer de starkaste Brønstedsätena i zeoliterna att finnas vid isolerade AlO_4 -tetraedrar, det vill säga de som inte har några AlO_4 -tetraedrar som närmsta granne [3] [9]. Därför kan minskning av aluminiuminnehållet öka den katalytiska aktiviteten, trots att antalet sura säten minskar. Så är exempelvis fallet för zeolit Y upp till $n_{Si}/n_{Al} \approx 10$ [3]. Zeolit H- β kan syntetiseras med cirka $12 \leq n_{Si}/n_{Al} \leq 200$, men normalt görs framställningen med cirka $10 \leq n_{Si}/n_{Al} \leq 30$ [15]. Surheten hos de sura aktiva säten beror även av temperaturen; ökad temperatur medför surare aktiva säten [13].

2.1.2 Platina

Platinas katalytiska aktivitet har varit känd sedan början av 1800-talet, varför platina tillsätts till många katalysatormassor [16]. I zeoliter katalyserar platina isomeriseringen av n-alkaner och vid närvaro av vätgas katalyserar det även krackning [17]. Platinas aktivitet kommer av att det absorberar vätgas och lätt binder alken till ytan [16], vilket medför att det vid närvaro av vätgas även katalyserar hydrogenering och dehydrogenering av alken respektive alkaner [17].

Då platina tillsätts till zeoliter uppvisar det även egenskaper förutom de rent katalytiska egenskaperna. Vissa zeoliter har katalytiska egenskaper även utan närvaro av platina [18], men aktiviteten avtar snabbt då katalysatormassan förgiftas genom att de mest aktiva sätena blockeras av koks-bildning. Genom tillsats av platina avtar förgiftningen så att inte alla aktiva säten förgiftas och katalysatormassan når en approximativt konstant aktivitet [17].

Fördelningen av platina i katalysatormassan har direkt inverkan på dess selektivitet och därför är sättet på vilket platina introduceras i katalysatormassan viktigt; beroende på metod placeras platinapartiklarna olika långt in i katalysatorns porsystem eller på katalysatorpartiklarnas yta. I ett flertal zeoliter kan platina introduceras via jonbyte i form av tetraaminplatina(II)nitrat. Platinats fördelning i zeolitmassan beror vid jonbyte främst på zeolitmassans struktur [19]; vidare porer medför att det är möjligt för platinakomplexet att diffundera längre in i zeolitstrukturen. I andra zeoliter består kanalsystemet av mycket små kanaler och sådana fall kan platina ej introduceras till kanalsystemet via jonbyte, eftersom platinakomplexet inte kommer in i porerna. Istället används då impregnering för att introducera platina i zeoliten, vilket innebär att platinakomplexet blandas in i zeoliten initialt i tillverkningen (istället för att introduceras sist, då strukturen redan är färdig). Zeolit H- β har förhållandevis vida porer, vilket gör jonbyte möjligt. Fördelningen av platina i katalysatormassan beror även av katalysatorpartiklarnas storlek; om partikelstorleken är liten är porsystemets storlek begränsad och platinat kommer främst att positioneras på partiklarnas yta. Om partiklarna däremot är mycket stora kommer platinat inte lyckas tränga in i mitten utan finna sig i yttre delen av porsystemet [18].

2.1.3 Bärmaterial

Eftersom zeolit Pt/H- β är en heterogen katalysator är det av vikt att maximera ytarean för partiklarna. Aluminium(III)oxid, Al_2O_3 , bildar en kristallin porös struktur som ger stor yta, varför den används som bärmaterial för katalysatorn. Aluminium(III)oxid har dessutom en smältpunkt på 2072°C , vilket är passande för reaktormiljöer med höga temperatur- och tryckförhållanden. Ytterliggare en effekt som aluminium(III)oxiden bidrar med är att kristallstrukturen, som är uppbyggd av oktahedriskt aluminium(III)oxid kan agera protontransport, vilket förbättrar den katalytiska aktiviteten hos närliggande platinaagglomerat i katalysatosmassan [20].

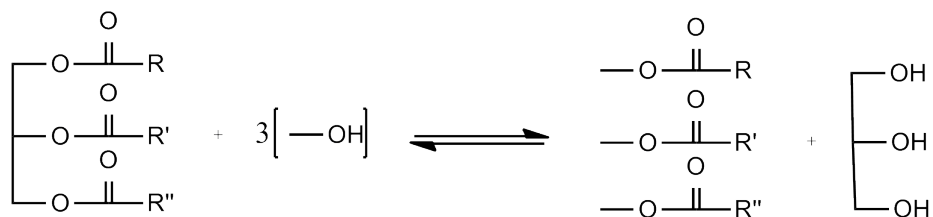
Aluminium(III)oxid agerar även i vissa fall katalysator på egen hand. Exempelvis katalyserar aluminium(III)oxid Clausprocessen, men visar inga tecken på katalytisk aktivitet i någon av de för processen viktiga reaktionerna [21].

2.1.4 Bindemedel

Som bindemedel används aluminium(III)klorhydrat; en saltförening som tillskrivs egenskaper som de för oorganiska polymerer. Detta innebär att det kan användas som bindemedel i exempel deodoranter men även som bindemedel till porösa katalysatorpartiklar där det bidrar till ökad hållfasthet. Det aluminium(III)klorhydrat som används som bindemedel i katalysatormassan har den stökiometriska sammansättningen $\text{Al}(\text{OH})_{3-0,9}\text{Cl}_{0,9}$. För zeoliter är aluminium(III)klorhydrat ett bra bindemedel då det tillåter porstrukturerna att vara intakta. Optimal bindemedelsfunktion uppnås om aluminium(III)klorhydrat tillsätts som vätskelösning till aluminium(III)oxid och zeolit och sedan kalcineras [22].

2.2 Egenskaper hos biodieseln

Biomaterialet i biodieseln framställs av vegetabiliska oljor och animaliska fetter, som är triglycerider. Efter transesterifiering av triglycerider tillsammans med alkoxider skapas fettsyrametylestrar, vilka tillsätts till fossil diesel för att skapa biodiesel [23].



Figur 1: Transesterifiering av en triglycerid. Vid transesterifieringen bildas tre fettsyrametylestrar.

Fettsyrametylestrarnas egenskaper beror till stor del av strukturen hos den längre kedjan av metylestern, som kommer från triglyceriden. Egenskaperna påverkas exempelvis av kedjans längd, antal dubbelbindningar i kedjan och eventuell förgrening av kedjan [23]. Fettsyrametylesterns egenskaper bestäms dock inte enbart av den längre kedjan, eftersom även esterbindningen bidrar till egenskaperna. Fettsyrametylestrarna är normalt längre linjära kedjor, vilket medför att de kan packas tätt och att fryspunkten är högre jämfört med många andra molekyler i fossil diesel. Biodiesel med en hög sammansättning av biomaterial har därmed dåliga köldegenskaper.

Biodieseln köldegenskaper karakteriseras med temperaturerna cloud point, cold filter plugging point och pour point [24]. Cloud point är ett mått på den temperatur då de tyngre fettsyrametylestrarna kristalliseras och biodieseln övergår från att vara genomskinlig till att bli grumlig. När

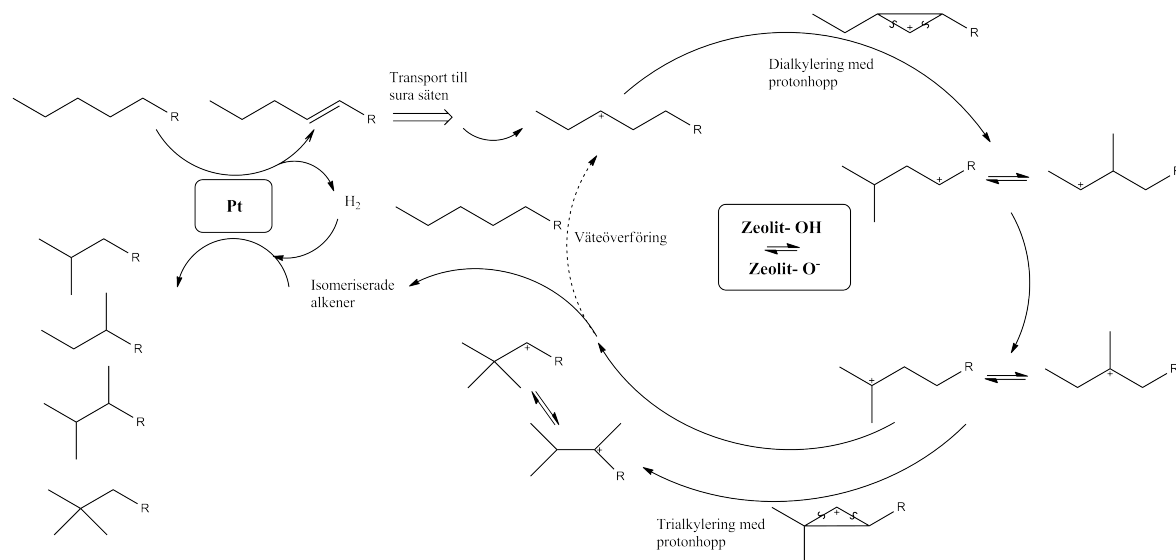
kristallbildning sker försämras bränslets viskositet, flyktighet, flytbarhet och filtrerbarhet [25]. När temperaturen fortsätter att sjunka växer kristallpartiklarna, vilket minskar vätskans möjlighet att strömma genom porösa medier och medför att filter blockeras. Filtrerbarheten, cold filter plugging point, är den temperatur då bränslet fastnar i filtret [26]. Pour point är den lägsta temperaturen vid vilken oljan flyter; en hög pour point är dåligt, eftersom bränslet då snabbt stelnar. Biodiesel har en högre cloud point, cold filter plugging point och pour point än fossil diesel [27].

2.3 Reaktioner

I pilotanläggningens reaktor används drifttemperaturer inom intervallet 210 °C till 240 °C och ett totaltryck på 50 bar. Under dessa omständigheter förekommer ett flertal reaktioner, varav vissa är konstruktiva och andra är destruktiva för isomerisering. Omsättningen av samtliga reaktioner beror bland annat på temperatur, tryck och vilka kolkedjeföreningar som reagerar.

2.3.1 Isomerisering

Isomerisering är en kemisk reaktion som sker genom att befintliga kovalenta bindningar bryts och nya skapas, vilket medför en omlagring av atomerna som resulterar i en isomer. Reaktionen sker främst genom att alkaner förgrenas och ger med ökande antal kol dessutom ett ökande antal potentiella strukturisomerer. Det resulterar i en mängd produkter som är strukturellt likartade men som har varierande egenskaper. Isomerisering är inte en isolerad reaktion, utan beskrivs av ett reaktionsschema med flera ingående reaktioner. [28]



Figur 2: Reaktionsmekanism för katalytisk isomerisering av en n-alkan på platinaladdad zeolit [33].

Reaktionen katalyseras enligt figur 2 med platinaladdade zeoliter genom heterogen katalys. Reaktionsförloppet initieras genom att en alkan dehydrogeneras till en alken i närvaro av platina och bildar en karbeniumjon med hjälp av den sura katalysatorbädden [21]. Karbeniumjonen genomgår sedan omstrukturering till en isomer via di- och trialkylering med protonhopp. Både di- och trialkylerade karbeniumjoner kan reagera med en alkan och stabilisera den isomera molekylerna samtidigt som en ny karbeniumjonsalkan bildas och cykeln kan upprepas. Reaktionen fortskrider på detta vis till dess att karbeniumjonen reagerar med vätgas då en stabil isomer alkan bildas och en proton går ut i den sura katalysatormiljön [21].

Då det finns en liten mängd alkener i tillflödet ökar isomeriseringsgraden, eftersom alkenerna snabbt bildar karbeniumjoner. Samtidigt är bildandet av alkener begränsande för isomeriseringsgraden vilket kan åtgärdas med närvaro av platina [21]. Isomerisering av kolkedjor är en temperatur- och tryckberoende reaktion där högre temperatur och tryck leder till att isomerisering missgynnas till fördel för krackning. Reaktionen är dessutom ofta svagt endoterm även om det kan variera med avseende på struktur och de ingående atomerna i molekylerna i fråga [29].

2.3.2 Krackning

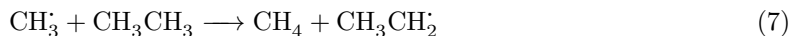
Krackning är en reaktion där en molekyl delas upp i mindre molekyler, vilket kan ske termiskt eller katalytiskt. Den främsta industriellt tillämpade krackningsprocessen är petrokemisk katalytisk krackning av kolkedjor. Vätgas ingår som reaktant vid krackning eftersom bindningarna som klyvs i reaktionen behöver mättas med väten.

Med katalytisk krackning interagerar molekylerna med ädelmetallsberikade zeolitpartiklar. Vid reaktionen erhålls selektivitet för specifika krackningsprodukter, vilket inte är fallet för termisk krackning. Reaktionen sker i flera steg enligt



Om kolkedjorna är sju kol eller längre kan β -splittning av en karbeniumjon ske enligt (3) och bilda en alken samt en ny kortare karbeniumjon. Alkenen reagerar enligt (4) vidare i det sura sätet och bildar ytterligare en karbeniumjon. Båda karbeniumjonerna kan därefter, i (5), genomgå hydridöverföring och mättas med väten [31]. Den vanligaste krackningsprodukten för exempelvis hexadekan är isobutan [30].

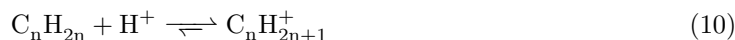
Termisk krackning är en reaktion som bryter upp kolkedjorna med temperatur utan närvaro av katalysator. Därför krävs en högre temperatur för att reaktionen ska ske; industriell termisk krackning sker normalt från 400 °C, men sker även begränsat vid lägre temperaturer. Reaktionen sker i flera steg med radikalintermediärer enligt



I (6) initieras krackningen genom att alkanen sönderfaller till radikaler. Därefter, enligt exempelvis (7) och (8), propagerar de bildade radikalerna vidare med lätta kolväten som produkter. Terminering i (9) sker då två radikala specier reagerar, vilket sluter reaktionen [31].

2.3.3 Hydrogenering

Hydrogenering är en reaktion där dubbelbindningar på kolkedjor och andra organiska ämnen mättas med vätgas. Reaktionen sker genom heterogen katalys där reaktanten koordinerar in till katalysatorytan varpå vätgas oxidativt adderas till kolkedjan. Under 400 °C sker reaktionen enbart katalytisk vid närvaro av vätgas. Zeolit H- β kan agera katalysator för hydrogenering både med och utan platina [30]. Vid närvaro av platina hydrogeneras dubbelbindningar med hög reaktionshastighet och reaktionen styrs mot isomerisering istället för alkylering som ger ämnen som är förstadier till koks [30]. Hydrogenering av alkaner beskrivs med



Motsatsen till hydrogenering, dehydrogenering är bildandet av dubbelbindningar på befintliga kolkedjor. Alkener bildas i närvaro av katalysator genom deprotonering av alkaner och hydrogenering av karbeniumjoner. Hydrogenering sker i större utsträckning än dehydrogenering vid reaktion över platinaladdad zeolit H- β på grund av att β -splittning är mer gynnsamt än dehydrogenering med avseende på aktiveringsenergin för reaktionerna [30].

2.3.4 Alkylering

Alkylering är en reaktion där kortare kolkedjor binder samman och bildar längre kolkedjor, ofta i närvaro av en katalysator. Detta sker exempelvis då en alken reagerar med en karbeniumjon och sammanfogas till en längre kedja [31]. Bildandet av alken samt karbeniumjonen katalyseras av platina respektive zeolitens sura säten och alkyleras enligt



Om alkylering tillåts ske i stor utsträckning bildas paraffiner med upp till 40 kolatomer. Aromatbildning är ett ytterligare exempel på alkylering och initieras då längre kedjor böjs och reagerar med sig själv. Steriska begränsningar blir avgörande för aromatbildning och har visats kunna bildas i zeolit H- β [12].

2.3.5 Koks bildning

Koks bildning åsyftar bildandet av storskaliga grafitliknande kolföreningar, som vid katalytiska reaktionsbetingelser kan ske på katalysatorytan och katalysatormassans porer. När koks bildning sker innebär det produktförlust och förgiftning av katalysatorn. Förgiftningen av katalysatormassa är ett stort och kostsamt problem för industrin, där processer för regenerering av katalysatormassa finns inkommerade i produktionsförloppet.

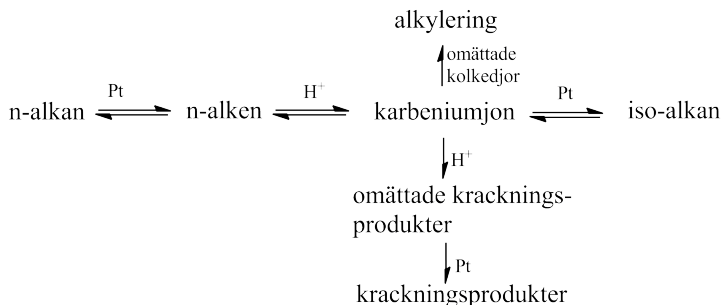
Koks och dess förstadier är till största del orsakad av alkylering av aromatiska och omättade kolväten, där karbeniumjoner binder in och skapar en allt större struktur [5]. Koks bildningen påverkas av till vilken grad kolväten adsorberas till katalysatorytan, i vilken grad de inbundna kolvätena skapar joner och deras steriska möjlighet att bilda en växande polymer. Med ökande antal kol på kolkedjorna minskar desorptionen från katalysatorytan och molekylerna kan ackumuleras som koks eller förstadie till koks på katalysatormassan som då blivit förgiftad [5].

2.4 Selektivitet

Selektiviteten beror av katalysatorns egenskaper. Av egenskaperna är porstrukturen och fördelningen av platinaagglomerat samt de sura aktiva sätena i strukturen viktiga för selektiviteten. Selektiviteten beror även på driftparametrar såsom temperatur, reaktantflöde, totaltryck och partialtryck av vätgas.

2.4.1 Selektivitet genom katalysatorns egenskaper

Av reaktionerna i kaptitel 2.3 är isomerisering önskvärd men eftersom även alkylering, krackning, dehydrogenering, hydrogenering och koks bildning sker behöver dessa begränsas. Dehydrogenering respektive hydrogenering ingår i isomeriseringscykeln, enligt figur ??, och alkylering kan vara gynnsam i viss mån. Därför är det främst av vikt att begränsa krackningsreaktionen och den koks bildande alkyleringen.



Figur 3: Schematisk bild över alternativa reaktionsvägar för karbeniumjonen.

I figur 3 illustreras ett förenklat reaktionsförlopp för isomerisering i förhållande till krackning och alkylering. Förloppet inleds med att en n-alkan dehydrogeneras av platina, vilket bildar en n-alken. Alkenen transporteras därefter till ett surt säte och bildar en intermediär karbeniumjon. Karbeniumjonen reagerar vidare via isomerisering, krackning eller alkylering beroende på om karbeniumjonen interagerar med ett platinaagglomerat, ett surt säte eller en omättad kolkedja [32].

För att öka selektiviteten för isomerisering är det alltså önskvärt att ha många väldistribuerade platinaagglomerat i katalysatormassan. Med platina väldistribuerat i zeolitstrukturen ökar sannolikheten för att karbeniumjonen ska stöta på ett platinaagglomerat och hydrogeneras, för att sedan diffundera ut som isomeriserad produkt. En brist på platina leder istället till en ökad sannolikhet att karbeniumjonen krackas vid ett surt säte [33].

De sura sätenas styrka och distribution bestäms, enligt kaptitel 2.1.1, av zeolitens $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$ -kvot som i sin tur påverkar selektiviteten för isomerisering [33]. Högre katalytisk aktivitet förväntas med högre täthet av sura säten, vilket förekommer vid låga $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$ -kvoter, då det är aluminiumtetraederna som bidrar med dessa. I en studie där $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$ varierades mot konstanta reaktionsbetingelser noterades det att med ökade $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$ -kvoter minskade den totala omsättningen av n-heptan, samtidigt som selektiviteten för isomerade produkter ökade [32].

Beroende på storleken hos katalysatorpartiklarna återfinns en andel av de katalytiskt verksamma sätena på dess utsida; andelen ytbundna säten ökar med minskande partikelstorlek, eftersom porsystemet då är förhållandevis litet. Dessa säten tillåter reaktanter vars diffusion i porsystemet är hindrad att ändå reagera katalytiskt. Aktiva säten utanför kanalsystemet sänker därmed selektiviteten. För att öka selektiviteten kan de ytbundna sätena neutraliseras med bulkiga molekyler innehållande svavel. De bulkiga svavelmolekylerna förgiftar då det ytbundna platinat, men på grund av sin storlek diffunderar de inte in i porsystemet [18].

Förutom fördelning av sura säten och platinaagglomerat har även själva porstrukturen inverkan på selektiviteten. Porstrukturen ger i första hand upphov till sterisk selektivitet och påverkar inblandade reaktanter, produkter och intermediärer [18].

Selektivitet med avseende på reaktanter förekommer då större reaktanter hindras från att dif-

fundera in i zeolitens porsystem. Därför gynnas generellt diffusionen av reaktanter bestående av linjära icke isomeriserade alkaner framför förgrenade och aromatiska föreningar. Då majoriteten av de katalytiskt aktiva sätena befinner sig i kanalsystemet kommer reaktionen främst ske med reaktanter av lämplig storlek och form. Selektiviteten med avseende på reaktanter avtar generellt med ökande porstorlek; i en struktur med stora porer hindras inga reaktanter från att diffundera in och ingen selektivitet uppnås [18].

Produktselektiviteten verkar genom att hindra större molekyler från att diffundera ut ur porsystemet. En mindre porstorlek missgynnar bildandet av förgrenade produkter om porstorleken utgör ett hinder för diffusionen ut ur porstrukturen. Om produkten kan bildas men är för stor för att diffundera ut ur poren och reaktionen är icke reversibel, täpps poren till av koks varvid katalysatormassan förgiftas [18]. Produktselektivitet leder till att zeoliter med stora kanaler är mer gynnsamma för kraftigt förgrenade produkter [33]. Generellt tenderar zeoliter med medelstora porer att ha en större diffusionsbegränsning för isomeriserade produkter än zeoliter med stora porer, då porerna kan bli för små för att tillåta en effektiv diffusion [33].

När porstorleken är begränsande för att intermediärer ska kunna bildas påverkas selektiviteten genom att vissa av reaktionerna inuti porerna förhindras. Selektivitet genom hindrade intermediärer förekommer då diffusionen av varken reaktanter eller produkter är begränsad, men vissa reaktionsintermediärer inte kan bildas på grund av steriska hinder [18]. Effekten avtar med ökad kanalstorlek; i stora porer kan även stora intermediärer bildas, vilket medför att inga reaktioner hindras.

2.4.2 Selektivitet genom driftparametrar

Driftparametrarna som påverkar selektiviteten utgörs främst av reaktantflöden samt trycket och temperaturen vid vilka reaktionerna sker. Till skillnad från katalysatorns egenskaper, vilka är konstanta i en befintlig anläggning, går driftparametrarna att variera för att optimera driften.

En hög driftstemperatur ökar reaktionshastigheterna enligt Arrhenius ekvation, men minskar selektiviteten för isomerisering av n-heptan över zeolit Pt/H- β då övriga parametrar hålls konstanta [32]. Den minskade selektiviteten av isomerer beror på att de kan omsättas till krackade produkter [32] [30].

Vid ökat LHSV minskar den totala omsättningen av n-heptan, eftersom uppehållstiden på katalysatormassan minskar, samtidigt som selektiviteten för isomerisering ökar men konvergerar vid högre flöden [32]. Förhållandet mellan enkelförgrenade och flerförgrenade isomerer ökar med ökat LHSV [32].

Eftersom flera av reaktionerna konsumerar väte påverkar ett förändrat vätgasflöde omsättning och selektivitet. Exempelvis minskar omsättningen av n-heptan då vätgasflödet ökar samtidigt som selektiviteten för isomerisering ökar [32]. Det beror på en negativ reaktionsordning med avseende på vätgas i bildandet av karbeniumjoner [21].

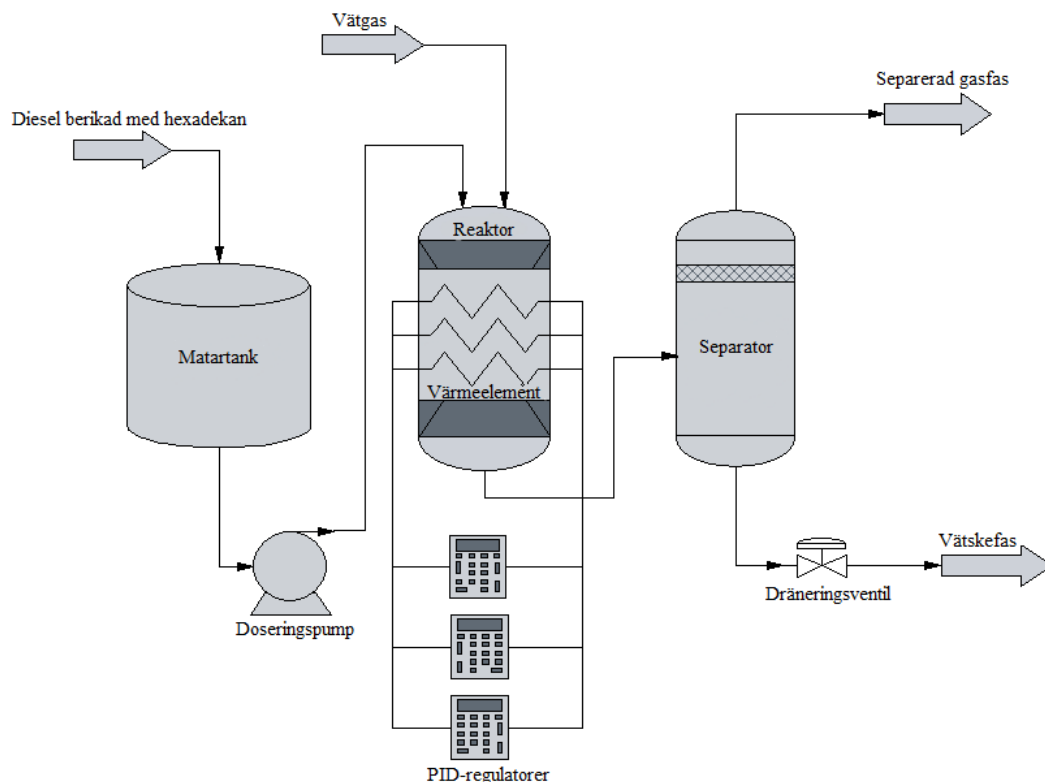
3 Materiel och metod

3.1 Materiel

Huvuddelen av projektets genomförande innefattade kontinuerlig drift av katalysatormassan och kontinuerliga provtagningar. Den kontinuerliga driften utfördes i en pilotanläggning och proverna analyserades med hjälp av en gaskromatograf. Proverna förbereddes för vidare analys genom att destilleras i en destillationsapparat.

3.1.1 Pilotanläggning

I projektet användes en pilotanläggning bestående av en matartank, pump, reaktor och en separator. Dieselflödet genom reaktorn reglerades med en doseringspump av typen Telfa, Milton Roy placerad mellan matartanken och reaktorn. Efter reaktorn ansamlades dieseln i separatorn, där gasfraktionen tilläts separera från vätskan. Separatorn tömdes med en dräneringsventil.



Figur 4: Schematisk bild över pilotanläggningen som användes i studien.

Reaktorkärlet i figur 4 utgjordes av en isolerad, vertikal cylinder med dimensionerna 25×653 mm med ett maximaltryck på 200 bar. Tre värmare var placerade vid olika reaktorhöjder och reglerades av tre separata PID-regulatorer. Reaktorkärlet förseddes med vätgas genom en vätgasledning kopplad till en vätgasflaska. Vätgasflödet bestämdes till 500 gånger större än dieselflödet genom hela projektet.

3.1.2 Destillationsapparat

Destillationsapparaturen utgjordes av en rundkolv kopplad till en destillationskolonn placerad i en värmare. En termometer, kylare samt en uppsamlingskolv fanns även integrerat i apparaturen. Ett kvävgasflöde leddes genom destillationskolonnen så att destillationen kunde genomföras i en syrefri miljö. Syrefri miljö hindrar provet från att oxidera vilket annars kunde bli fallet vid högre temperaturer.

3.1.3 Gaskromatograf

För att analysera dieselprodukterna ur reaktorn användes en Varian 3400 gaskromatograf med FID-detektor. Gaskromatografens kolonn var en packad kolonn av typen OV-101 med dimensionerna

1000 × 2 mm fylld med med 10 % Silicon Chromosorb®. Som bärgas användes kvävgas. Resultaten presenterades i pappersform med kromatogram och tillhörande tabeller med hjälp av en Varian 4270 integrator.

3.2 Metod

Det laborativa utförandet innefattade tillverkning av katalysatormassa, dess montering i pilotanläggningen, kontinuerlig provtagning, analys av reaktorprodukter, destillation, cloud point och slutligen analys av katalysatormassa.

3.2.1 Tillverkning av katalysatormassa

Tillverkningen inleddes med att bestämma torrhalter av ingredienserna som användes för att skapa katalysatomassan. Respektive fukthalt bestämdes genom att tre prover togs från varje ingrediens och ställdes i ugn (150 °C i 3 timmar och 30 minuter, därefter 400 °C över natten), varefter skillnaden i vikt noterades och ett medelvärde beräknades. Tillverkningen fortsatte genom att zeolit H-β ($n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}} = 38$, Sigma Aldrich), Al_2O_3 (Sigma Aldrich) och aluminiumklorhydrat (Locron, Hoechst AG) blandades med sammansättningen 30 %, 63 % respektive 7 % torrt material av vardera ämne.

Efter att preparaten blandades tillsattes 0,29 g avjonat vatten per 1 g torr katalysatormassa och massan extruderades. Vid extruderingen erhöles cylindrar med lämplig diameter som torkades vid 120 °C i 3 timmar och därefter kalcinerades vid 400 °C i 3 timmar och 20 min. Partiklar erhöles genom att cylindrarna mortlades och siktades till storleksordningen 0,6 mm till 1 mm. Porvolymen undersöktes genom att låta zeoliten absorbera avjonat vatten. 0,99 g vatten absorberades per gram katalysatormassa, vilket indikerade att strukturen var den rätta.

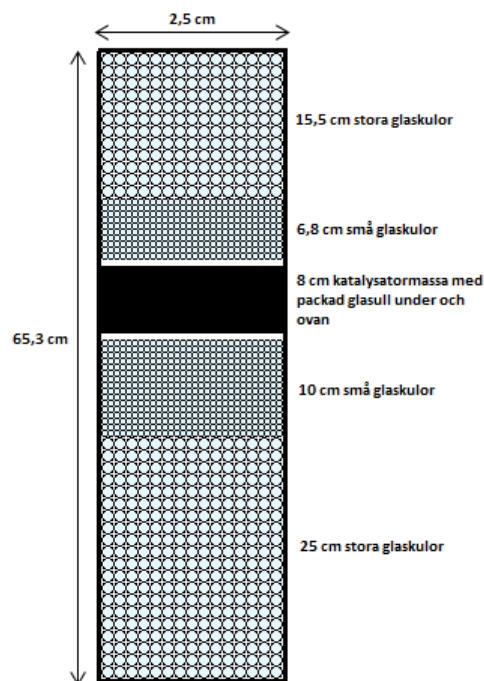
Katalysatormassan tvättades därefter i ammoniaklösning (25 %). Efter tvätten tillfördes platina till massan i form av tetraaminplatina(II)nitrat-lösning. 28,37 g katalysatormassa tillsattes till 56,83 g platinalösning (0,50 % platina). Jonbytet skedde under omrörning och tilläts fortgå under 15 minuter vid rumstemperatur. Under jonbytet önskades $\text{pH} \geq 6$ för att gynna jonbytet. Surheten kontrollerades med lackmuspapper och ammoniaklösning (25 %) tillsattes vid behov.

Platinalösningen dekanterades därefter och massan torkades vid 120 °C i 1 timma och 30 minuter för att därefter kalcineras vid 500 °C i 3 timmar. Under kalcineringsprocessen reducerades Pt(II)-jonerna till metalliskt platina i porerna. Kvarvarande ammoniumjoner i komplexet bröts under detta steg ner till vätgas samt kvävgas.

Det visade sig andelen tillsatt platina i katalysatormassan endast uppgick till 0,18 % platina, vilket var för lite. Jonbytet upprepades därför genom att det till samma katalysatormassa istället tillsattes 56,77 g platinalösning (0,83 % platina). Den slutliga andelen platina i katalysatormassan uppgick till 1,14 %.

3.2.2 Montering i pilotanläggning

Eftersom reaktionerna är temperaturberoende krävdes det att temperaturen är uniform genom hela katalysatormassan. Därför bestämdes reaktions temperaturprofil genom att temperaturen mättes centimetervis genom hela reaktorns längd, se figur 13 i bilaga 1.



Figur 5: Schematisk bild över packningen i reaktorn.

35 ml katalysatormassa placerades på den höjd där temperaturen varierade minst. För att fixera katalysatormassan vid den erforderade höjden fylldes reaktorn med glaskulor av två olika storlekar och glasull, se figur 5. De stora glaskulor har diametern 3 mm och de små glaskulor har diametern 2 mm. Glasullen håller katalysatormassan på önskad höjd och hindrar den från att blandas med glaskulorna.

Pilotanläggningen kördes därefter i fem dagar med konstant dieselflöde för att en approximativt konstant aktivitet skulle uppnås hos katalysatorn innan kontinuerlig provtagning inleddes.

3.2.3 Kontinuerlig provtagning

Provtagning önskades genomföras vid fyra olika temperaturer och tre olika LHSV. Doseringspumpen, se figur [?], ställdes in efter procent av maxkapacitet. Därför bestämdes en pumpkurva för att bestämma sambandet mellan pumpinställning och LHSV. Kurvan togs fram genom att variera pumpinställningen, beräkna LHSV från mängden förbrukad diesel och därefter anpassa en linjär kurva efter den erhållna datan. Pumpkurvan uppdaterades under försöken för att slutligen erhålla en pumpkurva enligt figur 14 i bilaga 1.

En provtagningsrutin framställdes därefter för att säkerställa att samtliga provtagningar utfördes på samma sätt. Dessutom fastställdes ett provtagningschema med tillhörande driftinställningar (temperatur och LHSV) samt vid vilken tid provtagningen skulle ske. Tid för provtagning bestämdes så att minst 200 ml prov kunde erhållas, vilket var den kritiska mängden för vidare analys. Provtagningsproceduren påbörjades med att anteckna aktuellt LHSV, temperatur i reaktorn samt vätgasens tryck och flöde innan och efter reaktorn. Även trycket i vätgasflaskan kontrollerades

och noterades. Om trycket var under 70 bar i flaskan skulle den bytas ut. Därefter fylldes matartanken med ny hexadekanberikad biodiesel och dess volym antecknades. Provet tömdes försiktigt ur separatorn för att förhindra plötsliga tryckfall i reaktorn. Vid behov upprätthölls trycket med hjälp av vätgastillflöde i en sidokoppling. Proverna förvarades i glasflaskor för vidare analys och deras volym antecknades för att kunna uppskatta andelen lätta kolkedjor som avgått i gasfas. Därefter ändrades temperaturen och/eller LHSV till den nya driftspunkten.

3.2.4 Analys av produktprover

Analysen utfördes med gaskromatografi med 9 °C temperaturgradiering: kolonnen höll 40 °C i 2 minuter, ökade sedan till 325 °C med hastigheten 9 °C per minut för att sedan hålla 325 °C i 10 minuter. Injektionssprutan rengjordes fem gånger innan varje provkörning med aktuellt prov. 6 µl injicerades med splittless injektion samtidigt som integratorn startades manuellt. Gaskromatografens första analys för dagen ansågs vara opålitligt, varför motsvarande kromatogram ignorerades. Varje prov analyserades med tre gaskromatografianalyser.

Med hjälp av en standardlösning togs retentionstidsintervall fram, för att kunna dra slutsatser om intervall istället för enskilda ämnen, se tabell refstandard i bilaga 2. Dessutom noterades att kromatogrammen var något opålitliga, eftersom det visades olika resultat för samma prov, och förhoppningen var att intervallindelning delvis skulle lösa detta problem.

Kromatogrammen delades in i tre intressanta intervall: en lätt, en medeltung och en tung fraktion. Den lätta fraktionen syftade till ett retentionstidsintervall motsvarande raka alkaner innehållande upp till 3 kol. Den medeltunga fraktionen motsvarade raka kolkedjor med 4-9 kol. Till den tunga fraktionen räknades komponenter med retentionstider som för raka alkaner med 10 kol eller mer. Sammansättningen hos proven på respektive intervall jämfördes med den ursprungliga hexadekanberikade dieseln och förändringar noterades.

3.2.5 Destillation

Destillationen utfördes för att separera lättflyktigare specier från proverna inför analysen av cloud point. Provet upphettades i destillationsapparaturen, se kapitel 3.1.2, till 160 °C varpå värmaren stängdes av för att inte förlora den tunga fraktionen. Sammansättningen av vardera fraktion bekräftades genom analys med gaskromatografi för att säkerställa att tillräcklig separation skett och att proverna som skickades för vidare analys av cloud point hade kända sammansättningar.

3.2.6 Analys utförda av Preemraff i Göteborg

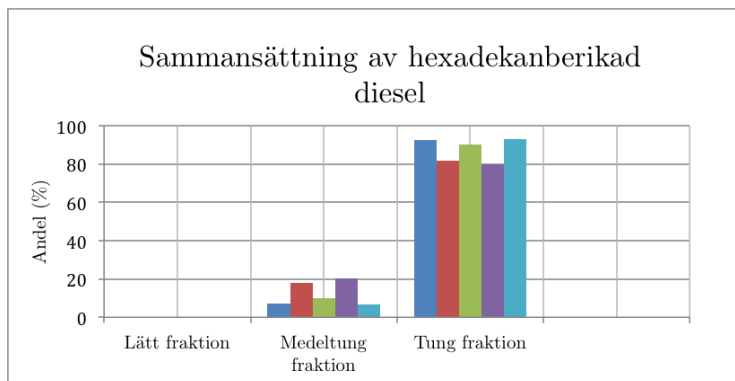
De destillerade proverna skickades till Preemraff i Göteborg för vidare analys. Cloud point, densitet och destillationsförlopp analyserades. Från destillationsförloppet erhöles information om kokpunkt mot andel avdrivet material.

3.2.7 Analys av katalysatormassa

Efter att katalysatormassan plockades ut ur reaktorn tvättades den för att avlägsna kolväten. Tvättningen genomfördes genom att massan placerades i ett återcirkulerat flöde av kokvarm toluen under 24 timmar. Tvättningen genomfördes även på ett referensprov av zeolit utan platina, som inte har varit i reaktorn. Efter tvättningen torkades massorna under 24 timmar i ca 70 °C i kvävgasmiljö, för att undvika oxidation. För att utvärdera till vilken grad katalysatorpartiklarna förgiftades efter en tids drift skickades proverna för kokshaltsbestämning till Belab AB i Norrköping.

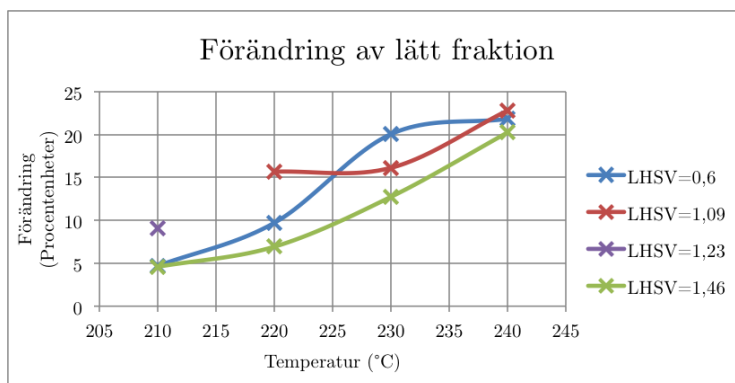
4 Resultat

Resultaten från gaskromatografianalyserna är indelade i retentionstidsintervall enligt kapitel 3.2.4 och sammanställda i separata figurer. Förändringen av respektive intervall åskådliggörs genom att visa skillnaden mellan sammansättningen hos proverna från pilotanläggningen och sammansättningen hos den ursprungliga hexadekanberikade dieseln för olika temperaturer och LHSV. Analysresultat från varje parameterinställning består av medelvärdet från tre analyser medan den ursprungliga hexadekanberikade dieseln består av medelvärdet av fem analyser. I figurerna visas skillnaden mellan respektive parameters medelvärde och den ursprungliga hexadekanberikade dieseln medelvärde. Rådata återfinns i tabell 3-27 i bilaga 2.



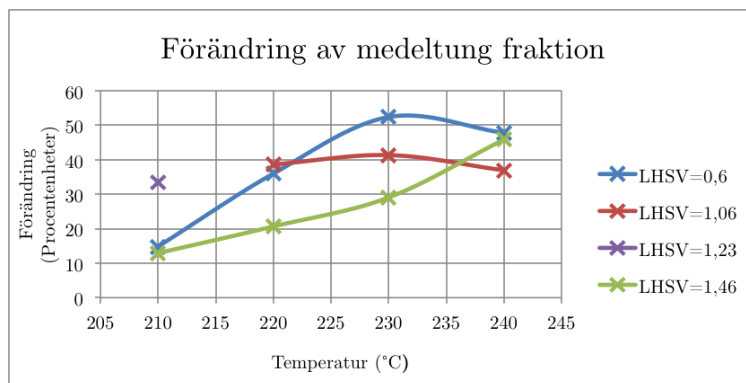
Figur 6: Sammansättningen av de olika retentionstidsintervallen i oreagerad diesel med 10,07 % hexadekan.

Från figur 6 noteras att hexadekanberikad diesel främst består av tung fraktion, men även en liten mängd medeltung fraktion finns närvarande. Det noteras även att dieseln inte innehåller någon mängd av det material som benämns som lätt fraktion.



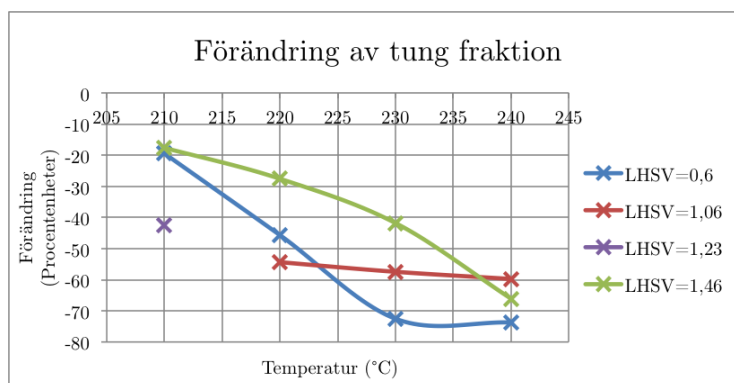
Figur 7: Förändringen av lätt fraktion mot reaktortemperatur för olika LHSV.

Enligt figur 7 ökar andelen lätt fraktion relativt den oreagerade hexadekanberikade dieseln med minst 5 procentenheter, vilket sker vid 210 °C, och förändringen ökar med temperaturen. Förändringen av den lätta fraktionen tycks vara minimal vid högt LHSV.



Figur 8: Förändringen av medeltung fraktion mot reaktortemperatur för olika LHSV.

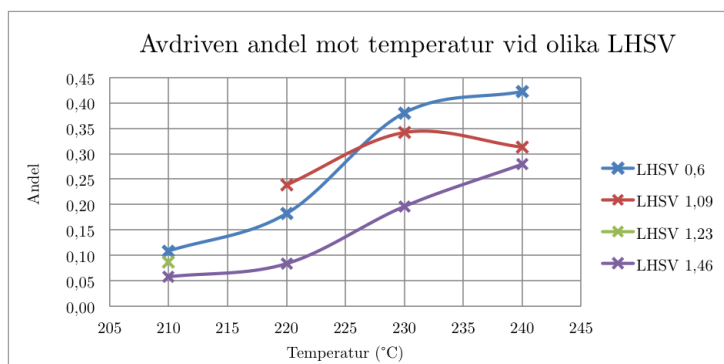
Förändringen av den medeltunga fraktionen är, enligt figur 8, minst 10 procentenheter, vilket sker vid 210 °C, och ökar, liksom förändringen av den lätta fraktionen, generellt med temperaturen.



Figur 9: Förändringen av tung fraktion mot reaktortemperatur för olika LHSV.

Figur 9 visar att den tunga fraktionen minskar vid samtliga parameterinställningar. Den minsta förändringen är -17 procentenheter och sker vid 210 °C. Omsättningen av den tunga fraktionen ökar med temperatur och minskar generellt med LHSV.

Destillationen som utfördes enligt kapitel 3.2.5 ger en hänvisning om hur stor andel lätt fraktion proverna innehåller, då vikter antecknas före och efter destillation.



Figur 10: Andelen avdrivet material vid uppvärmning till 160 °C mot temperatur och LHSV.

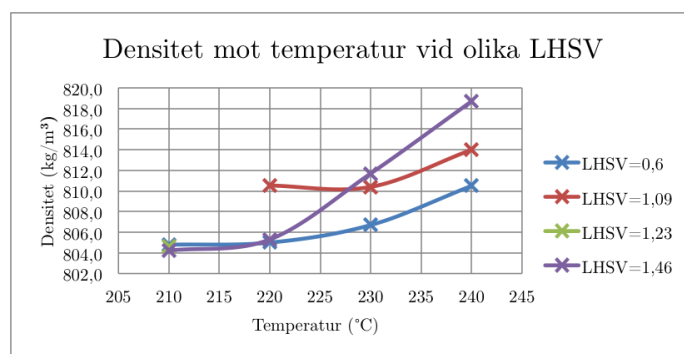
Det framgår från figur 10 att den avdrivna andelen vid destillation ökar med reaktortemperaturen. Dessutom framgår att det högsta LHSV medför lägst avdriven andel av provet.

Cloud point, densitet och begynnelsekokpunkt analyserades av Preemraff i Göteborg.

Tabell 1: Begynnelsekokpunkter för olika reaktortemperaturer och LHSV.

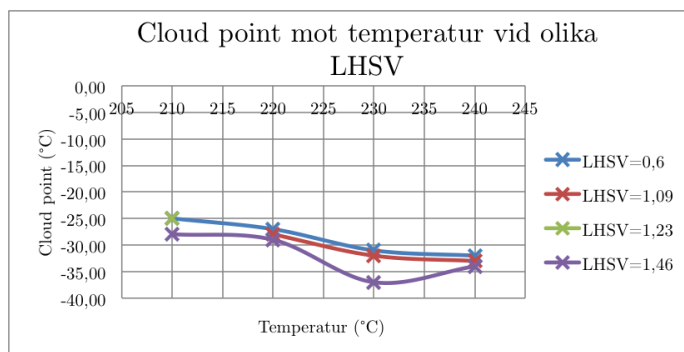
LHSV ($\text{m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$)	Temperatur (°C)	Begynnelsekokpunkt (°C)
0,60	210	174,6
0,60	220	179,8
0,60	230	170,5
0,60	240	153,6
1,09	220	166,5
1,09	230	159,8
1,09	240	148,4
1,23	210	176
1,46	210	172,2
1,46	220	177,2
1,46	230	167,5
1,46	240	135,1

Från tabell 1 noteras att de flesta värden ligger mellan 160 °C och 180 °C. Dessutom noteras en särskilt avvikande begynnelsepunkt på 135,1 °C för 240 °C och LHSV 1,46 $\text{m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$.



Figur 11: Densitet för produktprover efter destillation utförd enligt 3.2.5 mot reaktortemperatur för olika LHSV.

Densiteten för destillaten ökar enligt figur 11 med temperaturen. Dessutom noteras att densiteten generellt är lägre vid det lägsta LHSV och att densiteten endast varierar lite.



Figur 12: Cloud point för produktprover efter destillation utförd enligt 3.2.5 mot reaktortemperatur för olika LHSV.

Figur 12 visar hur cloud point varierar mot temperatur vid olika LHSV. Cloud point minskar med ökad temperatur och LHSV. Det högsta värdet för cloud point, -25 °C , erhålls vid 210 °C och $LHSV\ 0,60\text{ m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$.

Katalysatorpartiklarnas kokshalt analyserades av Belab AB i Norrköping, se bilaga 5. Kokshalten redovisas som en nettoökning över driftstiden. Ökningen av kokshalt uppgår till 1,9 viktprocent.

5 Diskussion

5.1 Utvärdering av resultat

Det noteras från figur 12 att samtliga cloud point-resultat är under -22 °C , vilket kan anses vara god cloud point för vinterbruk i Sverige [35] [36]. Dessutom minskar cloud point generellt med ökande reaktortemperatur och ökat LHSV, även om trenden för LHSV inte är lika stark enligt figur 12.

De låga cloud point-resultaten behöver dock inte bero på endast isomerisering; resultaten skulle även kunna förklaras med att proverna innehåller lätta komponenter, vilka minskar kristallbildningen. Förekomst av lätta komponenter är dock inte önskvärdt, eftersom provet då ej längre består av diesel. Tabell 1 visar att begynnelsekokpunkterna överlag ökar med minskad reaktortemperatur och minskat LHSV, även om trenderna är svaga. Endast en begynnelsekokpunkt i tabell 1 är över 180 °C (minsta begynnelsekokpunkt för Preems Evolution Diesel MK1 max 7 % RME [37]), men några prover visar begynnelsekokpunkter över 170 °C . Enligt figur 11 är samtliga densiteter vid 15 °C över 800 kg/m^3 , vilket är den svenska standarden för Preems Evolution Diesel MK1 max 7 % RME [37]. Densiteterna tillsammans med begynnelsekokpunkterna antyder att åtminstone proverna som är tagna vid 210 °C består av diesel, vars cloud point därför är av intresse.

Enligt projektets syfte är det önskvärdt att vinteregenskaperna förbättras, det vill säga att cloud point minskas, genom att isomerisering sker. Enligt kapitel 2.4.1 inverkar krackning negativt på selektiviteten av isomerisering och dessutom medför krackning förluster eftersom mängden diesel då minskar. Figurerna 7, 8 och 9 visar att den lätta och medeltunga fraktionen ökar på bekostnad av den tunga fraktionen, vilket kan förklaras genom att krackning sker. Detta bekräftas av figur 10, som visar att en betydande andel av proverna drivs av vid destillationen. En liten ökning av den lätta fraktionen observeras vid låga temperaturer och höga LHSV, med minimum vid reaktortemperaturen 210 °C och $LHSV\ 1,46\text{ m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$. Trenden överensstämmer dessutom med teorin

i kapitel 2.4.2, vilken hävdar att selektiviteten för krackning ökar på bekostnad av selektiviteten för isomerisering vid ökad temperatur. Teorin i kapitel 2.4.2 refererar till isomerisering av n-heptan men eftersom båda är linjära kolkedjor och den enda strukturella skillnaden mot hexadekan är kolkedjans längd, antas trenden vara mycket lik.

Resultaten antyder att den utredda katalysatormassan fungerar bra vid vissa parameterinställningar. Som nämnt i kapitel 2.1.1 beror zeoliternas aktivitet av deras struktur och sura säten. Zeolit H- β har dessutom förhållandevis stor porstorlek, vilket delvis kan förklara selektiviteten för isomerisering som antyds av resultaten; den stora porstoleken medför att isomeriserade produkter kan bildas i och diffundera ut ur zeoliten.

För att vara en lämplig katalysatormassa får den inte deaktiveras för snabbt. Enligt resultaten är koksbildningen endast mycket liten. Även detta kan förklaras med att zeolit H- β har större porer jämfört med andra zeoliter och därmed bör, enligt kapitel 2.4.1, kokbildning förhindras genom att produkter inte hindras från att diffundera ut ur porsystemet.

I övrigt kan det konstateras att det existerar avvikande resultat. Dataserien med LHSV $1,09 \text{ m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$ har inte fyra värden, eftersom pumpen ställdes in fel vid ett tillfälle. Då erhöles istället LHSV $1,23 \text{ m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$, vilket betraktas som ett separat värde i samtliga figurer. I figurerna 7, 8 och 9 följer inte punkterna tillhörande LHSV $1,09 \text{ m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$ och $1,23 \text{ m}^3/(\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$ trenden som övriga LHSV visar. Avvikelsen beror med stor sannolikhet på gaskromatografen som användes i projektet, se kapitel 5.2.

5.2 Granskning av utförande

Under projektets gång har vissa approximationer förekommit vars inverkan på slutresultatet kan diskuteras. Biodiesel simuleras i undersökningen av fossil diesel till vilken 10 % hexadekan tillsatts. Strukturellt finns både likheter och skillnader mellan hexadekan och de på industriell skala använda metylestrarna av palm och tallolja enligt kapitel 2.2. Den främsta skillnaden utgörs av att hexadekan saknar esterbindning. En esterbindnings påverkan på katalysatormassans selektivitet och livslängd utreddes aldrig men bör undersökas närmare inför en eventuell uppskalning av processen.

Det var av särskilt intresse att analysera omsättningen av just hexadekan över katalysatorbädden, eftersom det är hexadekanet som efterliknar de linjära metylestrarna i biodiesel som bidrar till de dåliga koldegenskaperna. På grund av bristande toppseparation vid gaskromatografen kunde toppen för hexadekan dock ej separeras från ämnen med likartade retentionstider och omsättningen av hexadekan kunde därför ej beräknas. Problemet kunde ha lösts genom att ändra temperaturgradienten och byta till en bättre lämpad kolonn. Temperaturökningen ändrades förvisso från $18 \text{ }^\circ\text{C}/\text{minut}$ till $9 \text{ }^\circ\text{C}/\text{minut}$, vilket visade en marginellt bättre toppseparation. En ytterligare minskning av temperaturökningen bör ha medfört bättre toppseparation på bekostnad av analys-tiden, vilket skulle ha medfört att inte alla nödvändiga analyser skulle ha rymts i projektet.

Gaskromatografianalyserna bidrog även med andra felkällor. Förutom att gaskromatografen uppvisade dålig toppseparation varierade sammansättningen för samma prov vid upprepade analyser, se bilaga 2. Effekten antogs först bero på variationer i injektionsmetod, men effekten kvarstod även då samma prov injicerades upprepade gånger av samma person på samma sätt. På grund av dålig toppseparation och varierande resultat ansågs gaskromatografen ej vara tillförlitlig för analyser av sammansättning av enskilda ämnen. Problemet försökte förminska genom att istället betrakta retentionstidsintervall och undersöka om variationerna då minskade. Resultatets variation minskade något, så att i alla fall trender kunde påvisas. Exempelvis syns i figur 6 att resultaten för

intervallen är betydligt mer konsekventa än då enskilda toppar betraktas, se tabell 3 och 4 i bilaga 2.

Även vid den kontinuerliga driften har felkällor identifierats. En stor felkälla är att mängden avdriven produkt i separatorn ej beaktats. Då mängden erhållen produkt ej uppmättes är det i efterhand omöjligt att avgöra hur mycket av provet som har förlorats i separatorn. Förlusten bör ha ökat med stigande reaktortemperaturer, eftersom det då bildas mest krackningsprodukter och det främst är den lätta fraktion som separeras. Felkällan har påverkat resultaten genom att den lätta fraktionen har uppvisat ett för litet värde. Egentligen är alltså krackningen större än vad som antyds i figur 7, 8, 9 och 10.

En annan felkälla vid den kontinuerliga driften är temperaturen; på grund av transporteffekter håller inte flödet samma temperatur som reaktorväggen. Reaktortemperaturerna i figur 7, 8, 9, 10, 11 och 12 är därmed inte riktigt absoluta, men trenden är densamma som antyds av figurerna.

Under den kontinuerliga driften skedde även ett misstag i form av ett större tryckfall; uppskattningsvis sänktes trycket från 50 bar till atmosfärstryck under en kort tid. Motsvarande prov beaktades ej, så tryckfallet påverkade inte något resultat direkt genom förändrade driftparametrar, men det misstänktes att det kunde ha orsakat koks bildning och därmed förändrad katalysatoraktivitet för resterande prover. Enligt bilaga 5 påvisas endast liten koks bildning, så incidenten anses inte ha påverkat katalysatormassan nämnvärt.

För att kontrollera att katalysatorn höll konstant aktivitet under driften fanns avsikten att upprepa parameterinställningarna och analysera en till (likadan) serie av prover. Om proverna skulle ha visat samma resultat skulle slutsats kunna dras att katalysatormassans aktivitet var konstant under försöken. Temperaturregleringen i reaktorn, se figur 4, slutade dock att fungera innan den nya serien av prover kunde inledas. Minskad katalysatoraktivitet kan enligt kapitel 2.3.5, vara en följd av koks bildning, så en approximativt konstant aktivitet kan antydas frånvaron av koks, vilket nämns i den avslutande diskussionen i kapitel 5.1.

Vid tillverkning identifieras att främst jonbytet för att introducera platina i katalysatormassan kan påverka resultatet. Det bör framförallt noteras att platina tillfördes i två omgångar, vilket kan ha påverkat storleken och distributionen av platina i massan. Enligt kapitel 2.4.1 är väldistribuerade platinaagglomerat fördelaktigt för isomerisering, varför isomerisering kan missgynnas av ett dåligt genomfört jonbyte. Det fanns för avsikt att undersöka platinaagglomeratens storlek och placering genom SEM och TEM, men provförberedningen som krävdes rymdes inte i projektet. Därför utelämnas vidare diskussion, förutom teorin i kapitel 2.1.2 och 2.4.1, om hur distributionen av platinaagglomerat påverkar selektiviteten för isomerisering.

5.3 Förslag på förbättringar

Resultaten antyder möjlighet till förbättring genom att analysera driftförhållanden som inte ryms i projektet. Eftersom det uppvisas en tillräckligt bra cloud point och liten mängd lätt fraktion vid låga reaktortemperaturer, skulle det vara intressant att utreda katalysatormassans aktivitet vid lägre temperatur än 210 °C. Dessutom lämnar resultaten möjlighet att i ett framtida projekt utreda LHSV högre än $1,46 \text{ m}^3 / (\text{m}_{\text{kat}}^3 \cdot \text{timma})$, eftersom trenden för låg cloud point och liten mängd bildad lätt fraktion ökar med ökat LHSV. Om det skulle visas vara fördelaktigt för biodiesels vinteregenskaper att sänka temperatur respektive öka LHSV ytterligare skulle det även vara positivt för processanläggningen; en lägre temperatur medför lägre värmekostnader och ett ökat LHSV innebär att produktflödet ur reaktorn kan höjas eller att en mindre reaktor kan användas, vilket minskar investeringskostnaden. Vätgasflödets inverkan på isomerisering av hexadekan har inte undersökts, men enligt kapitel 2.4.2 påverkar denna både omsättning och selektivitet av n-

heptan över zeolit Pt/H- β . Det vore därför intressant att i framtiden utreda även denna parameter.

Det skulle driftmässigt även kunna vara av intresse att isomerisera endast biokomponenten i dieseln för att undvika onödig krackning av den fossila dieseln. Det skulle kunna innebära mindre förlorad produkt, men om förlusterna då istället endast utgörs av biomaterialet blir förlusterna kanske mer kostsamma.

Det vore även av intresse i framtiden att utreda andra katalysatormassor, för att utreda om det finns en bättre zeolit än den utredda. Zeolit H- β tycks enligt resultaten isomerisera flödet väl, så porstorleken tycks vara rätt. Däremot kan det diskuteras om dess $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$ -kvot på 38 är optimal. Enligt teori i kapitel 2.1.1.2 ökar de sura sätenas täthet med minskad $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$, medan sätenas respektive surhet minskar. Därför vore det av intresse att i framtiden utreda zeolit H- β med annan $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$ -kvot eller att byta till annan zeolit med annan $n_{\text{Si}}/n_{\text{Al}}$ -kvot, men då påverkas även porstrukturen.

Ytterligare en parameter som kan påverka katalysatorns effektivitet är, enligt kapitel 2.1.1.1 och 2.4.1, katalysatorpartiklarnas storlek. I studien användes, enligt kapitel 3.2.1, partiklar av storleksordningen 0,6 mm till 1,0 mm. Därför skulle det även vara av intresse att utreda partikelstorlekens betydelse för isomerisering.

6 Slutsats

Zeolit H- β med 1,14 % platina uppvisar god isomeringsförmåga för hexadekanberikad diesel vid vissa temperaturer och LHSV. Alla temperaturer och LHSV ger cloud point under -22 °C, men minst produktförlust sker vid 210 °C och LHSV 1,46 m³/(m_{kat}³ · timma), varför den kombinationen av driftinställningar rekommenderas. Resultat antyder att även temperatur under 210 °C och LHSV över 1,46 m³/(m_{kat}³ · timma) är intressanta. Därför bör vidare utredning med lägre temperatur och LHSV ske för att hitta ett optimum för driftinställningar.

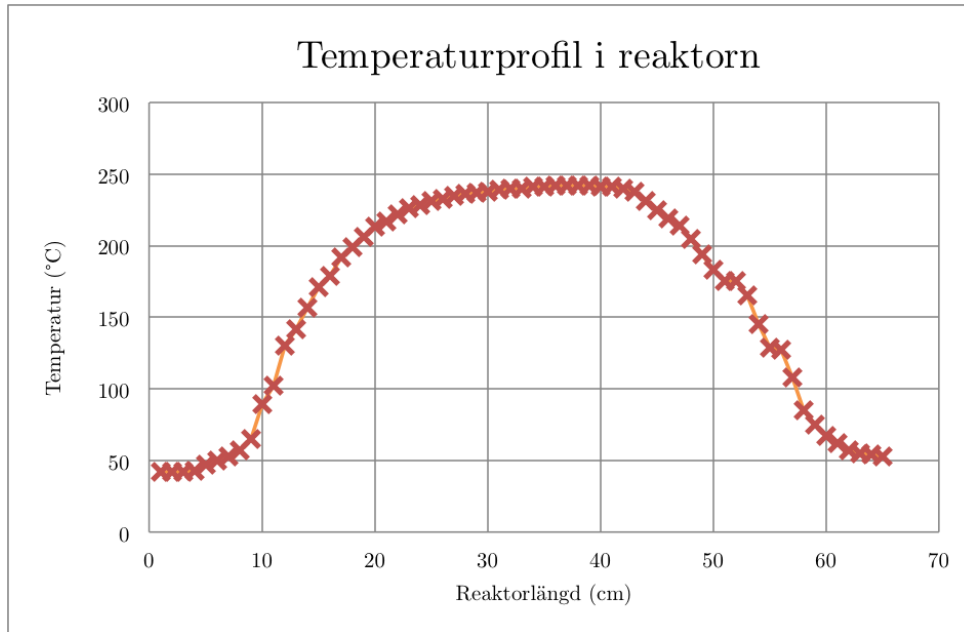
Referenser

- [1] Preem. En svensk världsnvyhet. [hämtat: 2013-02-08].
Tillgänglig: <http://evolution.preem.se/evolution-diesel>
- [2] Skatteverket. Ändrade skattesatser på bränslen och el fr.o.m. 1 januari 2013. [hämtat: 2013-02-14]. Tillgänglig: <http://tinyurl.com/bnhkpwv>
- [3] Weitkamp J. Zeolites and catalysis. *Solid State Ionics*. 2000; 131: 175-188
- [4] Yamane I, Nakazawa T. Development of zeolite for non-phosphated detergents in Japan. *Pure & Applied Chemistry*. 1986; 58 (10): 1397-1404
- [5] Wang B. Zeolite deactivation during hydrocarbon reactions: characterisation of coke precursors and acidity, product distribution [doktorsavhandling]. London: University College London, 2007.
- [6] Logan R.L. Tall Oil Fatty Acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1979; 56: 777-779
- [7] Nationalencyklopedin. Tallolja. [hämtat: 2013-02-08].
Tillgänglig: <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/lang/tallolja>
- [8] Sadeghbeigi R. *Fluid Catalytic Cracking Handbook*. 2:a upplagan. Houston: Gulf Professional Publishing; 2000 s. 1-39
- [9] Corma A. State of the art and future challenges of zeolite as catalysts. *Journal of Catalysis*. 2003; 216: 298-312
- [10] Löwenstein W. The distribution of aluminum in in the tetrahedra of silicates and aluminates. *American Mineralogist*. 1954; 39: 92
- [11] Everett D.H. *Manual of Symbols and Terminology for Physicochemical Quantities and Units, Appendix II: Definitions, Terminology and Symbols in Colloid and Surface Chemistry*. 1972; 31 (4): 577-638
- [12] Sharma S.D., Singh S. Dual functionalities of Beta Zeolite: Alkylation and Isomerization. *American Journal of Chemistry*. 2012; 2 (3): 126-130
- [13] Phatanasri S, Praserttham P, Kularbkeaw S, Panichsarn S. Isomerization of n-hexane over platinum ion-exchanged zeolite beta. *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*. 2000; 71 (2): 281-287
- [14] Lee J-K, Rhee H-K. Characteristics of Pt/H-beta and Pt/H-mordenite catalysts for the isomerization of n-hexane. *Catalysis Today*. 1997; 38: 235-242
- [15] Mintova S., Valtchev V., Onfroy T. et. al. Variation of the Si/Al ratio in nanosized zeolite Beta crystals. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2006; 90: 237-245.
- [16] Nationalencyklopedin. Platina. [hämtat: 2013-05-15].
Tillgänglig: <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/lang/platina>
- [17] Campelo J.M, Lafont F, Marinas J.M. Hydroisomerization and hydrocracking of n-hexane on Pt/SAPO-5 and Pt/SAPO-11 catalysts. *Zeolites*. 1995; 15 (2): 97-103
- [18] Csicsery S.M. Shape-selective catalysis in zeolites. *Zeolites*. 1984; 4 (3): 202-213
- [19] Dixit L, Lu G, Gucci László. Theoretical and FTi.r. spectroscopic studies of platinum carbonyl clusters encapsulated in the zeolite cage. *Zeolites*. 1984; 4 (3): 202-213

- [20] Boddenberg B, Beerwerth B. Proton and Deuteron Magnetic Resonance Relaxation of Benzene Adsorbed on Alumina and on Platinum/Alumina Catalyst. *The Journal of Physical Chemistry*. 1989; 93: 1440-1447
- [21] Ono Y. A survey of the mechanism in catalytic isomerization of alkanes. *Catalysis Today*. 2003; 81: 3-16
- [22] Lachman et al. Method of producing high-strength high surface area catalyst supports. US Patent 4, 631, 267, 1986
- [23] Knothe G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*. 2005; 86: 1059-1070
- [24] Imahara H. et al. Thermodynamic study on cloud point of biodiesel with its fatty acid composition. *Fuel*. 2006; 85: 1666-1670
- [25] Lopes J.C. A prediction of cloud points of biodiesel. *Energy & Fuels*. 2008; 22: 747-752
- [26] Park J-Y. et al. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties. *Bioresource Technology*. 2008; 99: 1196-1203
- [27] Demirbas A. Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines. Springer London 2008; 144
- [28] Drago R, Petrosius S, Kaufman P. Alkylation, isomerization and cracking activity of a novel solid acid, $\text{AlCl}_2(\text{SG})_n$. *Journal of Molecular Catalysis*. 1994; 89: 317-328
- [29] Raymond A. et al. n-Butane isomerization over acidic mordenite. *Journal of Catalysis*. 1995; 155: 376-382
- [30] Hon Y.C. et al. Skeletal isomerization of hexane over Pt/H-Beta zeolites: Is the classical mechanism correct? *Journal of Catalysis*. 1998; 178: 352-362
- [31] Voge H.H, Good G.M. Catalytic and Thermal Cracking of Pure Hydrocarbons. *Industrial and Engineering Chemistry*. 1949; 41: 2573-2584
- [32] Wang Z.B, et al. Isomerisation of n-heptane over Pt-loaded zeolite b catalysts. *Applied Catalysis*. 1997; 159: 119-132
- [33] Kulprathipanja S. Zeolites in industrial separation and catalysis. Wiley VCH Verlag GmbH & Co.KGaA. 2010; 479-556
- [34] Preem. Fakta om diesel och dieselmotorn. [hämtat: 2013-03-20] Tillgänglig: <http://www.preem.se/upload/Milj%20och%20utveckling/Fakta%20om%20diesel%20och%20dieselmotorn.pdf>
- [35] Neste oil. NExBTL renewable diesel: Smarter way to fulfill biofuel mandates [Broschyr]. Neste oil; 2012
- [36] Preem. Biodiesel 100. [hämtat: 2013-05-22] Tillgänglig: www.preem.se/upload/Preem_blad_Bio100_1304.pdf
- [37] Preem. ACP Evolution Diesel MK1 max 7% RME. [hämtat: 2013-05-22] Tillgänglig: www.preem.se/upload/Preem_blad_Bio100_1304.pdf

Bilaga 1

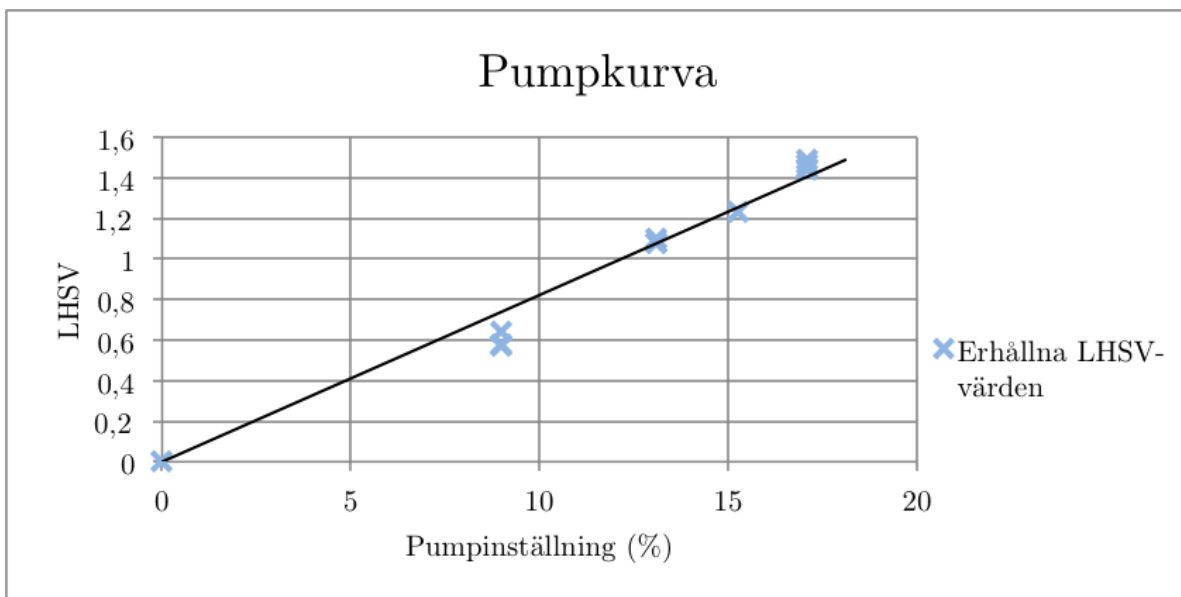
Redovisning av metodrelevant data.



Figur 13: Variationen av temperatur i reaktorn.

Tabell 2: Pumpinställningsvärden och beräknade LHSV till konstruktion av pumpkurva.

Pumpinställning (%)	Erhållet LHSV	Fastställt LHSV
0	0	0
9	0,569	0,6
9	0,581	0,6
9	0,64	0,6
15,27	1,23	1,23
13,1	1,1	1,09
13,1	1,08	1,09
13,1	1,08	1,09
17,1	1,47	1,46
17,1	1,45	1,46
17,1	1,44	1,46
17,1	1,49	1,46



Figur 14: Framtagen pumpkurva med de LHSV värden som använts.

Bilaga 2

Kromatogram från gaskromatografianalyserna.

Tabell 3: GC-resultat från biodiesel med 10,0745 vikt-% hexadekan

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
	GC-körning 1			GC-körning 2			GC-körning 3		
1	1,207	4,01	1342,281	0,395	1,83	91,008	0,378	1,83	89,9829
2	0,743	5,7	826,2754	1,328	5,29	305,9712	3,323	4,04	791,0402
3	1,916	6,21	2130,745	2,318	5,73	534,0672	2,218	5,73	527,9949
4	1,825	7,43	2029,546	4,648	6,53	1070,899	4,57	6,5	1087,889
5	1,607	7,88	1787,113	4,935	7,43	1137,024	5,276	7,24	1255,952
6	2,86	8,45	3180,549	4,47	7,94	1029,888	4,398	7,91	1046,944
7	2,284	9,29	2539,991	3,607	8,49	831,0528	3,848	8,52	916,0164
8	1,5	9,96	1668,12	5,017	8,84	1155,917	1,697	8,81	403,9709
9	1,229	10,05	1366,746	8,468	10,02	1951,027	2,294	9,25	546,0867
10	1,833	10,47	2038,443	3,867	10,53	890,9568	6,965	100,02	1658,018
11	2,917	11,17	3243,937	2,656	11,21	611,9424	6,465	11,3	1538,993
12	5,425	11,91	6033,034	8,008	11,91	1845,043	6,217	11,91	1479,957
13	7,716	13,67	8580,809	3,811	13,13	878,0544	8,633	13,67	2055,086
14	8,971	15,33	9976,47	4,948	13,7	1140,019	7,377	15,33	1756,095
15	5,349	16,33	5948,516	4,314	14,92	993,9456	3,499	16,29	832,937
16	4,807	16,9	5345,769	3,971	15,37	914,9184	3,356	16,9	798,8958
17	4,164	17,67	4630,701	3,155	16,26	726,912	2,264	17,54	538,9452
18	9,632	18,73	10711,55	3,837	16,9	884,0448	16,123	18,69	3838,08
19	3,678	19,27	4090,23	2,14	17,61	493,056	2,995	19,21	712,9598
20	7,495	19,91	8335,04	15,23	18,73	3508,992	4,23	19,88	1006,952
21	16,921	21	18817,51	2,804	19,17	646,0416	1,332	20,49	317,0826
22	5,92	23,56	6583,514	4,922	19,91	1134,029	1,827	21,09	434,9174
23				1,15	22,64	264,96	0,197	22,97	46,89585
24							0,147	23,06	34,99335
25							0,37	23,18	88,0785
Total	99,999		111206,9	99,999		23039,77	99,999		23804,76

Tabell 4: GC-resultat från biodiesel med 10,0745 vikt-% hexadekan

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
		GC-körning 4			GC-körning 5	
1	0,287	4,04	95,92114	0,072	1,81	86,87448
2	0,889	5,29	297,1216	1,256	4,07	1515,477
3	1,316	5,73	439,8335	0,823	5,77	993,0236
4	2,48	6,53	828,8656	1,73	6,57	2087,401
5	2,468	7,43	824,855	1,479	7,49	1784,547
6	2,367	7,94	791,0987	1,532	8,01	1848,496
7	1,753	8,52	585,8877	2,392	8,55	2886,163
8	1,143	8,87	382,0135	2,035	9,29	2455,411
9	0,922	9,29	308,1508	2,382	10,12	2874,097
10	3,564	10,09	1191,16	2,147	10,66	2590,549
11	1,499	11,27	500,9958	2,801	11,21	3379,659
12	0,266	11,92	88,90252	3,584	12,04	4324,419
13	1,206	12	403,0693	8,691	13,83	10486,47
14	0,721	12,25	240,9726	8,363	15,53	10090,71
15	0,401	12,57	134,0222	5,275	16,49	6364,762
16	0,485	12,68	162,0967	4,207	17,09	5076,124
17	2,346	13,01	784,0801	4,594	17,8	5543,074
18	0,431	13,64	144,0488	9,65	18,95	11643,59
19	2,244	13,79	749,9897	3,441	19,46	4151,876
20	0,156	13,96	52,13832	5,732	20,13	6916,174
21	0,236	14,01	78,87592	20,249	21,29	24432,24
22	0,15	14,09	50,133	7,564	23,69	9126,647
23	0,922	14,34	308,1508			
24	1,61	14,72	538,0942			
25	0,335	15,3	111,9637			
26	2,331	15,54	779,0668			
27	0,392	16,13	131,0142			
28	0,272	16,38	90,90784			
29	1,083	16,45	361,9603			
30	0,126	16,79	42,11172			
31	0,449	16,86	150,0648			
32	2,109	17,12	704,87			
33	0,308	17,23	102,9398			
34	0,093	17,37	31,08246			
35	2,041	17,7	682,143			
36	14,248	19,01	4761,967			
37	1,409	19,37	470,916			
38	3,393	19,45	1134,008			
39	11,307	20,13	3779,026			
40	30,244	21,25	10108,15			
Total	100,002		33422,67	99,999		120657,8

Tabell 5: GC-resultat med standardtest

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
	GC-körning 1			GC-körning 2			GC-körning 3		
1	3,72	0,44	2573	3,72	0,44	2573	6,696	0,4	3289
2	2,96	0,85	2047	2,96	0,85	2047	3,683	0,8	1809
3	4,514	1,85	3122	4,514	1,85	3122	5,251	1,74	2579
4	5,455	3,91	3773	5,455	3,91	3773	6,053	3,74	2973
5	5,817	6,2	4023	5,817	6,2	4023	5,955	6,03	2925
6	4,754	8,34	3288	4,754	8,34	3288	9,149	8,35	4626
7	3,38	8,51	2338	3,38	8,51	2338	5,023	10,25	2467
8	2,108	8,51	1458	2,108	8,51	1458	8,962	12,33	4402
9	1,911	10,22	1322	1,911	10,22	1322	6,566	12,47	3225
10	3,467	10,39	2398	3,467	10,39	2398	0,332	13,68	163
11	17,971	12,73	12429	17,971	12,73	12429	8,785	15,7	4315
12	10,504	15,92	7265	10,504	15,92	7265	5,456	17,16	2680
13	5,72	17,29	3956	5,72	17,29	3956	12,363	18,93	6072
14	10,548	19,03	7295	10,548	19,03	7295	6,018	20,13	2956
15	5,007	20,29	3463	5,007	20,29	3463	2,804	21,28	1377
16	1,015	20,3	702	1,015	20,3	702	2,126	23,57	1044
17	1,194	21,3	826	1,194	21,3	826	1,346	27,87	661
18	1,828	21,43	1264	1,828	21,43	1264	1,415	31,53	695
19	2,258	23,75	1562	2,258	23,75	1562	0,861	34,76	423
20	1,572	28,03	1087	1,572	28,03	1087	0,886	38,09	435
21	1,647	31,69	1139	1,647	31,69	1139			
22	1,303	34,92	901	1,303	34,92	901			
23	1,348	38,34	932	1,348	38,34	932			
Total	100,001		69163	100,001		69163	99,73		49116

Tabell 6: GC-resultat från provtagning 2013-02-24
LHSV 0,6, Temperatur 240

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 1			GC-körning 2							
1	11,92	0,25	5541	10,627	0,23	4955	44	1,036	5,94	483
2	10,201	0,35	4742	12,221	0,34	5698	45	2,651	6,76	1236
3	3,018	0,42	1403	0,894	0,48	417	46	3,228	7,64	1505
4	0,648	0,52	301	4,897	0,61	2283	47	1,045	8,13	487
5	5,475	0,63	2545	2,336	0,67	1089	48	2,194	8,97	1023
6	0,366	0,69	170	3,112	0,77	1451	49	1,409	9,51	657
7	2,28	0,69	1060	3,955	0,94	1844	50	1,609	10,21	750
8	3,18	0,79	1478	4,794	1,35	2235	51	2,49	10,65	1161
9	2,02	0,96	939	0,478	1,36	223	52	1,145	12,1	534
10	2,024	0,97	941	0,423	1,38	197	53	0,097	13,72	45
11	9,063	1,35	4213	1,014	1,39	473	54	0,15	13,79	70
12	2,5	1,54	1162	0,836	1,42	390	55	0,414	13,85	193
13	2,424	1,72	1127	0,785	1,45	366	56	0,39	15,48	182
14	4,335	2,03	2015	0,62	1,48	289	57	0,066	16,43	31
15	3,556	2,25	1653	0,703	1,5	328	58	0,669	17,08	312
16	8,368	3,17	3890	1,538	1,53	717	59	0,736	17,81	343
17	1,928	3,68	896	1,238	1,71	577	60	3,64	18,73	1697
18	2,764	4,47	1285	1,096	1,72	511				
19	1,689	4,69	785	2,276	1,99	1061				
20	2,816	5,32	1309	2,271	2,01	1059				
21	1,142	5,56	531	1,544	2,21	720				
22	1,14	5,94	530	0,212	2,29	99				
23	0,49	6,47	228	0,199	2,31	93				
24	2,005	7,15	932	0,474	2,34	221				
25	0,828	8,12	385	0,326	2,39	152				
26	0,039	8,43	18	0,525	2,45	245				
27	0,084	8,54	39	1,177	2,84	549				
28	0,082	8,61	38	0,712	2,91	332				
29	0,174	8,67	81	1,257	3,03	586				
30	0,039	8,95	18	0,802	3,09	374				
31	0,779	9,48	362	1,27	3,13	592				
32	0,138	10,1	64	1,645	3,18	767				
33	1,575	10,22	732	0,562	3,31	262				
34	0,415	10,54	193	0,277	3,39	129				
35	1,629	11,25	757	0,298	3,42	139				
36	1,585	12,07	737	0,189	3,47	88				
37	0,03	12,49	14	0,588	3,57	274				
38	0,886	12,74	412	0,903	3,69	421				
39	0,48	13,86	223	0,673	3,71	314				
40	0,746	15,43	347	2,565	4,41	1196				
41	0,703	17,05	327	1,471	4,9	686				
42	0,331	17,75	154	2,194	5,32	1023				
43	4,102	18,73	1907	1,053	5,56	491				
TOTAL	99,997		46484				TOTAL	99,999		46625

Tabell 7: GC-resultat från provtagning 2013-02-24
LHSV 0,6, Temperatur 240

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 3							
1	9,993	0,25	4787,846	46	0,273	10,79	130,7998
2	3,575	0,35	1712,854	47	0,282	10,89	135,1118
3	6,979	0,38	3343,778	48	0,57	10,99	273,0984
4	0,726	0,5	347,8411	49	0,367	11,22	175,837
5	6,14	0,61	2941,797	50	0,486	11,34	232,8523
6	1,968	0,68	942,9082	51	1,365	11,66	653,9988
7	0,179	0,74	85,76248	52	0,674	11,96	322,9269
8	2,192	0,78	1050,231	53	0,265	12,05	126,9668
9	3,116	0,94	1492,938	54	0,278	12,1	133,1954
10	5,85	1,33	2802,852	55	0,465	12,26	222,7908
11	1,355	1,45	649,2076	56	0,422	12,35	202,1886
12	1,334	1,51	639,1461	57	0,267	12,47	127,925
13	1,891	1,69	906,0159	58	1,511	12,78	723,9503
14	3,41	1,98	1633,799	59	0,685	13,09	328,1972
15	2,555	2,21	1224,152	60	0,461	13,31	220,8743
16	6,881	3,12	3296,825	61	0,426	13,44	204,1051
17	1,576	3,65	755,0931	62	0,549	13,63	263,0369
18	2,503	4,27	1199,237	63	0,451	13,78	216,0831
19	1,148	4,77	550,0298	64	0,19	13,86	91,0328
20	0,205	5,04	98,2196	65	0,34	13,89	162,9008
21	0,359	5,1	172,0041	66	0,415	14,05	198,8348
22	0,58	5,19	277,8896	67	0,217	14,21	103,969
23	0,685	5,29	328,1972	68	0,092	14,27	44,07904
24	0,184	5,47	88,15808	69	0,177	14,32	84,80424
25	0,232	5,52	111,1558	70	0,856	14,77	410,1267
26	0,221	5,57	105,8855	71	0,432	14,9	206,9798
27	0,106	5,62	50,78672	72	0,138	15,12	66,11856
28	0,931	5,92	446,0607	73	0,691	15,33	331,0719
29	3,137	6,41	1502,999	74	0,127	15,51	60,84824
30	3,615	7,39	1732,019	75	0,056	15,59	26,83072
31	1,484	8,1	711,0141	76	0,029	16,28	13,89448
32	0,278	8,45	133,1954	77	0,257	16,35	123,1338
33	0,161	9	77,13832	78	3,051	16,98	1461,795
34	0,298	9,27	142,7778	79	3,225	18,62	1545,162
35	0,33	9,42	158,1096	80	0,177	19,71	84,80424
36	0,271	9,5	129,8415				
37	0,288	9,61	137,9866				
38	0,219	9,82	104,9273				
39	0,232	9,97	111,1558				
40	0,282	10,1	135,1118				
41	0,532	10,16	254,8918				
42	0,353	10,24	169,1294				
43	0,417	10,44	199,793				
44	0,806	10,66	386,1707				
45	0,154	10,72	73,78448				
				TOTAL	99,998		47911,04

Tabell 8: GC-resultat från provtagning 2013-02-25
LHSV 0,6, Temperatur 230

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 1			GC-körning 2							
1	11,138	0,25	4523	11,44	0,2	4480	47	0,314	3,54	123
2	10,02	0,37	4069	12,684	0,31	4967	48	1,052	3,62	412
3	2,403	0,52	976	0,123	0,45	48	49	0,26	3,65	102
4	0,709	0,51	288	0,202	0,45	79	50	0,626	3,68	245
5	5,44	0,63	2209	0,549	0,47	215	51	0,105	3,76	41
6	0,36	0,69	146	5,914	0,58	2316	52	0,166	3,79	65
7	2,029	0,69	824	2,492	0,64	976	53	0,329	4,11	129
8	2,815	0,78	1143	3,092	0,73	1211	54	2,097	5,25	821
9	3,763	0,95	1528	4,533	0,89	1775	55	1,336	5,54	523
10	8,73	1,36	3545	4,694	1,29	1838	56	1,305	5,93	511
11	2,29	1,51	930	0,552	1,31	216	57	0,896	6,72	351
12	2,236	1,71	908	0,735	1,32	288	58	1,489	7,41	583
13	4,531	2	1840	0,447	1,34	175	59	1,154	8,12	452
14	2,147	2,22	872	0,881	1,35	345	60	2,543	8,81	996
15	1,079	2,35	438	1,754	1,37	687	61	1,09	9,48	427
16	2,679	2,97	1088	1,43	1,43	560	62	0,222	10,19	87
17	4,617	3,13	1875	2,171	1,47	850	63	0,947	10,23	371
18	0,355	3,31	144	2,408	1,65	943	64	0,419	10,57	164
19	1,298	3,37	527	3,141	1,96	1230	65	1,407	11,48	551
20	2,305	3,7	936	0,332	1,99	130	66	1,507	12,1	590
21	1,931	4,3	784	1,719	2	673	67	0,756	13,89	296
22	2,472	4,46	1004	2,03	2,18	795	68	0,161	15,55	63
23	0,47	4,89	191	0,792	2,28	310	69	0,319	17,15	125
24	2,824	5,26	1147	0,22	2,32	86	70	0,225	17,86	88
25	1,281	5,58	520	0,128	2,35	50	71	3,565	18,8	1396
26	1,458	5,97	592	0,123	2,36	48				
27	0,618	6,49	251	0,437	2,38	171				
28	0,357	6,63	145	0,345	2,45	135				
29	0,273	7,12	111	1,744	2,85	683				
30	2,935	7,25	1192	1,085	2,93	425				
31	0,825	8,17	335	0,304	2,96	119				
32	0,133	8,71	54	0,128	2,98	50				
33	0,916	9,41	372	0,467	3,01	183				
34	2,362	10,2	959	0,495	3,01	194				
35	1,332	10,53	541	1,103	3,08	432				
36	0,261	11,32	106	0,171	3,1	67				
37	0,116	11,44	47	0,621	3,11	243				
38	0,81	12,12	329	0,552	3,13	216				
39	0,202	12,81	82	0,258	3,16	101				
40	0,527	13,81	214	1,348	3,17	528				
41	0,879	15,47	357	0,347	3,26	136				
42	1,093	16,48	444	0,304	3,29	119				
43	1,219	17,09	495	0,355	3,33	139				
44	0,062	17,86	25	0,199	3,37	78				
45	0,234	18,53	95	0,447	3,41	175				
46	3,467	18,71	1408	0,416	3,47	163				
Total	100,001		40609				Total	100,002		39160

Tabell 9: GC-resultat från provtagning 2013-02-25
LHSV 0,6, Temperatur 230

P#	AREA%	RT	AREA	P#	AREA%	RT	AREA	P#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 3											
1	4,698	0,21	2138	47	0,224	8,27	102	93	0,251	16,67	114
2	10,209	0,31	4646	48	0,062	8,33	28	94	0,448	16,78	204
3	0,631	0,47	287	49	0,086	8,36	39	95	0,617	16,88	281
4	5,784	0,58	2632	50	0,07	8,54	32	96	0,936	17,04	426
5	1,894	0,64	862	51	0,077	8,61	35	97	0,046	17,31	21
6	2,553	0,74	1162	52	0,134	9,37	61	98	0,108	17,36	49
7	3,36	0,9	1529	53	0,123	9,42	56	99	2,927	18,52	1332
8	9,221	1,28	4196	54	0,053	9,59	24				
9	1,976	1,64	899	55	0,16	9,69	73				
10	4,171	1,92	1898	56	0,321	9,99	146				
11	2,991	2,15	1361	57	0,393	10,07	179				
12	1,958	2,82	891	58	0,143	10,14	65				
13	2,848	3	1296	59	0,248	10,55	113				
14	2,143	3,07	975	60	0,037	10,69	17				
15	1,82	3,31	828	61	0,255	10,73	116				
16	1,989	3,55	905	62	0,092	10,86	42				
17	1,119	4,04	509	63	0,138	10,97	63				
18	0,567	4,13	258	64	0,079	11,17	36				
19	1,382	4,18	629	65	0,747	11,25	340				
20	0,327	4,35	149	66	0,338	11,51	154				
21	0,448	4,39	204	67	0,189	11,68	86				
22	0,73	4,45	332	68	0,158	11,76	72				
23	0,828	4,58	377	69	0,235	11,83	107				
24	0,903	4,69	411	70	0,789	11,92	359				
25	1,028	5,01	468	71	0,191	12,16	87				
26	0,431	5,09	196	72	0,657	12,23	299				
27	1,721	5,13	783	73	0,266	12,49	121				
28	1,015	5,44	462	74	0,897	12,83	408				
29	0,163	5,49	74	75	1,187	13,12	540				
30	0,343	5,51	156	76	0,103	13,42	47				
31	0,385	5,58	175	77	0,198	13,48	90				
32	0,699	5,8	318	78	0,053	14,32	24				
33	0,69	5,84	314	79	0,086	14,88	39				
34	0,387	5,92	176	80	0,343	14,96	156				
35	1,573	6,28	716	81	0,945	15,28	430				
36	0,147	6,42	67	82	0,105	15,44	48				
37	0,211	6,45	96	83	0,224	15,51	102				
38	0,294	6,53	134	84	0,099	15,61	45				
39	1,661	6,55	756	85	0,191	15,63	87				
40	0,82	6,97	373	86	0,308	15,76	140				
41	3,25	7,07	1479	87	0,349	15,91	159				
42	0,538	7,62	245	88	0,187	16,09	85				
43	0,499	7,85	227	89	0,477	16,14	217				
44	0,53	7,92	241	90	0,439	16,29	200				
45	0,367	8,03	167	91	0,261	16,43	119				
46	0,244	8,09	111	92	0,404	16,5	184				
									Total	81,546	37109

Tabell 10: GC-resultat från provtagning 2013-02-26
LHSV 0,6, Temperatur 220

PEAK	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
	GC-körning 1			GC-körning 2			GC-körning 3		
1	2,852	0,26	1595	5,754	0,27	1580	4,733	0,23	1490
2	3,418	0,38	1912	7,033	0,38	1931	5,385	0,34	1695
3	0,089	0,53	50	0,321	0,52	88	4,447	0,6	1400
4	2,811	0,64	1572	5,427	0,65	1490	1,731	0,75	545
5	1,318	0,79	737	2,375	0,79	652	1,715	0,94	540
6	1,362	0,95	762	2,469	0,95	678	2,116	1,3	666
7	3,638	1,33	2035	6,556	1,32	1800	2,754	1,32	867
8	0,681	1,52	381	1,118	1,51	307	1,372	1,48	432
9	1,307	1,69	731	2,043	1,68	561	1,722	1,7	542
10	3,066	1,99	1715	2,742	1,97	753	2,414	1,98	760
11	2,632	3,09	1472	1,803	2,16	495	2,167	2,21	682
12	0,604	3,67	338	4,232	3,1	1162	6,496	3,12	2045
13	2,108	4,42	1179	1,293	3,67	355	2,319	3,66	730
14	0,872	4,73	488	3,748	4,44	1029	3,51	4,39	1105
15	2,013	5,19	1126	1,45	4,74	398	1,172	4,69	369
16	1,387	5,56	776	3,387	5,17	930	2,907	5,25	915
17	1,638	5,96	916	2,036	5,56	559	1,871	5,56	589
18	1,672	6,42	935	2,462	5,97	676	2,23	5,96	702
19	1,532	6,77	857	4,443	6,47	1220	1,814	6,44	571
20	4,496	7,4	2515	4,039	7,48	1109	2,122	6,71	668
21	2,339	8,18	1308	1,832	7,83	503	3,914	7,41	1232
22	4,096	9,06	2291	2,775	8,2	762	1,649	7,73	519
23	2,911	9,43	1628	1,337	8,76	367	2,742	8,15	863
24	1,225	9,88	685	1,501	9,52	412	4,216	8,76	1327
25	3,141	10,26	1757	3,365	10,29	924	2,64	9,45	831
26	3,372	10,61	1886	1,428	10,63	392	3,831	10,25	1206
27	4,525	11,41	2531	2,608	11,29	716	2,379	10,55	749
28	2,644	12,13	1479	0,532	11,98	146	2,424	11,38	763
29	3,088	12,41	1727	1,763	12,13	484	1,62	12,12	510
30	3,83	13,03	2142	2,619	12,38	719	0,934	13,83	294
31	2,326	13,88	1301	4,258	13,11	1169	0,156	13,99	49
32	1,244	14,13	696	3,074	14,91	844	2,119	15,49	667
33	6,883	15,54	3850	1,413	17,19	388	5,721	17,13	1801
34	3,994	16,31	2234	5,787	18,84	1589	0,978	17,41	308
35	3,751	17,13	2098	0,98	20,03	269	3,31	17,91	1042
36	3,082	17,83	1724				6,039	18,85	1901
37	5,439	18,74	3042				0,14	19,91	44
38	1,645	19,35	920				0,191	19,99	60
39	0,969	19,94	542						
Total	100		55933	100,003		27457	100		31479

Tabell 11: GC-resultat från provtagning 2013-02-26
LHSV 0,6, Temperatur 220

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 4							
1	3,394	0,23	1685,936	46	2,061	16,43	1023,781
2	2,923	0,33	1451,971	47	2,319	17	1151,94
3	2,565	0,6	1274,138	48	1,651	17,27	820,1177
4	1,166	0,74	579,1988	49	4,254	17,77	2113,132
5	1,139	0,91	565,7869	50	1,598	18,53	793,7905
6	2,965	1,26	1472,834	51	1,59	18,68	789,8166
7	0,759	1,42	377,0257	52	1,313	18,73	652,2196
8	0,908	1,62	451,0399	53	4,556	19,12	2263,147
9	1,395	1,9	692,9523				
10	0,892	2,13	443,0921				
11	1,82	3,01	904,0668				
12	0,548	3,02	272,2135				
13	0,169	3,52	83,94906				
14	0,324	3,55	160,9438				
15	0,085	3,61	42,2229				
16	1,729	4,26	858,8635				
17	0,686	4,57	340,7636				
18	1,931	5,13	959,2049				
19	1,272	5,41	631,8533				
20	1,637	5,81	813,1634				
21	2,08	6,31	1033,219				
22	1,423	6,61	706,861				
23	3,195	7,26	1587,084				
24	1,639	7,61	814,1569				
25	2,404	8,05	1194,163				
26	4,449	8,46	2209,996				
27	2,671	9,29	1326,793				
28	1,532	9,69	761,0057				
29	2,561	10,16	1272,151				
30	2,275	10,5	1130,084				
31	3,336	11,26	1657,125				
32	0,892	11,48	443,0921				
33	0,618	11,65	306,9853				
34	2,549	11,97	1266,19				
35	0,775	12,24	384,9735				
36	0,843	12,33	418,7518				
37	0,608	12,54	302,0179				
38	0,725	12,65	360,1365				
39	3,467	12,93	1722,198				
40	2,808	13,74	1394,846				
41	0,678	14,04	336,7897				
42	3,457	14,32	1717,23				
43	3,453	15,48	1715,243				
44	1,337	15,63	664,1414				
45	2,579	16,17	1281,092	Total	100,003		49675,49

Tabell 12: GC-resultat från provtagning 2013-02-28
LHSV 0,6, Temperatur 210

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
	GC-körning 1			GC-körning 2			GC-körning 3		
1	4,244	0,27	1260	1,106	0,22	1249	1,162	0,06	845,2737
2	5,066	0,39	1504	1,34	0,33	1513	1,166	0,32	848,1834
3	3,968	0,65	1178	0,955	0,58	1078	0,217	0,46	157,8523
4	1,59	0,79	472	0,365	0,72	412	0,216	0,47	157,1249
5	1,677	0,96	498	0,442	0,88	499	0,506	0,63	368,0796
6	4,513	1,31	1340	0,888	1,21	1003	0,982	0,98	714,3363
7	0,852	1,52	253	0,42	1,37	474	0,286	1,07	208,045
8	1,209	1,68	359	0,281	1,59	317	0,437	1,14	317,8869
9	2,132	1,96	633	0,536	1,86	605	0,403	1,37	293,1543
10	1,566	2,23	465	0,337	2,13	380	0,487	1,63	354,2584
11	3,533	3,06	1049	1,336	2,95	1508	0,73	1,69	531,0239
12	1,115	3,63	331	0,785	3,51	886	0,477	2,58	346,9841
13	2,967	4,37	881	1,052	4,33	1188	0,861	2,7	626,3172
14	1,206	4,71	358	0,552	4,63	623	0,436	3,26	317,1595
15	2,563	5,16	761	1,02	5,14	1151	1,314	3,97	955,843
16	1,677	5,53	498	0,811	5,43	916	0,903	4,89	656,8693
17	2,348	5,93	697	1,077	5,86	1216	0,704	5,16	512,1107
18	3,823	6,47	1135	1,138	6,36	1285	0,88	5,56	640,1384
19	3,742	7,38	1111	1,132	6,61	1278	2,061	6,33	1499,233
20	1,401	7,67	416	3,201	7,27	3614	0,987	6,77	717,9734
21	2,849	8,15	846	1,728	8,07	1951	2,52	6,98	1833,124
22	4,227	8,66	1255	3,355	8,63	3788	1,79	7,75	1302,1
23	2,496	9,48	741	1,97	9,41	2224	1,768	8,29	1286,096
24	5,2	10,29	1544	1,502	9,78	1696	4,772	8,68	3471,296
25	2,772	10,6	823	1,34	10,18	1513	2,424	9,86	1763,29
26	4,129	11,41	1226	0,993	10,21	1121	3,171	10,17	2306,681
27	2,853	12,18	847	2,825	10,58	3189	3,75	10,9	2727,863
28	2,014	12,44	598	4,541	11,3	5126	3,768	11,72	2740,956
29	2,203	13,19	654	2,277	12,04	2570	1,431	12,25	1040,952
30	2,94	13,93	873	1,575	12,33	1778	1,798	12,73	1307,919
31	1,25	15,62	371	1,376	12,66	1553	5,4	13,38	3928,122
32	0,36	15,68	107	4,34	13,05	4899	4,711	14,34	3426,923
33	2,624	17,17	779	3,748	13,8	4231	3,334	15,01	2425,252
34	2,065	17,96	613	5,129	14,65	5790	5,977	15,43	4347,849
35	1,091	18,16	324	4,092	15,46	4619	3,852	16,65	2802,06
36	8,659	18,89	2571	9,6	17,05	10838	3,578	17,43	2602,745
37	1,074	20,29	319	4,289	17,77	4842	2,121	17,64	1542,879
38				6,387	18,76	7210	7,568	18,39	5505,19
39				3,732	19,25	4213	3,754	18,93	2730,772
40				16,427	19,91	18545	17,301	19,45	12585,27
TOTAL	99,998		29690	100		112891	100,003		72745,18

Tabell 13: GC-resultat från provtagning 2013-03-01
LHSV 1,23, Temperatur 210

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
	GC-körning 1			GC-körning 2			GC-körning 3		
1	3,11	0,27	997	5,227	0,22	984	4,947	0,22	843,0183
2	3,272	0,39	1049	5,418	0,33	1020	5,27	0,33	898,0607
3	2,645	0,65	848	4,175	0,6	786	4,243	0,58	723,0496
4	0,437	0,78	140	1,445	0,74	272	1,385	0,73	236,0179
5	0,446	0,8	143	1,939	0,91	365	2,124	0,9	361,9508
6	1,207	0,96	387	1,976	1,25	372	5,88	1,23	1002,011
7	2,321	1,31	744	0,786	1,29	148	0,857	1,43	146,0414
8	1,257	1,42	403	1,349	1,35	254	1,191	1,6	202,9583
9	0,733	1,67	235	1,838	1,43	346	4,172	1,87	710,9505
10	2,654	1,92	851	1,413	1,64	266	4,043	2,97	688,9676
11	2,617	2,88	839	4,749	1,9	894	0,957	3,51	163,0824
12	0,574	3,55	184	1,668	2,88	314	5	4,29	852,05
13	3,737	4,36	1198	1,221	3,02	228	3,762	5,09	641,0824
14	2,18	5,17	699	0,292	3,13	55	2,476	5,41	421,9352
15	1,709	5,49	548	0,606	3,6	114	2,875	5,83	489,9288
16	2,23	5,89	715	5,216	4,31	982	4,636	7,05	790,0208
17	4,354	6,66	1396	2,89	5,27	544	0,675	7,91	115,0268
18	3,852	7,35	1235	2,082	5,53	392	3,069	8,04	522,9883
19	1,463	7,67	469	3,108	5,97	585	6,414	8,45	1093,01
20	3,125	8,12	1002	2,412	6,5	454	4,278	9,21	729,014
21	3,041	8,6	975	2,624	6,79	494	7,3	10,1	1243,993
22	1,656	9	531	1,397	7,3	263	2,277	11,18	388,0236
23	2,42	9,46	776	5,509	7,38	1037	3,72	12	633,9252
24	8,434	10,21	2704	3,984	8,23	750	3,222	13,7	549,061
25	4,9	11,35	1571	1,498	8,79	282	0,241	15,24	41,06881
26	2,168	12,09	695	4,393	10,37	827	0,792	15,33	134,9647
27	1,216	12,12	390	0,664	10,72	125	1,367	15,39	232,9505
28	2,542	12,36	815	3,554	11,49	669	0,147	15,59	25,05027
29	3,094	13,06	992	3,756	12,31	707	0,968	16,96	164,9569
30	3,378	13,83	1083	0,861	14	162	0,399	17,69	67,99359
31	3,905	15,49	1252	1,774	14,1	334	2,171	18,43	369,9601
32	1,404	16,42	450	2,438	15,79	459	1,784	18,57	304,0114
33	2,52	17,06	808	2,327	17,37	438	1,162	18,59	198,0164
34	2,405	17,83	771	2,183	18,13	411	2,735	18,64	466,0714
35	9,557	18,76	3064	0,303	18,78	57	3,263	18,74	556,0478
36	1,354	19,33	434	5,238	19,07	986	0,2	19,82	34,082
37	2,08	19,94	667	1,307	19,09	246			
				6,39	19,21	1203			
TOTAL	99,997		32060	100,01		18825	100,002		17041,34

Tabell 14: GC-resultat från provtagning 2013-03-02
LHSV 1,09, Temperatur 220

PEAK	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
	GC-körning 1			GC-körning 2		
1	8,039	0,19	3184	6,5	0,22	2752
2	8,564	0,3	3392	6,927	0,33	2933
3	0,371	0,45	147	0,281	0,48	119
4	5,728	0,57	2269	3,158	0,59	1337
5	1,866	0,71	739	1,091	0,65	462
6	2,807	0,87	1112	1,469	0,74	622
7	7,165	1,25	2838	2,433	0,91	1030
8	1,323	1,43	524	5,815	1,28	2462
9	1,558	1,62	617	1,29	1,46	546
10	3,729	1,89	1477	1,282	1,64	543
11	2,095	2,15	830	3,033	1,93	1284
12	1,29	2,27	511	2,284	2,15	967
13	2,588	2,96	1025	1,582	2,87	670
14	4,544	3	1800	1,448	1	613
15	1,856	3,53	735	2,421	3,04	1025
16	3,151	4,37	1248	1,608	3,59	681
17	1,182	4,66	468	0,161	3,65	68
18	2,729	5,14	1081	0,163	3,7	69
19	1,666	5,48	660	2,945	4,39	1247
20	1,813	5,89	718	1,719	5,16	728
21	8,569	7,41	3394	1,561	5,33	661
22	2,169	8,09	859	1,129	5,89	478
23	0,957	8,65	379	3,467	6,44	1468
24	1,224	9,47	485	0,572	7,74	242
25	2,977	10,27	1179	1,509	8,18	639
26	1,522	10,55	603	4,662	8,71	1974
27	2,232	11,36	884	1,044	9,85	442
28	1,795	12,13	711	2,175	10,27	921
29	0,916	12,45	363	2,166	10,63	917
30	1,224	13,14	485	3,843	11,45	1627
31	1,447	13,98	573	1,901	12,21	805
32	0,121	15,19	48	5,642	12,54	2389
33	0,876	15,56	347	3,673	14,03	1555
34	0,025	15,79	10	5,151	15,7	2335
35	0,197	17,16	78	8,559	17,31	3624
36	1,394	17,17	552	4,974	19,06	2106
37	0,8	18,67	317			
38	1,608	18,83	637			
39	2,103	18,94	833			
40	2,901	19,04	1149			
41	0,045	19,27	18			
42	0,833	19,49	330			
Total	99,999		39609	99,638		42341

Tabell 15: GC-resultat från provtagning 2013-03-02
LHSV 1,09, Temperatur 220

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 3							
1	8,584	0,26	2913	46	0,268	13,81	91
2	8,419	0,37	2857	47	0,283	13,88	96
3	0,398	0,52	135	48	1,164	13,93	395
4	4,547	0,63	1543	49	0,33	14,07	112
5	1,856	0,69	630	50	0,304	14,23	103
6	1,774	0,78	602	51	0,08	14,31	27
7	2,826	0,95	959	52	1,252	17,24	425
8	4,62	1,33	1568	53	0,563	17,93	191
9	3,816	1,4	1295	54	0,13	18,41	44
10	1,559	1,69	529	55	0,81	18,61	275
11	3,551	2	1205	56	0,695	18,68	236
12	2,649	2,23	899	57	1,518	18,79	515
13	2,31	2,97	784	58	1,686	18,9	572
14	4,435	3,04	1505	59	1,311	18,95	445
15	1,771	3,62	601	60	3,185	19,03	1081
16	3,006	4,24	1020	61	0,964	19,48	327
17	1,126	4,68	382	62	0,053	19,73	18
18	3,079	5,17	1045	63	0,421	20,09	143
19	1,759	5,57	597	64	0,466	21,21	158
20	1,556	5,98	528				
21	0,324	6,48	110				
22	2,157	7,45	732				
23	1,423	7,69	483				
24	1,995	8,18	677				
25	0,171	8,49	58				
26	0,66	8,72	224				
27	0,192	9,41	65				
28	0,18	9,48	61				
29	0,539	9,54	183				
30	0,304	10,16	103				
31	2,278	10,28	773				
32	0,569	10,56	193				
33	0,934	10,69	317				
34	0,071	10,98	24				
35	0,248	11,19	84				
36	1,023	11,31	347				
37	1,294	11,62	439				
38	1,149	12,18	390				
39	0,975	12,21	331				
40	0,298	12,37	101				
41	0,881	12,44	299				
42	0,846	12,84	287				
43	0,913	13,04	310				
44	1,279	13,33	434				
45	0,177	13,71	60	Total	100,004		33936

Tabell 16: GC-resultat från provtagning 2013-03-03
LHSV 1,09, Temperatur 230

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	
		GC-körning 1			GC-körning 2		
1	6,124	0,25	4005	8,972	0,18	4351	
2	5,124	0,36	3351	10,012	0,29	4855	
3	1,46	0,41	955	0,495	0,43	240	
4	0,355	0,51	232	4,316	0,54	2093	
5	2,67	0,63	1746	2,089	0,6	1013	
6	1,158	0,69	757	2,182	0,7	1058	
7	1,58	0,78	1033	3,134	0,87	1520	
8	2,034	0,95	1330	8,696	1,24	4217	
9	4,753	1,35	3108	1,749	1,61	848	
10	1,181	1,53	772	3,555	1,94	1724	
11	1,187	1,71	776	1,891	2,14	917	
12	2,447	2,01	1600	0,798	2,27	387	
13	0,48	2,24	314	1,301	2,83	631	
14	0,71	2,26	464	4,918	3,05	2385	
15	0,662	2,35	433	0,637	3,27	309	
16	2,168	3,12	1418	0,571	3,35	277	
17	2,567	3,15	1679	2,046	3,57	992	
18	0,506	3,67	331	3,223	4,28	1563	
19	0,684	3,69	447	1,32	4,62	640	
20	2,044	4,29	1337	3,021	5,14	1465	
21	0,943	4,71	617	1,351	5,44	655	
22	2,061	5,26	1348	1,454	5,81	705	
23	1,025	5,61	670	3,31	6,4	1605	
24	1,194	5,95	781	1,262	7,02	612	
25	2,939	6,6	1922	2,854	7,26	1384	
26	0,742	7,23	485	1,625	8,01	788	
27	3,032	7,36	1983	3,582	8,57	1737	
28	1,641	8,17	1073	1,78	9,36	863	
29	4,058	8,64	2654	0,629	9,73	305	
30	1,661	9,5	1086	2,165	10,09	1050	
31	0,286	9,7	187	2,343	10,4	1136	
32	1,057	9,9	691	2,437	11,22	1182	
33	2,471	10,28	1616	1,4	11,97	679	
34	1,294	10,57	846	1,421	12,27	689	
35	1,644	10,79	1075	0,316	12,97	153	
36	4,5	11,36	2943	1,078	13,74	523	
37	1,915	12,18	1252	0,085	14,27	41	
38	6,705	12,45	4385	0,874	15,35	424	
39	3,205	13,93	2096	0,546	16,97	265	
40	4,294	15,49	2808	3,943	18,55	1912	
41	1,483	15,62	970	0,621	19,73	301	
42	1,306	15,88	854				
43	1,803	16,29	1179				
44	3,473	17,21	2271				
45	1,544	17,89	1010				
46	3,557	18,85	2326				
47	0,274	20,03	179				
Total	100,001		65395	100,002		48494	

Tabell 17: GC-resultat från provtagning 2013-03-03
LHSV 1,09, Temperatur 230

PEAK	AREA%	RT	AREA	PEAK	AREA%	RT	AREA
GC-körning 3							
1	8,692	0,21	3899	49	0,852	5,5	382
2	9,472	0,33	4249	50	0,564	5,86	253
3	0,562	0,47	252	51	0,546	5,91	245
4	5,834	0,59	2617	52	0,383	5,96	172
5	2,387	0,73	1071	53	1,56	6,44	700
6	3,368	0,91	1511	54	1,547	6,59	694
7	3,674	1,28	1648	55	2,296	7,37	1030
8	1,304	1,31	585	56	1,514	7,51	679
9	0,988	1,35	443	57	0,954	8,06	428
10	1,224	1,39	549	58	0,671	8,11	301
11	0,444	1,43	199	59	0,308	8,39	138
12	1,922	1,45	862	60	0,212	8,45	95
13	1,826	1,65	819	61	1,783	8,56	800
14	4,037	1,94	1811	62	1,072	8,92	481
15	0,216	2,08	97	63	0,165	9,19	74
16	0,533	2,12	239	64	0,285	9,24	128
17	0,321	2,15	144	65	0,513	9,31	230
18	0,348	2,18	156	66	0,84	9,42	377
19	0,664	2,21	298	67	0,785	9,61	352
20	0,198	2,29	89	68	0,167	9,87	75
21	0,161	2,31	72	69	0,201	9,91	90
22	1,286	2,33	577	70	0,898	10,16	403
23	2,695	2,97	1209	71	0,718	10,21	322
24	0,629	3,02	282	72	0,299	10,32	134
25	0,415	3,04	186	73	0,68	10,55	305
26	0,343	3,06	154	74	0,738	10,67	331
27	0,519	3,09	233	75	1,34	11,18	601
28	1,543	3,11	692	76	0,602	11,97	270
29	0,938	3,28	421	77	0,493	12,08	221
30	0,192	3,37	86	78	0,33	12,45	148
31	1,507	3,57	676	79	0,299	12,69	134
32	1,088	3,62	488	80	0,328	13,05	147
33	0,51	4,08	229	81	0,361	13,47	162
34	0,687	4,13	308	82	0,366	13,52	164
35	0,118	4,21	53	83	0,51	13,81	229
36	0,653	4,22	293	84	0,662	15,39	297
37	0,733	4,33	329	85	0,305	15,48	137
38	0,129	4,41	58	86	0,241	16,01	110
39	0,698	4,43	313	87	0,385	16,1	173
40	0,675	4,51	303	88	0,227	15,51	102
41	0,72	4,63	323	89	0,281	16,95	126
42	0,486	4,74	218	90	0,582	17,06	261
43	1,07	5,04	480	91	0,343	18,42	154
44	0,894	5,13	401	92	0,214	18,53	96
45	0,232	5,23	104	93	1,025	18,62	460
46	0,196	5,25	88	94	1,761	18,74	790
47	0,956	5,28	429	95	0,203	18,89	91
48	0,504	5,46	226	TOTAL	100		44861

Tabell 18: GC-resultat från provtagning 2013-03-04
LHSV 1,09, Temperatur 240

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 1							
1	9,911	0,25	4286	46	1,723	10,29	745
2	17,231	0,36	7452	47	0,472	10,62	204
3	0,035	0,51	15	48	0,079	11,25	34
4	4,433	0,62	1917	49	0,116	11,31	50
5	1,098	0,7	475	50	0,109	11,37	47
6	2,153	0,77	931	51	0,31	11,45	134
7	2,655	0,93	1148	52	0,34	11,55	147
8	2,803	1,33	1212	53	0,058	11,7	25
9	0,502	1,35	217	54	0,185	12,05	80
10	0,222	1,37	96	55	0,643	12,18	278
11	0,49	1,38	212	56	0,044	12,27	19
12	0,777	1,41	336	57	0,028	12,47	12
13	0,372	1,43	161	58	0,072	13,78	31
14	0,423	1,45	183	59	0,113	13,81	49
15	0,4	1,47	173	60	0,416	13,92	180
16	0,59	1,49	255	61	0,689	13,98	298
17	1,221	1,52	528	62	0,129	14,08	56
18	1,452	1,7	628	63	0,784	14,12	339
19	1,26	1,98	545	64	0,264	14,53	114
20	0,465	2,02	201	65	0,388	14,68	168
21	1,253	2,04	542	66	2,178	15,59	942
22	1,267	2,24	548	67	0,856	15,64	370
23	0,756	2,24	327	68	0,358	15,86	155
24	0,657	2,83	284	69	0,083	16,01	36
25	0,409	2,9	177	70	0,224	16,03	97
26	1,198	3	518	71	1,36	16,23	588
27	0,728	3,08	315	72	0,264	16,68	114
28	3,304	3,15	1429	73	0,546	16,81	236
29	1,834	3,64	793	74	1,267	17,15	548
30	1,76	4,29	761	75	0,067	17,49	29
31	1,186	4,45	513	76	0,141	17,95	61
32	2,19	4,7	947	77	0,592	18,7	256
33	2,308	5,16	998	78	3,466	18,87	1499
34	1,29	5,52	558	79	0,828	20,1	358
35	1,378	5,94	596				
36	0,511	6,35	221				
37	0,289	6,41	125				
38	2,638	6,48	1141				
39	3,138	7,29	1357				
40	1,753	7,75	758				
41	1,295	8,15	560				
42	0,432	8,53	187				
43	0,227	8,69	98				
44	0,347	9,34	150				
45	0,171	9,5	74	Total	100,004		43247

Tabell 19: GC-resultat från provtagning 2013-03-04
LHSV 1,09, Temperatur 240

PEAK	AREA%	RT	AREA	PEAK	AREA%	RT	AREA
GC-körning 2							
1	9,12	0,2	4231	46	2,533	16,2	1175
2	10,101	0,31	4686	47	0,75	17	348
3	0,567	0,45	263	48	4,121	17,03	1912
4	4,376	0,57	2030	49	1,959	18,61	909
5	2,138	0,62	992	50	2,789	18,74	1294
6	1,041	0,72	483				
7	1,311	0,73	608				
8	2,996	0,89	1390				
9	4,921	1,29	2283				
10	3,787	1,35	1757				
11	1,878	1,64	871				
12	3,46	1,92	1605				
13	2,759	2,14	1280				
14	7,65	3,07	3549				
15	1,927	3,6	894				
16	0,121	4,17	56				
17	0,05	4,19	23				
18	1,399	5,11	649				
19	0,763	5,43	354				
20	0,918	5,88	426				
21	0,091	6,37	42				
22	0,239	6,73	111				
23	0,153	6,81	71				
24	1,446	7,32	671				
25	1,382	8,09	641				
26	0,595	8,6	276				
27	0,414	8,88	192				
28	0,011	9,27	5				
29	0,106	9,29	49				
30	1,035	10,18	480				
31	0,226	10,24	105				
32	0,662	10,52	307				
33	0,899	10,65	417				
34	2,906	11,21	1348				
35	0,407	11,98	189				
36	1,084	12,02	503				
37	0,218	12,17	101				
38	0,226	12,24	105				
39	1,668	12,29	774				
40	3,175	13,19	1473				
41	2,19	13,79	1016				
42	0,209	13,96	97				
43	1,74	14,06	807				
44	2,679	14,61	1243				
45	2,802	15,44	1300	Total	99,998		46391

Tabell 20: GC-resultat från provtagning 2013-03-04
LHSV 1,09, Temperatur 240

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 3							
1	8,544	0,22	3639	46	0,247	8,74	105
2	13,553	0,32	5772	47	0,308	8,85	131
3	0,045	0,47	19	48	0,777	8,91	331
4	3,733	0,59	1590	49	1,188	9,36	506
5	1,815	0,64	773	50	0,096	9,64	41
6	2,087	0,73	889	51	0,446	10,14	190
7	2,801	0,9	1193	52	0,963	10,22	410
8	1,491	1,21	635	53	1,519	10,5	647
9	2,98	1,26	1269	54	0,117	11,05	50
10	1,517	1,43	646	55	0,188	11,11	80
11	1,104	1,66	470	56	0,369	11,19	157
12	2,214	1,95	943	57	0,561	11,31	239
13	1,639	2,31	698	58	0,441	11,57	188
14	0,634	2,37	270	59	0,07	11,71	30
15	1,46	2,87	622	60	0,026	12,86	11
16	1,392	2,97	593	61	1,28	12,97	545
17	3,128	3,07	1332	62	1,547	13,8	659
18	0,207	3,22	88	63	1,014	15,34	432
19	1,482	3,26	631	64	0,862	15,65	367
20	1,118	3,57	476	65	0,124	16,11	53
21	0,765	3,64	326	66	0,42	16,2	179
22	2,75	4,17	1171	67	0,491	16,43	209
23	0,15	4,43	64	68	1,324	16,53	564
24	0,188	4,45	80	69	2,534	17,03	1079
25	0,38	4,47	162	70	3,076	17,78	1310
26	1,592	4,79	678	71	0,674	18,56	287
27	0,566	4,97	241	72	0,791	18,61	337
28	0,495	5,1	211	73	1,472	18,71	627
29	0,477	5,14	203	74	3,449	18,81	1469
30	1,296	5,18	552	75	0,117	19,65	50
31	0,387	5,35	165				
32	0,772	5,47	329				
33	0,359	5,55	153				
34	1,336	5,83	569				
35	3,362	6,36	1432				
36	0,484	7,11	206				
37	0,688	7,23	293				
38	0,308	7,36	131				
39	1,829	7,43	779				
40	0,218	7,94	93				
41	0,331	8,01	141				
42	0,639	8,11	272				
43	0,089	8,19	38				
44	0,376	8,51	160				
45	0,726	8,52	309	TOTAL	99,998		42589

Tabell 21: GC-resultat från provtagning 2013-03-05
LHSV 1,46, Temperatur 240

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 1							
1	8,664	0,26	3255	46	0,303	8,43	114
2	9,718	0,37	3651	47	0,767	8,5	288
3	0,484	0,51	182	48	0,269	8,83	101
4	4,946	0,63	1858	49	0,13	9,39	49
5	1,592	0,7	598	50	0,098	9,47	37
6	2,406	0,79	904	51	0,194	10,04	73
7	3,173	0,95	1192	52	1,392	10,17	523
8	3,261	1,3	1225	53	0,205	10,27	77
9	0,929	1,35	349	54	0,12	10,39	45
10	0,453	1,37	170	55	0,314	10,52	118
11	0,349	1,39	131	56	0,136	11,46	51
12	2,106	1,4	791	57	0,138	11,58	52
13	0,53	1,49	199	58	0,114	11,94	43
14	1,405	1,51	528	59	0,343	12	129
15	1,653	1,69	621	60	0,487	12,08	183
16	1,813	1,99	681	61	0,027	12,19	10
17	3,189	2,01	1198	62	3,114	12,22	1170
18	0,692	2,15	260	63	2,465	13,77	926
19	0,101	2,85	38	64	4,919	15,41	1848
20	0,649	2,97	244	65	3,042	16,41	1143
21	0,399	3	150	66	3,173	17,04	1192
22	2,241	3,12	842	67	2,534	17,78	952
23	0,114	3,56	43	68	6,069	18,72	2280
24	0,458	3,62	172				
25	0,098	3,71	37				
26	3,056	4,22	1148				
27	0,567	5,07	213				
28	3,133	5,17	1177				
29	0,125	5,77	47				
30	1,405	5,91	528				
31	0,825	6,38	310				
32	0,657	6,54	247				
33	0,351	6,58	132				
34	1,421	6,66	534				
35	0,306	6,91	115				
36	0,341	7,05	128				
37	0,346	7,15	130				
38	1,397	7,23	525				
39	0,671	7,45	252				
40	0,482	7,56	181				
41	0,82	7,69	308				
42	0,317	7,75	119				
43	0,277	7,89	104				
44	0,375	7,99	141				
45	1,347	8,11	506	Total	99,995		37568

Tabell 22: GC-resultat från provtagning 2013-03-05
LHSV 1,46, Temperatur 240

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 2							
1	8,19	0,23	3595	47	0,822	3,56	361
2	7,527	0,34	3304	48	0,364	3,59	160
3	2,278	0,39	1000	49	0,2	3,62	88
4	0,444	0,48	195	50	0,39	3,64	171
5	4,777	0,6	2097	51	0,36	3,7	158
6	1,681	0,66	738	52	0,934	4,09	410
7	2,709	0,75	1189	53	1,813	4,16	796
8	3,627	0,92	1592	54	0,39	4,36	171
9	3,194	1,28	1402	55	0,326	4,4	143
10	0,533	1,29	234	56	0,604	4,44	265
11	0,677	1,31	297	57	1,586	4,63	696
12	0,51	1,33	224	58	3,242	5,15	1423
13	0,494	1,34	217	59	1,267	5,43	556
14	0,485	1,36	213	60	1,645	5,86	722
15	0,478	1,37	210	61	3,401	6,63	1493
16	0,474	1,39	208	62	1,333	6,84	585
17	0,442	1,41	194	63	0,419	7,23	184
18	0,303	1,42	133	64	2,948	7,31	1294
19	0,412	1,43	181	65	0,524	7,96	230
20	2,292	1,45	1006	66	0,526	8,03	231
21	2,137	1,66	938	67	0,695	8,08	305
22	2,547	1,94	1118	68	0,173	8,17	76
23	1,699	1,97	746	69	0,743	8,51	326
24	0,494	2,07	217	70	0,672	8,63	295
25	1,034	2,15	454	71	1,547	10,18	679
26	0,519	2,21	228	72	1,075	10,52	472
27	0,531	2,26	233	73	0,027	11,28	12
28	0,082	2,32	36	74	0,187	11,87	82
29	0,075	2,33	33	75	0,319	12,01	140
30	0,506	2,35	222	76	0,56	12,05	246
31	0,702	2,45	308	77	0,091	12,16	40
32	2,05	2,9	900	78	0,64	12,98	281
33	0,171	2,91	75	79	0,264	13,39	116
34	0,481	2,93	211	80	0,052	13,67	23
35	0,51	2,98	224	81	0,121	13,76	53
36	0,216	2,99	95	82	0,287	13,79	126
37	0,221	3	97	83	0,501	13,86	220
38	0,339	3,01	149	84	0,016	13,98	7
39	0,239	3,03	105	85	1,301	15,52	571
40	0,248	3,04	109	86	0,132	17,74	58
41	0,246	3,05	108	87	0,139	17,83	61
42	0,292	3,07	128	88	4,982	18,81	2187
43	2,456	3,08	1078	89	0,574	19,32	252
44	0,911	3,31	400	90	1	20,02	439
45	0,426	3,48	187				
46	0,148	3,48	65	Total	99,999		43897

Tabell 23: GC-resultat från provtagning 2013-03-05
LHSV 1,46, Temperatur 240

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 3							
1	9,007	0,22	3703	46	1,306	3,12	537
2	15,39	0,33	6327	47	1,588	3,28	653
3	0,09	0,47	37	48	1,513	3,51	622
4	4,203	0,58	1728	49	0,898	3,61	369
5	0,698	0,63	287	50	0,555	3,73	228
6	1,691	0,65	695	51	0,793	4,12	326
7	2,505	0,73	1030	52	0,396	4,16	163
8	3,347	0,91	1376	53	1,041	4,23	428
9	3,135	1,25	1289	54	0,542	4,36	223
10	0,623	1,28	256	55	0,581	4,41	239
11	0,326	1,3	134	56	0,136	4,51	56
12	0,384	1,31	158	57	0,664	4,55	273
13	1,262	1,32	519	58	0,226	4,7	93
14	0,362	1,36	149	59	0,219	5,01	90
15	0,348	1,37	143	60	1,048	5,11	431
16	0,336	1,38	138	61	1,348	5,45	554
17	0,946	1,39	389	62	1,384	5,85	569
18	0,302	1,43	124	63	0,511	6,73	210
19	0,302	1,44	124	64	2,564	7,33	1054
20	1,854	1,45	762	65	0,978	8,05	402
21	0,939	1,64	386	66	0,968	9,38	398
22	0,988	1,66	406	67	1,725	10,18	709
23	1,987	1,93	817	68	1,995	11,13	820
24	0,287	1,94	118	69	2,576	11,99	1059
25	0,289	1,95	119	70	1,447	13,71	595
26	0,598	1,97	246	71	0,518	13,85	213
27	1,129	1,99	464	72	0,319	13,87	131
28	2,24	2,15	921	73	1,172	15,48	482
29	0,496	2,29	204	74	0,761	17,07	313
30	0,095	2,35	39	75	0,915	17,79	376
31	0,791	2,38	325	76	5,772	18,82	2373
32	1,163	2,82	478	77	0,586	19,93	241
33	1,168	2,9	480				
34	0,124	2,93	51				
35	0,202	2,94	83				
36	0,253	2,95	104				
37	0,353	2,97	145				
38	0,236	2,99	97				
39	0,292	3	120				
40	0,409	3,02	168				
41	0,418	3,04	172				
42	0,272	3,06	112				
43	0,28	3,07	115				
44	0,168	3,08	69				
45	0,666	3,09	274	Total	99,999		41111

Tabell 24: GC-resultat från provtagning 2013-03-06
LHSV 1,46, Temperatur 230

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
		GC-körning 1		GC-körning 2		
1	3,22	0,31	3280	7,287	0,21	3351
2	3,144	0,42	3203	9,414	0,32	4329
3	0,146	0,56	149	0,046	0,46	21
4	1,939	0,68	1975	4,075	0,57	1874
5	0,764	0,83	778	1,503	0,73	691
6	0,989	0,99	1007	1,983	0,89	912
7	1,639	1,36	1670	5,426	1,26	2495
8	0,631	1,44	643	1,394	1,42	641
9	0,567	1,53	578	1,192	1,61	548
10	0,557	1,72	567	3,147	1,91	1447
11	1,117	2,01	1138	1,27	2,13	584
12	0,747	2,25	761	0,381	2,77	175
13	1,422	3,14	1449	0,57	2,81	262
14	0,256	3,71	261	0,731	2,9	336
15	1,167	4,37	1189	1,22	2,98	561
16	0,489	4,74	498	1,357	3,03	624
17	1,195	5,27	1217	1,007	3,24	463
18	0,771	5,61	785	0,4	3,49	184
19	0,896	6,04	913	0,457	3,53	210
20	2,334	6,81	2378	0,217	3,57	100
21	2,223	7,53	2264	0,194	3,61	89
22	0,893	7,83	910	2,072	4,28	953
23	1,683	8,25	1714	0,285	4,41	131
24	3,308	8,89	3370	0,889	4,6	409
25	2,231	9,59	2273	1,555	5,07	715
26	3,5	10,42	3565	0,137	5,19	63
27	3,358	10,69	3421	0,535	5,21	246
28	3,978	11,54	4052	1,209	5,39	556
29	5,094	12,31	5189	1,311	5,81	603
30	4,316	13,41	4397	3,951	7,07	1817
31	1,19	14,07	1212	1,64	7,27	754
32	2,251	14,13	2293	1,198	7,69	551
33	9,808	15,77	9991	1,309	8,01	602
34	8,667	17,4	8829	1,777	8,6	817
35	4,521	18,17	4605	1,896	8,88	872
36	6,389	19,11	6508	1,385	9,25	627
37	3,849	19,67	3921	3,486	10,09	1603
38	8,75	20,34	8913	2,618	10,44	1204
39				3,508	11,09	1613
40				6,665	11,96	3065
41				0,441	13,55	203
42				2,127	13,72	978
43				4,973	15,35	2287
44				6,95	17,71	3196
45				4,812	18,64	2213
Total	99,999		101866	100		45975

Tabell 25: GC-resultat från provtagning 2013-03-06
LHSV 1,46, Temperatur 230

PEAK#	AREA%	RT	AREA	PEAK#	AREA%	RT	AREA
GC-körning 3							
1	9,006	0,22	3666	46	1,587	10,53	646
2	9,335	0,33	3800	47	1,828	11,32	744
3	0,395	0,48	161	48	1,435	12,07	584
4	6,193	0,61	2521	49	0,501	12,36	204
5	1,147	0,75	467	50	1,327	13,8	540
6	1,147	0,77	467	51	0,13	15,33	53
7	3,107	0,93	1265	52	2,316	15,46	943
8	3,031	1,3	1234	53	0,536	16,99	218
9	1,329	1,31	541	54	1,091	17,79	444
10	0,216	1,35	88	55	5,874	18,73	2391
11	0,545	1,36	222	56	0,916	19,86	373
12	0,653	1,38	266	Total	99,997		40708
13	0,825	1,4	336				
14	0,609	1,44	248				
15	0,28	1,47	114				
16	1,562	1,48	636				
17	1,872	1,68	762				
18	1,744	1,96	710				
19	0,415	1,97	169				
20	0,255	1,99	104				
21	1,272	2	518				
22	1,42	2,17	578				
23	0,582	2,25	237				
24	0,199	2,31	81				
25	0,088	2,35	36				
26	0,462	2,36	188				
27	1,919	2,91	781				
28	2,916	3,03	1187				
29	1,263	3,13	514				
30	1,58	3,23	643				
31	0,776	3,61	316				
32	0,268	3,63	109				
33	0,174	3,66	71				
34	0,454	3,68	185				
35	2,798	4,37	1139				
36	0,899	4,66	366				
37	2,307	5,13	939				
38	1,358	5,49	553				
39	1,454	5,89	592				
40	2,97	6,39	1209				
41	4,048	7,37	1648				
42	1,776	8,12	723				
43	3,174	8,71	1292				
44	1,771	9,41	721				
45	2,862	10,21	1165				

Tabell 26: GC-resultat från provtagning 2013-03-07
LHSV 1,46, Temperatur 220

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	
		GC-körning 1			GC-körning 2			GC-körning 3		
1	0,674	0,27	875	4,398	0,24	873	4,494	0,23	867	
2	0,769	0,38	998	5,23	0,35	1038	5,24	0,34	1011	
3	0,594	0,64	771	3,965	0,6	787	4,007	0,59	773	
4	0,148	0,78	192	1,723	0,75	342	1,705	0,73	329	
5	0,143	0,79	186	1,799	0,92	357	1,882	0,89	363	
6	0,299	0,94	388	4,348	1,26	863	2,638	1,23	509	
7	0,789	1,28	1024	1,642	1,44	326	2,12	1,29	409	
8	0,082	1,51	107	1,396	1,64	277	0,974	1,43	188	
9	0,194	1,66	252	3,935	1,94	781	1,192	1,62	230	
10	0,514	1,95	667	1,219	2,86	242	3,245	1,86	626	
11	0,549	3,03	712	0,846	2,99	168	3,763	2,92	726	
12	0,189	3,57	245	0,116	3,01	23	1,633	3,49	315	
13	1,065	4,23	1382	0,262	3,01	52	4,96	4,15	957	
14	0,761	5,19	987	0,297	3,03	59	3,229	5,04	623	
15	0,639	5,48	829	0,176	3,06	35	2,13	5,41	411	
16	0,912	5,88	1183	0,312	3,07	62	2,379	5,81	459	
17	1,79	6,65	2322	0,131	3,11	26	0,249	7,55	48	
18	1,632	7,37	2117	0,846	3,58	168	0,264	7,94	51	
19	0,874	7,67	1134	3,35	4,28	665	0,565	7,96	109	
20	1,578	8,09	2047	1,108	4,6	220	1,488	8,05	287	
21	2,795	8,65	3627	2,756	5,13	547	5,033	8,53	971	
22	1,669	9,37	2166	1,975	5,41	392	2,441	9,23	471	
23	3,234	10,2	4196	2,59	5,84	514	0,311	9,73	60	
24	2,146	10,53	2784	3,189	6,39	633	6,505	10,12	1255	
25	3,967	11,29	5147	3,93	7,37	780	0,399	11,85	77	
26	2,105	12,07	2731	2,222	7,61	441	1,762	12,01	340	
27	2,57	12,37	3334	4,01	8,04	796	0,057	12,11	11	
28	3,495	13,19	4535	5,9	8,61	1171	0,482	12,17	93	
29	1,4	13,83	1816	2,469	9,29	490	0,575	12,28	111	
30	2,54	13,86	3295	1,043	9,77	207	0,492	12,45	95	
31	8,302	15,46	10772	4,676	10,15	928	0,529	13,54	102	
32	4,09	16,42	5307	1,532	10,41	304	0,466	13,67	90	
33	4,64	17,05	6021	3,094	11,21	614	1,555	13,73	300	
34	4,753	17,85	6167	2,771	12,02	550	3,24	14,56	625	
35	6,861	18,82	8902	0,71	12,3	141	12,953	16,17	2499	
36	3,023	19,3	3922	0,025	12,91	5	3,25	18,34	627	
37	28,215	19,96	36609	2,58	13,75	512	1,545	18,45	298	
38				1,078	15,44	214	3,369	18,6	650	
39				0,327	16,88	65	6,878	18,71	1327	
40				1,31	17,01	260				
41				0,605	17,81	120				
42				9,512	18,76	1888				
43				2,554	18,78	507				
44				2,041	19,78	405				
TOTAL	100		129749	99,998		19848	99,999		19293	

Tabell 27: GC-resultat från provtagning 2013-03-08
LHSV 1,46, Temperatur 210

PEAK#	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA	AREA%	RT	AREA
	GC-körning 1			GC-körning 2			GC-körning 3		
1	2,437	0,27	770	3,761	0,23	860	0,51	0,21	582,6903
2	2,478	0,39	783	4,058	0,35	928	0,537	0,33	613,5386
3	1,893	0,64	598	3,078	0,59	704	0,414	0,57	473,0074
4	0,649	0,78	205	0,979	0,74	224	0,136	0,72	155,3841
5	0,88	0,95	278	0,743	0,9	170	0,193	0,88	220,5083
6	1,988	1,3	628	0,682	0,92	156	0,405	1,21	462,7247
7	0,883	1,45	279	1,391	1,24	318	0,256	1,35	292,4877
8	0,487	1,69	154	0,275	1,27	63	0,171	1,85	195,3726
9	0,804	1,97	254	0,573	1,29	131	0,389	2,9	444,4442
10	1,459	3,03	461	1,81	1,33	414	0,774	4,17	884,3182
11	0,51	3,08	161	0,695	1,61	159	1,118	5,32	1277,349
12	3,023	4,31	955	0,892	1,87	204	0,879	5,77	1004,284
13	1,678	5,17	530	0,437	1,92	100	1,618	6,31	1848,614
14	1,484	5,45	469	2,855	2,93	653	2,365	7,21	2702,083
15	1,871	5,88	591	6,62	4,19	1514	1,703	7,97	1945,729
16	3,82	6,42	1207	1,823	5,42	417	2,598	8,58	2968,293
17	4,672	7,37	1476	2,226	5,81	509	4,861	10,09	5553,838
18	3,209	8,1	1014	2,847	6,61	651	1,662	10,53	1898,885
19	3,137	8,57	991	4,827	7,25	1104	3,19	11,24	3644,671
20	1,583	9	500	3,599	8,04	823	5,187	11,97	5926,303
21	3,824	9,43	1208	3,494	8,53	799	3,339	12,97	3814,908
22	4,631	10,18	1463	1,758	8,89	402	3,776	13,73	4314,193
23	3,235	10,49	1022	3,03	9,32	693	4,593	14,85	5247,64
24	5,036	11,32	1591	2,921	10,12	668	3,943	15,4	4504,996
25	3,741	12,07	1182	1,797	10,17	411	4,379	16,39	5003,139
26	2,668	12,36	843	1,815	10,49	415	4,457	16,97	5092,256
27	3,808	13,08	1203	2,151	11,25	492	4,369	17,83	4991,714
28	3,836	13,85	1212	2,895	12,01	662	7,196	18,76	8221,646
29	3,485	14,23	1101	1,194	12,29	273	7,991	19,85	9129,957
30	3,042	15,49	961	0,394	13,75	90	20,361	21,16	23263,05
31	3,336	16,49	1054	1,211	15,4	277	6,631	23,62	7576,116
32	3,548	17,08	1121	1,216	15,43	278			
33	2,845	17,83	899	1,469	15,53	336			
34	10,508	18,81	3320	5,365	16,07	1227			
35	1,703	19,33	538	3,647	17,01	834			
36	1,81	19,97	572	5,322	17,74	1217			
37				0,459	18,34	105			
38				1,342	18,43	307			
39				2,912	18,56	666			
40				3,1	18,65	709			
41				6,782	18,81	1551			
42				1,552	19,89	355			
Total	100,001		31594	99,997		22869	100,001		114254,1

Bilaga 3

Resultat i form av vikter erhållna från destillering.

Tabell 28: Uppställning av hur destilleringen viktfordelats. Samtliga vikter är i gram.

130224 LHSV=0,6 T=240		130303 LHSV=1,09 T=230	
Destillat	116,7	Destillat	181,288
Botten	159,7	Botten	349,36
Totalt	276,4	Totalt	530,648
Andel avdrivet	0,4222	Andel avdrivet	0,3416
130225 LHSC=0,6 T=230		130304 LHSV=1,09 T=240	
Destillat	72,532	Destillat	93,122
Botten	118,14	Botten	204,5
Totalt	190,672	Totalt	297,622
Andel avdrivet	0,3804	Andel avdrivet	0,3129
130226 LHSV=0,6 T=220		130305 LHSV= 1,46 T=240	
Destillat	46,89	Destillat	138,7
Botten	210,3	Botten	357,92
Totalt	257,19	Totalt	496,62
Andel avdrivet	0,1823	Andel avdrivet	0,2793
130228 LHSV=0,6 T=210		130306 LHSV=1,46 T=230	
Destillat	37,15	Destillat	121,4
Botten	305	Botten	497,06
Totalt	342,15	Totalt	618,46
Andel avdrivet	0,1086	Andel avdrivet	0,1963
130301 LHSV=1,23 T=210		130307 LHSV=1,46 T=220	
Destillat	43,72	Destillat	52,27
Botten	458,8	Botten	571,83
Totalt	502,52	Totalt	624,1
Andel avdrivet	0,0870	Andel avdrivet	0,0838
130302 LHSV=1,09 T=220		130308 LHSV=1,46 T= 210	
Destillat	114,89	Destillat	46,67
Botten	366,2	Botten	759,28
Totalt	481,09	Totalt	805,95
Andel avdrivet	0,2388	Andel avdrivet	0,0579

Bilaga 4

Analyser utförda av Preemraff i Göteborg.

Tabell 29: Cloud point-analyser

LHSV 1,46, Temperatur 240 °C			LHSV 1,46, Temperatur 230 °C		
Cloud point	-34,00	°C	Cloud point	-37,00	°C
Density at 15 °C	818,7	kg/m3	Density at 15 °C	811,7	kg/m3
Dist: IBP	135,1	°C	Dist: IBP	167,5	°C
Dist: Temp. at 05% V/V rec.	182,8	°C	Dist: Temp. at 05% V/V rec.	184,3	°C
Dist: Temp. at 10% V/V rec.	188,1	°C	Dist: Temp. at 10% V/V rec.	190,6	°C
Dist: Temp. at 50% V/V rec.	232,8	°C	Dist: Temp. at 50% V/V rec.	232,6	°C
Dist: Temp. at 65% V/V rec.	247,3	°C	Dist: Temp. at 65% V/V rec.	246,1	°C
Dist: Temp. at 85% V/V rec.	269,7	°C	Dist: Temp. at 85% V/V rec.	266,7	°C
Dist: Temp. at 90% V/V rec.	276,4	°C	Dist: Temp. at 90% V/V rec.	272,2	°C
Dist: Temp. at 95% V/V rec.	288,4	°C	Dist: Temp. at 95% V/V rec.	282,1	°C
Dist:FBP	306,6	°C	Dist:FBP	291,7	°C
LHSV 1,46, Temperatur 220 °C			LHSV 1,46, Temperatur 210 °C		
Cloud point	-29,00	°C	Cloud point	-28,00	°C
Density at 15 °C	805,3	kg/m3	Density at 15 °C	804,2	kg/m3
Dist: IBP	177,2	°C	Dist: IBP	172,2	°C
Dist: Temp. at 05% V/V rec.	191,1	°C	Dist: Temp. at 05% V/V rec.	188,1	°C
Dist: Temp. at 10% V/V rec.	196,2	°C	Dist: Temp. at 10% V/V rec.	194,2	°C
Dist: Temp. at 50% V/V rec.	235,0	°C	Dist: Temp. at 50% V/V rec.	235,7	°C
Dist: Temp. at 65% V/V rec.	248,7	°C	Dist: Temp. at 65% V/V rec.	249,3	°C
Dist: Temp. at 85% V/V rec.	268,0	°C	Dist: Temp. at 85% V/V rec.	268,8	°C
Dist: Temp. at 90% V/V rec.	273,2	°C	Dist: Temp. at 90% V/V rec.	273,6	°C
Dist: Temp. at 95% V/V rec.	281,8	°C	Dist: Temp. at 95% V/V rec.	282,0	°C
Dist:FBP	288,5	°C	Dist:FBP	289,2	°C
LHSV 1,23, Temperatur 210 °C			LHSV 1,09, Temperatur 240 °C		
Cloud point	-25,00	°C	Cloud point	-33,00	°C
Density at 15 °C	804,6	kg/m3	Density at 15 °C	814,0	kg/m3
Dist: IBP	176,0	°C	Dist: IBP	148,4	°C
Dist: Temp. at 05% V/V rec.	189,0	°C	Dist: Temp. at 05% V/V rec.	177,7	°C
Dist: Temp. at 10% V/V rec.	196,1	°C	Dist: Temp. at 10% V/V rec.	187,1	°C
Dist: Temp. at 50% V/V rec.	236,7	°C	Dist: Temp. at 50% V/V rec.	233,5	°C
Dist: Temp. at 65% V/V rec.	250,7	°C	Dist: Temp. at 65% V/V rec.	248,2	°C
Dist: Temp. at 85% V/V rec.	270,0	°C	Dist: Temp. at 85% V/V rec.	270,0	°C
Dist: Temp. at 90% V/V rec.	275,0	°C	Dist: Temp. at 90% V/V rec.	276,1	°C
Dist: Temp. at 95% V/V rec.	283,0	°C	Dist: Temp. at 95% V/V rec.	285,5	°C
Dist:FBP	289,3	°C	Dist:FBP	302,0	°C

Tabell 30: Cloud point-analyser

LHSV 1,09, Temperatur 230 °C			LHSV 1,09, Temperatur 220 °C		
Cloud point	-32,00	°C	Cloud point	-28,00	°C
Density at 15 °C	810,4	kg/m3	Density at 15 °C	810,5	kg/m3
Dist: IBP	159,8	°C	Dist: IBP	166,5	°C
Dist: Temp. at 05% V/V rec.	178,8	°C	Dist: Temp. at 05% V/V rec.	189,6	°C
Dist: Temp. at 10% V/V rec.	184,9	°C	Dist: Temp. at 10% V/V rec.	193,6	°C
Dist: Temp. at 50% V/V rec.	230,8	°C	Dist: Temp. at 50% V/V rec.	236,3	°C
Dist: Temp. at 65% V/V rec.	245,0	°C	Dist: Temp. at 65% V/V rec.	250,2	°C
Dist: Temp. at 85% V/V rec.	266,8	°C	Dist: Temp. at 85% V/V rec.	269,8	°C
Dist: Temp. at 90% V/V rec.	272,8	°C	Dist: Temp. at 90% V/V rec.	275,4	°C
Dist: Temp. at 95% V/V rec.	281,9	°C	Dist: Temp. at 95% V/V rec.	284,0	°C
Dist:FBP	292,1	°C	Dist:FBP	292,3	°C
LHSV 0,6, Temperatur 240 °C			LHSV0,6, Temperatur 230 °C		
Cloud point	-32,00	°C	Cloud point	-31,00	°C
Density at 15 °C	810,5	kg/m3	Density at 15 °C	806,7	kg/m3
Dist: IBP	153,6	°C	Dist: IBP	170,5	°C
Dist: Temp. at 05% V/V rec.	176,9	°C	Dist: Temp. at 05% V/V rec.	185,3	°C
Dist: Temp. at 10% V/V rec.	186,0	°C	Dist: Temp. at 10% V/V rec.	192,7	°C
Dist: Temp. at 50% V/V rec.	233,0	°C	Dist: Temp. at 50% V/V rec.	234,7	°C
Dist: Temp. at 65% V/V rec.	247,2	°C	Dist: Temp. at 65% V/V rec.	248,3	°C
Dist: Temp. at 85% V/V rec.	269,0	°C	Dist: Temp. at 85% V/V rec.	268,6	°C
Dist: Temp. at 90% V/V rec.	274,4	°C	Dist: Temp. at 90% V/V rec.	274,2	°C
Dist: Temp. at 95% V/V rec.	285,0	°C	Dist: Temp. at 95% V/V rec.	282,3	°C
Dist:FBP	296,3	°C	Dist:FBP	290,2	°C
LHSV 0,6, Temperatur 220 °C			LHSV0,6, Temperatur 210 °C		
Cloud point	-27,00	°C	Cloud point	-25,00	°C
Density at 15 °C	805,0	kg/m3	Density at 15 °C	804,8	kg/m3
Dist: IBP	179,8	°C	Dist: IBP	174,6	°C
Dist: Temp. at 05% V/V rec.	197,4	°C	Dist: Temp. at 05% V/V rec.	188,7	°C
Dist: Temp. at 10% V/V rec.	193,2	°C	Dist: Temp. at 10% V/V rec.	198,0	°C
Dist: Temp. at 50% V/V rec.	237,8	°C	Dist: Temp. at 50% V/V rec.	237,6	°C
Dist: Temp. at 65% V/V rec.	269,9	°C	Dist: Temp. at 65% V/V rec.	251,4	°C
Dist: Temp. at 85% V/V rec.	282,8	°C	Dist: Temp. at 85% V/V rec.	270,9	°C
Dist: Temp. at 90% V/V rec.	288,4	°C	Dist: Temp. at 90% V/V rec.	275,3	°C
Dist: Temp. at 95% V/V rec.	274,8	°C	Dist: Temp. at 95% V/V rec.	283,7	°C
Dist:FBP	250,9	°C	Dist:FBP	290,0	°C

BELAB AB

Page 1 / 1

ANALYSCERTIFIKAT
Certificate of analysisSampleID Chalmers, katalysator (gbg)
Sample type Other
ID.nmbr
Marked Koks 1Cust# 1491
Chalmers Tekniska Högskola AB
Att: Björn Gevert
Kemi och Bioteknik
412 96 GöteborgSample# 131477
Rapportdatum: 2013-05-07
Arrival date 2013-04-29Approved by
Albin KlintCustomer reference
Björn GevertOrder nmbr
Kst: 2160

Analysis	Unit	Note	Laboratory	Norm
Carbon (C)	2.0 %		Belab	ASTM D5373

Mätosäkerhet, se BILAGA TILL ANALYSRAPPORT.
ar = as received, db = dry basis, * = water included, # = not accredited
This report may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

BELAB
Bränsle&Energilaboratoriet AB
Exportgatan 20
602 28 NORRKÖPING

Tel: 011-157370
Fax: 011-160740
Mobil: 070-2428740

www.belab.nu
mail@belab.nu
556608-0783

Figur 16: Test av kokshalt på katalysatormassa som körts i reaktorn