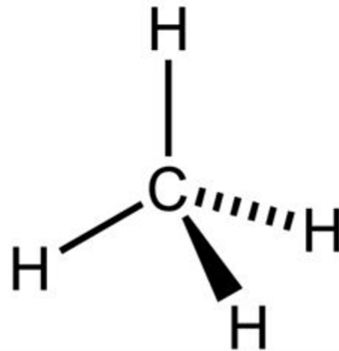
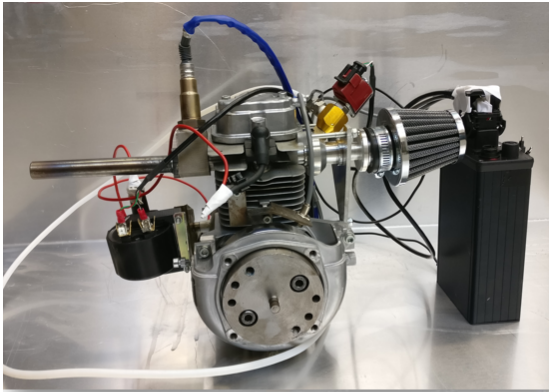




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



η



Förbränning av metangas i en omkonstruerad bensinmotor

Kandidatarbete inom institutionen för Tillämpad mekanik

BASTIAN ARANCIBIA CARREÑO

VICTOR DOUNG

TOM GYLLENSTEN

PONTUS JOHANSSON

SAMUEL MCHALE SJÖDIN

KANDIDATARBETE 2017:01

Förbränning av metangas i en omkonstruerad bensinmotor

Omkonstruktion av bensindriven motor för att möjliggöra drift på metangas, samt undersökning av motorns verkningsgrad

BASTIAN ARANCIBIA CARREÑO
VICTOR DOUNG
TOM GYLLENSTEN
PONTUS JOHANSSON
SAMUEL McHALE SJÖDIN



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Tillämpad mekanik
Avdelningen för förbränning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017

Förbränning av metangas i en omkonstruerad bensenmotor
Omkonstruktion av bensindriven motor för att möjliggöra drift på metangas, samt
undersökning av motorns verkningsgrad
BASTIAN ARANCIBIA CARREÑO
VICTOR DOUNG
TOM GYLLENSTEN
PONTUS JOHANSSON
SAMUEL McHALE SJÖDIN

© BASTIAN ARANCIBIA CARREÑO, 2017
© VICTOR DOUNG, 2017
© TOM GYLLENSTEN, 2017
© PONTUS JOHANSSON, 2017
© SAMUEL McHALE SJÖDIN, 2017

Handledare: Sven B. Andersson
Examinator: Jonas Sjöblom

Kandidatarbete 2017:01
ISSN 1654-4676
Institutionen för Tillämpad mekanik
Avdelningen för förbränning
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg, Sverige
Telefonnummer +46 (0)31 772 1000

Framsida: Fotomontage av projektmotorn, strukturformel för metan, grekiska bokstaven η som representerar verkningsgrad samt naturbild som representerar hållbarhet.

Skrivet i $\text{\LaTeX}$
Tryckt av Chalmers Reproservice
Göteborg, Sverige 2017

Tack till

Vi vill tacka vår handledare Sven B. Andersson och examinator Jonas Sjöblom för den vägledning de givit oss. Båda har gjort sig tillgängliga och hjälpt till när det behövts samt visat ett enormt engagemang under hela projektets gång.

Stort tack till AGA gas som möjliggjort experiment med metangas.

Tack till Vera-teamet som möjliggjorde kompletterande experiment med provbänk.

Vi vill även rikta ett stort tack till alla i motorlabbet på Chalmers som gladeligen hjälpt till och lånat ut utrustning som förenklat arbetet under projektets gång.

Slutligen tackar vi Anton Kjellin för hans assistans under arbetet.

Sammanfattning

En omkonstruerad bensinmotor av modellen Honda 35cc har justerats till att drivas på metangas. Projektet grundar sig i att användandet av fossila bränslen sker i en ohållbar takt samt leder till den globala uppvärmningen. En stor bidragande faktor är oljan som har varit den stora energikällan i de tre sektorerna, bostad och service-, transport- samt industrisektorn. Transportsektorn står idag för den största delen av användningen av fossila bränslen och det är av stort intresse att hitta ett hållbart substitut.

I denna rapport undersöktes metangas som drivmedel genom att vidarearbeta på ett tidigare års kandidatarbete och konvertera en bensinmotor till drift på metangas, samt därefter undersöka dess verkningsgrad.

Stabil drift erhöles i den omkonstruerade motorn efter att justeringar gjorts i dess styrsystem. För att mäta effekt och beräkna en verkningsgrad monterades motorn på en bromsbänk. Bränsletillförsel, last på motorn och parametrar rörande bränslets förbränning reglerades i ett styrsystem och motorns verkningsgrad vid olika driftförhållanden erhöles. Dessa resultat jämfördes för att undersöka trender vad gäller verkningsgradens korrelation med de olika parametrarna.

Resultatet visar att motorn ger en verkningsgrad inom rimliga intervall, men variansen bland mätdata medför att fler provkörningar måste göras innan något kan konstateras kring motorns prestanda.

Abstract

A modified Honda 35cc petrol engine has in this project been tweaked to run on methane gas. The project has its roots in the fact that the usage of fossil fuels is happening at an unsustainable rate and is causing global warming. Oil and its widespread usage in the sectors of housing and service, transport and industry, is a big contributing factor. The transport sector currently answers for the greatest usage of fossil fuels and it is of big interest to find a sustainable alternative.

In this thesis methane gas as a fuel has been examined by continuing the work of a previous bachelors' thesis, converting a petrol engine to run on methane gas and calculating its efficiency.

The motor was able to continuously operate on methane gas after adjustments were made in its electronic control system. To determine output power and to calculate fuel efficiency a dynamometer was used. Flow of fuel, the load of which the motor was operating under and parameters regarding the burning of the fuel were controlled in an electronic control system and the motors efficiency was then attained at different points of operation. These results were then compared to examine trends of the efficiency regarding the different parameters.

The results show a reasonable efficiency but varying test results entail that more tests need to be run before a conclusion can be made of the motors performance.

Förkortningar

RPM	Revolutions per minute
TDC	Top dead center, kolvens övre vändläge
UFL	Upper flammability limit
LFL	Lower flammability limit
MFC	Massflow Controller
AFR	Air Fuel Ratio

Begrepp

Överstökiometrisk förbränning	Förbränning med luftöverskott
Understökiometrisk förbränning	Förbränning med luftunderskott
Köra/gå magert	se <i>Överstökiometrisk förbränning</i> ovan
Köra/gå fett	se <i>Understökiometrisk förbränning</i> ovan
Vera Team	Grupp av studenter på Chalmers som utvecklar fordonet till Shell eco-marathontävlingen
KATLA	Styrsystem för förbränningsmotorer, utvecklat på Chalmers
Honda GX35	35-kubiksmotor som används i projektet
Knackning	Bränslet i motorn självantänder och motorn riskerar att haverera

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	3
1.3	Avgränsningar	3
2	Teori	5
2.1	Metan	5
2.1.1	Kemiska egenskaper	5
2.1.2	Förbränning av kolväte	6
2.1.3	Metangas som drivmedel	7
2.1.4	Emissioner från metangas	8
2.1.5	Metangasens ursprung	8
2.2	En ottomotors uppbyggnad	9
2.3	Fyrtaktsprincipen	9
2.4	Styrsystemet KATLA	10
2.4.1	Insprutning av bränsle	10
2.4.2	Antändning av bränsle	11
2.5	Lambdasensor	12
2.6	Övrig mätutrustning	13
2.6.1	Stroboskop	13
2.6.2	Oscilloskop	13
2.7	Bromsbänk	13
2.8	Verkningsgrad	15
3	Metod	17
3.1	Uppstart och drift på metan	17
3.2	Bestämning av bränsleflödet	17
3.2.1	Bestämning av massflöde med MFC	17
3.2.2	Bestämning av tryckförluster i befintligt system	18
3.3	Undersökning av verkningsgrad	19
3.4	Fäste bromsbänk	20
3.5	Användning av bromsbänk	20
4	Resultat	23
4.1	Laboration med Massflow Controller (MFC)	23
4.2	Tryckfall över system	24
4.3	Undersökning av verkningsgrad	24
5	Diskussion	29
5.1	Inledande arbete	29
5.2	Bestämning av massflödet, skillnader i teorin och praktiken	29
5.3	Motorns verkningsgrad	29
5.4	Felkällor	30
5.5	Fortsatt arbete	31

6	Slutsats	33
A	Lathund för användning av KATLA	37
A.1	Kopplingar mellan motor och styrsystem	37
A.2	Lambdasensor	37
A.3	Mjukvara	38
B	Att starta motorn i bromsbänken	40
B.1	Att genomföra en lyckad mappning och test av denna	40
C	Risikanalys	41
D	Ritningar motorfäste till bromsbänk	42

1 Inledning

Energifrågan är en högst relevant och omnämnd fråga i dagens samhälle. Nutidens förbränning av fossila bränslen för att utvinna energi sker i en ohållbar takt och för att skapa ett hållbart samhälle är det essentiellt att hitta substitut för dessa ämnen. Ett förnyelsebart ämne som kandiderar som framtidens bränsle är metangas och mycket forskning kring ämnet genomförs. Ett av Chalmers styrkeområden, så kallade *Areas of Advance*, är energi och stora resurser läggs på området[1]. I samband med detta energifokus uppkom följande kandidatprojekt som ämnar att vara en del av utvecklingen och föra samhället närmare en lösning.

Projektet innebar att möjliggöra kontinuerlig drift på metangas i en omkonstruerad bensinmotor och därefter beräkna verkningsgraden med hjälp av testutrustning.

Grunden till detta projekt har lagts i ett tidigare kandidatarbete där målet var att konvertera en bensinmotor till drift på metangas[2]. Vid detta projekts slut erhöles stabil drift med gasformiga bränslet propan då tillgång till metan saknades. Följande arbete bygger vidare på samma motor, med metan istället för propan.

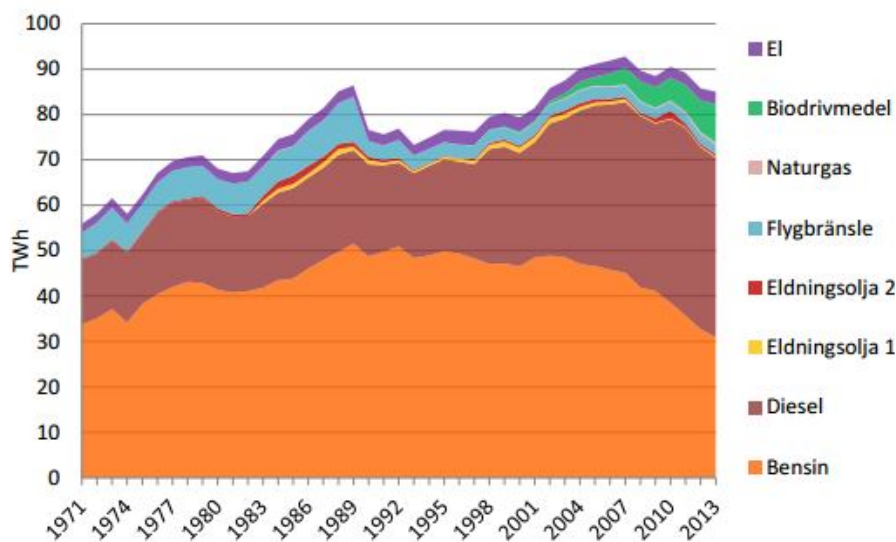
1.1 Bakgrund

Chalmers deltar i tävlingen Shell Eco-marathon som ämnar att stimulera studenter att designa, bygga och testa energieffektiva fordon [3]. Ett exempel på ett sådant fordon syns i Figur 1. Tävlingen går ut på att köra så långt som möjligt på ett egenbyggt fordon med 1 liter bensin eller ekvivalent mycket energi i annan form. Många parametrar är viktiga för utformandet av fordonet, exempelvis vikt och aerodynamik. Det är också av intresse att ha en motor med så hög verkningsgrad som möjligt. Ett långsiktigt mål är att projektets metangasmotor skall vara tillräckligt effektiv för att kunna användas i tävlingen. Ett annat kandidatarbete arbetar också med produktion av metangas genom förgasning. På så sätt har studenter utvecklat ett system, från produktion till slutgiltig användning, för metangas.



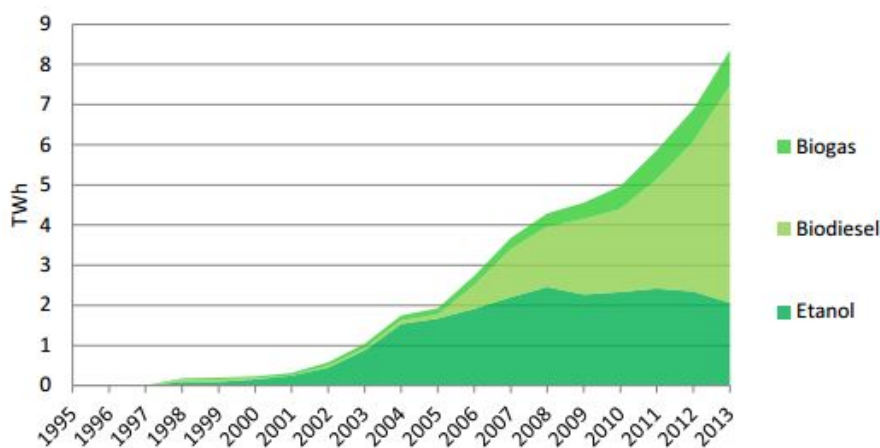
Figur 1: Smarter-fordonet, byggt av Chalmers Ecosmarter-teamet [4]

Ur ett större perspektiv är energifrågan bakgrunden till projektets uppkomst. Samhället som det ser ut idag är kraftigt beroende av energi i olika former. Allt från värmen för uppvärmning av hus till el för att driva elektriska apparater kräver energi. Energianvändandet brukar delas upp i tre sektorer: industrisektorn, transportsektorn samt bostäder och service. Av dessa är det främst transportsektorn som använder sig av oljeprodukter[5]. Transportsektorn står för dryga 20% av Sveriges totala energianvändning. Figur 2 visar hur mycket energi som används i transportsektorn samt från vilken källa.

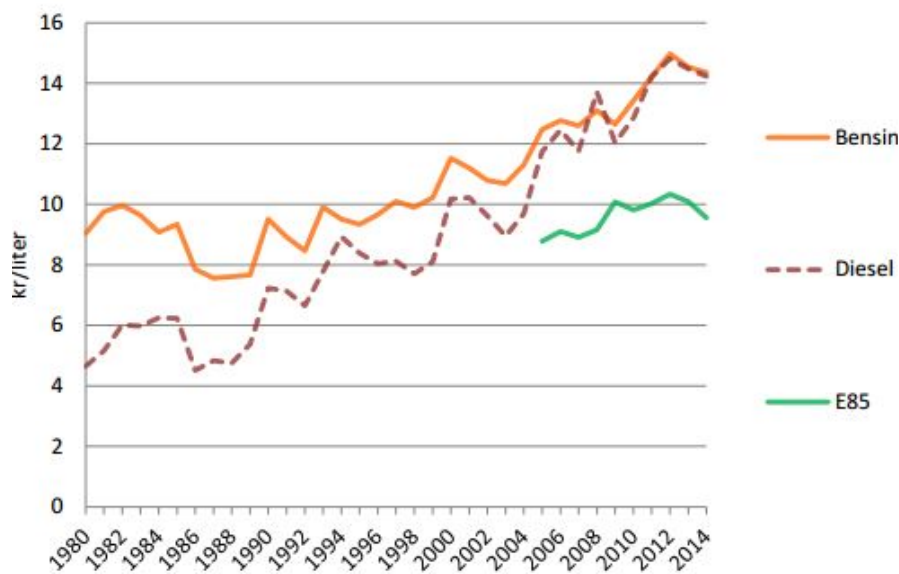


Figur 2: Energianvändandet i transportsektorn i Sverige 1971-2013 [5]

De senaste femton åren har biodrivmedel blivit en betydande del av energikällorna. Metangas (benämns biogas i Figur 3) är än så länge en relativt liten del av totalen, se Figur 3.



Figur 3: Användning av biodrivmedel i transportsektorn i Sverige 1995-2013 [5]



Figur 4: Snittpriser på drivmedel i Sverige 1980-2014.[5]

Minskande resurser med fossila bränslen och ökande efterfrågan, resulterar i stigande priser på drivmedlen, se Figure 4. Denna utveckling leder till att fler vänder blicken till alternativa bränslen, såsom biogas. En annan anledning till att överväga biodrivmedel är skattefrågor. En bil som släpper ut mindre än en bestämd mängd koldioxid per kilometer faller under definitionen miljöbil [5]. Denna gräns är högre för bilar som drivs av biodrivmedel på grund av deras förnyelsebara ursprung. Dessa statliga stimulanspaket uppmuntrar både biltillverkare och privatpersoner att satsa på förnyelsebara drivmedel.

1.2 Syfte

Projektets syfte var att driftsätta en metandrivna förbränningsmotor samt undersöka hur verkningsgraden påverkades vid olika driftförhållanden.

Vid tillräckligt stabil drift samt god verkningsgrad med väldokumenterad mätdata är långsiktiga målet att montera motorn i Smarter-fordonet. Dessutom, genom djupare undersökning i ämnet, önskar man kunna motivera möjligheterna i att byta bränsle i moderna förbränningsmotorer till hållbarare alternativ.

1.3 Avgränsningar

På grund av faktorer såsom gruppens tidigare kompetens inom ämnet, tillgång till verktyg, resurser och material samt tidsbegränsning av projektet har vissa avgränsningar fått göras vad gäller undersökningen av verkningsgrad.

Ingen fysisk förändring på motorn gjordes gentemot föregående år då de redan hade åstadkommit drift av motorn på det gasformiga bränslet propan.

På grund av tidsbegränsningar samt ovanstående begränsning, valdes endast tre stycken parametrar att varieras under testning av verkningsgraden. Dessa valdes till tändningsförskjutning och bränsleflöde. Se motivering till valet i avsnitt 3.3 *Undersökning av verkningsgrad*

Tändningsförskjutning är ett aktuellt begrepp i projektet som presenteras senare i rapporten. Den testades upp till 35 grader före TDC. Att tända tidigare än så ansågs riskabelt för motorn, då en ännu tidigare förtändning kunde resulterat i knackning.

På grund av tidsaspekten undersöktes inte några praktiska detaljer om hur motorn skulle kunna monteras I Smarter-fordonet.

2 Teori

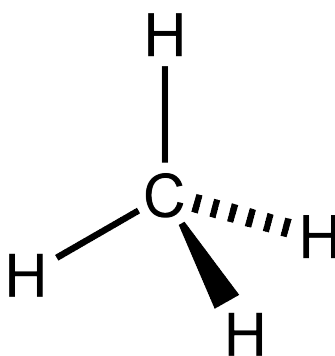
Inledningsvis presenteras metan och dess egenskaper som är relevanta för arbetet. Sedan presenteras hur en otto-motor är uppbyggd, samt hur den fungerar. Till motorn behövs ett styrsystem, vilket beskrivs härnäst och teoridelen avslutas med en genomgång av använd mätutrustning samt beräkningar som krävdes för att få fram de sökta resultaten.

2.1 Metan

Ämnet metan är en central del av arbetet och kunskaper om ämnet är av ytterst vikt. För att enklare konkretisera beskrivningen har den uppdelats i underrubriker som i sin tur behandlar de relevanta delarna till arbetet.

2.1.1 Kemiska egenskaper

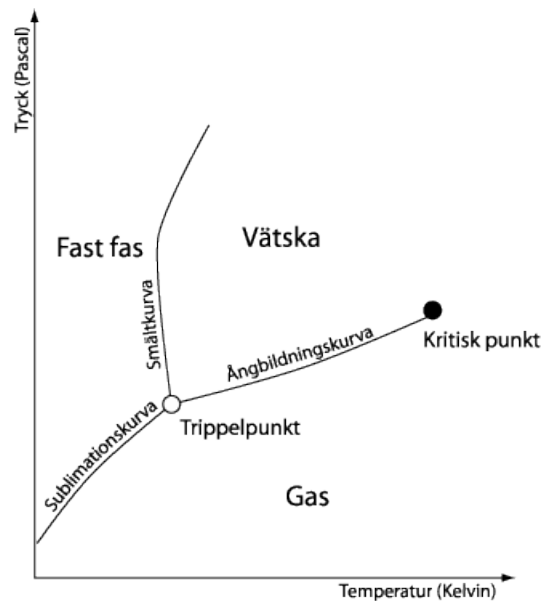
Metan är den enklaste föreningen av kol och väte och därav det kortaste kolvätet, vilket är gruppbenämningen för de molekyler som är uppbyggda av kol(C) och väte(H) som beståndsdelar. Likt en kedja är kolatomerna i kolväten bundna till varandra med metan som undantag då den endast innehåller en kolatom. En kolatom har vanligtvis fyra bindningar och i kolväten kan det förekomma enkelbindningar, dubbelbindningar samt trippelbindningar mellan kolatomerna. Beroende på hur många lediga bindningar kolatomerna har kvar, binds resterande till väteatomer. Detta betyder att antalet väteatomer minskar i en molekyl när kolatomerna har dubbel- eller trippelbindningar.[6]



Figur 5: Molekylstruktur för metan, CH₄ [7]

De intermolekylära krafterna, det vill säga den mellan molekyler, är svaga för korta kolväten. I sin tur leder detta till att metan befinner sig i gasform under normala rumsförhållanden¹, och kondenserar först vid -164°C i atmosfärstryck[8]. För att hålla metan flytande krävs det låga temperaturer och/eller höga tryck. Hur ett ämnes tillstånd beror på av temperatur och tryck illustreras i ett fasdiagram i Figur 6.

¹25°C, 1 atm



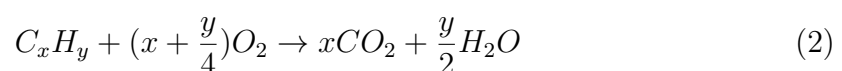
Figur 6: Exempel på fasdiagram [9]

2.1.2 Förbränning av kolväte

Utnyttjandet av kolväte som bränsle sker genom att förbränna det, vilket ges i en generell förbränningsreaktion enligt nedan:



Vilket kan omformuleras enligt:



där x, y är tal för antalet kol- respektive väteatomer i kolvätet.

Antalet kol molekyler i kolvätet är direkt relaterat till antalet koldioxid molekyler i produkten, och detsamma gäller mellan vätemolekylerna och vattenbildningen. Med hänsyn till växthuseffekten bör mängden koldioxid minimeras. Metangas har låg kol-väte ratio, vilket gör den till en av de bränslen med minst CO_2 utsläpp med 9.45 volymprocent koldioxid i rökgaserna jämfört med exempelvis bensen som har 12.77% [10], därav intresset för metan som drivmedel.

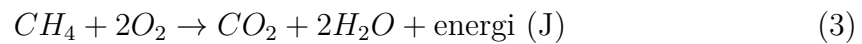
Effektiva värmevärdet, H_i , vilket beskriver hur mycket energi som utvecklas när ett specifikt ämne förbränns, är hos metan högt jämfört med andra bränslen, se Tabell 1. Dessutom resulterar metanet, på grund av dess låga kolatomantal, i minst mängd koldioxid per mängd kolvätesbaserat bränsle. [10]–[12]

Tabell 1: Effektivt värmevärde för olika bränslen [13]

Bränsle	Effektivt värmevärde (MJ/kg)
Metan	50
Bensin	45,0
Diesel	45,0
Etanol	19,7

2.1.3 Metangas som drivmedel

I en motor nyttjar man värmeenergin från förbränningen enligt Ekvation (1). Metangasen matas in till motorn ihop med ett luftflöde, där luften innehåller cirka 23.1 mass-procent syre [10]. Syftet är att komma åt syret för förbränningsreaktionen men en stor del av flödet innehåller andra ämnen, framförallt kväve, som inte ingår i reaktionen. Förbränning av metan följer enligt ekvationen nedan:



$$\Delta H_{\text{vap}} = -891 \text{ kJ/kg}$$

Molvikten för metan är 16.04 g/mol och för syre 32.0 g/mol. Detta resulterar i att förhållandet mellan metan och syre blir då:

$$\frac{2 \times 32.0}{1 \times 16.04} = 3.99 \text{ mol/mol} \quad (4)$$

Det innebär att det går 3.99 kg syre per kg metan. Eftersom luft innehåller 23.1 mass-procent syre blir då förhållandet mellan metan och luft:

$$\frac{3.99 \text{ kg syre}}{0.231} = 17.2 \text{ kg luft} \quad (5)$$

Det innebär att förbränning av 1 kg metangas kräver 17.2 kg luft. Med hjälp av densitetsdata vid 10 °C [14] beräknas volymprocenten metangas. Vilket resulterar i att det i motorrummet, vid insugningen av bränslet, kommer finnas 9.16 volymprocent metangas och resterande volym utgörs av luft. Enligt experimentella studier sker förbränning då metanhalten ligger mellan 5-17 volymprocent.[15] Ur studien ges även en approximativ ekvation efter experiment data för att bestämma intervallet för antändning för tryck mellan 0.1 till 1 Mbar samt temperaturer 123-273 K enligt nedan:

$$UFL_{P,T} = (-2.2981 - 0.3623 \ln P)[-10.1692 - 0.01166(T - 273)] \quad (6)$$

$$LFL_{P,T} = (0.1610 - 0.00498P)[34.7638 - 0.0391(T - 273)] \quad (7)$$

där P är trycket i MBar och T temperaturen i Kelvin. UFL (Upper flammability limit) och LFL (Lower flammability limit) är metan-halten i blandningen givet i molprocent. Insättning av 0.1Mbar och 25°C ger en brännbarhet på ungefär 5-15 molprocent.

Förbränningen i olika blandningsförhållanden av metan och luft ger ett lambda värde enligt ekvation (9). Vid $\lambda > 1$ används mer syre i reaktionen än vad som kan tas upp vid förbränningen och kallas för mager förbränning. Om $\lambda < 1$ finns det överskott av metan, vilket ger en ofullständig förbränning av metan och kallas fet förbränning.

Temperaturen under förbränningen minskar för mager förbränning eftersom överbliven syre/luft fungerar som kylande medium. Med nedsänkt temperatur bidrar det till mindre termisk kväveoxid-bildning då denna reaktion sker vid väldigt höga temperaturer som 1200-1300 °C med exponentiell ökning för högre temperaturer[16].

Vanligtvis önskas ett λ -värde över 1 eftersom överskott av syre, försäkrar en fullständig förbränning av bränslet. När syreöverskottet blir för stor kan det bildas lokala syreunderskott vilket resulterar i ofullständig förbränning på grund av att bränslet inte är tillräckligt jämnt fördelat över hela rummet[17]. Ur ett storskaligt perspektiv skall detta resultera stora mängder av metan-utsläpp till miljön.

2.1.4 Emissioner från metangas

Metan är en kortvarig men starkare växthusgas än koldioxid. Över hundra år beräknas metan vara 28 CO_2 -ekvivalenter, vilket betyder att 1 kg metan motsvarar lika stark växthuseffekt som 28 kg koldioxid på 100 år. Dock går det att argumentera för att skadligheten av metan minskar över längre tidsperioder då molekylen är mindre stabil och har kortare livslängd (ca 10 år) medan CO_2 stannar kvar i atmosfären betydligt längre[18]. Det är därför viktigt att metanet fullständigt förbränns och inte släpps ut i avgaserna.

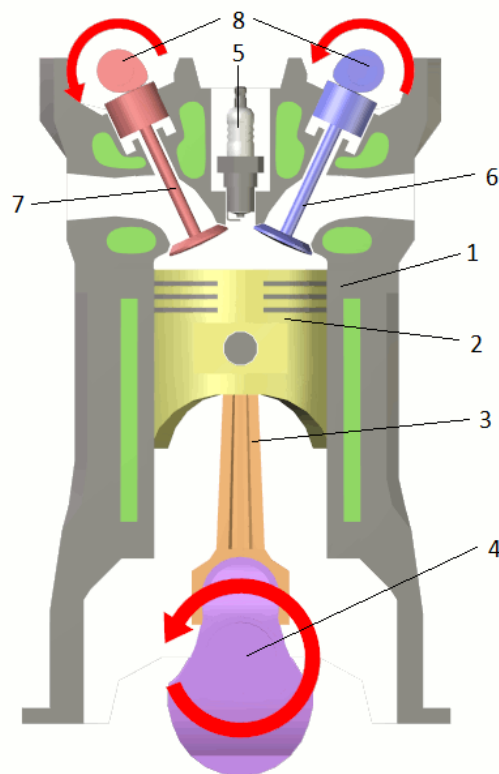
2.1.5 Metangasens ursprung

Metangas kan benämnas ofta som naturgas och biogas. Med naturgas menas en fossilgas som bildats på liknande sätt som fossilolja och kol. Gasen består till stor del utav metangas men innehåller även flera andra kolväten. Naturgas bildas i samband med att olja bildas djupt ned i jordskorpan. Vilka kolväten och vilken fas som kolvätena blir beror på vilken temperatur och vilket tryck som råder under de flera miljoner år som skapandet av dessa ämnen kräver.[19]

Istället för utvinning av fossilmetan finns det metoder där man använder bakterier som vid nedbrytning av organiskt material i syrefattig miljö bildar metan. Det organiska materialet kan vara skogsavfall, grödor eller spill från jordbruket. Detta sätt att producera metan blir ett komplement till den fossila utarmningen och man får en mer förnyelsebar framställning. Genom att kontrollera denna nedbrytning kan en relativt effektiv metod för framställning av metan erhållas då gasen som bildas består av cirka 60% metangas och 40% koldioxid. Beroende på ändamål krävs olika grader av renhet på metangasen där framförallt om ändamålet är drivmedel i transportsektorn kräver en högre metanhalt. Koldioxid, ammoniak och svavelbaserade ämnen avlägsnas för att inte störa nedbrytningen eller skapa korrosiva skador på utrustningen.[20]

2.2 En ottomotors uppbyggnad

Grunden i projektet är en fyrtaktsmotor, också kallad ottomotor. Att känna till hur motorn är uppbyggd är grundläggande för att kunna utföra experiment och testning av denna. En traditionell fyrtaktsmotor är uppbyggd av följande komponenter, observera att små detaljer som packningar, tätningar, kullager inte nämns[21]: Se Figur 7 för att se komponentens position. Cylindern(1), som också till viss mån utgör stommen av motorn kapslar in kolven och skapar ett förbränningsrum. Inne i cylindern sker förbränning av bränsle. Kolven(2) löper inuti cylindern och tätar mot cylinderns väggar. Kolven rör sig i cylindern och utför de fyra takterna som illustreras i Figur 8. Vevstaken(3) tar upp kolvens rörelse och överför den linjära kraften till en roterande kraft på vevaxeln(4). Tändstiftet(5) antänder bränsleblandningen. Insugsventilen(6) öppnar insuget så att bränsleblandning kan sugas ner i cylindern. Avgasventilen(7) öppnar så att avgaserna från förbränningen kan lämna cylindern. Kamaxlarna(8) styr när ventilerna skall öppnas.

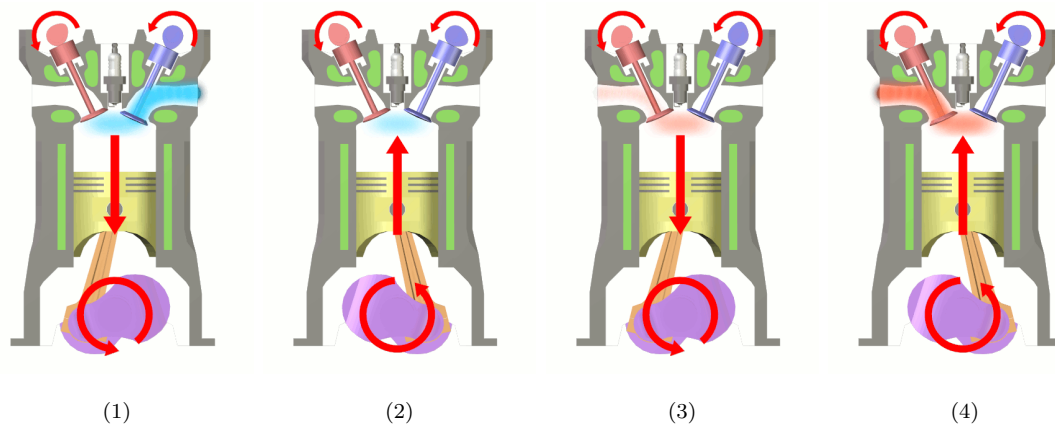


Figur 7: Illustration av en fyrtaktsmotors beståndsdelar [22]

2.3 Fyrtaktsprincipen

Grundprincipen hos fyrtaktsmotorn består av att genom en linjär kolvrörelse erhålla ett vridmoment. Kolven i motorn sätts i rörelse tack vare det tryck som uppstår i förbränningsrummet när ett bränsle förbränns och expanderar av den ökande temperaturen. En fyrtaktsmotor har, som namnet förtäljer, fyra takter som upprepas. Dessa takter är insugstakt, kompressionstakt, arbetstakt och avgastakt. Under insugstakten(1) öppnar motorns insugsventil och en bränsle-luftblandning sugas in ge-

nom kolvens nedåtgående rörelse in i cylindern. När kolven når sitt nedre vändläge stängs insugsventilen. Bränsle-luftblandning är då helt instängd i förbränningsrummet. Trycket i cylindern är i detta läge nära atmosfärstryck. Nästa takt är kompressionstakten(2), där kolven vänder i sitt nedre vändläge och påbörjar en rörelse uppåt och komprimerar nu bränsleluftblandningen. När kolven når sitt övre vändläge påbörjas arbetstakten(3). Det är under denna takt som nyttigt arbete erhålls. Motors tändstift antänder den komprimerade bränsleluftblandningen som nu förbränns. Under förbränningen skapas värme, vilket gör att trycket inne i cylindern ökar. Tryckökningen sätter kolven i rörelse nedåt igen och ett arbete erhålls. När kolven nått sitt nedre vändläge påbörjas den sista takten, avgastakten(4). Under denna takt öppnas motors avgasventil och genom kolvens uppåtgående rörelse trycks avgaserna ut. Efter detta öppnar insugsventilen och cykeln börjar om.[23]



Figur 8: En fyrtaktsmotors olika cyklar [22]

2.4 Styrsystemet KATLA

KATLA är ett styrsystem som är utvecklat av studenter från Chalmers[24]. Styrsystemet är centralt för att förbränningsmotorn ska genomgå alla momenten som finns i en cykel. Styrsystemet är anslutet till ett batteri för strömförsörjning, sensorer till motors axlar för att positionera motors takter, tändstift för att antända bränslet och insprutare för att spruta in bränslet. Med den utvecklade mjukvaran som gjordes med hjälp av Simulink, kan man ställa in hur länge och när insprutning av bränsle ska ske samt vid vilken tidpunkt antändningen i motorrummet ska ske. Justering i dessa inställningar kan resultera i en bättre verkningsgrad.

2.4.1 Insprutning av bränsle

För att förbränning skall kunna ske inne i cylindern måste bränsle tillsammans med luft transporteras in i förbränningsrummet. Det finns en rad olika tekniker för att göra detta. Konstruktionen som används i projektet består av en ventil som doserar bränslet i insugsröret. Här blandas det med luft, för att sedan sugas in i motorn under insugstakten. Ventilen som används är elektriskt styrd och öppnar sig när en

spänning på 12 volt läggs över dess poler. När detta sker och hur länge bestäms av styrsystemet KATLA.

Normalt finns det även en så kallad trottell på en förbränningsmotor, vilket ofta är ett spjäll som reglerar hur mycket luft som kan sugas ner i motorn. Projektets motor saknar denna funktion, vilket gör att motorn alltid går med max effekt.

Det är viktigt att reglera hur mycket bränsle som sprutas in under insugstakten, för att uppnå en så effektiv förbränning som möjligt och för att uppnå en bränsleblandning som är antändningsbar. Gastuben, som levererar gas med ett övertryck kopplas till gasventilen på insuget med hjälp av en slang.

Denna ventil reglerar alltså bränsletillförseln och styrsystemet KATLA styr när och hur länge ventilen är öppen. Styrsystemet har kunskap om motorns nuvarande position tack vare signaler från vev- och kamaxelsensorer. Styrsystemet öppnar injektorn när vevaxeln är ett visst antal grader ifrån TDC.

För att rätt bränslemängd ska tillföras är det viktigt att styrsystemet har vetskap om massflödet genom injektorn, och därefter kan en öppningstid beräknas.

2.4.2 Antändning av bränsle

Tändningen sker via ett tändstift, där en gnista antänder bränsle/luftblandningen som befinner sig i förbränningsrummet. När gnistan skall uppstå styrs av KATLA. Detta är ett kritiskt moment, för om gnistan kommer för tidigt kan det bildas en förbränning vid fel tidpunkt och orsaka skador i motorn(knack).

Vid antändningen av olika bränslen genomgår förbränningen två faser. En laminär- och en turbulentfas. Den laminära förbränningen är när ca 5-10% av bränslet har antänts, vilket är den fasen som tar längst tid. För maximal utvinning av förbränningen ska ca 50 % av bränslet ha förbränts strax efter TDC, vilket är under den turbulenta förbränningsfasen. För att uppnå den maximala utvinningen görs därför en förtändning.

När luftöverskott i en bränsleblandning ökar, saktar flamhastigheten ner eftersom den överblivna luften verkar som kylande medium[25]. I motorer önskas en hög flamhastighet för att förebygga knack i motorn, som uppstår när flammen inte hunnit antända bränslet och denna självantänder på grund av höjning i både tryck och temperatur. Självantändningen orsakar tryckvågor som kan skada eller förstöra motorn.

Metanet har ett högt oktantal vilket gör att den kan uppnå, i jämförelse med andra bränslen, en hög kompression eller nå högre temperaturer innan den självantänds. Denna egenskap gör det möjligt att driva snålare bränsleblandningar med metan och använda en tidigare förtändning.

Fördelen med snåla blandningar är den nedsänkta temperaturen som förbättrar verkningsgraden eftersom en lägre temperatur i avgaserna leder till ett förändrat specifikt värmeförhållande, $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$. En alternativ ekvation för beräkning av verkningsgrad visas nedan.

$$\eta_{f,t} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}} \quad (8)$$

Ökning av kompressionsratio, r_c , eller för specifikt värmeförhållande resulterar i att verkningsgraden går upp[26]. Mindre molekyler har generellt lägre specifikt värmeförhållande, vilket betyder att förhållandet ökar. I luft finns både O_2 och N_2 som minskar specifika värmeförhållandet för blandningen.

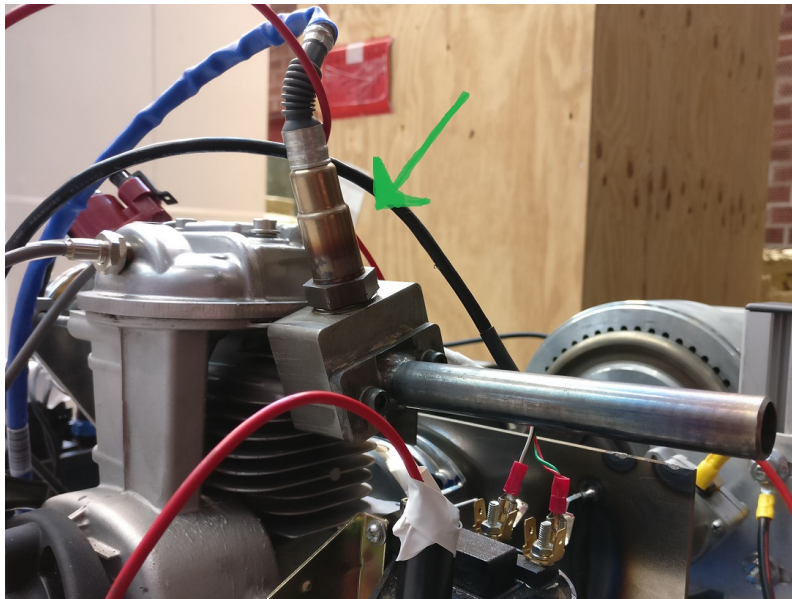
2.5 Lambdasensor

En lambdasensor är en sensor som placeras i motorns avgasrör. Genom att avgaserna löper genom sensorn kan den mäta syrehalten i avgaserna. Mätningen går till så att genom att jämföra syrehalten i luften med syrehalten i avgaserna genereras en spänning som varierar beroende på ifall det finns syre i avgaserna eller ej. När fullständig förbränning uppnås skall detta betyda att det inte finns några syremolekyler kvar i avgaserna. Man säger då att man har lambdavärde 1. Finns det syremolekyler kvar betyder detta att det under förbränningen varit överskott av syremolekyler. Lambda kommer då vara över 1, medan ett överskott av bränsle leder till lambda under 1. Lambdavärdet bestäms enligt ekvationen nedan.

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_{stök}} \quad (9)$$

där AFR står för "Air Fuel Ratio", alltså förhållandet mellan luft och bränsle. I en modern motor används lambdasensorn i ett regler-system där man hela tiden kontrollerar förbränningen så att man ligger inom rätt område. Genom återkoppling från lambdasensorn kan sedan motorns styrsystem alltid veta rätt bränslemängd doserats

Lambdasensorn har för projektet fungerat som ett diagnosverktyg där genom att analysera den data som sensorn sänder ut, kunnat avgöra huruvida rätt mängd gas sprutas in från injektorn. På bilden nedan syns sensorn när den sitter monterad på motorns avgasrör.



Figur 9: Lambdasensor monterad på avgasrör.

2.6 Övrig mätutrustning

Här listas övrig mätutrustning som använts under delar av projektet.

2.6.1 Stroboskop

Ett stroboskop är ett verktyg som används för att mäta varvtalet hos ett roterande objekt. Det fungerar genom att en stark lampa blinkar med en ställbar frekvens och återger vilket varvantal den aktuella frekvensen svarar för. En markör sätts på det roterande objektet och frekvensen hos lampan justeras. När lampan blinkar en gång per varv ser markören ut att stå still. Vid detta läge motsvarar motorns varvantal det varvantal som stroboskopets display visar.[27]

2.6.2 Oscilloskop

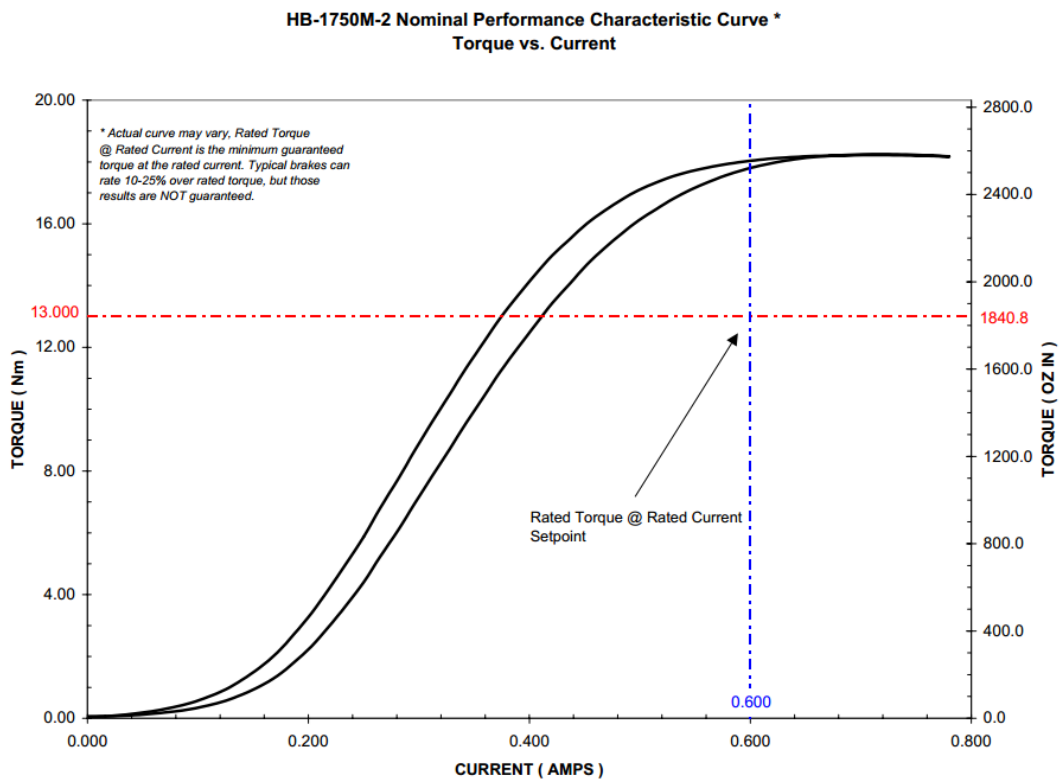
Vid felsökning av motor och styrsystem har ett oscilloskop använts för signalanalys. Oscilloskop är ett verktyg som kan analysera mycket snabba elektriska signaler och visa dessa på en skärm. Verktöget är mycket användbart för att kontrollera att signaler kommer fram och ser ut på önskat sätt.

2.7 Bromsbänk

I projektet har en så kallad bromsbänk använts som ett viktigt verktyg i optimeringsarbetet. Bromsbänken består av en elektronisk broms som med hjälp av en ström lägger en last på motorn. Den elektroniska bromsen kan liknas vid en likströmsmotor som skapar ett vridmoment. Huvudbeståndsdelarna består utav en yttre polstruktur med en roterande rotor inuti.

Vridmomentet som skapas utgör lasten som motorn sedan utsätts för och motarbetas av och resulterar i att motorn bromsas. Genom att mäta upp effekten som krävs för att bromsa motorn och jämföra denna med den beräknade energin som tillförs till motorn i form av bränsle kan en verkningsgrad beräknas och på så sätt jämföras då vissa parametrar i styrsystemet justeras.

Hur mycket motorn bromsas går att justera genom att variera strömmen som skickas genom bromsen samtidigt som en spänning läggs på. När motorn anses gå jämt och inte gör några större förändringar i varvtal läses strömmen av. I Figur 10 ses förhållandet mellan vridmoment(τ) som bromsen utvecklar och strömmen som går genom den.



Figur 10: Förhållande mellan ström och vridmoment [28]

När systemet är i jämvikt, det vill säga att stationära förhållanden råder och varvtalet ej förändras, är den effekt som bromsbänken genererar densamma som vad motorn genererar. Därför kan det avlästa varvtalet tillsammans med vridmomentet bestämma effekten motorn levererar enligt:

$$P_{ut} = \omega \tau = \frac{RPM * 2\pi}{60} * \tau \quad (10)$$

där P_{ut} är effekten. Då motorn saknade gasreglage och alltid gick på max-effekt, fyllde bromsbänken även en funktion som testtrigg där motorn kunde köras kontrollerat. Vilket är något som inte går att göra utan någon slags broms, annars hade motorn kraftigt ökat i varvtal och riskerar vibrationsskador.

2.8 Verkningsgrad

Verkningsgrad är ett generellt begrepp som beskriver hur bra en process omvandlar en energiform till en annan. Verkningsgraden beräknades enligt ekvation nedan:

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{in}} \quad (11)$$

där P_{in} är tillförd bränsleeffekt och η är motorns verkningsgrad. P_{ut} beräknades enligt Ekvation (10) och P_{in} blir då

$$P_{in} = \dot{m}_g H_i \quad (12)$$

där H_i för metan kan läsas av i Tabell 1 som $50 \frac{MJ}{kg}$ och $\dot{m}_g$ är massflödet av metan in i motorn med enheten $\frac{kg}{s}$. Den effektiva volymen betecknas V_{eff} och är volymen av den luft och bränsleblandning som tas in i cylindern vid insug, denna beror på en faktor η_{vol} , den volymetriska verkningsgraden, multiplicerad med cylinderns totala volym [29]. Den volymetriska verkningsgraden är hur stor del av cylindern som fylls vid varje insug.

$$V_{eff} = \eta_{vol} * V \quad (13)$$

som är en del av motorns totala slagvolym V . Vad den effektiva volymen består av kan vidare definieras som volymen av luft adderat med volymen av metangas

$$V_{eff} = \frac{m_l}{\rho_l} + \frac{m_g}{\rho_g} \quad (14)$$

Förhållandet mellan massan luft och massan metangas i förbränningsrummet skrevs som en funktion av lambdavärdet från Ekvation (9)

$$\frac{m_l}{m_g} = AFR = \lambda * AFR_{stök} \quad (15)$$

som gjorde att V_{eff} kunde skrivas som

$$V_{eff} = m_g \left(\frac{AFR}{\rho_l} + \frac{1}{\rho_g} \right) \quad (16)$$

$$\rightarrow m_g = \frac{V_{eff}}{\frac{AFR}{\rho_l} + \frac{1}{\rho_g}} \quad (17)$$

vilket gav massan metangas som sprutades in vid varje insug. Antalet insug per sekund multiplicerades med massan per insug. Massflödet blir då

$$\dot{m}_g = \frac{m_g}{t} \quad (18)$$

När varvtalet i varv per minut, RPM , är känt konverteras till varv per sekund genom att dividera med 60. Sedan genom att dividera med 2 för att ta hänsyn till att insug av bränsle endast sker vartannat varv.

$$\dot{m}_g = \frac{V_{eff}}{\frac{17,2}{\rho_l} + \frac{1}{\rho_g}} * \frac{RPM}{2 * 60} \quad (19)$$

vilket ger den effekt

$$P_{in} = \frac{V_{eff}}{\frac{17,2}{\rho_l} + \frac{1}{\rho_g}} * \frac{RPM}{2 * 60} * H_i \quad (20)$$

som förs in i motorn vid drift.

3 Metod

I detta avsnitt förklaras olika delmoment under projektets gång. Dessutom har en riskanalys utförts för förbränning och hantering av metangas. Denna återfinns i Appendix C.

3.1 Uppstart och drift på metan

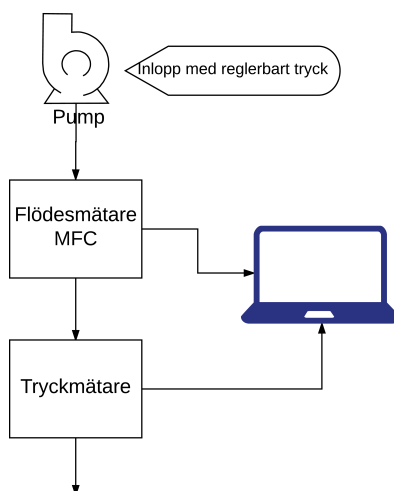
Startuppgiften innebar att få igång motorn vid det skick den överlämnades från föregående kandidatgrupp. Genomförande av detta skedde genom att hitta åtgärder för att uppnå drift på metangas. Då motorn sedan tidigare hade drivits på gasol, behövdes inte modifikationer. Felsökning utgjorde en väsentlig del, vilket bland annat inkluderade att mäta alla in- & utsignaler hos styrsystemet med oscilloskop för att systematiskt kontrollera alla funktioner. Under uppstartsperioden krävdes instudering av litteratur framförallt angående fyrtaktsmotorer samt metangas för att få en helhetsbild om vad som skulle göras för att starta motorn och vad som kunde göras därefter.

3.2 Bestämning av bränsleflödet

För att bestämma bränsleflödet i insprutningssystemet, utfördes en massflödesbestämnings laboration. Under laborationen undersöktes hur tryck vid injektorn påverkade bränsleflödet.

3.2.1 Bestämning av massflöde med MFC

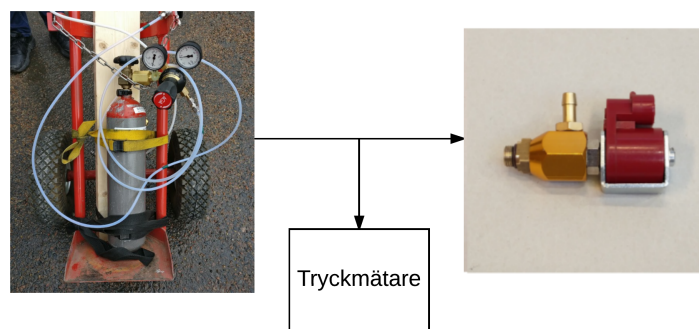
Massflödet bestämdes experimentellt för att ta hänsyn till systemets icke-ideala karaktär. Injektorn kopplades till en flödesmätare och tryckmätare båda placerade innan injektorn enligt figur 11. Kvävgas användes som medie, av säkerhetsskäl istället för metan, genom systemet och injektorn hölls konstant öppen i ett antal sekunder för att kunna erhålla ett jämt flöde. Detta upprepades för olika tryck och data från tryck- och flödesmätare registrerades i datorn. Flödesmätaren gav normaliserade värden i enhet milliliter per minut, vilket innebar att metangasens densitet kunde användas för att omvandla volymflödet till ett massflöde. Metangasens densitet hämtades från en densitetskalkylator [30].



Figur 11: Förenklad skiss på uppsättningen för massflödesberäkning.

3.2.2 Bestämning av tryckförluster i befintligt system

Tryckförlusterna från befintligt system i Figur 12 bestämdes genom att metantuben via en regulator kopplades med en T-koppling till tryckmätaren som placerades vid inloppet till gasinjektorn. Injektorn öppnar när spänning applicerades till den vilket resulterar i ett metangasflöde genom systemet och trycket kunde mätas. Genom att läsa av trycket på regulatören och sedan avläsa trycket från tryckmätaren erhöles en skillnad i tryck som motsvarar tryckförlusterna i systemet. Olika inloppstryck testades och avvikelsen mellan in- och utloppstryck för olika tryck kunde bestämmas.



Figur 12: Den verkliga bränsleuppsättningen.

3.3 Undersökning av verkningsgrad

Driftundersökningen av motorn gick främst ut på att erhålla en så optimal förbränning av metangas som möjligt. Genom montering av motorn i bromsbänken kunde omfattande drifttester och justeringar i styrsystem utföras.

För att beräkna verkningsgraden på motorn behövdes massflödet av bränsle och luft in i motorn samt effekten från bromsbänken. Inflödet av metangas beräknades med hjälp av Ekvationerna (13-19), och den totala energin in kunde då erhållas genom multiplikation av flödet med det effektiva värmevärdet, Ekvation (12).

I styrsystemet kunde flertalet parametrar, som påverkade förbränningsförloppet, ställas in. De värden som ändrades vid optimeringen var följande:

- Volymetrisk verkningsgrad (KATLA)
- AFR (KATLA)
- Vinkeln innan TDC, då tändning sker (KATLA)
- Motstånd från bromsbänken (Bromsbänk)

Den volymetriska fyllnadsgraden och tändningstiden ställdes in beroende av RPM i *Fuel Maps* respektive *Ignition map*, båda inställningsmappar i KATLA. AFR ställdes in i *Setup Parameters*. Med bromsbänken kunde ett reglerbart motstånd appliceras för att bestämma effekten motorn levererade.

Både volymetriska verkningsgraden och AFR inställningen resulterade i ändrade bränsleflöden, vilket var av intresse då metan krävde en annan luftbränsleblandning än tidigare bränslen. Anledningen till att båda parametrar valdes ändå var att den förstnämnda kunde ställas in så att den ändrades med RPM. Vinkeln innan TDC var av intresse då metans förbränningsförlopp inte var utforskat.

För att få en förståelse för hur varje parameter påverkar driften och verkningsgraden ändrades en parameter åt gången. Först gjordes flertalet försök med olika inställningar på det inställda förhållandet mellan luft och bränsle, AFR, vid ett konstant värde på den volymetriska verkningsgraden, η_{vol} , samt konstant tändningsvinkel. Därefter varierades η_{vol} samtidigt som AFR och tändningsvinkeln behölls konstant. Verkningsgraden beräknades med de värden som lästes av vid kontinuerlig drift för dessa försök och kunde därefter jämföras.

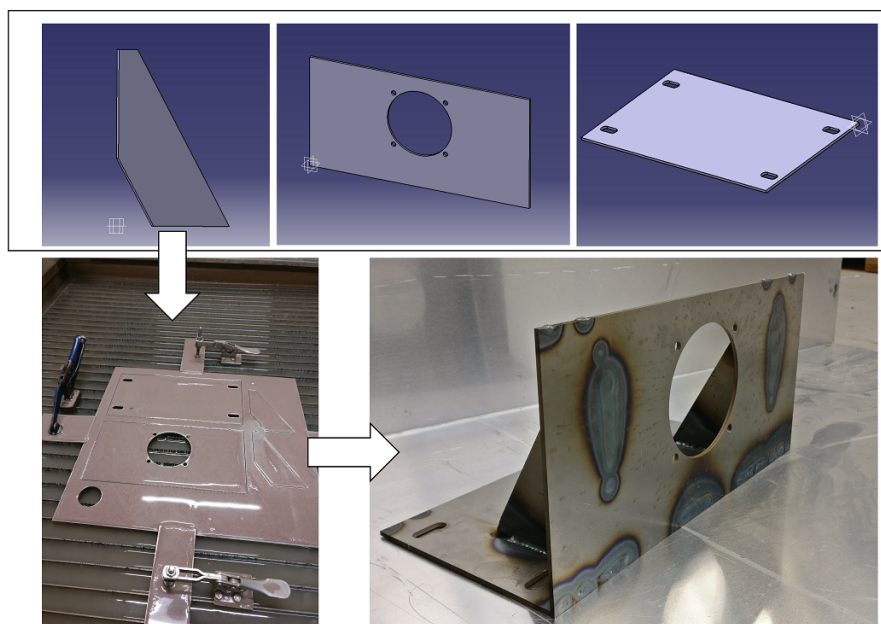
I nästa steg varierades ytterligare en parameter, vid vilken vinkel innan TDC som tändning sker. Samma inställningar som i steget innan kördes, men denna gång med varierande tändningsvinkel för att försöka uppnå högre verkningsgrad. De tester som resulterat i ett lambdavärde under 1 betyder att fullständig förbränning ej uppnåtts. Eftersom tändningsvinkeln inte påverkar blandningen av bränsle och luft ansågs dessa fall irrelevanta och studerades inte vidare. I de fall där AFR och η_{vol} ändrats har en konstant vinkel på 30° innan TDC använts. Vinkeln har i detta läge varierat mellan 25° & 35° och undersökts hur detta påverkar verkningsgraden. För att få ett säkrare resultat validerades testerna genom att vid ett senare tillfälle köras igen.

Avgaserna från förbränningen mättes med en lambdasond. På så sätt erhöles ett lambda-värde, därmed ett mått på förhållandet mellan bränsle och luft. På så sätt gick det att bekräfta hurvida en snålare eller rikare blandning uppnåts vid ändring av styrsystemets parametrar.

3.4 Fäste bromsbänk

Den testbänk som lånats av VERA-teamet var inte konstruerad efter den GX-35 motor som använts i projektet. Därmed behövdes ett fäste konstrueras för att fästa motorn vid bromsbänken. Efter mätningar på bromsbänken och dess fästpunkter ritades en modell upp i CAD. Efter att alla de delar som skulle ingå i fästet ritats upp skars dessa ut i 3 mm stålplåt med hjälp av en vattenskarare. Fördelen med en vattenskarare är att den ger extremt noggranna snitt och att det går utmärkt att skära ut avancerade geometrier.

Efter att fästet skurits ut svetsades detta ihop med TIG-svets. I figur 13 visas de olika stegen i fästets konstruktion, från digital design till utskuren plåt och slutligen hopsvetsat och redo för att användas som fäste.



Figur 13: Fäste till bromsbänken, från design till produkt

3.5 Användning av bromsbänk

När fästet konstruerats kunde arbete med VERA-teamets bromsbänk påbörjas. Först studerades bromsbänken för att få en grundläggande kunskap om dess funktion och hur den används. För detta kontaktades personer inom VERA-teamet med kunskap om utrustningen.

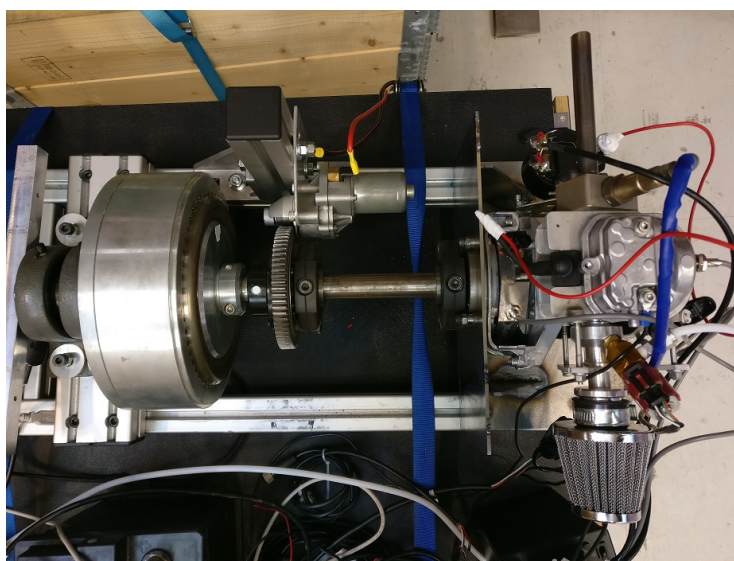
Motorn monterades på bromsbänken och startades. När den kommit upp i varv startades bromsen och små justeringar gjordes tills motorn ansågs gå med ett konstant

varvtal. Vid detta läge lästes ström och vridmoment av och effekten beräknades enligt Ekvation 10. Samtidigt bestämdes varvtalet som motsvarar den effekt som beräknades. Detta gjordes med hjälp av stroboskop som lånades av motorlabbet. En bit tejp sattes som markör på vevaxeln som stroboskopet lyste upp och frekvensen sänktes sakta medan motorn var i drift vid konstant varvtal. När tejpens såg ut att stå still lästes varvtalet på stroboskopet av då det vid det tillfället ska motsvara motorns varvtal. När varvtalet var känt och energimängden som går in i motorn känt från tidigare beräkningar, bestämdes effekten in i motorn. När effekt in och effekt som motorn levererar var känt kunde verkningsgraden beräknas.

Ett första test gjordes och verkningsgraden beräknades, därefter justerades parametrar i styrsystemet systematiskt och verkningsgraden beräknades för varje inställning. Information om förändringar som gjordes och data från motorns drift antecknades för att enkelt kunna jämföras i efterhand. Verkningsgraderna jämfördes mellan de olika tillstånden och vilken effekt ändringarna fått kunde diskuteras.

De förändringar som gjordes berörde två olika parametrar, inställningen av *AFR* samt ändrade uppskattningar av den volymetriska verkningsgraden. Dessa ändrades, en i taget, till olika värden kring de inställningar som tidigare använts där motorn fungerat. Genom att ändra på dessa parametrar reglerades den mängd bränsle som sprutades in i motorn. Huruvida förändring av parametrarna påverkade bränsleblandningen bekräftades sedan med hjälp av lambdasensorn.

Verkningsgraden beräknades för varje ändring och kommentarer gjordes om hur motorn gick. Efter ett antal försök med att ändra en viss parameter återställdes inställningarna till de tidigare och den andra parametern började justeras och processen återupprepades. Huruvida den mängd bränsle som sprutats in resulterade i en snål eller rik blandning verifierades med hjälp av den lambdasensor som satt monterad på motorns avgasrör. Nedan syns en bild på motorn monterad i bromsbänken.



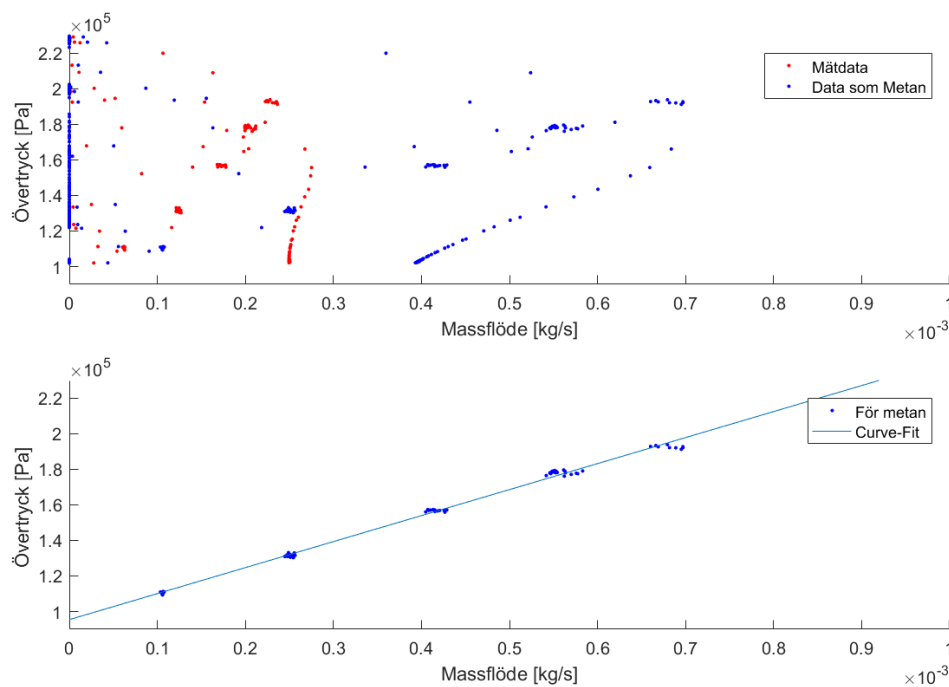
Figur 14: Bromsbänk. Elektrisk broms till vänster. Metangasmotor till höger.

4 Resultat

Under detta avsnitt sammanställs alla resultatet som erhållits under projektets gång.

4.1 Laboration med Massflow Controller (MFC)

Data som samlats in från MFC sammanställdes i en graf där prickarna representerar erhållen data, se Tabell 15. En fitting curve gjordes för att erhålla en kontinuerlig kurva som bestämmer massflöde beroende på tryck i utloppet över ett intervall. Laborationen utfördes med kväve som medium i systemet där värden från flödesmätaren var normaliserade. Därför krävdes enbart data för metangasens densitet vid de undersökta trycken för att beräkna massflödet.



Figur 15: I övre figuren visas en jämförelse mellan ett omräknat data-värde från konstant densitet=1 till ett densitetsberoende värde för metan. I den undre rensades brus-data bort och en linjär regression gjordes.

Ekvationen för fitting-curve följer enligt nedan

$$P_{fit} = 1.464 * 10^8 x + 9.543 * 10^4 \quad (21)$$

där $r^2 = 0.9955$ och x är givet i massflödet [kg/s] och y i tryck [Pa].

4.2 Tryckfall över system

Över det befintliga systemet bestämdes tryckfallet enligt uppsättning på skissen i Figur 12. Olika inloppstryck testades och utloppstrycket kunde avläsas från tryckmätare.

Tabell 2: Erhållen tryckfallsdata från mätningar över befintligt system för försök med varierande inloppstryck. Notera att trycket är givet som övertryck.

Försök	Inlopp (bar)	Utlopp (bar)	Tryckfall (bar)
1	2	1.6	0.4
2	1.8	1.4	0.4

4.3 Undersökning av verkningsgrad

När alla komponenter till styrsystemet var färdigställda kunde metangasen kopplas till motorn som startade. Kontinuerlig drift på metangas erhöles efter små korrigeringar i styrsystemet.

De första justeringar som gjordes i KATLA ändrade bränsleblandning från snål till rikare medan tändningstidpunkt hölls konstant. Fullständig förbränning kunde inte bibehållas på några av de rikare blandningarna. Det var önskvärt att ha ett överskott av syre eftersom detta leder till lägre förbränningstemperaturer, som i sin tur ger bättre verkningsgrad enligt Ekvation (8).

En mindre mängd doserad bränsle resulterade i ett luftöverskott vilket gav kvarvarande syre i de avgaser som lämnade motorn. Syremolekylerna kunde detekteras av lambdasensorn som gav ett lambda, vilket visade om förbränningen varit snål eller rik.

I Tabell 3 redovisas en sammanställning av de resultat som uppnåddes, först genom att ändra inställningen för *AFR* och därefter inställningen för den volymetriska verkningsgraden.

Tabell 3: Resultat från optimering där försök 1-7 gjordes med ändringar i *AFR* och 8-11 med ändringar i volymetrisk verkningsgrad och 13-22 med förskjutning i antändningstid.

	AFR	Ström [A]	Volymetrisk verkningsgrad	Lambda [λ]	RPM	Avläst vridmoment [Nm]	Effekt ut [W]	Effekt in [W]	Verkningsgrad [%]
1	15.5	0.160	0.7	0.90	1500	1.5	235.62	1080.29	21.81
2	15.5	0.150	0.7	0.82	1900	1.3	258.66	1489.55	17.36
3	16.5	0.150	0.7	0.92	2000	1.3	272.27	1411.68	19.29
4	17.5	0.150	0.7	1.10	2500	1.3	340.34	1513.25	22.49
5	17.5	0.150	0.7	1.00	2000	1.3	272.27	1315.53	20.70
6	19.0	0.140	0.7	1.16	2000	1	209.44	1145.34	18.29
7	19.4	0.140	0.7	1.23	1500	1	157.08	815.07	19.27
8	18.9	0.150	0.8	0.95	2000	1.3	272.27	1581.82	17.21
9	18.9	0.140	0.65	1.23	2000	1	209.44	1009.13	20.75
10	18.9	0.000	0.5	0.00	0	0	No start	No start	No start
11	18.9	0.150	0.7	1.04	1000	1.3	136.14	634.21	21.47
		Inställda parametrar			Avlästa parametrar			Beräknade värden	

Värdena markerade med gult är de värden som ställts in under försöken, de rödmarkerade visar det avlästa resultatet och de blåa värden som beräknades från dessa. Vid försök nummer 10 provades en mager blandning genom att ställa in en mycket låg volymetrisk fyllnadsgrad. Detta resulterade i att motorn inte startade. Längst till höger i Tabell 3 ses verkningsgraden beräknad enligt avsnitt 2.8. Resultatet från det senare försöket med samma inställningar kan ses i Tabell 4

Tabell 4: Resultat från samma försök som i tabell 3

	AFR	Ström [A]	Volymetrisk verkningsgrad	Lambda [λ]	RPM	Avläst vridmoment [Nm]	Effekt ut [W]	Effekt in [W]	Verkningsgrad [%]
1	15.5		0.7						
2	15.5	0.140	0.7	0.77	2000	1	209.44	1660.85	12.61
3	16.5	0.140	0.7	0.90	2000	1	209.44	1446.27	14.48
5	17.5	0.150	0.7	0.92	1900	1.3	258.66	1347.18	19.20
6	19.0	0.150	0.7	1.03	2000	1.3	272.27	1280.80	21.26
7	19.4	0.140	0.7	1.20	2000	1	209.44	1114.11	18.80
8	18.9	0.150	0.8	0.85	1800	1.3	245.04	1565.38	15.65
9	18.9	0.140	0.65	1.20	2000	1	209.44	1034.53	20.24
10	18.9	0.140	0.5	1.22	2000	1	209.44	783.79	26.72
11	18.9	0.150	0.7	1.08	2700	1.3	367.57	1656.20	22.19

I Tabell 5 nedan ses resultatet av att ställa tändningsvinkeln på 25° innan TDC på samma form som Tabell 3 och vilken verkningsgrad det resulterade i. Test 4 och 5 har samma inställningar och kördes då bara en gång.

Tabell 5: Resultat från tester med tändning 25° för TDC

	AFR	Ström [A]	Volymetrisk verkningsgrad	Lambda [λ]	RPM	Avläst vridmoment [Nm]	Effekt ut [W]	Effekt in [W]	Verkningsgrad [%]
4	17.5		0.7						
5	17.5	0.150	0.7	0.95	2000	1.3	272.27	1377.81	19.76
6	19.0	-	0.7	-	-	-	-	-	-
7	19.4	-	0.7	-	-	-	-	-	-
9	18.9	0.140	0.65	1.20	1000	1	104.72	517.27	20.24
11	18.9	0.150	0.7	1.05	2000	1.3	272.27	1258.65	21.63

Vid vinkel 25° erhöles vid vissa mappar så pass dålig drift att motorn dog så fort motstånd sattes på. På grund av detta kunde ingen verkningsgrad bestämmas men ansågs inte heller relevant då motorn inte kunde köras med någon som helst last. De försök där detta observerades markerades med ett streck, -, där de uppmätta värdena annars skulle visats. Även dessa värden kördes igen resultatet från detta visas i Tabell 6

4 Resultat

Tabell 6: Validering av resultat vid samma försök som Tabell 5

	AFR	Ström [A]	Volymetrisk verkningsgrad	Lambda [λ]	RPM	Avläst vrid- moment [Nm]	Effekt ut [W]	Effekt in [W]	Verknings- grad [%]
4	17.5		0.7						
5	17.5	0.140	0.7	0.83	2000	1.4	293.22	1554.41	18.86
6	19.0	-	0.7	-	-	-	-	-	-
7	19.4	-	0.7	-	-	-	-	-	-
9	18.9	No start	0.65				No start	No start	No start
11	18.9	0.140	0.7	1.20	1800	1	188.50	1002.70	18.80

Tabell 7 visar nästa försök, med vinkel 35° , på samma sätt som ovan. Notera att det vid flera försök i detta fall krävdes en högre ström för att bromsa motorn nog att varvtalet hålls konstant, alltså ett högre motstånd och vridmoment.

Tabell 7: Resultat från testserie ett med tändning 35° före TDC

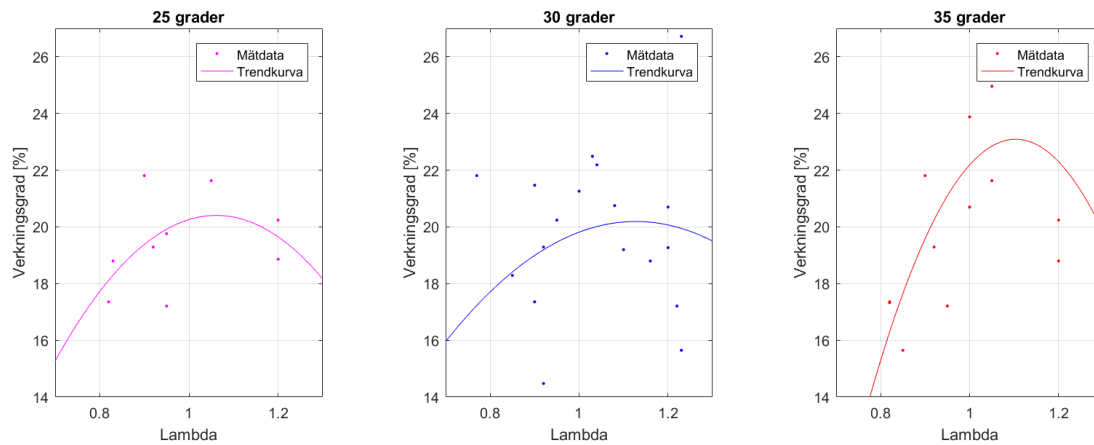
	AFR	Ström [A]	Volymetrisk verkningsgrad	Lambda [λ]	RPM	Avläst vrid- moment [Nm]	Effekt ut [W]	Effekt in [W]	Verknings- grad [%]
4	17.5		0.7						
5	17.5	0.160	0.7	1.00	2200	1.5	345.58	1447.89	23.88
6	19.0	0.160	0.7	1.10	2500	1.5	392.70	1508.89	26.04
7	19.4	-	0.7	-	-	-	-	-	-
9	18.9	0.150	0.65	1.20	2000	1.3	272.27	1034.53	26.32
11	18.9	0.160	0.7	1.05	2600	1.5	408.41	1636.24	24.96

Vid detta försök uppnåddes den högsta uppmätta verkningsgraden av alla tidigare försök, $\eta \approx 26.32\%$. Då motorn ansågs gå markant bättre vid tändningsförskjutning 35° före TDC kördes fler tester, även några med lambdavärde mindre än ett, se Tabell 8.

Tabell 8: Resultat från testserie två med tändning 35° före TDC

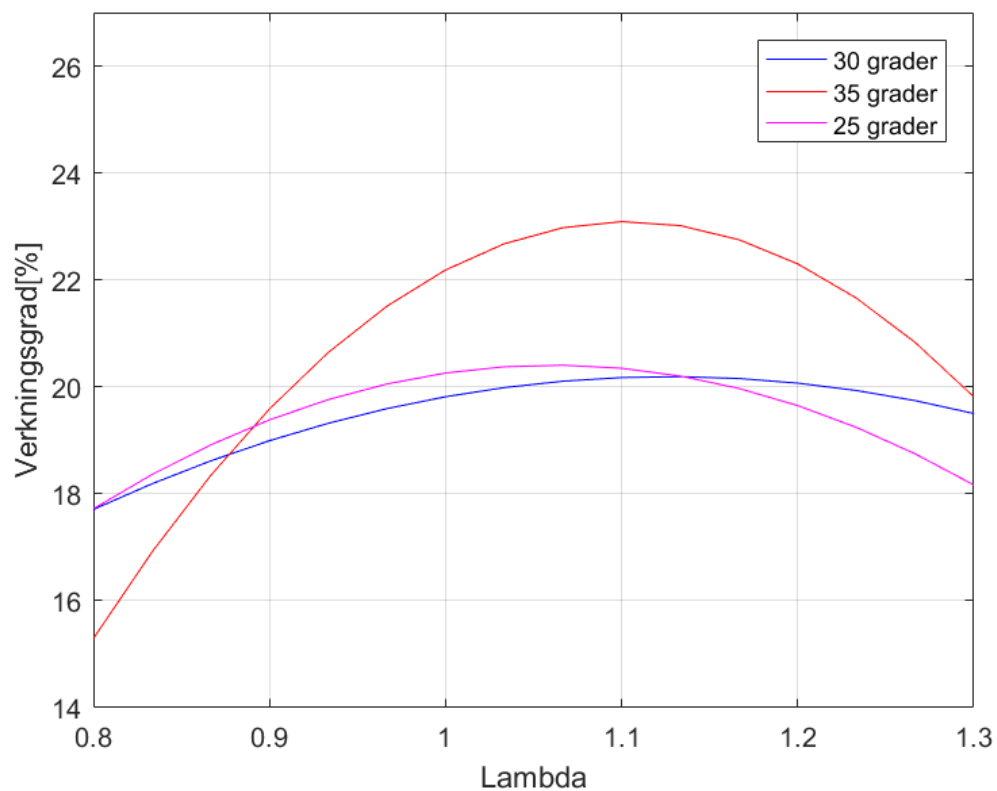
	AFR	Ström [A]	Volymetrisk verkningsgrad	Lambda [λ]	RPM	Avläst vrid- moment [Nm]	Effekt ut [W]	Effekt in [W]	Verknings- grad [%]
5	17.5	0.150	0.7	0.82	2000	1.3	272.27	1571.19	17.33
6	19.0	0.150	0.7	1.05	2000	1.3	272.27	1258.65	21.63
7	19.4	0.140	0.7	1.20	2000	1	209.44	1114.11	18.80
8	18.9	0.150	0.8	0.85	2000	1.3	272.27	1739.31	15.65
9	18.9	0.140	0.65	1.20	2000	1	209.44	1034.53	20.24
10	18.9	No start	0.5				No start	No start	No start
11	18.9	0.150	0.7	1.00	2000	1.3	272.27	1315.53	20.70

I Figur 16 nedan ses samtliga mätdata från testerna, uppdelade efter vid vilken vinkel innan TDC tändning sker samlade med verkningsgraden som funktion av lambda. MATLABs curvefit genererade linjen som ett andragradspolynom som visar trenden hos resultatet.



Figur 16: Förhållandet mellan verkningsgrad och lambda. Till vänster vid 25° förtändning, mitten 30° förtändning och till höger 35° förtändning

De anpassade kurvorna till alla mätserier sammanställdes i samma graf för enklare jämföring och kan ses i Figur 17.



Figur 17: Kurvor för verkningsgrad som funktion av lambda och olika antal grader förtändning, anpassade efter uppmätt data

5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras olika faktorer, från motgångar till felkällor, som påverkat projektet under dess gång.

5.1 Inledande arbete

Under projektets gång har motgångar stötts på vilka har behövt lösas. Då motorn inte var startklar vid projektets början var detta den första större utmaningen som visade sig kräva mycket arbete. Detta problem löstes till slut genom att systematiskt gå igenom alla komponenter och funktioner och lösa problemen allt eftersom de upptäcktes, från komponenter som saknades och inhandlades till att ändra vissa parametrar i styrsystemet.

5.2 Bestämning av massflödet, skillnader i teorin och praktiken

Som visas i resultatet på Tabell 2 användes endast två olika inloppstryck eftersom dessa två var tillräckliga för att konstatera variationen i tryckförlust för det befintliga systemet i Figur 12. Samma tryck användes under motordrift, vilket ställdes in på ca 2 bar i regulatorn. Detta gjorde att endast tryckfallet för ett inloppstryck vid 2 bar övertryck var intressant. Resultatet visade 0.4 bar tryckförlust genom uppsättningen, vilket betyder att med ett inloppstryck 2 bar kan massflödet beräknas med antagandet att utloppstryck är 1.6 bar. Mer detaljerad data över strömnings- och värmeförluster hade i mån om tid varit möjligt att ta fram, men detta prioriterades bort då exakt data för hur mycket energi som försvann på respektive förlust inte krävdes för att beräkna verkningsgraden, vilket var huvuduppgiften. Intressanta vidarestudier hade varit att identifiera och kvantifiera energiförluster i systemet.

Med MFC-laborationen kunde korrelationen mellan massflödet och utloppstrycket bestämmas och på så sätt beräkna massflödet, för en öppen injektor med tryckskillnader från 1 till 2 bar, med modellen enligt Ekvation (21).

5.3 Motorns verkningsgrad

Resultatet av motorprestandan som presenterades i resultatdelen visade på att den maximala verkningsgraden som åstadkommits var strax över 26 procent. För detta resultat var $\lambda = 1.2$. Vid snåla blandningar är flamhastigheten långsammare då energi även går till uppvärmning av överbliven luft. En tidigare tändning visade sig behövas för att utnyttja arbetet vid expansionen som i detta fall resulterar i att verkningsgraden sjunkit vid högre luftöverskott och tidigarelagd tändning som syns tydligt på resultatet i Figur 16.

Försök kring de två parametrarna AFR samt Volymetriskt verkningsgrad visade sig ge spridda resultat. Observera försök 7 samt 9 i det första försöket, där λ -värdet är samma men verkningsgraden varierar. Detta kan bero på att testandet skett vid olika tidpunkter och motorns temperatur kan ha varierat kraftigt.

För verkningsgraden användes framförallt Ekvation 20, denna ekvation är egenhändigt framställd och bygger framförallt på att motorn har konstant RPM . För att få så konstant RPM som möjligt var det tvunget att rätt motstånd på bromsbänken ställdes in så att motorns levererade kraft blev den samma som motståndet vid detta RPM . Om man jämför värde nr 11 i Tabell 7 med Tabell 3, kan man se att motståndet var tvunget att vara högre den ena gången. Detta gjorde det svårt att jämföra dessa värdena emellan då motorn egentligen hade så mycket kraft vid 0.150 A att ett högre motstånd, 0.160 A, var tvunget att appliceras för att bromsa motorn. Då Ekvation 20 begränsas till att användas vid konstant RPM kunde därför inte verkningsgraden för motorn beräknas under tiden motorn ökade i varvtal vid motsåndet 0.150 A.

Ett mönster tycks kunna utläsas ur figur trendkurvor där verkningsgraden blir som bäst när bränsleblandningen resulterar i ett λ som ligger runt 1.1. Detta är dock utifrån en trendlinje som hade en del avvikande mätpunkter vilket tyder på att ytterligare tester och justeringar bör göras innan detta kan bekräftas.

Om man skulle vilja arbeta vidare på projektet anser vi att potential finns i ett vidare optimeringsarbete. Som nämndes i början av rapporten är optimering ett stort begrepp som omfattar många olika aspekter och har i detta fall begränsats av olika anledningar. Främst på grund av mycket annat arbete som också har varit nödvändigt för att kunna starta motorn. Lämnas projektet i fungerande form, finns stor potential att erhålla ett projekt som i huvudsak behandlar djupare och mer utbredd optimering av motorn. Fortsatt arbete kan bestå i att bekräfta de resultat som åstadkommits samt att forska vidare i hur motorn beter sig över hela varvtalsspektrat. På grund av att motorn verkade gå annorlunda beroende på hur varm motorn var bör en fast arbetstemperatur sättas. Denna kan bevakas med en termometer som fästes på lämpligt ställe på motorns block.

5.4 Felkällor

Parametrarna som avlästes under testkörningarna i bromsbänken kan ha varierat, då temperaturen hos motorn ökade stadigt med tiden under drift. Detta sågs tydligt eftersom både λ och varvtal sakta sjönk med tiden motorn var igång. Avläsningen av dessa två värden gjordes inte på samma motortemperatur för de olika försöken, vilket kan ha lett till avvikande värden.

5.5 Fortsatt arbete

Slutmålet med projektet har i viss mån varit att motorn skall vara färdig för att montera i ett fordon och deltaga i tävlingen Shell Eco-Marathon. Det anses dock finnas en del åtgärder och tester kvar att utföra innan detta kan uppfyllas. Kontinuerlig drift har lyckats uppnås med en rad olika bränslemappar, men huruvida det går att hitta ännu bättre och mer välanpassade mappar för motorns framtida ändamål behöver undersökas mer noggrant. Grunden till denna tes baseras på att motorn provkörts vid ett förhållandevis lågt varvtal, vilket kanske inte alls är vid det varvtal den slutligen kommer att köras med. Hur den beter sig vid högre varv och hur de bränslemappar som givit bra resultat vid låga varv uppför sig då är ännu outforskat.

Ett annat problem är att motorn, eller främst kontakten mellan styrsystemet och motorn har visat sig vara opålitlig. Detta beror sannolikt på glappkontakt i anslutningen till styrsystemet. Denna koppling bör göras om helt för att säkerställa en pålitlig drift i till exempel en tävling.

Som motorn ser ut idag uppfyller den inte Shell Eco-marathons regelverk på grund av att en speciell säkerhetsventil saknas. Detta måste åtgärdas och testas innan motorn är redo för tävling. För att prestera i tävlingen är det också önskvärt att fortsätta arbetet med att undersöka verkningsgrad vid olika förhållanden och samtidigt försäkra sig om att prestandan är tillräcklig för ändamålet.

6 Slutsats

Projektets mål var att fördjupa sig inom området förbränning av metangas samt undersöka verkningsgraden i en omkonstruerad bensinmotor av modellen Honda GX35. Genom instudering av hur förbränning av metan skiljer från propan kunde en första uppskattning göras kring vad som behövdes justeras med KATLA vid utbytet av drivmedel. Med dessa ändringar erhöles kontinuerlig drift vilket var en väsentlig milstolpe i projektet.

Motorn monterades på en bromsbänk för att erhålla mätdata och bestämma prestanda. Efter monteringen kunde inställningar varieras och testas och ställas mot verkningsgraden, med driftmålet att alltid ha ett lambdavärde över 1 för att förhindra att oförbränt metan släpptes ut med avgaserna.

Testkörningar som tidigare gav lambdavärde över 1 testades med samma driftförhållanden vid två olika tidpunkter. Men på grund av stora variationer i verkningsgraden och ännu inte helt utforskade faktorer, exempelvis motortemperatur, anses det fortfarande finnas potential för att uppnå en ännu högre verkningsgrad och stabilare drift än vad som lyckades under projektets gång.

Projektet behandlade att undersöka potentialen hos metan som drivmedel i moderna förbränningsmotorer. Stabil drift har uppnåtts vid flertalet olika driftförhållanden vilket visar att metan har god potential som bränsle i förbränningsmotorer.

Referenser

- [1] Chalmers University of Technology. (febr. 2017). Energy, URL: <http://www.chalmers.se/en/areas-of-advance/energy/Pages/default.aspx> (hämtad 2017-05-12).
- [2] Andersson.m.fl, *Förbränning av biogas/metan i en EcoMarathonmotor*, ser. Kandidatarbete inom Tillämpad mekanik. Chalmers University of Technology, 2016, ISBN: 1654-4676.
- [3] Shell. (n.d.). Shell Eco Marathon, URL: <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon.html> (hämtad 2017-05-12).
- [4] Chalmers Ecosmarter Team. (n.d.). Smarter vehicle, URL: <https://www.facebook.com/ChalmersEcoSmarter/> (hämtad 2017-05-12).
- [5] Energimyndigheten, "Energiläget 2015", i. Energimyndigheten, 2015.
- [6] Nationalencyklopedin. (n.d.). Kolväten, URL: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kolv%C3%A4ten> (hämtad 2017-05-12).
- [7] Wikipedia. (n.d.). Methane, URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Methane-2D-small.png> (hämtad 2017-05-12).
- [8] B. Z. Shakhashiri och R. Schreiner. (2016). Methane, URL: <https://www.accessscience.com/content/methane/421200> (hämtad 2017-05-12).
- [9] Wikipedia. (n.d.). Fasdiagram, URL: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:Fasdiagram.png> (hämtad 2017-05-12).
- [10] S.-E. Mörtstedt och G. Hellsten, "Data och Diagram, Energi- och kemitekniska tabeller", i. LIBER, 2008.
- [11] Engineeringtoolbox.com. (n.d.). Combustion of Fuels - Carbon Dioxide Emission, URL: http://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html (hämtad 2017-05-12).
- [12] Volker-quaschnig. (juni 2015). Specific Carbon Dioxide Emissions of Various Fuels, URL: http://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index_e.php (hämtad 2017-05-12).
- [13] Nationalencyklopedin. (n.d.). Bränsle, URL: <http://www.ne.se/br%C3%A4nsle> (hämtad 2017-05-12).
- [14] Unitrove. (n.d.). Natural Gas Density Calculator, URL: <http://unitrove.com/engineering/tools/gas/natural-gas-density> (hämtad 2017-05-12).
- [15] G. Cui, Z. Li och C. Yang, "Experimental study of flammability limits of methane/air mixtures at low temperatures and elevated pressures", *Fuel*, vol. 181, s. 1074–1080, 2016. DOI: <http://dx.doi.org.proxy.lib.chalmers.se/10.1016/j.fuel.2016.04.116>.
- [16] Jernkontorets energihandbok. (n.d.). NOX-bildning vid förbränning, URL: <http://www.energihandbok.se/nox/> (hämtad 2017-05-12).
- [17] Chalmers University of Technology, *ENERGITEKNIK och MILJÖ Kurskompendium - 2015*. AVANCEZ, 2015.
- [18] C. Azar, D. Bryngelsson, D. Johansson, E. Sterner och S. Wirsenius. (sept. 2016). Att jämföra koldioxid och metan, URL: <http://uppsalainitiativet.blogspot.se/2016/09/gastinlagg-att-jamfora-koldioxid-och.html> (hämtad 2017-05-12).

- [19] A. Bahadori, *Natural Gas Processing*, ser. Technology and Engineering Design. Gulf Professional Publishing, 2014, ISBN: 978-0-08-099971-5.
- [20] Y. D. A. Molino F. Nanna, *Fuel, Volume 103*, ser. Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. McGraw Hill, 2013.
- [21] N. Hall. (n.d.). 4-Stroke Internal Combustion Engine, URL: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/engopt.html> (hämtad 2017-05-12).
- [22] Wikipedia. (n.d.). Four stroke cycle power, URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Four_stroke_cycle_power.png (hämtad 2017-05-12).
- [23] Nationalencyklopedin. (n.d.). Fyrtaktsmotor, URL: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/fyrtaktsmotor> (hämtad 2017-05-12).
- [24] Kjellin.m.fl, *Utveckling av styrsystem till förbränningsmotor för Chalmers Vera Team*, ser. Kandidatarbete inom Data- och Informationsteknik samt Tillämpad mekanik. Chalmers University of Technology, 2014, ISBN: 978-0-08-099971-5.
- [25] P. Mello, F. Wildner, G. S. de Andrade, R. Cataluña och R. da Silva, “Experimental study of flammability limits of methane/air mixtures at low temperatures and elevated pressures”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 36, nr 2, s. 403–410, 2014. DOI: doi: 10.1007/s40430-013-0094-y.
- [26] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill, 1988, ISBN: ISBN 0-07-100499-8.
- [27] A. R. Eckels. (2014). Stroboscope, URL: <https://www.accessscience.com/content/stroboscope/660800> (hämtad 2017-05-12).
- [28] Magtrol. (n.d.). HB-1750M-2 Nominal Performance Characteristic Curve, URL: http://www.magtrol.com/drawings/hbhc_dwgs/curves/hb-1750m-2curve.pdf (hämtad 2017-05-12).
- [29] D. L. Anglin. (2014). Volumetric efficiency, URL: <https://www.accessscience.com/content/volumetric-efficiency/736600> (hämtad 2017-05-12).
- [30] B. Wischniewski. (n.d.). peace software, URL: http://www.peacesoftware.de/einigewerte/methan_e.html (hämtad 2017-05-12).

Appendix

A Lathund för användning av KATLA

Nedan har en lathund i användningen av styrsystemet KATLA skrivits och bifogats. Vissa oklarheter har påträffats i hur systemet används i praktiken, dessa har uppklarats efter hand i projektet och samlats i detta appendix.

A.1 Kopplingar mellan motor och styrsystem

KATLA använder sig av en kontakthandske som sköter både in- & utgångar, två usb-portar samt en kontakt för strömförsörjning. Från kontakten för strömförsörjning kommer två sladdar som kopplas till ett 12 Volt bilbatteri. I kontakten ska sladden markerad med siffran 1 kopplas till jord (-) och den andra till den positiva polen på det bilbatteri som används för att strömförsörja systemet vid uppstart.

I kandidatarbetet om KATLA beskrivs vilka kontakter i kontakthandsken som ska kopplas för varje komponent. Dessa korrelerar sedan till vissa stift på kretskortet och är därför viktiga att sätta på rätt plats. Sladdarna behöver stiftas för att kunna användas. Viktigt är också att stiften trycks in hela vägen för att vara säkra på att de får kontakt med KATLA. Kontakthandsken och stiften är lite känsliga och bör tejpas för att undvika glapp eller att de rycks ut.

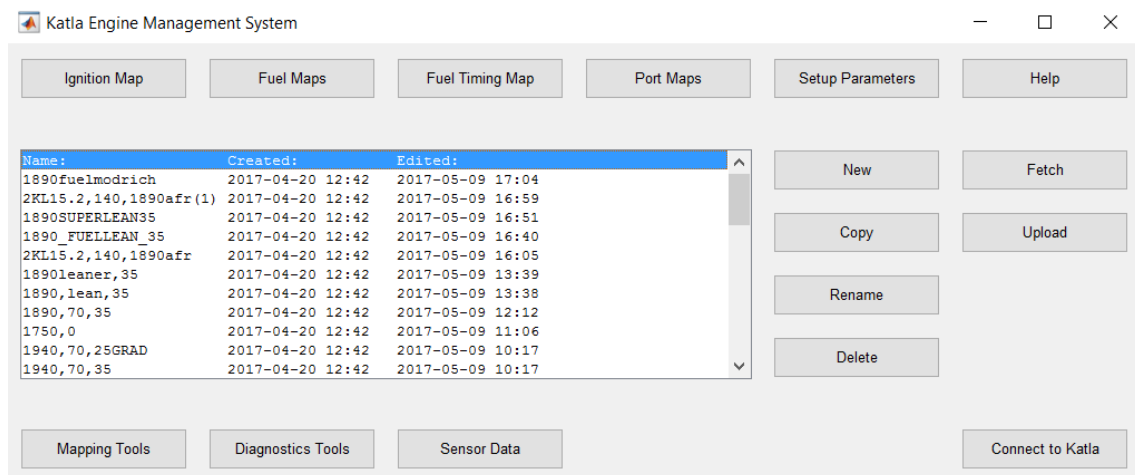
A.2 Lambdasensor

Möjlighet finns att analysera motorns avgaser med en lambdasond. Denna har ett antal kablar. Läggs den röda på plus och den svarta på minus på batteriet startar sensorn och fungerar. Det finns ytterligare möjlighet att utnyttja lambdasensorn. För detta, läs datorblad. Detta finns på AEMPOWER.com och produkt id är : 30-4110.

För att kunna använda systemet finns ytterligare två kopplingar som behöver kännas till. Dessa sitter dock direkt på kretskortet och behöver kopplas till antingen jord eller 5 Volt. Dessa har ersatts i detta projekt med två switchar som nu sitter på utsidan. Den första är en autostopp funktion, markerad med röd färg, som måste kopplas till jord för att motorn ska kunna köras. Ställs switchen mot markeringen så upprättas denna kopplingen. Den andra switchen är markerad med färgen gul och måste ställas mot markeringen för att kunna ändra inställningar och mappar på KATLA. För att köra motorn måste denna kopplas ifrån.(stå rakt upp)

A.3 Mjukvara

KATLA kommer med en dedikerad MATLAB app. Denna finns att tillhandahålla från handledare. Följ installationsguiden som följer med.



Figur 18: Katlas matlab-app.

I denna app ställer man in alla de olika parametrar KATLA har. De viktigaste knapparna är:

Fetch - Laddar upp inställningar som ligger på KATLA just nu. Dessa hamnar under namnet OnChip.

Upload - Laddar upp inställning från datorn till styrsystem.

Fuel timing map - Bestämmer NÄR insprutningen ska ske.

Setup Parameters öppnar ett fönster med en rad nyttiga inställningar.

När man skall ställa in hur mycket bränsle som skall sprutas in i motorn finns det tre parametrar man kan ändra på. Alla dessa är relaterade till varandra.

Dessa är $AFR = \text{air fuel ratio}$. Detta skall då normalt sätt motsvara den blandning som finns vid stökiometrisk blandning. så om man till exempel kör på bensin som har ett air-fuel ratio på 14.6 :1 skall detta värde vara inställt på 1460.

Nästa parameter som går att justera är lambda. För stökiometrisk blandning skall denna vara inställd på 100 som motsvarar lambda 1. Ställs ett högre värde in, ex 110, lambda 1.1 ger detta en snålare blandning.

Den sista parametern som ändras på för att justera bränsleblandningen är bränslemappen. Denna ger möjlighet att justera bränsleblandningen med avseende på olika varvtal. Parametern avser den fyllnadsgrad som motorn har. en sugmotor kan aldrig ha en fyllnadsgrad över 100, så värdet på bränslemappen bör inte vara högre

än så, men är normalt runt 70.

För att alla dessa parametrar skall stämma och ge en motor som går som man önskar är det viktigt att man ställer in övriga parameterar rätt. KATLA använder dessa för att ställa veta hur mycket bränsle som skall sprutas in.

B Att starta motorn i bromsbänken

När motorn startas i bromsbänken första gången bör man ha koll på en del saker för att kunna genomföra startförsöket på ett säkert sätt.

Motorn går alltid med full effekt. Detta innebär att om inte motorn bromsas kommer den att rusa. Detta kan vara farligt och obehagligt. Därför är det rekommenderat att lägga ett ganska lågt maxvarv i KATLAS inställningar. Samtidigt är det viktigt att någon är beredd att starta bromsen när motorn startar. Viktigt är också att använda avskärmning i form av den plastkåpa som skall finnas tillgänglig. Det har hänt att motorer helt fallerar och skjuter delar åt alla håll. Detta kan vara rent utav livsfarligt.

Vid start med dragsnöret är det viktigt att inte rycka i det från dess innersta läge. Dra sakta ut snöret tills du känner att det greppar". Risk finns att denna går sönder annars.

B.1 Att genomföra en lyckad mappning och test av denna

För att genomföra en lyckad testning och mappning av motorn följ nedanstående lista.

1. Se till att alla kablar är inkopplade till batterit. glöm inte jordkabeln som sitter fast i motorns topplock. denna skall kopplas til minuspolen.
2. Swicha den gula swichen på katla för att kunna genomföra skrivning till katla. Swichen skall peka mot den lilla tejpbiten Starta därefter katla genom att slå på dess strömbrytare.
3. Koppla nu in en usb kabel mellan katla och din dator. Observera att du måste ha installerat rätt drivrutiner och katlas matlab app innan.
4. Starta nu katlas matlab app. Därefter tryck på connect. Går allt rätt till kommer en en ruta upp som säger att man är ansluten.
5. efter att man konstruerat den mapp man vill ladda upp på katla kan man välja denna och trycka på upload. Efter att transfer complete kommer upp är man redo att starta.
6. swicha nu tillbaka den gula swichen så att den pekar rakt upp. Nu är det bara att dra i startsnöret så kommer motorn starta.
7. Var beredd med att bromsa motorn så den inte rusar iväg till för höga varv. Då motorn ännu saknar kylning är det inte rekommenderat att köra motorn för länge på grund av risk för överhettning.
8. För att stänga av motorn så slås helt enkelt KATLA av.

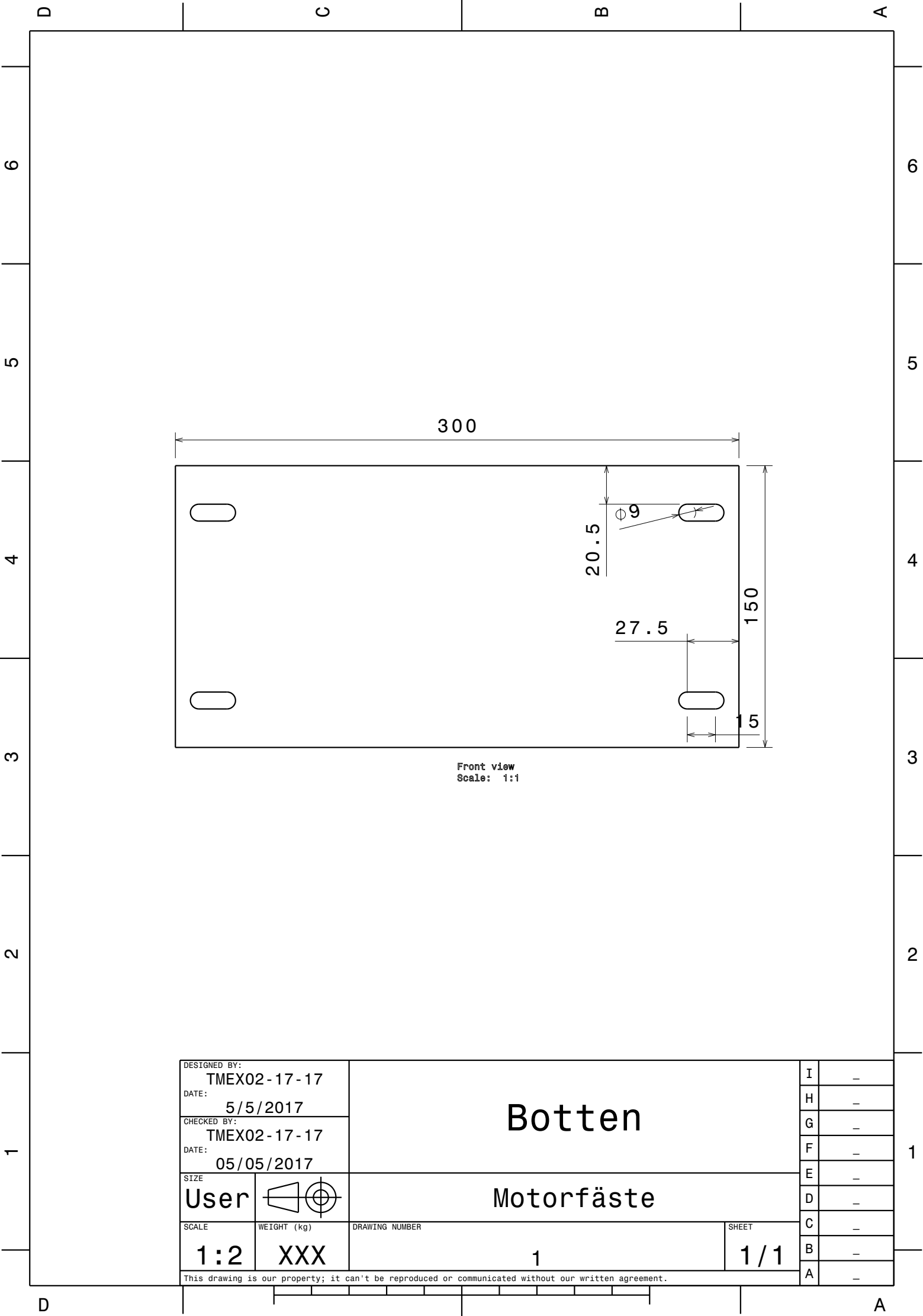
C Riskanalys

Kategori		Beskrivning	Åtgärd	Risker	
Projektplan	Arbetsyta	Brist på plats, tillgång till verkstad	Möte med handledaren	projektet färdigställs/grovt försenat	
	Sabotage/Stöld	Motorn saboteras eller stjäls	Förändringar i projektplan	Projektet kan inte slutföras	
	Gruppen	Bortfall av gruppmedlemmar/ Osämja	Möte med handledaren/Gruppkontrakt	Ökad arbetsbelastning	
	Förseningar	Delar och AGA Gas anländer inte inom tidsplanen	Diskussion med examinerator samt rådfrågning	Försening	
	Uteblivna komponenter	Gas från AGA samt andra nödvändiga specialdelar uteblir.	Göra på gasol istället	Ej uppnådda mål	
Farliga ämen	Metan*	Läckage från tub/koppling	Välventilerat	Brandfarligt, explosionsrisk samt högt	
		Läckage från motorn	Välventilerat	Brandfarligt, explosionsrisk	
		Gas under tryck	Hanteras med försiktighet	Explosionsrisk	
	Rengöringsvetskor	Farliga för ögon och hud	Skyddshandskar	Irritation på hud och i ögon	
	Avgaser*	Förbränning av kolväte	Om inomhus krävs god ventilation	Irritation i luftrör, giftigt	
Motor	Rörliga delar	Utgående vevaxel	Skyddande plåt, förhindrar lösa delar	Fysisk skada på person och egendom	
	Varma delar	Avgassystem och cylinder	Skyddande plåt, förhindrar direkt kontakt	Fysisk skada på person och brand	
	Buller	Högt ljud från odämpat avgassystem	Hörselskydd	Hörselskador och störa omgivning	
Arbetsutrustning och verktyg		Maskinpark i EXP	Gå säkerhetskurs och vidta försiktighet	Personskada	
		Mindre handverktyg och elverktyg	Gå säkerhetskurs och vidta försiktighet	Personskada	

- För grönmärkade rutor antas åtgärder som tillämpas vara mer än tillräckligt för att arbetet kan utföras.
- För gulmärkade rutor antas risken fortfarande så låg att arbetet kan utföras, men att ytterligare åtgärder hindrar normalt arbete och kan bli kostsamt. Exempel på kostsamma åtgärder är att införskaffa EX-klassad utrustning och/eller att använda gasvarnare.

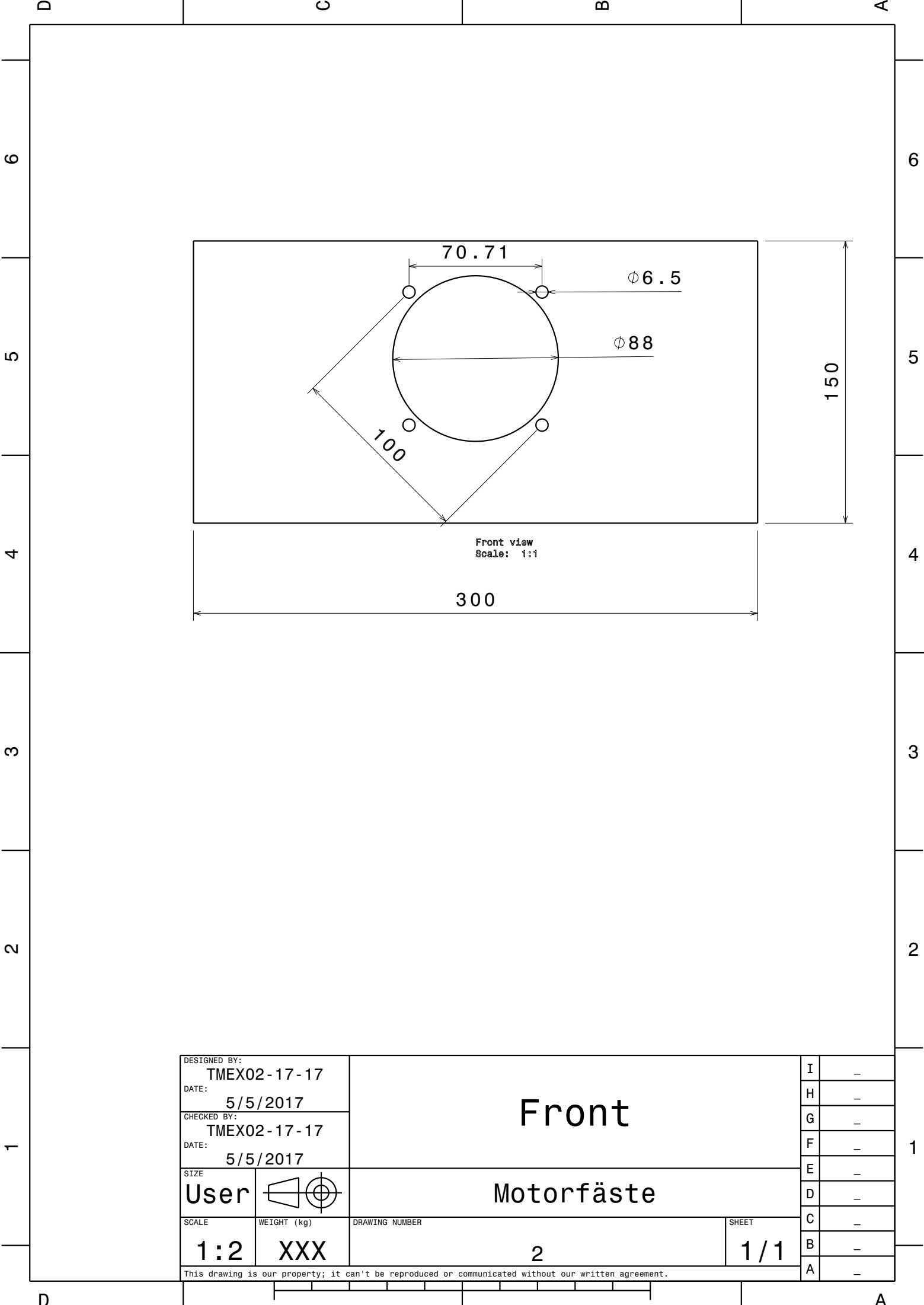
D Ritningar motorfäste till bromsbänk

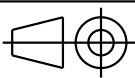
Se följande sidor.

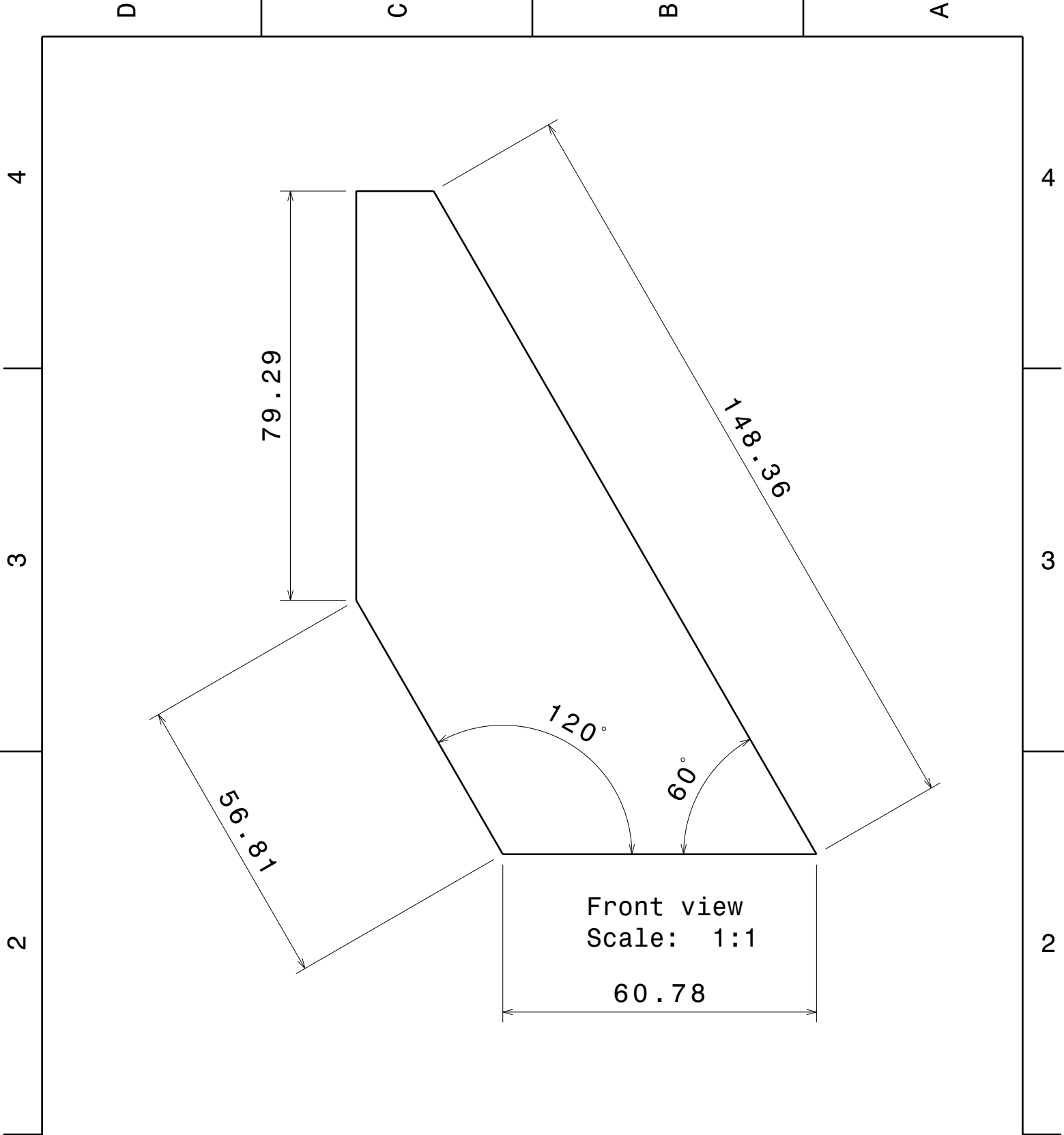


Front view
Scale: 1:1

DESIGNED BY: TMEX02-17-17 DATE: 5/5/2017		Botten		I	-
CHECKED BY: TMEX02-17-17 DATE: 05/05/2017				H	-
				G	-
				F	-
				E	-
SIZE User		Motorfäste		D	-
SCALE 1:2	WEIGHT (kg) XXX			C	-
		DRAWING NUMBER 1	SHEET 1/1	B	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				A	-

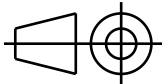


DESIGNED BY: TMEX02-17-17		Front		I	-
DATE: 5/5/2017				H	-
CHECKED BY: TMEX02-17-17				G	-
DATE: 5/5/2017		Motorfäste		F	-
SIZE User				E	-
SCALE 1:2	WEIGHT (kg) XXX			D	-
		2		C	-
				B	-
		1/1		A	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					



DESIGNED BY:
TMEX02-17-17
DATE:
5/5/2017
CHECKED BY:
TMEX02-17-17
DATE:
5/5/2017

SIZE
A4



SCALE
1:1

WEIGHT (kg)
XXX

DRAWING NUMBER
3

SHEET
1/1

Vinkel

Motorfäste

I	—
H	—
G	—
F	—
E	—
D	—
C	—
B	—
A	—

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A