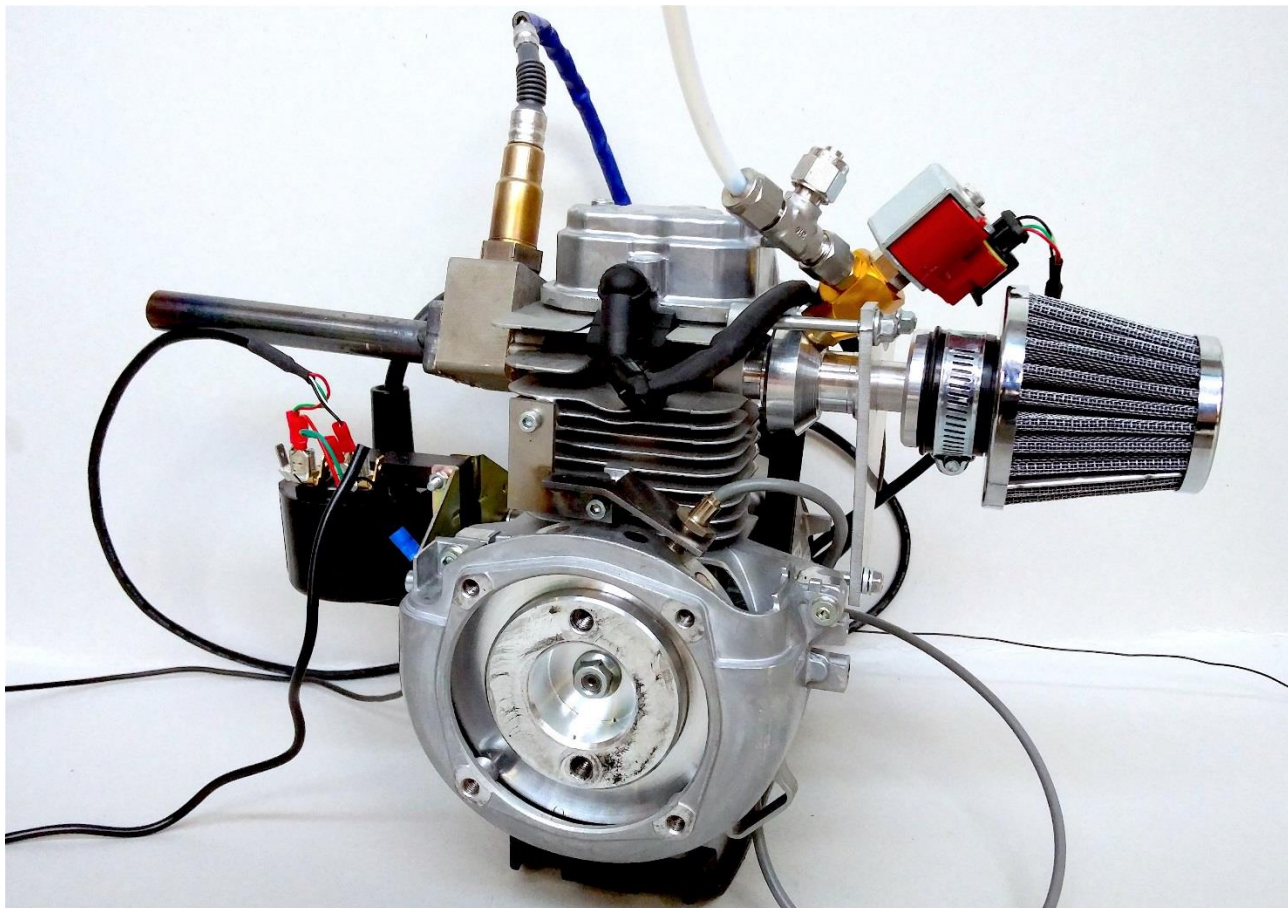




CHALMERS



Förbränning av biogas/metan i en EcoMarathonmotor

Kandidatarbete inom Tillämpad mekanik

DAN ANDERSSON

FELIX ERIKSSON

HENRIK KARLSSON

AXEL NIKLASSON

BJÖRN STEINWALL JIVENBERG

ANTON STENSTRAND

Institutionen för Tillämpad mekanik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2016

Förbränning av biogas/metan i en EcoMarathonmotor

Kandidatarbete i Tillämpad mekanik

DAN ANDERSSON
FELIX ERIKSSON
HENRIK KARLSSON
AXEL NIKLASSON
BJÖRN STEINWALL JIVENBERG
ANTON STENSTRAND

Institutionen för Tillämpad mekanik
Avdelningen för förbränning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2016

Förbränning av biogas/metan i en EcoMarathonmotor
Kandidatarbete i Tillämpad mekanik
DAN ANDERSSON
FELIX ERIKSSON
HENRIK KARLSSON
AXEL NIKLASSON
BJÖRN STEINWALL JIVENBERG
ANTON STENSTRAND

© DAN ANDERSSON, 2016
© FELIX ERIKSSON, 2016
© HENRIK KARLSSON, 2016
© AXEL NIKLASSON, 2016
© BJÖRN STEINWALL JIVENBERG, 2016
© ANTON STENSTRAND, 2016

Kandidatarbete 2016:04
ISSN 1654-4676
Institutionen för Tillämpad mekanik
Avdelningen för förbränning
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Den konverterade motorn.

Tryckt av Chalmers Reproservice AB
Göteborg, Sverige 2016

Tack till

Vi vill tacka vår handledare Sven B. Andersson för hans ovärderliga engagemang och inspirerande framtoning. Vi vill även rikta ett stort tack till följande personer för deras assistans under arbetet: Petter Dahlander, Jan Bragee, Reine Nohlborg, Anton Kjellin och Alf Magnusson.

Abstract

This report is about the process of converting a petrol-fuelled Honda GX35 engine to run on methane gas. The future goal is to use the engine in the engineering competition Shell Eco-marathon, where the aim is to drive a vehicle as far as possible with a set amount of fuel.

To enable methane fuelling, the carburetor of the GX35 was replaced with a gas fuel injector from the engine accessory company Ecotrons. This was attached to an aluminium intake pipe constructed by the project group. A new flywheel was constructed, equipped with twelve magnetic detection points instead of one for more accurate detection of the crankshaft position. A magnet was also attached to the upper cam pulley to enable position detection. The original exhaust system was replaced by a holder of a lambda sensor and a straight exhaust pipe. Together with the engine control unit (ECU) KATLA, developed earlier for a bachelor's thesis at Chalmers, this enabled detailed control of ignition and fuel injection, as well as measurement of the air-fuel ratio.

In order to test the engine with a load, a brake device was constructed. A moped was acquired, whose gearbox and rear brake was used to brake and gear down the output shaft of the methane engine. The flywheel of the methane engine was connected to the flywheel of the moped through a vibration reducing rubber disc and a steel adapter. The rear wheel of the moped was lifted from the ground with a support so that it could rotate freely. By doing this, the load of the engine could be controlled with the rear brake pedal of the moped.

Methane was not available for the project group, so the engine was tested with liquefied petroleum gas instead, which is another gaseous fuel. Before the engine was started, the flow rate through the gas injector was measured. This data was used to set the fuel parameters in the ECU. With some minor adjustments the engine ran well during testing.

Sammanfattning

Denna rapport beskriver utvecklingsarbetet för att konvertera en Honda GX35 bensinmotor till metangasdrift. Motorn är avsedd att i framtiden användas i ingenjörstävlingen Shell Eco-marathon, som går ut på att köra ett fordon längsta möjliga sträcka på en given mängd bränsle.

För att göra det möjligt att köra motorn på metan ersattes förgasaren med en gasinjektor från Ecotrons. Denna monterades i ett insugsrör konstruerat av projektgruppen. Ett nytt svänghjul utrustat med tolv magnetiska avläsningspunkter, som möjliggjorde mer noggrann detektering av vevaxelns position, konstruerades och tillverkades. En sensor monterades även på kändrevet i syfte att kunna mäta dess position. Originalavgassystemet byttes ut mot ett nykonstruerat med plats för lambdasond. Tillsammans med styrsystemet KATLA, utvecklat i ett tidigare kandidatarbete på Chalmers, möjliggjorde dessa komponenter detaljerad styrning av tändning och bränsleinsprutning samt mätning av luft- bränsleförhållandet.

I syfte att kunna testa motorn med en last konstruerades en bromsanordning. En moped införskaffades, vars växellåda och bakbroms användes för att växla ned och bromsa metangasmotorns utgående axel. Metangasmotorns nykonstruerade svänghjul kopplades via en vibrationsdämpande gummiskiva och en stäladapter till mopedmotorns svänghjul. Mopedens bakhjul lyftes från marken med en ställning och läts rotera fritt. På så vis kunde metangasmotorns last kontrolleras via mopedens bakbromspedal.

Eftersom metangas inte fanns tillgängligt för projektgruppen testkördes motorn istället med gasol, som är ett annat gasformigt bränsle. Innan provstarten mättes volymflödet genom injektorn och massflödet beräknades sedan. Detta användes för att ställa in bränsleparametrarna i styrsystemet. Efter justeringar vid första provstarten gick motorn jämnt.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Förutsättningar	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Ottomotorns princip	3
2.2	Tändsystem	4
2.3	Bränsleinsprutning	5
2.4	Bränsleegenskaper för metangas jämfört med bensen	5
2.5	Luft-bränsleförhållande	6
2.6	Styrsystem för motorer med bränsleinsprutning	6
2.7	Kam- och vevaxelsensor	6
2.8	Säkerhetsrisker vid användande av metangas	7
3	Uppgift och problem	9
3.1	Shell Eco-marathons regelverk	9
3.2	Insug	9
3.3	Avgasrör	9
3.4	Styrsystem	10
3.5	Regulator	10
3.6	Tändning	10
3.7	Bromsanordning till motorn	10
4	Design, konstruktion och tillverkning	11
4.1	Insug	11
4.2	Insprutning	13
4.3	Avgasrör	13
4.4	Styrsystem och sensorer	14
4.5	Svänhjul	14
4.6	Tändning	16
4.7	Bromsbänk	17
5	Testning	19
5.1	Styrsystem och sensorer	19
5.2	Bromsbänk	19
5.3	Bensinmotor med styrsystem	20
5.4	Flödesmätning på injektorn	20
5.5	Metangasmotor på gasol	21
6	Diskussion och slutsats	23
	Bilaga A Riskanalys	29
	Bilaga B Shell Eco-marathon regler	30
	Bilaga C Morfologisk Matris	32

Bilaga D	Kravspecifikation	34
Bilaga E	Ritningar	35
E.1	Insugsrör	35
E.2	Monteringsfläns	36
E.3	D-nippel	37
E.4	Adapter	38
E.5	Avgasfläns	39
E.6	Fäste för lambdasond	40
E.7	Svänghjul	41

Begrepp

Avgastakt	Den takt där motorn ventilerar ut avgaser från cylindern.
Avgasventil	Ventil som öppnar och stänger motorns avgasport, vilket gör att förbränningskammaren kan ventileras från avgaser.
BTDC	Before Top Dead Center, före övre dödläge, vevaxelvinkel innan högsta punkten för kolven.
CAD	Crank Angle Degrees, vevaxelvinkel i grader.
CATIA	Datormodelleringsprogram för 3D-objekt.
CNG	Compressed Natural Gas, komprimerad naturgas, vars största beståndsdel är metan.
Expansionstakt	Den takt då de förbrända gaserna expanderar.
Förtändning	Antal vevaxelgrader innan TDC som tändningen ger gnista.
Förgasare	Motorkomponent som doserar och finfördelar bränsle i insugsluften.
GT-POWER	Programvara för motorsimulering.
Honda GX35	35-kubiks ottomotor, den motor som används i projektet.
Injektor	Elektriskt styrd ventil som sprutar in bränsle i motorn.
Insugstakt	Den takt där motorn suger in luft-bränsleblandningen i cylindern.
Insugsventil	Ventil som öppnar och stänger insugsporten i motorn, vilket gör att luft-bränsleblandningen kan sugas in i förbränningskammaren.
Kamaxel	Motorkomponent som styr insugs- och avgasventilernas öppning och snurrar hälften så snabbt som vevaxeln.
KATLA	Styrsystem för en förbränningsmotor utvecklat på Chalmers.
Knackning	Icke önskvärd självantändning av bränsle på grund av högt tryck i cylindern.
Lambdavärde	Standardiserat värde mellan luft- och bränslemängd. Antar värdet 1 vid optimal förbränning.
Bränslemapp	En matris för den bränslemängd som skall tillföras vid specifika insugstryck och motorvarvtal.
MAP-sensor	Manifold Absolute Pressure, lufttryckssensor för att mäta trycket i insuget.
O-ring	Tätning som består av en gummiring.
Oktantal	Mått på bränslens förmåga att stå emot självantändning under kompression.
Ottomotor	En fyrtaktsmotor med tändstift.
Shell Eco-marathon	Ingenjörstävling som går ut på att maximera bränsleeffektivitet hos ett fordon.
Stroboskop	Ett instrument som sänder ut ljuspulser för att lysa upp ett föremål vilket möjliggör observationer av dess rörelse eller hastighet.
Styrsystem	Ett system som styr bränsleinsprutning, tändning och/eller fler motorfunktioner.
TDC	Top Dead Center, övre dödläge, vevaxels position då kolven står som högst upp.
Trottell	Ett spjäll som möjliggör en varierbar begränsning av motorns luftintag.
Vevaxel	Motorkomponent som omvandlar kolvens linjära rörelse till rotation.
Vevstake	Anslutning mellan kolv och vevaxel.
Värmetal	Ett mått på tändstifts värmeledningsförmåga.

1 Inledning

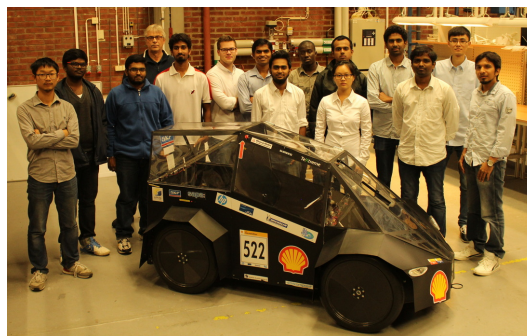
Denna rapport beskriver ett arbete vars mål är att konvertera en bensinmotor till biogasdrift. I detta kapitel redogörs först för bakgrunden och syftet med projektet för att sedan gå in på vilka förutsättningar som fanns samt vilka avgränsningar som gjordes. Konverteringen till metangas av motorn i fråga har tidigare inte utförts vid Chalmers tekniska högskola. Således finns stora förhoppningar om att arbetet ska kunna bli en utgångspunkt för framtida projekt och vidareutveckling inom området.

1.1 Bakgrund

Under större delen av bilens historia har ottomotorn varit den dominerande motortypen. Denna förbränningsmotor kan användas med flertalet olika bränslen. Idag är bensin vanligast, men alternativ som fotogen och gengas har också använts i perioder då bensin har varit svårtillgängligt.

Den fossila råoljan som används för att tillverka bensin och diesel är en ändlig resurs. De senaste decennierna har också den ökade växthuseffekten som råoljekonsumtion medför uppmärksammats. Detta har gjort att andra bränslealternativ blivit aktuella igen. Biogas, vars största beståndsdel är metangas, kan framställas från matavfall och annat organiskt avfall genom rötning. Detta innebär att biogas klassas som ett förnyelsebart bränsle.

Shell Eco-marathon, en tävling för ingenjörstudenter som går ut på att köra ett fordon så långt som möjligt på en given mängd bränsle, har nyligen startat en metangasklass för att uppmärksamma alternativa bränslen. Tävlingen delas upp i bränsle- och fordonsklasser. Chalmers Vera Team [1] har sedan 2006 deltagit i fordonsklassen Prototype, där målet endast är bränsleeffektivitet och ingen vikt läggs vid komfort och användbarhet. Den andra fordonsklassen, UrbanConcept, fokuserar på mer användarvänliga fordonslösningar, men fortfarande med bränsleekonomi som huvudmål [2]. Chalmers EcoSmarter [3] har sedan 2009 tävlat i UrbanConcept med bensin- och etanoldrivna fordon, se Figur 1.



Figur 1: Chalmers EcoSmarter ¹

¹Bildkälla: <http://www.chalmerscosmarter.com/>

Chalmers har sedan några år tillbaka jobbat med att producera egen biogas vid Chalmers Kraft-central som ett steg i skolans vision om en hållbar framtid. En möjlighet att ta till vara på denna resurs är att driva EcoSmarters fordon på biogas/metan och därför undersöks nu hur detta kan realiseras.

EcoSmarters tävlingsfordon drivs av modifierade motorer ur Hondas GX-serie. Denna motorserie är väl beprövad och har även använts som utgångsmotor i ett flertal tidigare projekt på Chalmers och är således en bra grund även för de modifieringar som ämnas att göras i detta projekt.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att konvertera en Honda GX35 från bensindrift till metangasdrift och tillse att motorn uppfyller Shell Eco-marathons regelverk.

1.3 Förutsättningar

Som utgångspunkt för projektet tillhandahölls två Honda GX35-motorer och en lambdasond av Institutionen för Tillämpad mekanik vid Chalmers Tekniska Högskola. Honda GX35 är en fyrtaktsmotor med överliggande kamaxel, förgasare och en cylindervolym på 35 kubikcentimeter. Motorn används redan av EcoSmarter, vilket betyder att deras fordon inte behöver modifieras avsevärt för att använda metangasmotorn.

Styrsystemet KATLA, framtaget på Chalmers Tekniska Högskola som ett kandidatarbete, erbjöds för projektet. Styrsystemet är konstruerat för Chalmers Vera Team och är designat för att användas på encylindriga motorer utan trottelt. Därmed finns ingen möjlighet att begränsa motorns varvtal på annat sätt än att lägga på en last. Då styrsystemet används av Chalmers Vera Team finns stor kompetens tillgänglig.

1.4 Avgränsningar

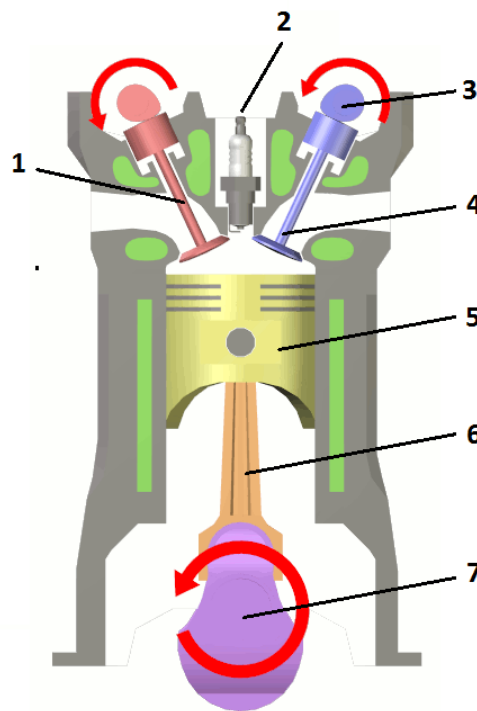
Inom projektets ramar låg att köpa och tillverka de komponenter som krävdes för att driva motorn på metan, samt att använda en bromsanordning så att motorn kunde provstartas. Shell Eco-marathons regler angående säkerhetsföreskrifter, samt de regler som ställs på bränsletillförsel vad gäller mängd och tryck, sågs som krav för projektet. Däremot anpassades inte motorn fullt ut för att appliceras i ett tävlingsfordon utan vidareutveckling.

2 Teori

För att ge en kunskapsgrund för projektet ges här en förklaring av den bakomliggande teorin. Den behandlar motorns komponenter och arbetscykel samt tillhörande system.

2.1 Ottomotorns princip

En fyrtakts ottomotor använder energin som frigges då bränsle förbränns genom att utnyttja den tryckökning som uppstår på grund av temperaturökningen. Tryckökningen pressar ned en kolv som via en vevstake driver en vevaxel. Detta sker i cykler som omfattar fyra så kallade takter. Varje takt motsvarar ett halvt varvs rotation hos vevaxeln, och därmed en rörelse antingen upp eller ned för kolven. Öppning och stängning av insugs- och avgasventilerna styrs av kamaxeln som roterar med halva rotationshastigheten jämfört med vevaxeln, det vill säga en fjärdedels varv per takt [4]. Övergripande motorkomponenter visas i Figur 2.



Figur 2: Generella motorkomponenter. 1: Insugsventil, 2: Tändstift, 3: Kamaxel, 4: Avgasventil, 5: Kolv, 6: Vevstake, 7: Vevaxel ¹

¹Bildkälla: https://en.wikipedia.org/wiki/Four-stroke_engine

Insugstakt

Under insugstakten är insugsventilen öppen samtidigt som kolven rör sig nedåt i cylindern. Detta skapar undertryck vilket leder till att luft-bränsleblandningen sugs in genom insugsporten i cylindern. Se Figur 3. A

Kompressionstakt

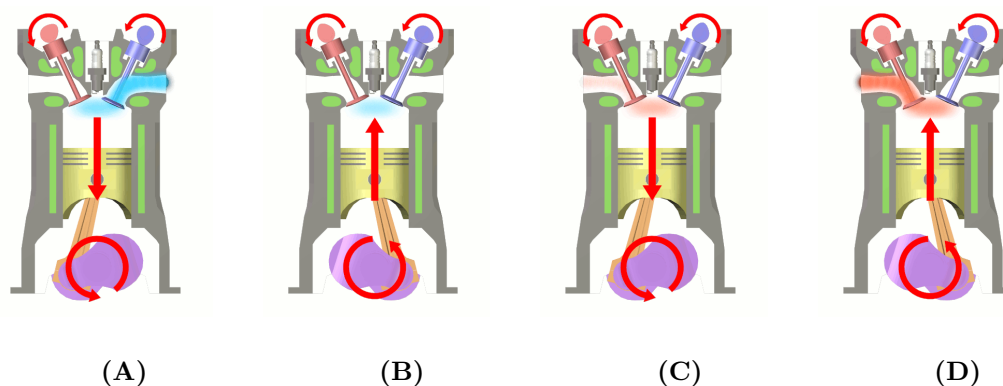
Insugsventilen stängs och kolven rör sig uppåt, vilket komprimerar luft-bränsleblandningen. Strax innan kolven nått sin översta position (TDC, Top Dead Center), antänds blandningen med hjälp av en gnista från tändstiftet. Se Figur 3. B

Expansionstakt

Då kolven åter börjar röra sig nedåt accelereras den av den brinnande gasens expansion. Det är under denna takt arbete utvinns. Se Figur 3. C

Avgastakt

Avgasventilen öppnas och kolvens uppåtrörelse trycker ut avgaserna genom avgasporten, vilket bereder motorn för att påbörja nästa cykel. Se Figur 3. D



Figur 3: Ottomotorns fyra cykler. (A) Insugstakt, (B) Kompressionstakt, (C) Expansionstakt, (D) Avgastakt ²

2.2 Tändsystem

För att antända luft-bränsleblandningen använder ottomotorn sig av ett tändstift. Tändstiftet består av två stycken elektroder med ett visst avstånd mellan varandra, även kallat gnistgap. Genom att anlägga en stor spänning, vanligen i storleksordningen 10kV - 50kV, på dessa elektroder bildas en gnista mellan dem vilket antänder luft-bränsleblandningen.

Tändstift har ett angivet värmetal som beskriver tändstiftets värmeledningsförmåga. Ett kallt stift har en högre värmeledningsförmåga och leder därför bort mer värme från tändstiftets elektrod. Är stiftet för kallt under drift bildas kol i form av koks på elektroden vilket försämrar gnistbildningen. Ett för varmt stift leder till att för mycket värmeenergi ackumuleras i elektroden vilket kan innebära att den smälter och detta kan orsaka skador på motorn. Det optimala stiftet med hänsyn till prestanda, verkningsgrad och driftsäkerhet är ett så varmt stift som möjligt utan att riskera smältning [5].

²Bildkälla: https://en.wikipedia.org/wiki/Four-stroke_engine

Ett bensindrivet fordon använder sig normalt av ett elsystem på 12 volt och kräver därför en tändspole för att åstadkomma tillräckligt hög spänning för att det ska bildas en gnista mellan elektroderna på tändstiftet. Tändspolen är en transformator med två lindningar, en primärlindning och en sekundärlindning. Förhållandet mellan antal lindningsvarv i spolarna är detsamma som kvoten av in- och utspänningen. Genom att skicka en ström genom primärlindningen och sedan bryta den så omvandlas energin i magnetfältet till en ström med hög spänning i sekundärlindningen som sedan överförs via tändkabeln till tändstiftet [4].

Vevaxeln roterar 360 vevaxelgrader (CAD, Crank Angle Degrees) under ett varv. Tändningen ger gnista ett visst antal grader innan kolven når toppen av cylindern (BTDC, Before Top Dead Center). Detta kallas förtändning och är en justerbar motorparameter. Ofta används så kallad wasted spark, vilket innebär att gnista uppstår varje varv, det vill säga under både kompressions- och avgastakten. Ett sådant system behöver endast kännedom om när vevaxeln är i rätt position för tändning, och inte huruvida motorn är på kompressions- eller avgastakten. För att undvika wasted spark behöver tändningens styrning en insignal från exempelvis kamaxeln.

Vid byte av bränsle finns en risk att det uppstår så kallad knackning vilket innebär oavsiktlig antändning av bränslet på grund av kompressionen. Det innebär att bränslet antänds tidigare än avsett och ger upphov till ett karaktäristiskt knackande ljud och kan orsaka skador på motorn. Förekomsten av knackning kan kontrolleras med antingen en så kallad knacksensor, som detekterar vissa vibrationsfrekvenser typiska för motorn, eller med ett tränat öra.

2.3 Bränsleinsprutning

I de flesta moderna ottomotorer används elektroniskt styrd bränsleinsprutning för att dosera bränslet till motorn. Detta system är mer noggrant än förgasaren som förr var standard i fordonsindustrin men fortfarande används på mindre motorer.

Den komponent i bränsleinsprutningssystemet som sprutar in och finfördelar bränslet kallas spridare eller injektor. Spridaren är en elektroniskt styrd ventil, som öppnar då en spänning läggs på den från motorns styrsystem. Bränslet är trycksatt vilket medför att vid spridarens öppnande flödar bränsle genom den. Spridaren kan sitta monterad direkt i förbränningskammaren, så kallad direktinsprutning, eller i luftintagsröret vid insugsventilen, vilket kallas portinsprutning. Direktinsprutning ställer högre krav på insprutningskomponenterna på grund av att ett mycket högre insprutningstryck krävs [6]. På en motor som inte ursprungligen är byggd för direktinsprutning fordrar det också potentiellt försvagande modifieringar i cylindertopplocket.

2.4 Bränsleegenskaper för metangas jämfört med bensen

Metangas bränsleegenskaper skiljer sig i vissa avseenden från bensen. Till exempel krävs en starkare gnista, vilket åstadkoms med hjälp av en högre spänning över tändstiftet, för att antända metan jämfört med bensen [5]. Oktantalet, vilket är ett värde på hur svårt det är att få bränslet att självantända, ligger på 120 jämfört med bensen som oftast ligger på 95 [4]. Detta innebär att högre kompression är möjlig utan risk för knackning. Optimal luft-bränsleblandning för bensen är 14.7:1 och optimal luft-bränsleblandning för metan är 14.5:1 [7].

2.5 Luft-bränsleförhållande

Det viktmissiga förhållandet mellan luft och bränsle betecknas AFR (Air-Fuel Ratio) och är specifikt för olika bränslen. AFR ges av ekvationen

$$AFR = \frac{m_{luft}}{m_{bränsle}}$$

Vid stökiometrisk förbränning omvandlas allt bränsle till vatten och koldioxid. Luft-bränsleförhållandet då detta sker betecknas AFR_{stok} . För att mäta hur nära förbränningen i motorn kommer stökiometrisk förbränning används lambdavärdet som är normerat enligt

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_{stok}}$$

Ökar syretillförseln i förhållande till bränsletillförseln blir lambdavärdet större och om det omvända sker minskar lambdavärdet [4].

En lambdasond mäter mängden syre i avgaserna och placeras i avgasröret till motorn. Sensorn placeras på ett avstånd från motorn som beror på avgastemperaturen, då sonden måste uppnå en viss arbetstemperatur för att ge ett korrekt värde. Vissa lambdasonder har även en föruppvärmning i form av en elektrisk slinga för att sonden ska uppnå arbetstemperatur snabbare [7]. Lambdavärdet används ofta i en reglerloop i styrsystemet för att justera mängden insprutat bränsle, men kan även användas för uppmätning av luft-bränsleförhållandet.

2.6 Styrssystem för motorer med bränsleinsprutning

Ett styrsystem för en motor är vanligtvis ett reglersystem som kontrollerar motorns gång. Systemet ger signaler till motorns tändsystem och injektor så att gnista och insprutning av bränsle sker vid rätt tidpunkt. För att kunna ge signaler vid rätt del i cykeln behövs information om motorns position vid olika tidpunkter. Därmed kräver styrsystemet ett flertal sensorer på motorns rörliga delar för att tillhandahålla denna information. Reglersystemet använder sig ofta även av en MAP-sensor som mäter trycket i insuget och en lambdasond som mäter mängden syre i avgaserna. Detta tillsammans med information om motorns varvtal och position används i en reglerloop för att avgöra tiden som injektorn ska vara öppen. Ett styrsystem för ett fordon kan även innehålla funktionaliteter för att informera föraren av fordonet om eventuella problem och även för att stänga av motorn i nödfall för att skydda mot haveri.

2.7 Kam- och vevaxelsensor

Ett digitalt styrsystem kräver information om var i cykeln motorn befinner sig för att kunna ge de signaler som krävs för tändning och injektor vid rätt tidpunkt. Denna information fås vanligtvis genom att utnyttja två sensorer. En sensor placeras vanligtvis på kamaxeln och ger utslag en gång per cykel och en placeras på vevaxeln och ger utslag flertalet gånger per cykel.

Kamaxelsensorn ger exakt information om var i cykeln motorn befinner sig genom att positionen för sensorn i förhållande till TDC på kompressionstakten mäts. Därmed fås en exakt position för vevaxeln en gång varje cykel vilket används för att synkronisera styrsystemet.

Vevaxelns position mäts ofta på svänghjulet som kan ha flera avkänningspunkter. Det ger styrsystemet information om hur snabbt motorn roterar vid en given tidpunkt. För att ge styrsystemet information om vilken position vevaxeln har kan till exempel en så kallad missing tooth, vilket är en saknad avkänningspunkt på svänghjulet, användas som referens.

2.8 Säkerhetsrisker vid användande av metangas

Metangas är en lukt- och färglös gas som klassas som extremt brandfarligt med faroklass F+ [8]. Uppkommer brand ska den släckas med hjälp av pulver- eller kolsyresläckare. När metangas används inomhus är det viktigt med god ventilation i lokalen så att eventuella läckage snabbt kan ledas ut. I och med att metangas är lättare än luft stiger den uppåt. Detta är en fördel då gasen inte koncentreras längs med marken som till exempel vid läckage av flytande bränslen. Detta faktum ger alltså en minskad risk för förödande bränder och personsador. Risken för läckage är däremot större jämfört med bensin på grund av metans mindre molekylstorlek. Att bränslesystemet är väl tätat är alltså av stor vikt för säkerheten.

Att andas in metangas är inte farligt om det sker i låga doser. Symptom som kan uppkomma är illamående, huvudvärk och andningssvårigheter. Vid högre doser finns det risk för medvetslöshet. Skulle en person påvisa något av symptomen är det viktigt att få tillgång till frisk luft och att inta en position som tillåter obehindrad andning.

3 Uppgift och problem

Denna del av rapporten avser att dela upp projektet i de delproblem som identifierats under projektets gång. De problem som identifierats var både av teoretisk och praktisk karaktär. Av dessa är styrsystem, insug, tändning och insprutning sammankopplade. Övriga delproblem hade ingen eller liten påverkan på varandra. De delproblem som identifierades för konvertering av Honda GX35 till metangasdrift följer i underrubrikerna.

3.1 Shell Eco-marathons regelverk

Shell Eco-marathon har ett stort antal regler för motorn och dess kringutrustning [9]. Ju större utsträckning motorn uppfyller dessa regler desto mer praktisk nytta har projektet för Chalmers EcoSmarter, eftersom målet är att i framtiden kunna använda den metangaskonverterade motorn i deras fordon. De säkerhetsrelaterade reglerna ansågs vara av högre prioritet än övriga regler, varför störst vikt lades vid dessa.

De regler som var av högst relevans finns i Bilaga B. Dessa artiklar innehåller de fakta som var av intresse för projektet och har översatts från engelska till svenska. Det fullständiga regelverket [9] återfinns under referenser och har även använts vid konceptval. Hur och i vilken omfattning dessa tas hänsyn till kan ses i kravspecifikationen, Bilaga D.

3.2 Insug

För att tillåta metangasdrift fordrades omkonstruktion av insugssystemet eftersom metan, till skillnad från bensen, är gasformigt. Förgasaren behövde tas bort eller modifieras, och för att kunna kontrollera gasflödet behövdes någon slags ventil/injektor. Ett antal problemområden identifierades kring insuget:

- Injektorns position i insuget behövde bestämmas så att luft-bränsleblandningen skulle bli så homogen som möjligt.
- Insugets infästning på motorn behövde designas.
- Det behövde tillses att det inte förekom läckage av metangas från insuget.
- Injektorn behövde vara anpassad för de tryck som specificeras av regel 68 i Bilaga B.

3.3 Avgasrör

För att mäta luft-bränsleförhållandet i motorn behövde en lambdasond monteras. Originalavgassystemet var tillverkat med för tunt gods och var för kompakt för att enkelt tillåta montering av en lambdasond. Det ansågs därför nödvändigt att tillverka ett nytt avgassystem med ett lambdasondsfäste. Det nya avgassystemet behövde konstrueras för att skapa ett jämnt avgasflöde vid lambdasonden.

3.4 Styrssystem

Då ett tändsystem med justerbar förtändning och en injektor identifierades som behov för motorn uppkom även ett behov av att styra dessa med någon form av styrsystem. Det ansågs viktigt att styrsystemet skulle kunna hantera och visa data från en lambdasond då det skulle underlätta inställningen av motorn. Injektor, tändsystem och styrsystem måste vara kompatibla med varandra. Detta ledde till att ett styrsystem antingen behövde konstrueras eller införskaffas.

För att ett styrsystem ska kunna ge signaler till tändning och injektor vid rätt tidpunkt krävs information om motorns position vid en given tidpunkt. Därmed behövdes även en lösning för att leverera denna information till styrsystemet.

3.5 Regulator

Vid Shell Eco-marathon-tävlingar används en gastub med trycket 70 bar som regleras ner till tre bar absoluttryck med en regulator specifik för tävlingen. Dessa gastuber och regulatorer tillhandahålls av arrangören under tävlingen, och fanns därför inte tillgängliga under detta projekt. Det ansågs viktigt att lösningen skulle vara anpassningsbar till regulatorn som används i Shell Eco-marathon, det vill säga att infästningar och munstycken är utbytbara.

3.6 Tändning

Två problem identifierades för tändningen. Dels det faktum att originalmotorn är konstruerad med fast förtändning, vilket innebär att gnista ges vid samma position oavsett av varvtal. Detta är ett resultat av att tändspolen är fast monterad vid svänghjulet och strömmen induceras av två permanentmagneter som sitter ingjutna i svänghjulet. Med andra ord induceras spänningen vid en fast position varje varv och ger gnista på både kompressions- och avgastakt. Då metangas kräver en annan förtändning på grund av sitt annorlunda förbränningsförlopp innebär detta att tändsystemet behövde modifieras eller omkonstrueras för att tillåta en variabel förtändning.

Det andra problemet är att det behövs andra egenskaper hos tändstiftet för att det ska klara av att leda bort värme som annars skulle lagras i det.

3.7 Bromsanordning till motorn

Vid experiment och testning på motorer är det inte praktiskt eller säkert att montera motorn i ett fordon för provkörning. En bättre metod är att använda en stationär anordning som kan belasta motorn och därigenom simulera de förhållanden motorn ställs inför under användning i ett fordon. Därför avsågs att genomföra motortesterna i en bromsbänk. Där kan även lasten på motorn kontrolleras och varieras under provkörningen. Bromsbänkens och motorns reglage bör placeras så att de kan manövreras utan risk för personskada.

4 Design, konstruktion och tillverkning

För att lösa de problem som identifierades i avsnitt 3 krävdes omkonstruktion och inköp av flertalet motorkomponenter. Dellösningar togs fram under konstruktionsfasen och utvecklades parallellt för att sedan kombineras till ett helhetskoncept. Det helhetskoncept som tagits fram för metangaskonvertering av Honda GX35 innehåller omkonstruktion eller införskaffning av insug, insprutning, styrsystem, sensorer, svänghjul, tändning samt bromsbänk.

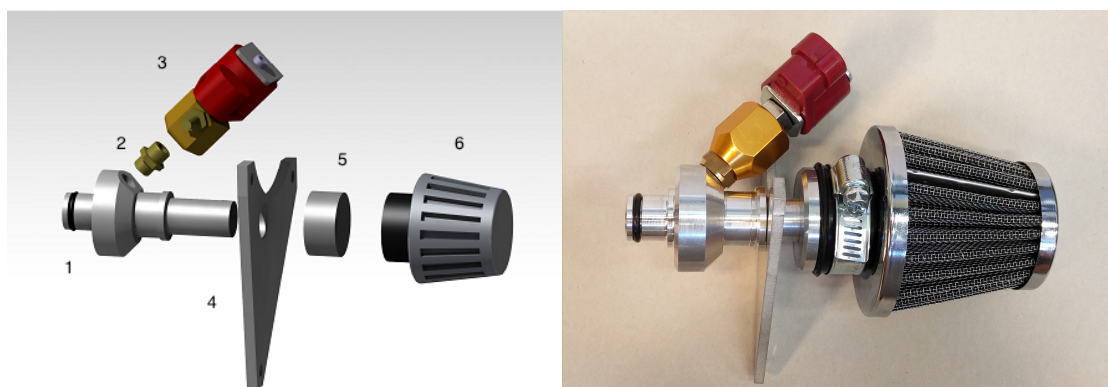
Insuget byggdes från grunden med infästning för injektor och luftfilter och fästes i hålen för förgasaren. För insprutning inhandlades en injektor och en fästordning tillverkades. Som styrsystem valdes KATLA vilket är avsett för otrottlade motorer och kräver signaler från kam- och vevaxel. Ett nytt svänghjul byggdes och magneter fästes för att fungera som mätpunkter. En ny tändspole, som har en högre utgående spänning än original, inhandlades. En bromsbänk tillverkades genom modifiering av en moped där metangasmotorn fästes på mopedens svänghjul och bakbromsen agerade bromsanordning för motorn. Samtliga komponenter modellerades i programvaran CATIA för att sedan tillverkas i Chalmers Prototypverkstad där även montering och mekanisk inställning skedde.

Nedan beskrivs de olika dellösningarna i större detalj med beskrivning av ursprungligt koncept, konstruktion samt tillverkning. Ritningar, i de fall sådan använts, återfinns i Bilaga E.

4.1 Insug

Grundidén för att föra in bränsleblandningen i motorn var att montera ett rakt rör i insugsporten som suger in luft med hjälp av motorns undertryck. En injektor för in metangas i röret som blandas med luften innan den går in i motorn. De problem som behövde lösas var hur insugsröret skulle fästas på motorn, hur injektorn skulle fästas på insugsröret samt hur luftintaget skulle se ut. För att komma fram till en design för insuget generades olika dellösningar som fördes in i en morfologisk matris, se Bilaga C. Med denna som grund valdes en dellösning för varje problemområde separat som tillsammans utgjorde ett helhetskoncept för insuget.

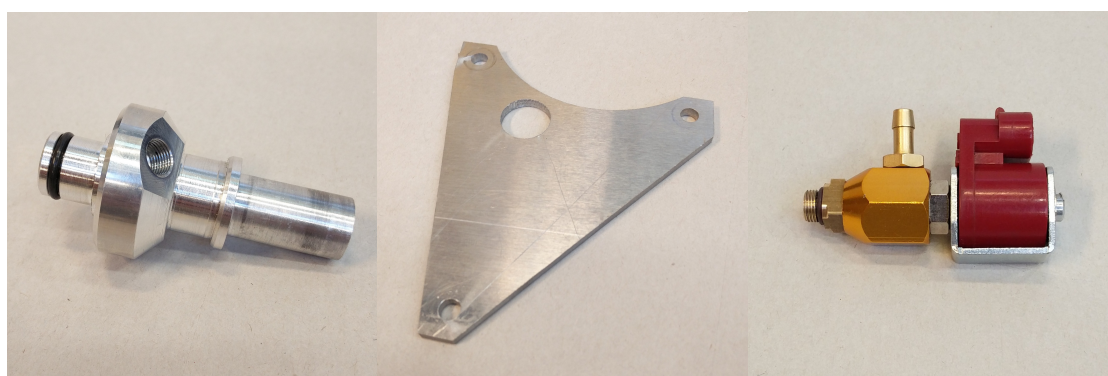
Konceptet designades som ett rör vilket spänns fast med hjälp av en fläns monterad i förgasarens gamla skruvhål, se Figur 4. För att tätat kring insugsporten gjordes ett o-ringspår i insugrörets ena ände. I röret möts de två gaserna, luften kommer in via luftfiltret och metangasen kommer snett uppifrån genom en injektor. För att metangasen ska blanda sig väl med luften placerades injektorn så nära motorn som möjligt. Injektorns infästning sker med en D-nippel som också fungerar som röranslutning och munstycke för metangasen. D-nippelns utformning förklaras ytterligare i avsnitt 4.2. För att förhindra att skräp och skadliga partiklar sugas in i motorn monterades ett sportluftfilter i änden av röret.



Figur 4: Datorritning av insuget och foto av den färdiga komponenten.
Delkomponenter: 1. Insugsrör, 2. D-nippel, 3. Injektor, 4. Monteringsfläns, 5. Adapter för luftfiltret, 6. Luftfilter

För att undersöka tillverkningsmetoder för konceptet konsulterades forskningsingenjör Jan Bragee från Chalmers Prototyplaboratorium. Det bedömdes att svetsning lätt kan få konstruktionen att slå sig, alltså att materialet vrider sig på grund av den höga värmen och förstör passformen. Det valdes att inte svetsa fast röret i flänsen utan klämma det på plats mot motorn med skruvarna för förgasarfästet. Eftersom ingen svetsning krävdes kunde material väljas utan att ta hänsyn till svetsbarhet. Den höghållfasta aluminiumlegeringen 7075 valdes eftersom den underlättar skärande bearbetning, ger högre korrosionsbeständighet och möjliggör en lättare konstruktion i jämförelse med stål.

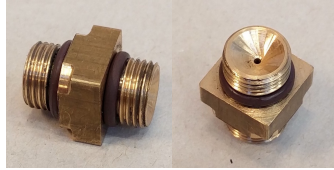
Insugsröret svarvades fram ur en 40 mm rundstång av aluminiumlegering 7075. Det borrades och gängades ett hål i 45 graders vinkel för injektorns placering. Monteringsflänsen tillverkades med hjälp av datorstyrd vattenskrining med 3D-modellen som mall. Den tillverkades av 4 mm tjock aluminiumplåt. Se Figur 5 för de färdigtillverkade komponenterna. För att luftfiltret skulle kunna monteras på röret krävdes att en adapter tillverkades eftersom röret har en diameter på 17 mm och luftfiltret 30 mm. Det svarvades en hylsa som låstes fast med en stoppskruv på röret. Luftfiltret fästes sedan med en slangklämma kring hylsan.



Figur 5: Färdigtillverkat insugsrör, monteringsfläns samt injektorn

4.2 Insprutning

Gasinjektorer beställdes från Ecotrons [10] enligt deras rekommendationer för Honda GX35. Injektorns nippel har ersätts med en D-nippel för att kunna montera injektorn stabilt i röret. En D-nippel är en nippel som är utvändigt gängad i båda ändar. En standardmodell var inte ett alternativ eftersom den befintliga nippeln också fungerar som ett munstycke. Munstycket i D-nippeln har samma inre diameter (1 mm) som originalet för att ge liknande gasflöde. D-nippeln (Figur 6) tillverkades av en fyrkantsstav i mässing som svarvades och gängades. För att tätas gjordes o-ringsspår innanför gängorna.



Figur 6: Färdigtillverkad D-nippel

4.3 Avgasrör

En ny lösning för att leda bort avgaser krävdes då en lambdasond skulle monteras. Två komponenter togs fram för att lösa detta. Ett monteringsfäste för lambdasonden samt ett rör med monteringsfläns som leder vidare avgaserna. Ett rakt avgasrör, utan ljuddämpning, kunde väljas i och med att Shell Eco-marathon inte har någon ljudbegränsning. Infästningarna till båda dessa komponenter designades efter de befintliga avgasfästena på cylindertoppen vilket gör att motorn även går att köra utan lambdasond såväl som med det dämpade originalavgassystemet.

Fästet för lambdasonden och avgasflänsen tillverkades med hjälp av vattenskärning då detta ansågs mest tidseffektivt och gav tillräckliga toleranser för applikationen. På avgasflänsen TIG-svetsades ett stål rör fast och på monteringsfästet borrades ett hål ner till avgaspassagen, detta hål gängades därefter enligt specifikationerna för lambdasonden. De färdigtillverkade komponenterna visas i Figur 7. För att förhindra avgasläckage i skarvarna mellan delarna användes monteringspasta avsedd för tätning av avgassystem [11].



Figur 7: Avgasrör, lambdasondsfäste och lambdasonden monterad i fästet

4.4 Styrsystem och sensorer

Styrsystemet KATLA [12] valdes för projektet. Det tillhandahölls av Institutionen för Tillämpad mekanik och är resultatet av ett tidigare genomfört kandidatarbete vid Institutionen för Data- och informationsteknik. Fördelarna med KATLA var dels flexibiliteten i att ha tillgång till källkoden och möjlighet till kontakt med skaparna och dels för att det hade de funktioner som efterfrågades. Det kunde kontrollera såväl tändning som en injektor för bränslesystemet. KATLAs största nackdel i detta projekt ansågs vara att det inte kan användas med en trottell, vilket innebär att motorns utgående effekt inte går att begränsa utan extern bromsning. Detta medförde att en bromsanordning för motorn var nödvändig. Dock ansågs fördelarna med KATLA uppväga de nackdelar som systemet bar med sig.

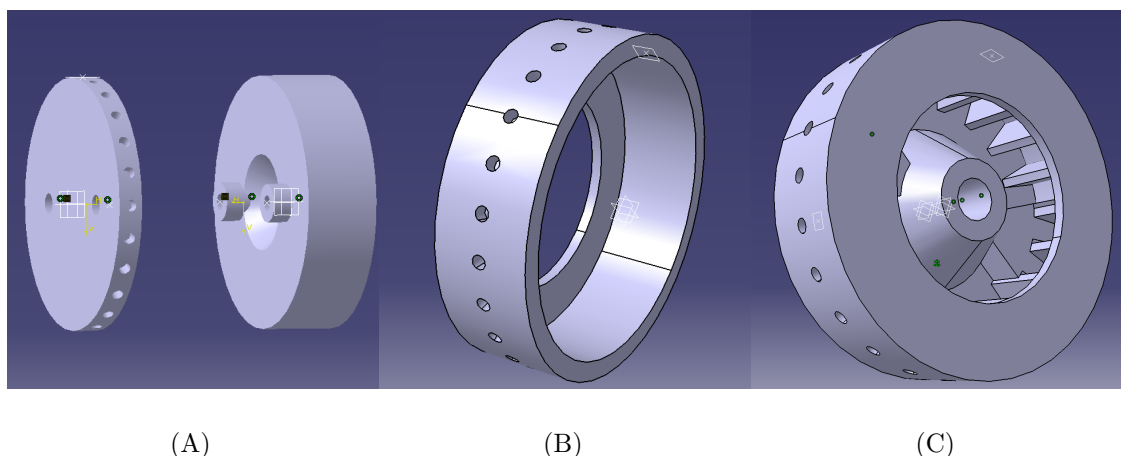
KATLA kräver två sensorer för att veta motorns läge, en på svänghjulet/vevaxeln och en på kamaxeln. För att sensorerna ska kunna ge information krävs väl utplacerade avläsningspunkter. Dessa placeras jämnt fördelade kring svänghjulet, där det är lämpligt med 12 eller 24 avläsningspunkter för att få ett jämnt antal graders mellanrum och samtidigt tillräckligt god precision. Avläsningspunkten för kamsensorn är fäst på kamdrevet och ger cykeln en referenspunkt till TDC. När sensorn ger utslag återställs vevaxelvinkeln i styrsystemet med en justerbar offset, vilket gör att punkten inte behöver vara exakt på TDC.

Två stycken halleffektsensorer [13] medföljde styrsystemet och ansågs vara adekvata för uppgiften. De ger utslag vid kontakt med ett magnetfält från en sydpol och neodymmagneter valdes därför som avläsningspunkter. Magneterna har en diameter på 8 mm och eftersom avståndet mellan magneterna måste vara tillräckligt stort för att sensorn ska kunna känna av signalskillnader har 12 avläsningspunkter valts. Detta eftersom svänghjulet har en omkrets på 327 mm, och vid val av 24 magneter skulle avståndet mellan magneterna blivit 5,7 mm vilket är mindre än bredden på sensorn [13]. Detta skulle resulterat i att sensorn alltid varit påverkad av en magnet. Vid 12 magneter blir avståndet mellan magneterna istället 19,25 mm vilket gör att pulser kan uppstå. För att montera magneterna på kamaxeln borrades ett hål i kamaxeldrevet där magneten limmades fast. För att fästa sensorn borrades och gängades ett M8x0.75-hål i ventilhuskåpan. Eftersom kåpans godstjocklek är ca 1,5 mm, vilket bara ger två gängvarv, monterades sensorn med gänglåsning.

Systemet har också möjligheten att mäta och logga värden från en lambdasond. Lambdasonden har i syfte att ge information om luft-bränsleblandning för att utgöra en grund för motorinställningar. Sonden som användes är en självuppvärmd bredbandslambdasond [7].

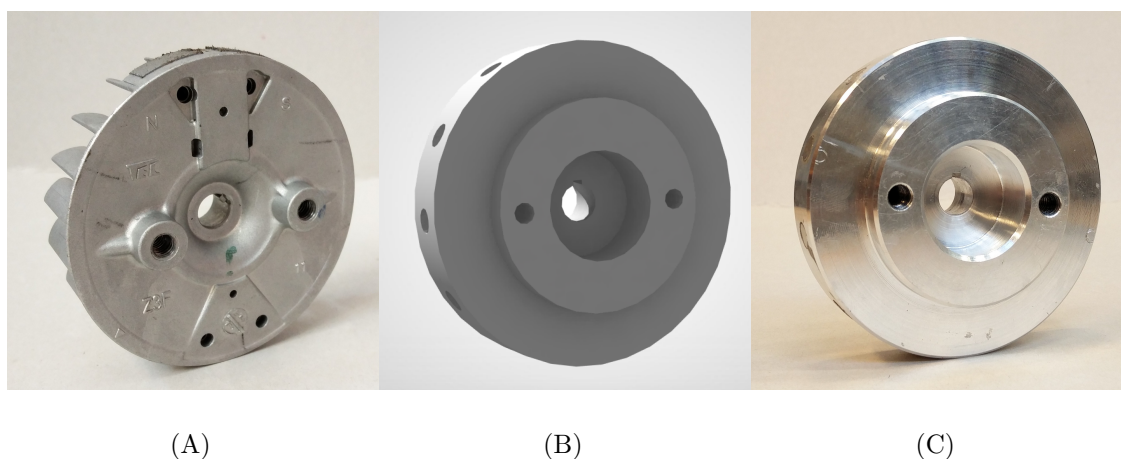
4.5 Svänghjul

Det undersöktes olika alternativ för hur de 12 magneterna skulle fästas på svänghjulet. Till en början granskades det befintliga svänghjulet i syfte att hitta fästpunkter för magneterna. Det fastslogs att monteringen skulle bli svår om inte någon modifikation gjordes. Det befintliga svänghjulet var gjutet i tunt gods och hade kylflänsar längs ytterkanten. Dessutom fanns magneter ingjutna i godset på två ställen vilka skulle behövas tas bort för att inte störa halleffektsensorn. Istället undersöktes alternativet att tillverka en adapter att fästa på det befintliga svänghjulet. Det togs fram två koncept på adapterringar. Den ena fästs i de skruvhål som finns på det befintliga svänghjulet medan den andra fästs med hjälp av greppassning, se Figur 8. Dessa lösningar valdes dock bort på grund av att det ansågs svårt att få adapterna helt rotationssymmetriska med det befintliga svänghjulet. I fallet med greppassning ansågs det dessutom svårt att få tillräckligt bra grepp på grund av de tunna kylflänsarna.



Figur 8: **(A)** Adapter som fästs med skruvar på befintligt svänghjul **(B)** Adapter som fästs med greppassning **(C)** Adapter med greppassning fäst på svänghjul

Istället valdes att tillverka ett helt nytt svänghjul utan kylflänsar och andra svåra geometrier, se Figur 9. Att kylflänsarna kunde tas bort motiverades med att motorn endast körs i korta tidsintervall i Shell EcoMarathon. Detta gör att någon högre temperatur aldrig uppnås vilket resulterar i att kylflänsarna inte behövs. Det nya svänghjulet designades utifrån det befintliga med samma yttre dimensioner men har en större massa. Detta ansågs positivt då det också bör ge upphov till mindre variationer i varvtal hos motorn. Det som talade emot ett egentillverkat svänghjul var infästningen på vevaxeln. Då vevaxeln är konisk i änden behövde en motsvarande kona svarvas i svänghjulet vilket var problematiskt då information om konvinkel saknades. I det gamla svänghjulet fanns dessutom en kil inbyggd i konan som fäste i ett kilspår på vevaxeln. Detta ansågs för komplicerat att tillverka och därför designades det nya svänghjulet istället med ett kilspår även på svänghjulet. Svänghjulet fixeras sedan på vevaxeln med hjälp av en lös kil som sitter mellan vevaxelns och svänghjulets kilspår.



Figur 9: **(A)** Svänghjul, original **(B)** Svänghjul, datormodell **(C)** Svänghjul, nytillverkat

Svänghjulet svarvades fram ur ett vattenskuret ämne av aluminiumlegering 7075. Det mest kritiska momentet i tillverkningen uppkom när konan skulle svarvas. En indikatorlocka användes för att uppskatta vinkeln och kunna ställa in toppsliden på svarven så bra som möjligt. Vinkeln på konan uppskattades till cirka sex grader som utgångspunkt och justerades sedan in med indikatorlockan. Därefter tillverkades en hållare till dragbrotschen som användes för att hyvla fram ett kilspår inuti konan. Hållaren för verktyget svarvades med stor noggrannhet så att den skulle sitta stabilt i konan. Sedan frästes det spår som dragbrotschen skulle glida genom, se Figur 10. Hålen som magneterna sitter i borrades genom att montera en delningsdocka i fräsen för att få ett så exakt avstånd mellan hålen som möjligt. Magneterna limmades sedan fast med hjälp av Loctite Power Epoxy [14]. Centrifugalkraften som magneterna påverkas av beräknades med data om magneternas vikt och motorns maximala varvtal. Limmets skjuv- och draghållfasthet inhämtades från produktdatablad, och jämfördes med kraften för att säkerställa att limmet skulle hålla kvar magneterna. Kilen som sitter mellan svänghjulet och vevaxeln tillverkades av kilstål som slipades till för att passa mellan svänghjulets kilspår och vevaxelns kilradie. Radien mättes med hjälp av en tenntråd som trycktes ner i kilspåret och formades därefter. Sedan jämfördes denna med olika cirkelradier och det visade sig att en radie på 12 mm verkade stämma bra överens med radien på kilspåret.



Figur 10: Dragbrotsch med egentillverkat styrdon

4.6 Tändning

I originalutförande levereras motorn med ett NGK CRM5H-tändstift [15] monterat. Utbudet av liknande tändstift från att antal ledande tillverkare undersöktes och de alternativ som hittades var tändstift i samma serie men med andra värmetal. Värmetalet beskriver tändstiftets värmeledningsförmåga. NGKs skala går från varmt till kallt och CRM5H har 5 som värmetal. Denna serie går från 4-8 och NGKs kundsupport rekommenderade att gå upp ett eller två steg (NGK CMR6H eller CMR7H). På sin hemsida rekommenderar NGK [16] att testa stiftet i ordningen kalla till varma.

För att generera en starkare gnista kan en tändspole som avger en högre utspänning än original användas. NGK har ett riktvärde att spänningen bör ökas ca 5 kV vid konvertering av en bensindriven bilmotor till metangasdrift [5]. Originalspolen i den aktuella motorn genererar 15

kV vid 1000 varv/min och normalvärdet för en tändspole på en bensindriven bilmotor ligger mellan 20 kV och 50 kV. Då det inte finns några allmänna riktlinjer för utspänningen som krävs vid konvertering av den aktuella motorn eller motorer med liknande cylindervolym till metangas, beslutades det att välja en spole som klarar av att leverera 37 kV, då den fanns lättillgänglig. Den enda nackdelen en ökning av tändspolens utspänning har är att det ökar slitaget på tändstiftet, men detta ökade slitage är försumbart för motorns tänkta användningsområde.

En ny tändspole kan också möjliggöra digital styrning av förtändningen. Metangas har ett förbränningsförlopp som kräver en tidigare ställd förtändning i jämförelse med bensindrif. Enligt datablad har motorn en förtändning på 27 vevaxelgrader BTDC i originalutförande. Den mest tillförlitliga rekommendationen som har erhållits säger att tändningen bör ställas ytterligare 2 till 10 grader tidigare [17]. Detta är i sammanhanget ett relativt stort intervall, men är ett fungerande riktmärke. Denna parameter kan dock enkelt ändras under provkörningsfasen. Det görs genom att stegvis ändra tändningen och undersöka motorns gång. Metan har ett oktantal på 120, vilket är högre än för vanlig bensin. Motorn som ska konverteras har dessutom endast ett kompressionsförhållande på 8,0:1, vilket är lägre än de flesta moderna motorer. Därför bedöms risken för knackningar vara liten.

4.7 Bromsbänk

För att kunna göra initiala inställningar och tester av motorn krävdes en bromsbänk som förhindrade att motorn övervarvade, eftersom motorn inte har någon trottel som begränsar dess avgivna effekt. Kraven på bromsbänken var att den skulle utgöra ett kontinuerligt och varierbart motstånd för att kunna hålla motorn på ett jämnt varvtal. Att kunna hålla varvtalet stabilt underlättar vid mätning av avgasernas lambdavärde och är därför användbart vid inställning av bränsledoseringen.

Två bromsbänksvarianter övervägdes under konstruktionsfasen i projektet. Ett alternativ var en elektrisk bromsbänk där en generator används som broms genom att i en motståndskrets bränna bort den energi som skapas i generatorn. Fördelarna med denna variant är att generatorn även kan användas som startmotor och att det erbjuder en möjlighet att mäta motorns effekt. Nackdelen är att det kräver en motståndskrets som inte blir överhettad av effekten som tillförs, och att motståndet i kretsen måste kunna varieras för att variera varvtalet hos motorn.

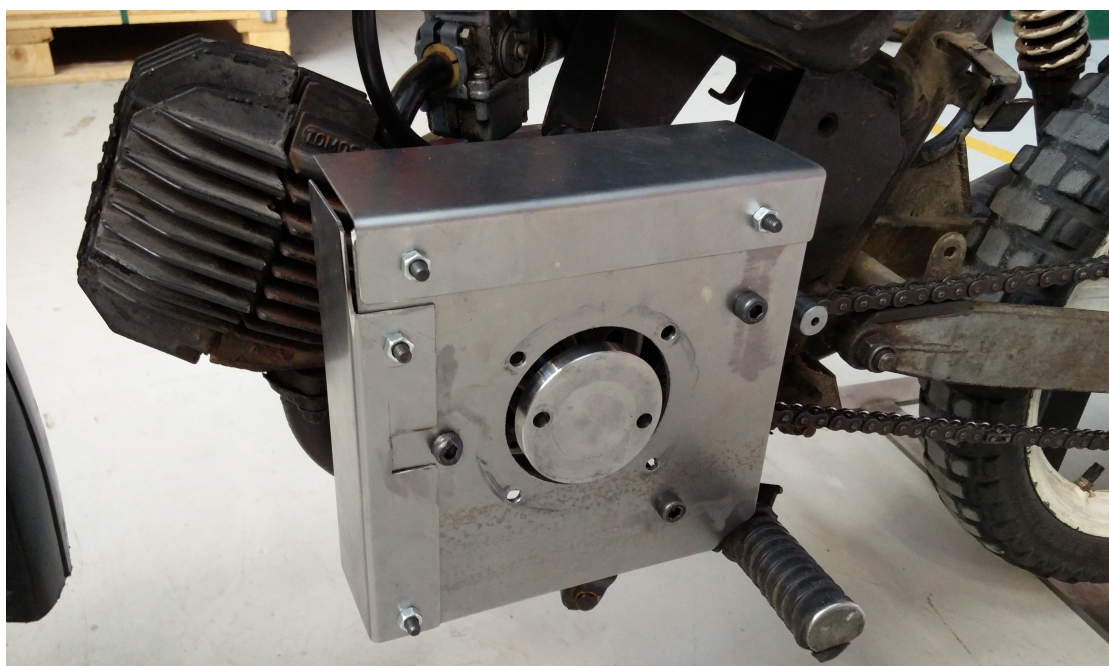
Det andra alternativet, vilket också var det som ansågs enklast att bygga, var en mekanisk broms i form av en skiv- eller trumbroms vars bromsverkan styrs av ett bromshandtag eller -pedal. En enkel konstruktion prioriterades högt, då bromsbänken skulle byggas på begränsad tid. Därför valdes denna lösning. Det skissades också på en variant av denna bromsbänk som möjliggjorde effektmätning, men då optimering av motorns prestanda ansågs ligga utanför projektets avgränsningar förverkligades aldrig dessa idéer.

I fordon med skiv- och trumbromsar är hjulaxeln där bromsen sitter oftast nedväxlad från motorns vevaxel. Det ansågs därför olämpligt att montera en sådan broms på en icke nedväxlad axel från motorn, på grund av det höga varvtal bromsen då skulle få utstå. Därför behövdes någon form av växel. Det enklaste och mest pålitliga alternativet ansågs vara att använda en färdig växellåda från något litet fordon. Därför köptes en begagnad moped av märket Jawa, modell TWS 50. Mopeden har en femväxlad växellåda och trumbroms bak. Dessa komponenter användes till bromsbänken.

Motorn fästes i mopeden med avsikten att låta den driva mopedens vevaxel och sedan använda bakhjulsbromsen för att kontrollera varvtalet. Växellådan ställs på en låg växel för att förhindra att bakhjulet roterar för snabbt. Mopedens tändstift avlägsnades för att göra mopedmotorn kompressionsfri.

Ett stöd, som håller upp mopedens bakhjul från marken, tillverkades av L- och plattjärn i stål. Detta var nödvändigt för att bakhjulet ska kunna rotera fritt, då mopedens originalstöd var instabilt och i dåligt skick.

För testmotorns infästning fästes en bit plåt i mopedens motorblock, med svarvade distanser av stål emellan, se Figur 11. I denna plåt skruvades testmotorn fast. Det tillverkades en adapter och en gummiskiva som monterades mellan testmotorns och mopedens svänghjul för att överföra rotationsmomentet. Gummiskivan dämpar mot vibrationer i infästningen.



Figur 11: Infästningsplåt, svänghjulsadapter och skyddsskåpor på mopeden.

5 Testning

Ursprungligen planerades provkörning i Chalmers motorlaboratorium efter motorns färdigställande givet kravet att det fanns en godkänd riskanalys av motorn. Tyvärr saknade motorlaboratoriet tillstånd för att använda metan som bränsle, vilket omöjliggjorde provkörning i deras lokaler. Motortesterna fick istället genomföras utomhus. En riskanalys som avsåg att behandla potentiella faror såsom eldsvådor och personskador vid provkörning i motorlaboratoriet återfinns i Bilaga A.

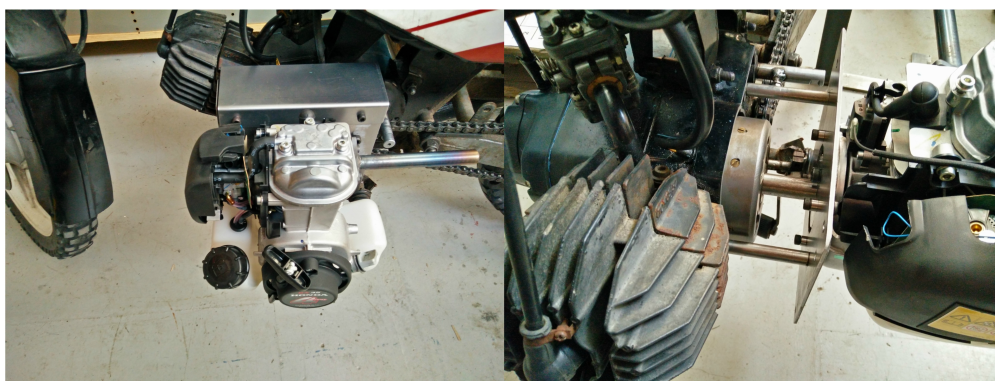
Motorlaboratoriet hade metan i sitt bränsleförråd, men dessa tuber var stationärt monterade. Dessutom använder sig motorlaboratoriet inte av några mindre gasflaskor då allt bränsle går via ledningar från bränsleförrådet. Ett alternativ var att införskaffa en mindre gasflaska med metan, men detta ansågs för kostsamt. Lösningen blev att en flaska gasol, med tillhörande regulator som kunde ställas på 2 bars arbetstryck, lånades från Institutionen för Energi och miljö för att användas under provkörningen.

5.1 Styrsystem och sensorer

För att i så stor utsträckning som möjligt säkerställa att styrsystemet fungerade innan motorn startades, testades tändsystemet och sensorerna. Genom att dra i startsnöret och på så vis rotera motorn manuellt, kunde sensor- och styrsignaler kontrolleras. En grov inställning av parametrarna i styrsystemet gjordes. Då motorn drogs runt upptäcktes att ingen tändstiftsgnista erhöles, varpå felsökning med oscilloskop genomfördes. Det visade sig att styrkortet i styrsystemet var defekt. Genom att byta ut styrkortet samt en resistor som var felaktig, fungerade tändningen väl.

5.2 Bromsbänk

När bromsanordningen var färdig testades den med en GX35 i originalutförande. Med några små justeringar fungerade den precis som avsett. Det uppkom ingen märkbar värmeutveckling från mopedens bakbroms, trots att motorns kördes på full last i 1 minut. Värmeutveckling i bromsen hade setts som ett möjligt problemområde under konstruktionsfasen men orsakade alltså inga komplikationer.



Figur 12: Honda GX35 i originalutförande monterad på bromsbänken.

5.3 Bensinmotor med styrsystem

För att få insprutning och tändning att ske vid rätt CAD behöver först kam- och vevaxelsensorerna kalibreras. Detta görs genom att ställa in offseten mellan TDC och den första signalen från vevaxelsensorn efter det att styrsystemet fått signal från kamaxelsensorn. För att underlätta denna kalibrering gjordes ett motortest med en motor där endast tändningen styrdes av KATLA och bränsletillförseln sköttes av originalförgasaren. Anledningen till att denna motorkonfigurering valdes var för att minska antalet potentiellt felande inställningsparametrar. Eftersom originalmotorn provkörts under testet av bromsbänken där den fungerade felfritt kunde allt fokus läggas på inläsning av signaler till KATLA samt inställning av tändningen.

Testet började med att ställa motorn i TDC. Detta gjordes med hjälp av en axel som svarvades till att passa glappfritt i tändstiftshålet och en indikatorklocka. Därefter gjordes en ungefärlig uppmätning av offseten med hjälp av en gradskiva. För att sedan kunna ställa in detta värde mer exakt användes ett stroboskop. Två streck ritades upp när motorn stod i TDC, ett på svänghjulet och en referens på motorblocket och förtändningen ställdes på 0 grader BTDC. Detta innebär att styrsystemet ger tändsignal vid TDC när offseten är korrekt konfigurerad. Motorn drogs sedan runt med handkraft samtidigt som stroboskopet användes för att finjustera offseten tills de uppritade strecken sammanföll, vilket innebar att tändningen skedde vid motorns TDC. När insignalerna till styrsystemet var kalibrerade ställdes förtändningen enligt originalspecifikationerna för bensin på 27 grader BTDC och motorn startades [18].

5.4 Flödesmätning på injektorn

KATLA behöver information om massflödet av bränsle genom injektorn för att korrekt kunna dosera bränslet. Eftersom detta inte var specificerat av tillverkaren, gjordes en uppskattning av flödet. Injektorn trycksattes med 2 bar övertryck från gasolflaskan och en ballong trädde över dess munstycke. Därefter öppnades injektorn genom direkt spänningssättning från batteriet och hölls öppen under ett fåtal sekunder som mättes med tidtagarur. Ballongens volym mättes sedan (se Figur 13) och dessa data användes för att beräkna flödet genom injektorn. Försöket upprepades tre gånger och resultaten medelvärderades.



Figur 13: Mätning av volymen hos en ballong som blåsts upp med gasol genom injektorn under en uppmätt tid.

5.5 Metangasmotor på gasol

Som tidigare nämnts gjordes testningen av metangasmotorn på gasol. Efter att bromsbänken och styrsystemets funktion verifierats ställdes styrsystemets bränsleparametrar in med hjälp mätdata från flödesmätningen och förtändningen ställdes till 30 grader BTDC, vilket är lite tidigare än bensenmotorns 27 grader. Även på denna motor behövde kam- och vevaxeloffseten justeras in. Detta gjordes på samma sätt som i avsnitt 5.3. Då gasen kopplats in och systemet trycksatts, undersöktes alla kopplingar med läckspray och luktsinnet för att säkerställa att inga läckor uppstått.

När allt verkade färdigt för testning, gjordes ett startförsök. Efter korrigering av injektorns öppningstid startade motorn. Bränslemappen justerades in efter bredbandslambdan, då motorn verkade få för mycket bränsle, och det åstadkoms oavbruten och jämn gång.

6 Diskussion och slutsats

Projektet genomfördes huvudsakligen inom den tänkta tidsramen, och målen som sattes upp i början av projektet har uppnåtts. Den sammansättning av tillverkade och inköpta motorkomponenter som projektet resulterat i har möjliggjort metangasdrift av en Honda GX35.

Då portinsprutade gasmotorer är ett tämligen välutforskat område har de metoder som anbringats under arbetets gång tenderat att bli lösningsfokuserade. Kompetens inom tillverkning fanns inom gruppen och de lösningar som togs fram tenderade att ha en kraftig verklighetsförankring med idéer om tillverkning redan på konceptstadiet. Det lösningsdrivna tankesättet kan ha lett till att koncept som skulle upptäckts med ett mer öppet synsätt kan ha missats. Detta innebär att det slutgiltiga konceptet inte är det enda möjliga och det går troligtvis att förbättra.

Med motorns låga effekt i beaktning gjordes bedömningen att inga beräkningar behövdes göras i syfte att uppnå en hållfast konstruktion. Detta innebär att livslängden för de delar som tillverkades är okänd men då projektet endast avsåg att provköra metangasmotorn ansågs detta inte vara ett problem.

Ett stort problem som uppstod under arbetet var svårigheten att få tillgång till verktyg. Dels hade projektgruppen endast en begränsad tillgång till prototypverkstaden och dels saknades ofta gängsnitt och gängtappar vilket gjorde att produktionen av vissa delar tog längre tid än väntat. I flera fall fick även specialverktyg konstrueras vilket bidrog till ytterligare förseningar.

KATLA användes som styrsystem för motorn vilket medförde både för- och nackdelar. Den största fördelen var att en av systemets skapare fanns tillgängliga för konsultation och detta utnyttjades även under projektets gång för ett flertal frågor. En annan fördel med KATLA är det faktum att hela systemets källkod finns tillgänglig vilket underlättar en modifikation av systemet med tillägg av funktionalitet. En nackdel var att manualen för systemet endast var ett utkast och information saknades eller var inkomplett. Detta ledde till förvirringar angående inställning av vissa parametrar som helt eller delvis saknade beskrivning vilket försvårade testningen. Ett val av ett annat styrsystem skulle kunna påverkat projektet avsevärt då det inneburit andra begränsningar och möjligheter. Den största nackdelen med KATLA var att det inte har någon reglerande återkoppling mot en MAP-sensor och därmed inte kan hantera en motor med trottelt. Detta ledde till att en bromsbänk var ett krav vid provkörning snarare än ett önskemål.

I början av projektet planerades det att provköra motorn i Chalmers Vera Teams bromsbänk. I ett relativt sent skede av projektet insågs dock att en egen bromsbänk behövde byggas då Vera inte tillät en helt oprövad motor i sin bromsbänk. Detta medförde mycket extra arbete under projektets sista månad, vilket pressade tidsschemat. Det fanns därför ingen tid för finjustering av tändnings- och bränsleinställningar eller mätningar av effekt och bränsleförbrukning, vilket planerades göras ifall tid fanns. Ytterligare provkörning bör göras för att säkerställa att motorn är driftsäker innan Veras bromsbänk används.

Efter testningen bedömdes insuget vara väl konstruerat. När fungerande styrsystemsinställningar hittats hade motorn en jämn gång vilket tydde på en fungerande luft- och bränsletillförsel. Inga läckage upptäcktes från de nytillverkade delarna under testet, vilket kontrollerades med läckagespray. Infästningen till motorn fungerade felfritt och tålde de vibrationer som uppkom under provkörningen.

Insugskonstruktionen bedöms uppfylla kraven som ställdes på den och är relativt enkel att tillverka. Den kan således rekommenderas som en fungerande grund för kommande steg i metangaskonverteringen av EcoSmarterbilen. För att insuget ska bli tävlingklart rekommenderas att en

lättningskonstruktion tas fram och att flödesberäkningar för insug och injektor görs. Injektorns flöde samt öppnings- och stängningstider behöver också bestämmas mer noggrant och implementeras i styrsystemet.

Även om motorn inte kunde köras i Chalmers motorlaboratorium var den framtagna riskanalysen värdefull för projektet. Många av de risker som identifierades är inte unika för provkörning i laboratoriet utan var även aktuella för den testning som gjordes utomhus. Med hjälp av riskanalysen kunde testerna utföras under säkrare förhållanden och mer kontrollerade former. Att alla inblandade i testningen dessutom hade bättre kännedom om säkerhetsriskerna bidrog till en tryggare testmiljö. Vid eventuell vidareutveckling av projektet kan riskanalysen även vara till hjälp för andra. Förhoppningsvis kommer motorlaboratoriet få använda metan som bränsle i framtiden och då kan även de mer laboratoriespecifika riskerna tas i beaktning vid testning.

Gasol är en blandning av bland annat gaserna propan och butan vilket innebär att den har andra kemiska och fysikaliska egenskaper än ren metangas. Detta kan leda till att flödesmätningar och läckagetest kan behöva göras om. Den var dock tillräckligt lik för att fungera som bränsle under funktionstesten som utfördes.

Även om den ombyggda motorn fungerar på gasol och projektets mål uppnåts finns det utrymme för förbättringar och framtida vidareutveckling, inte minst med fokus på optimering. Då det inte gjordes några hållfasthetsberäkningar på de nybyggda komponenterna finns det en risk att de är överdimensionerade. Komponenterna kan förmodligen göras både lättare och mindre om beräkningar görs. I en tävling som Shell Eco-marathon är detta av betydelse.

Ett område där det finns stor potential för vidareutveckling är optimering av motorns prestanda och bränsleförbrukning. Till att börja med skulle noggrannare beräkningar kunna utföras på insugs- och avgasrören för att optimera flödet. Då motorn ursprungligen är avsedd för användning i trädgårdsapplikationer finns det troligtvis många mekaniska åtgärder som skulle kunna utföras för att höja prestandan för denna tillämpning, som till exempel modifiera kamtider, ventillyft och kompression. Det skulle även kunna göras simuleringar i programvaran GT-POWER för att för att kunna optimera effektkurvan för den givna applikationen. Dessutom finns det mycket optimeringspotential i den praktiska provkörningen. Till att börja med skulle en bromsbänk som möjliggör effektmätning krävas. Det skulle även underlätta om bromsbänken kunde hålla motorn vid givna belastningar och varvtal med större precision än den bromsbänk som användes under projektet. Detta gör att bränslemappen kan justeras in över hela motorns register med större noggrannhet. Under provkörningen som gjordes under detta projekt justerades förtändningen in efter rekommendationer i litteraturen. För att kunna optimera tändningen över hela varvtalsregistret bör en cylindertrycksmätare användas, denna ger då återkoppling av tryckspåret under motorns olika takter vilket kan användas för att ställa förtändningen och undvika knockningar.

Motorn är mekaniskt funktionell och med små modifikationer redo att monteras i ett EcoMarathonfordon. Det som återstår för att uppfylla regelverket är de säkerhetskretsar med nödstopp och ventiler till bränslesystemet som fordras. I dagsläget finns det bara ett dödmansgrepp som bryter tändningen implementerat, men reglerna kräver även ett nödstopp som bryter tändningen samt stoppar gasflödet från gastuben. Detta fordrar att en ventil installeras mellan regulatören och flaskan, samt ett nödstopp som kopplas in i styrsystemet. För att nödstoppet och dödmansgreppet ska vara helt separata måste även en brytare på strömmatningen till KATLA installeras.

Projektets syfte att modifiera en Honda GX35 för metangasdrift enligt Shell Eco-marathons regelverk kan anses väl uppfyllt. Det framtagna konceptet och denna rapport utgör en fungerande grund i arbetet mot en metangasdriven EcoSmarterbil. Skulle ett ytterligare kandidatarbete genomföras för optimering och implementering av motorn i fordonet kan Chalmers EcoSmarter 2018 ha ett färdigt metangaskoncept vid början av läsåret.

Referenser

- [1] *Chalmers Vera Team*. <http://chalmersverateam.se/>.
- [2] Shell. *Om Shell Eco-marathon*. <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/about.html>.
- [3] *Chalmers EcoSmarter*. <http://www.chalmersecosmarter.com/>.
- [4] John B. Heywood. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 1988.
- [5] NGK. *Frequently asked questions*. <http://www.ngkntk.com.br/automotivo/en/suporte-tecnico/perguntas-mais-frequentes/>.
- [6] Karim Nice. "How Fuel Injection Systems Work". I: *HowStuffWorks.com* (2001). <http://auto.howstuffworks.com/fuel-injection.htm>.
- [7] AEM Performance Electronics. *Installation Instructions for 30-4110 Gauge-type UEGO Controller*. <http://aemelectronics.com/files/instructions/30-4110%20Digital%20Wideband%20UEGO%20Gauge.pdf>.
- [8] BOC. *Safety data sheet - Methane, compressed*. https://www.boconline.co.uk/internet.lg.lg.gbr/en/images/tg_8321_methane410_61346.pdf.
- [9] Shell. *Regelverk för Shell Eco-marathon*. http://www.shell.com/promos/download-the-shell-eco-marathon-global-rules/_jcr_content.file/1446710609481/9a5eec365cf389a70c1765b776efe7ec/sem-2016-global-rules-chapter1-010715.pdf.
- [10] Ecotrons. *Gaseous Small Engine Fuel Injection Kit*. http://www.ecotrons.com/products/gaseous_small_engine_fuel_injection_kit/.
- [11] Biltema. *Monteringspasta*. <http://www.biltema.se/sv/Bilvard/Tatning/Monteringspasta-2000017097/>.
- [12] Kjellin m. fl. *Utveckling av styrsystem av förbränningsmotor för Chalmers Vera Team*. Tekn. rapport. Data- och Informationsteknik samt Tillämpad Mekanik, 2014.
- [13] Chen Yang Technologies GmbH & Co. KG. *Hall Effect Proximity Switch CYKN8-02CL0*. <http://www.cy-sensors.com/CYKN8-02CL0.pdf>.
- [14] Loctite Power Epoxy. *Lim*. <http://www.clasohlson.com/se/Power-Epoxy-Loctite/34-9015#moreinfo>.
- [15] *NGK CMR5H*. <https://www.ngk.com/product.aspx?zpid=9627>.
- [16] *Heat Range*. <http://www.ngk.com/learning-center/article/207/i-have-slightly-modified-my-motor---do-i-need>.
- [17] Haeng Muk Cho och Bang-Quan He. *Spark ignition natural gas engines—A review*. <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~devosk/Masters%20Project/Other/References/Cho2007-SparkIgnitionNaturalGasEngines-Review.pdf>.
- [18] Outdoor Power Info. *Honda Small Engine Ignition Timing*. http://outdoorpowerinfo.com/engine_specs/honda_ign_timing.asp.

Bilaga A Riskanalys

I inledningen av kandidatprojektet TMEX02-16-24 var målet att kunna testköra metangasmotorn i Chalmers förbränningsmotor-laboratorium. För att säkerställa att inga onödiga risker uppstår för utrustningen i laboratoriet, kandidatgruppen, laboratoriepersonalen eller andra människor i laboratoriets närområde upprättas denna riskanalys. I tabell 1 listas de olika risker som kan tänkas uppstå och riskminimerande åtgärder för dessa presenteras.

Tabell 1: Möjliga risker och förebyggande åtgärder

Risk	Orsak	Konsekvenser	Förebyggande åtgärder	Akut åtgärd
Metangasläckage	Bristande tätning utav bränslesystem, fel på spridare, fel på regulator	Brandrisk, andningssvårigheter	Tillse att bränslesystemet är tätt och trycktesta det. Använda metangasdetektorer.	Stänga av metangastillförsel, ringa räddningstjänsten om brand uppstått, uppsöka sjukvård
Luftburna motordelar med hög rörelsemängd	Motorhaveri	Person - och egendomsskada	Kåpor på motorn, plexiglasväggar, skyddsglasögon	Stoppa eventuella blödningar, uppsöka sjukvård
Brännrisk	Otillräckligt skydd för avgassystem och broms	Brännskador	Avskärmning av varma delar. Använd handskar	Kyl skadan. Uppsök läkare vid allvarlig skada
Höga ljudnivåer	Otillräcklig ljuddämpning	Obehag och hörselskador	Använda ljuddämpare, bära hörselskydd	Hålla för öronen
Avgasläckage	Otåta kopplingar på avgassystem	Andningsbesvär	Trycktesta avgaskomponenter	Nödstopp
Elektriska stötar	Inte tillräcklig isolering på elektriska komponenter	Obehag	Isolera elektriska komponenter ordentligt	Nödstopp
Oljeläckage	Läckande motor	Halkrisk miljöproblem. Fel oljenivå i motor	Okulärkontroll vid provkörning	Nödstopp
Klämrisk	Rörliga delar som inte sitter fast, tappande av tunga objekt	Personskador	Avskärma rörliga delar, bära skor med stålhätta	Första hjälpen, uppsöka läkare
Metangasdetektorfel	Dåligt underhåll	Risk för metangasansamling i motorlabbet	Flertalet oberoende detektorer	Svårt att upptäcka
Skenande varvtal	Fel på bromsbänken och/eller kopplingen mellan motor och bromsbänk	Motorhaveri	Bygga och ansluta bromsanordningen väl. Tillse att nödstopp och varvstopp finns och fungerar.	Bryta tändning och gas med nödstopp

Bilaga B Shell Eco-marathon regler

Nedan sammanfattas huvuddragen i de artiklar som har relevans för motorn. Artiklarna innehåller den fakta som är av intresse för projektet och har översatts från engelska till svenska. Det fullständiga regelverket [9] återfinns under referenser.

Artikel 37 Nödstopp

- För tändstiftsmotorer krävs en nödstoppsmekanism som bryter tändningen. Det är inte tvunget att isolera batteriet. Dessutom måste nödstoppet på CNG-drivna fordon även stänga av gasflödet.
- Interna och externa avstängningsmekanismer ska finnas. Den interna är till för föraren och kan designas på ett effektivt sätt. Den externa ska finnas i den bakre änden av fordonet och vara permanent installerad på en icke avtagbar del av chassit. En röd pil, 10 cm lång och 3 cm bred, ska vara positionerad på fordonskroppen för att indikera avstängningsknappen.
- Förutom de ovan nämnda kontrollerna ska alla fordon ha ett så kallat dödmansgrepp med avsikten att bryta framdrivningen automatiskt om föraren blir medvetslös. Denna ska vara separat implementerad från den interna nödavstängningen.

Artikel 62 Bränslesystem

- En teknisk ritning av motorn samt beskrivning av bränslesystemet ska finnas.
- Insuget får inte innehålla något bränsle eller ha möjlighet att lagra bränsle. Oljedimma från vevhusventilationen får inte sugas in i insuget.
- Bränslesystemet ska kunna återställas till atmosfärstryck för att mäta bränsleförbrukning.
- Elektrisk eller pneumatisk energi som inte återställs under körning får endast användas till startmotor, tändning, injektor, instrument och elektroniska styrsystem.
- Det ska vara möjligt att se vad som händer genom hela bränslesystemet.

Artikel 68 CNG

- CNG-tillförsel måste ske enligt följande: metangascylinder → regulator → slang → injektor.
- Gascylindern tillhandahålls av Shell Eco-marathon och håller ett tryck på 70 bar. Dess yttertemperatur får inte överstiga 50°C
- En metangasdetektor måste installeras i motorrummet, nära huvudventilationen. Denna metangasdetektor måste driva en nödavstängningsventil och ett säkerhetsrelä som nämns nedan. Den ska triggas vid 25% av LEL (Lower Explosive Limit) av metangas.
 - Det maximala trycket från flaska ska vara begränsat till tre bar absoluttryck.
 - Systemets säkerhetsventil måste släppa ut gasen utanför fordonet.
 - Nödständningsventilen ska vara stängd i avsaknad av elektricitet.
 - Strömmatning till insprut/tändning måste automatisk brytas när nödavstängningsventilen löses ut. Det ska lösas genom ett passande säkerhetsrelä.
 - Säkerhetsventilen och säkerhetsrelät måste aktiveras av de tre följande scenarierna.
 1. Genom att metangasdetektorn löser ut.

2. Genom nödstoppsknappen på utsidan av fordonet.
 3. Genom ett andra nödstopp som är lätt tillgänglig från förarpositionen.
- Om något av dessa scenarion inträffar, ska relät och ventilen agera samtidigt.
- Ledningar och kopplingar
 - Alla ledningar och kopplingar ska vara designade för metangasanvändning. Detta måste kunna presenteras under teknisk inspektion med hjälp av datablad från tillverkaren.
 - Slangar och ledningar måste kunna motstå ett tryck på nio bar absoluttryck, tre gånger det maximala arbetstrycket (bevis krävs)

Bilaga C Morfologisk Matris

Grundidén för att föra in bränsleblandningen i motorn var att montera ett rakt rör i insugsporten som suger in luft med hjälp av motorns undertryck. En injektor för in metangas i röret som blandas med luften innan den går in i motorn. För att underlätta konceptgenereringen gjordes en morfologisk matris (Tabell 2). Det formulerades delfunktioner och enskilda lösningar för varje delfunktion brainstormades fram och bokfördes i matrisen. Genom att kombinera olika dellösningar bildas helhetskoncept. De funktioner som krävde lösningar var:

Infästning insug

Insugsröret behöver fästas mot motorns insugsport.

Tätning

Skarven mellan insugsporten och röret måste hålla tätt för att motorn inte suga in tjuvluft eller läcka ut metangas.

Montering, injektor

På injektorn sitter i originalutförande en slangnippel som också fungerar som munstycke för gasflödet. Denna nippel kommer behöva bytas ut för att kunna montera injektorn på röret.

Luftlås

En extra säkerhetsåtgärd för att inte släppa ut metangas genom luftänden av röret då motorn inte suger in luft.

Luftfilter

Insugsluften bör filteras för att skadliga partiklar inte ska sugas in i motorn.

Infästning, insug	Tätning	Montering, injektor	Luftlås	Luftfilter
Använda befintliga förgasarfästet	O-ring	Svetsa fast nippel i röret	Backventil	Hönsnät
Svetsa fast adapterplatta i cylindergodset och skruva röret i det	Greppassning	Limma fast nippel i röret	Långt rör	Sportfilter
Svetsa fast röret i en fläns och skruva fast i existerande hål	Flytande packning/lim	Dubbelnippel som skruvas fast i röret	Integrerat i luftburk	Luftburk
Klämma fast röret mot cylindern med en fläns som skruvas fast i existerande hål	Ingen tätning		Inget luftlås	
Limma fast insugsplatta			Vinkel på rör	
Helicoil/gänga röret direkt i cylindergodset			Detektor som slår av vid läckage	

Tabell 2: Morfologisk matris över insug

Efter diskussion framstod två koncept att gå vidare med: *Svetsa fast röret i en fläns och skruva fast i existerande hål* - *O-ring* - *Dubbelnippel som skruvas fast i röret* - *Inget luftlås* - *Sportfilter* och *Klämma fast röret mot cylindern med en fläns som skruvas fast i existerande hål* - *O-ring* - *Dubbelnippel som skruvas fast i röret* - *Inget luftlås* - *Sportfilter*. Det enda som skiljer koncepten från varandra är alltså hur insugsröret ska monteras.

Bilaga D Kravspecifikation

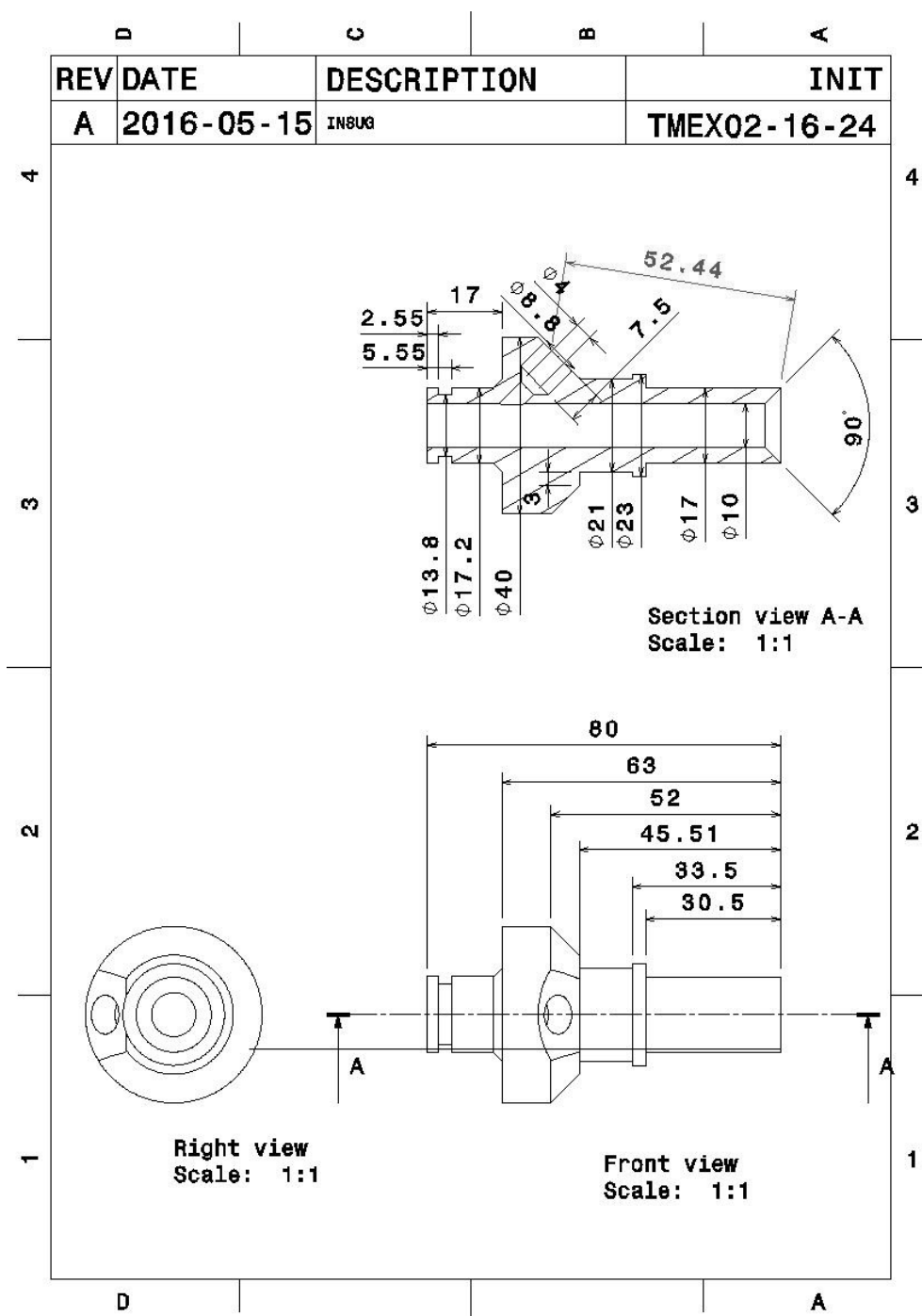
I ett tidigt skede av konceptgenereringsfasen gjordes en lösningsoberoende kravspecifikation för att på ett systematiskt sätt verifiera om motorn uppfyller målet med projektet. Kravspecifikationen innefattar de krav som motorn måste uppfylla samt önskemål som kan öka värdet av motorn för dess kunder i form av EcoSmarter och Institutionen för Tillämpad mekanik. Önskemålen är rangordnade från 1 (låg relevans) till 5 (hög relevans).

Nr	Kriterie	Intressent	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål
Prestanda					
1.1	Lättstartad (inte svårare att starta än original)	Projektgruppen	Test		Ö2
1.2	Körtid		Test	1 min K, inf min Ö	K/Ö3
1.3	Motorn får inte överhettas	Projektgruppen	Test: Avgastemperatur		K
1.4	Motoreffekt	Kund	Bromsbänk (maxeffekt)	100 W, 1000 W Ö	K/Ö2
1.5	Bränsleförbrukning	Kund	Bromsbänk/volymmätning		Ö1
1.6	Lambdagivare för mappning	Kund/Projektgruppen	Design		Ö5
Kostnad					
2.1	Tillverkningskostnad	Kund	Kostnadskalkyl	5000 SEK	Ö5
2.2	Materialkostnad	Kund	Kostnadskalkyl	5000 SEK	Ö5
2.3	Övriga inköp	Kund	Kostnadskalkyl	5000 SEK	Ö5
Användande					
3.1	Gå att montera/demontera med vanliga handverktyg	Projektgruppen/Eco-marathon	Test/Design		Ö4
3.2	Lätt att modifiera/modulär design	Projektgruppen/Kund	Design		Ö4
3.3	Teknisk ritning	Shell Eco-marathon/kund	Okulärbesiktning		K
3.4	Bränslesystemet får inte lagra bränsle	Shell Eco-marathon	Design		K
3.5	Bränslesystemet ska kunna återställas till atmosfärstryck	Shell Eco-marathon	Design		K
3.6	Anpassningsbar till Shells gascylinder	Shell Eco-marathon	Design		Ö5
3.7	Uppsamling av oljedimma	Shell Eco-marathon/motorlab	Design		K
Säkerhet					
4.1	Tätning (inte utlösa metandetektorer)	Projektgruppen/motorlab	Test/Design		K
4.2	Bryta tändning och gastillförsel	Projektgruppen/motorlab	Test/Design		K
4.3	Ledningar, tätningar och kopplingar avsedda för metan	Shell Eco-marathon/motorlab	Info från tillverkare		K
4.4	Maxtryck ledningar	Shell Eco-marathon/motorlab	Info från tillverkare	9 bar absolut	K
4.5	Kompatibelt med motorlabets ventilationssystem	Motorlab	Test/Design		K

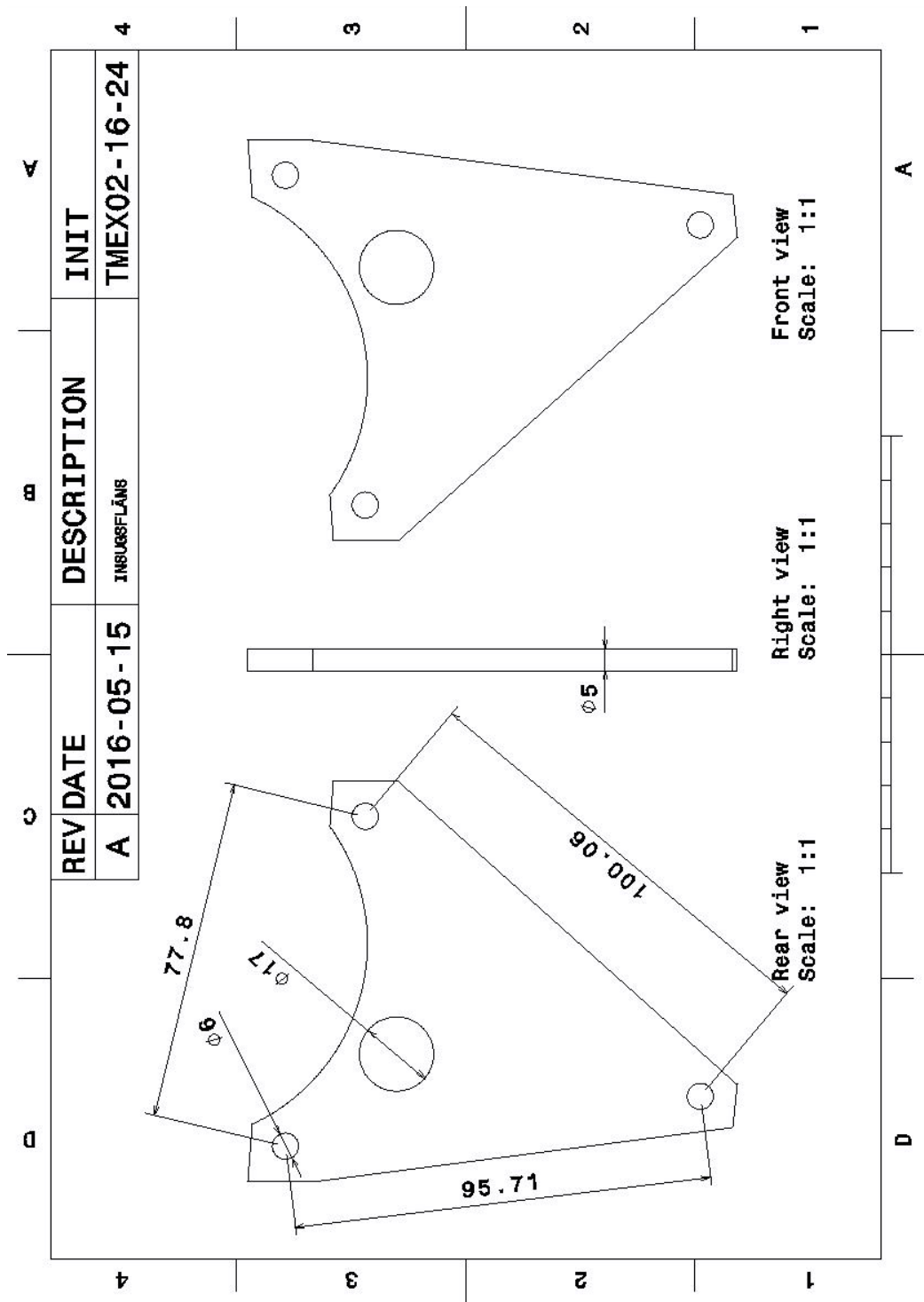
Figur 14: Kravspecifikation

Bilaga E Ritningar

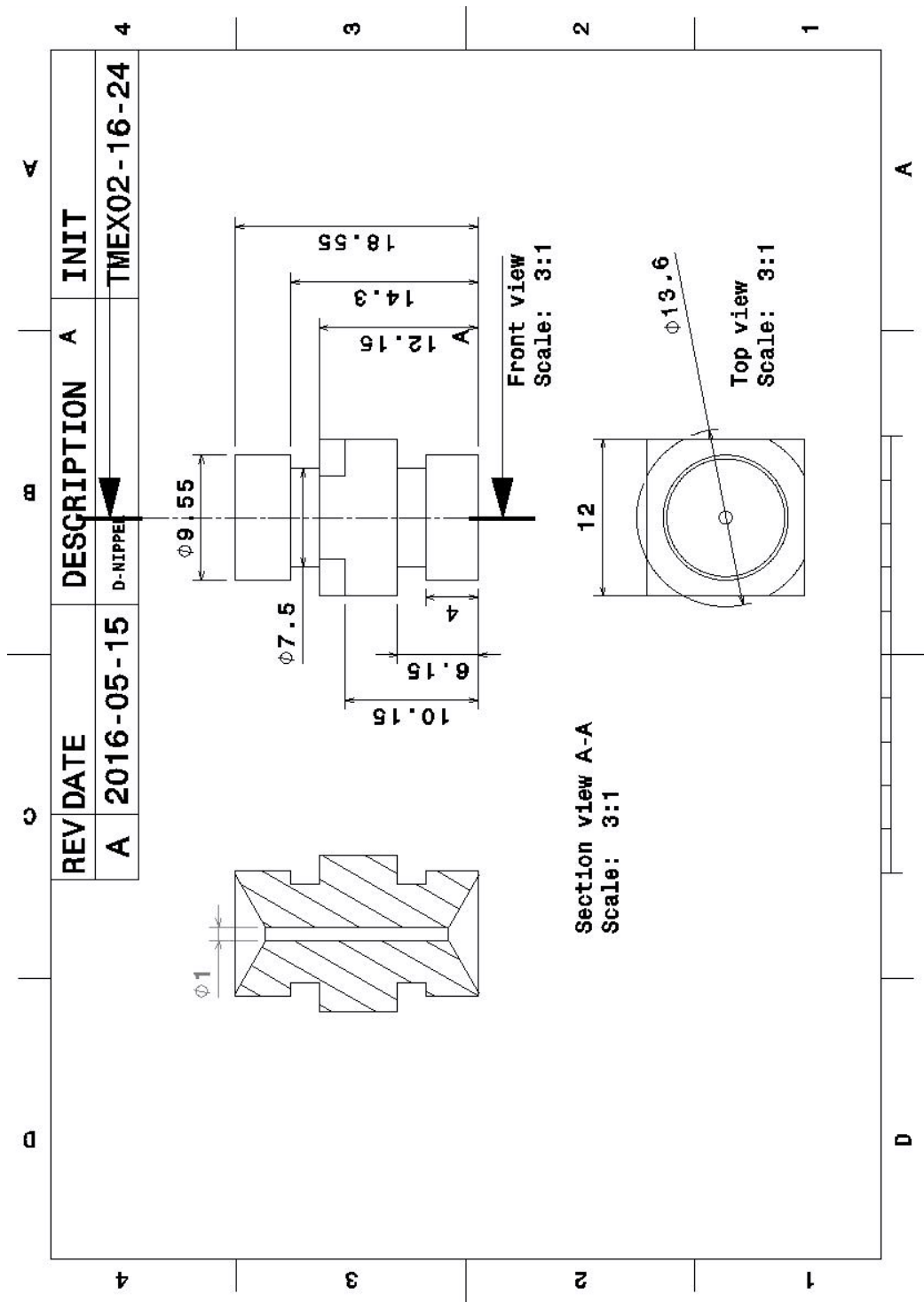
E.1 Insugsrör



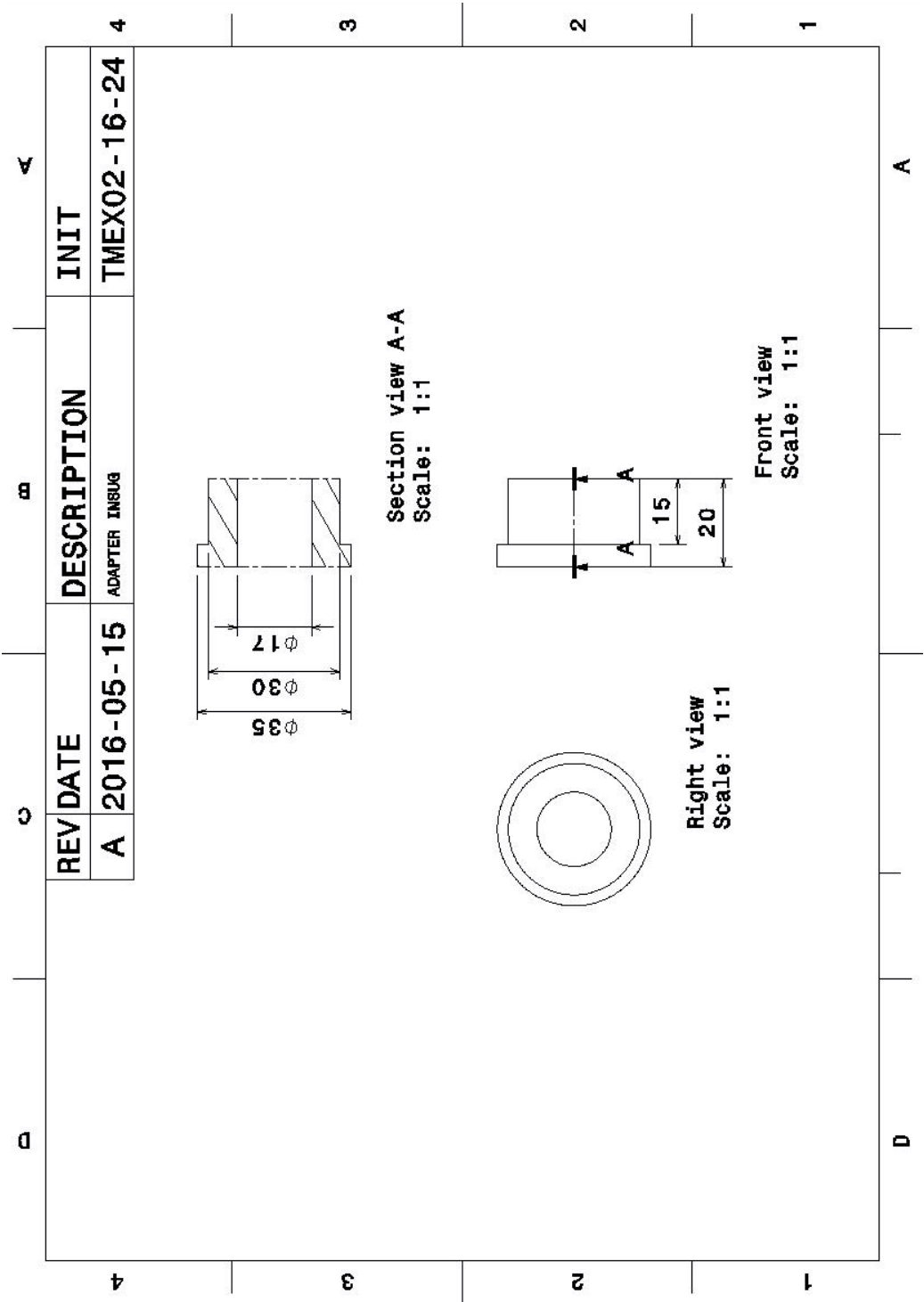
E.2 Monteringsfläns



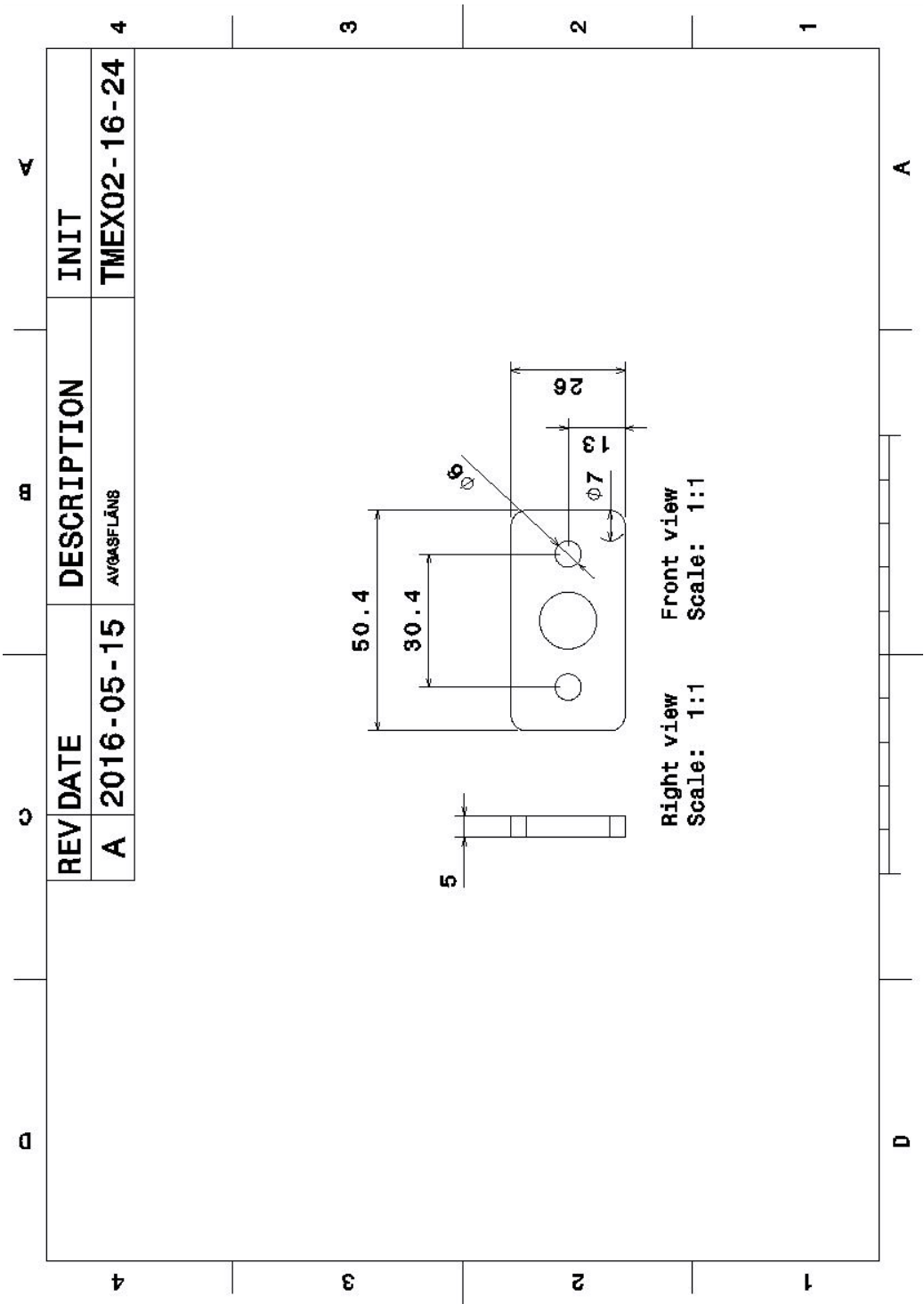
E.3 D-nippel



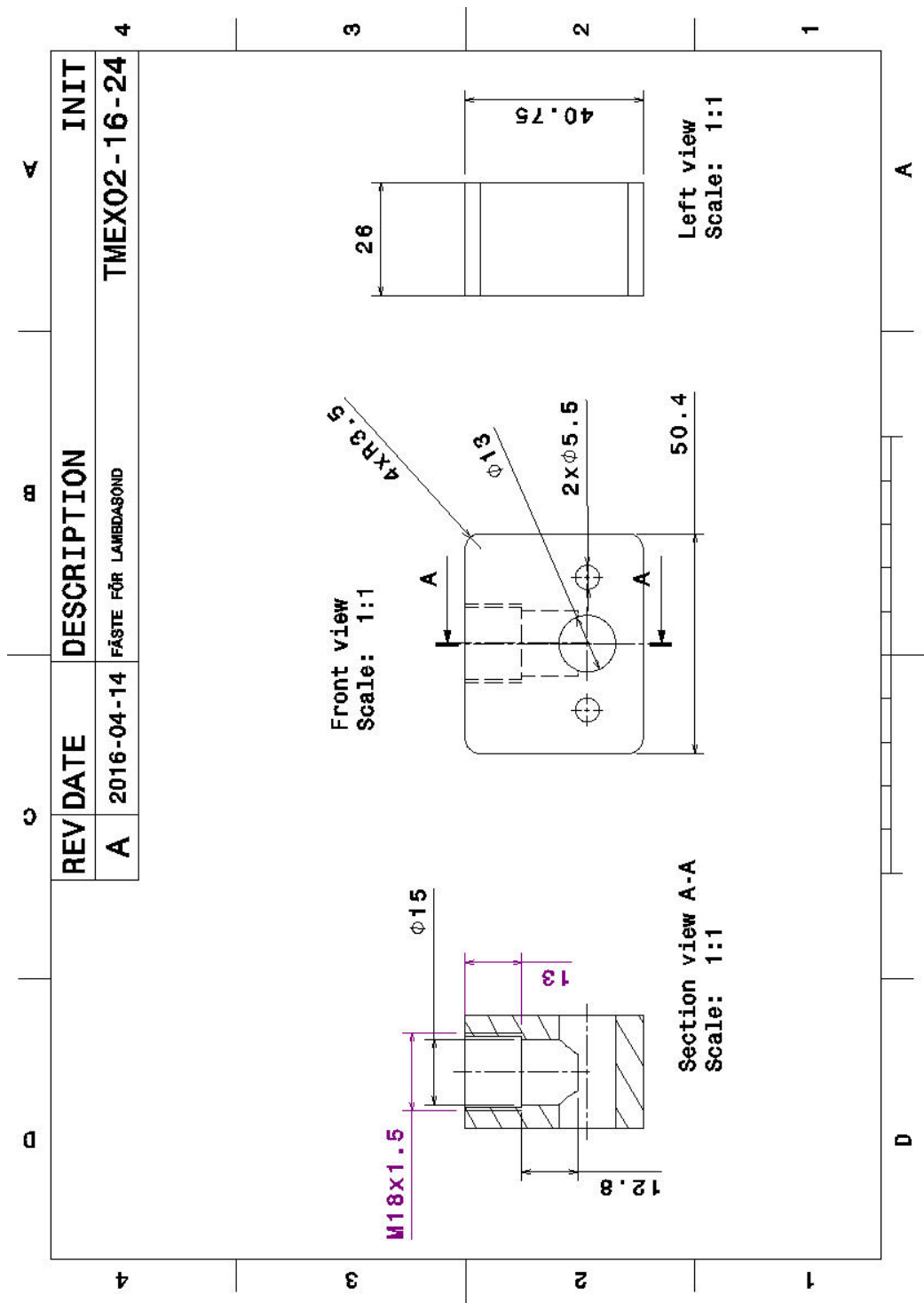
E.4 Adapter



E.5 Avgasfläns



E.6 Fäste för lambdasond



E.7 Svänghjul

