

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för Maskinteknik

FLÖDESUNDERSÖKNING

Av topplock till personbil



Joel Hägerstrand

2021:24

Datum för godkännande: 13.05.2021

Handledare: Göran Henriksson

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

| | |
|----------------------------|---|
| Utbildningsprogram: | Maskinteknik |
| Författare: | Joel Hägerstrand |
| Arbetets namn: | Flödesundersökning av topplock till personbil |
| Handledare: | Göran Henriksson |
| Uppdragsgivare: | |

Abstrakt:

I mitt examensarbete undersöker jag hur man med hjälp av programmen Inventor och COMSOL kan tillämpa teoretisk optimering av ett personbilstopplöck i praktiken.

Jag har valt att basera mitt slutarbete på detta ämne för att vidare utöka min kunskap om rit- och CFD-program, samt att lära mig mera om att effektoptimera en motor.

Resultatet baseras på följande frågeställning:

Går det att få jämförbara värden från CFD-simulering mot verkligheten?

För att få svar på frågeställningen kommer en insugskanal att avritas i Inventor för att sedan flödestestas i fysikprogrammet COMSOL Multiphysics. Dessa värden jämförs sedan med verkliga värden tagna ur en hembyggd flödesbänk.

Resultatet visar på lyckade flödestester såväl i COMSOL samt i verkligheten.

Slutsatsen är att man med denna metod kan erhålla jämförbara värden.

Nyckelord (sökord):

COMSOL, Inventor, Flödesoptimering, Flödesbänk

| | | | |
|--------------------------------|--------------|---------------|------------------|
| Högskolans serienummer: | ISSN: | Språk: | Sidantal: |
| 2021:24 | 1458-1531 | Svenska | 21 |

| | | |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Inlämningsdatum: | Datum för presentation: | Datum för godkännande: |
| 10.05.2021 | 12.05.2021 | 13.05.2021 |

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Science

| | |
|------------------------------|---|
| Studyprogram: | Marine Engineering |
| Author: | Joel Hägerstrand |
| Title: | Flow study of a cylinder head for a car |
| Academic Supervisor: | Göran Henriksson |
| Technical Supervisor: | |

Abstract:

In my thesis I investigate how to use Inventor and COMSOL to apply theoretical optimization of a cylinder head in practice.

I have chosen to base my thesis on this topic to further expand my knowledge in drawing and CFD software, and to learn more about optimizing the power of an engine.

The result is based on the following question:

Is it possible to get values from CFD simulation that compares to reality?

To answer this question an intake port will be plotted in Inventor and then flow tested in the physics program COMSOL Multiphysics. These values are then compared with actual values taken from a home-built flow bench.

The results show successful flow tests both in COMSOL and in reality.

The conclusion is that comparable results can be obtained using this method.

Key words:

COMSOL, Inventor, Flow optimization, Flow bench

| Serial Number: | ISSN: | Language: | Pages: |
|-----------------------|--------------|------------------|---------------|
| 2021:24 | 1458-1531 | Swedish | 21 |

| Handed in: | Date of presentation: | Date of approval: |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|
| 10.05.2021 | 12.05.2021 | 12.05.2021 |

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---|-----------|
| 1. INLEDNING | 6 |
| 1.1 Bakgrund | 6 |
| 1.2 Syfte | 6 |
| 1.3 Avgränsningar | 6 |
| 1.4 Disposition | 6 |
| 2. METOD | 7 |
| 2.1 Teori | 7 |
| 2.1.1 Förbränningsmotor | 7 |
| 2.1.2 Computational Fluid Dynamics | 8 |
| 2.2 Flödesbänken | 8 |
| 2.3 Kanalutformning | 11 |
| 2.4 Optimering | 13 |
| 2.5 Praktisk flödesmätning och optimering | 13 |
| 3. Resultat | 14 |
| 3.1 Flödestester i COMSOL | 14 |
| 3.2 Flödestester med flödesbänk | 18 |
| 3.3 Effektberäkning | 19 |
| 4. Slutsats | 20 |
| 5. Källor | 21 |

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Undersökningen baserar sig på mitt intresse för motorer och viljan att lära mig mera om hur dessa fungerar. Jag är också intresserad av att få en djupare kunskap i rit- och CFD-programmen som använts till undersökningen och på så vis få en bättre förståelse för när och hur dessa kan tillämpas i verkligheten.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är dels att undersöka om man med hjälp av fysikprogrammet COMSOL Multiphysics på ett lätt och smidigt sätt kan flödestesta, samt optimera, kanalerna i ett personbilstopplock och genom detta erhålla ett resultat som avspeglar verkligheten, men även få en större förståelse över hur ett luftflöde påverkas i olika förhållanden och vad man kan göra för att förbättra dess förutsättningar.

1.3 Avgränsningar

Då undersökningen är tänkt att fokusera sig på skillnaderna mellan CFD-program och verklighet kommer fokus endast att ligga på insugskanalens utformning i topplocket. Jag tar således inte med ventiler, förbränningsrum och andra kringliggande system.

1.4 Disposition

Undersökningen inleds med att förklara vikten av insugskanalens utformning i en motor, samt hur denna leder till effektökning. Sedan förklaras funktionen i en flödesbänk samt hur jag har valt att bygga min egen. Detta följs upp med den egentliga studien där insugskanalen först ritas upp i Inventor för att sedan importeras till COMSOL för flödestester. Därefter jämförs dessa med verkliga tester i den hembyggda flödesbänken varpå en viss optimering av

insugskanalen sker. Efter detta presenteras resultaten jag erhållit i undersökningen samt slutsatser.

2. METOD

2.1 Teori

2.1.1 Förbränningsmotor

En förbränningsmotor kan ses som en luftpump med ett givet displacement. Det givna displacementet borde rent teoretiskt gå att fylla under insugscykeln, men på grund av att ventilerna och portarna i motorn är små hinner inte motorn få in all luft utan det skapas ett undertryck i cylindern. Skillnaden mellan teoretisk och praktisk mängd luft som sugas in i cylindrarna kallas för fyllnadsgrad och mäts i procent. Fyllnadsgraden är inte konstant utan varierar med varvtalet på motorn. Vid lägre varvtal är gashastigheten låg och när insugsventilen öppnar är det trögheten för luften att komma i rörelse som stryker flödet. Vid högre varvtal är det i stället kanalarean och insugsventilens öppningstider som styr flödet. Detta betyder då att om man vill ha en motor med ett brett effektregister kan man inte bara öppna upp insugskanalerna så mycket som möjligt, utan måste också tänka på gashastigheten vid låga varvtal. Kanalernas utformningar måste alltså anpassas till motorns tänkta arbetsområde (Salminen, 2010). För att optimera dessa kanaler kan man använda sig av en flödesbänk. Denna består av en eller flera kraftiga fläktar, ett rörsystem med en avlastningsventil samt någon form av flödesmätning. Bänken bygger på massbalansen, vilken säger att massan i ett slutet system är konstant. Det betyder att luftens massflöde är konstant genom flödesbänken och gör att man efter porten i topplocket, men fortfarande i flödesbänkens slutna system, kan mäta massflödet och sedan få ut volymflödet genom rörsystemets kända area. Genom att mäta det dynamiska trycket i röret med ett pitot-rör kan man beräkna gashastigheten och på så vis få ut massflödet (Alvarez, 2006).

Då en motor som arbetar under verkliga förhållanden har väldigt höga tryckskillnader i insuget och dessutom, genom ventilens öppningar och stängningar, genererar pulser i

kanalerna är det väldigt svårt att flödestesta kanalerna i ett realistiskt systemtryck. För att lättare kunna jämföra olika topplock med varandra flödestestas de flesta topplocken därför i ett systemtryck som är 28 tum vattenpelare (Flowperformance, 2006).

För att uppnå detta tryck i väl flödande kanaler krävs ordentliga fläktar som drar mycket ström. I flödesbänkar med mindre kapacitet har man då istället ett lägre systemtryck och räknar om resultatet. Detta betyder att man med en mikroprocessor och rätt programvara kan använda en mycket mindre fläkt och i nutid avspegla resultat som flödesbänkar med större kapacitet klarar av (Flow Performance, 2007).

2.1.2 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics, förkortat CFD, kan på svenska beskrivas som numerisk flödesberäkning. Detta betyder att man med hjälp av ett CFD-program analyserar komplexa matematiska ekvationer och på så vis lättare kan lösa fysikproblem utan att behöva göra laborationer med verkliga modeller (Femto Engineering, 2017).

I arbetet användes COMSOL Multiphysics för CFD-beräkningarna. Detta program är väldigt kraftfullt, relativt lätt att lära sig samt har bra litteratur genom en blogg samt olika webinarium och videos.

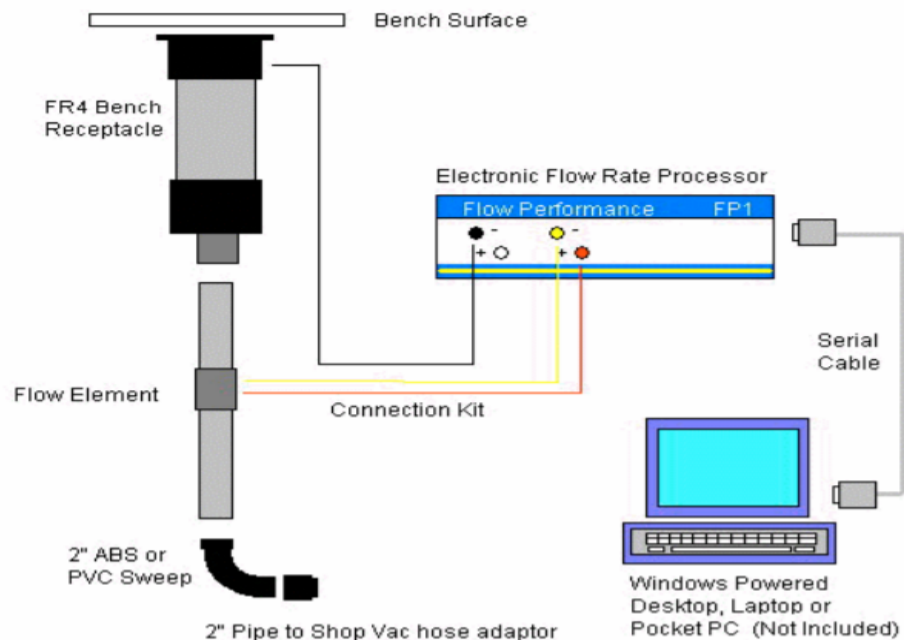
Med COMSOL kan man lägga upp studien på två vis. Antingen använder man sig av en blank modell där man har helt fria händer, men också måste bygga upp hela studien från grunden, eller så använder man en guidad modell att bygga studien i. Med den guidade modellen är det lätt att prova sig fram och få en känsla för programmets uppbyggnad. I båda modellerna behöver man bestämma vilken dimension man kommer arbeta i, vilken sorts fysikstudie som skall göras samt rita upp geometrin och tilldela den olika definitioner eller begränsningar.

För att få en grundläggande förståelse för arbetsflödet i detta program valde jag att genomförligt jobba mig igenom några introduktionsvideos från COMSOLs hemsida. När jag sedan hade en grund att stå på ritades ett rakt rör med känt flöde som skulle simulera ett

flödestest. Jag använde mig av en fysikmodell med laminärt flöde och skapade flödestestet genom att tilldela utloppet av röret ett undertryck medans inloppet simulerades vara i atmosfärstryck. För att sedan få fram volymflödet i röret integrerades hastigheten vid rörets utlopp. Efter små justeringar genom tilldelade fluider och andra begränsningar stämde flödena överens och tillvägagångssättet samt fysikmodellen tillämpades i själva arbetet.

2.2 Flödesbänken

Till den praktiska delen av undersökningen tillämpas en hembyggd flödesbänk med ett köpt flödesmätningssystem från Flow Performance som är festskruvat i en stålbänk och sedan kopplat till en dammsugare. Ett systemschema över detta kan ses i *Figur 1* nedan. Flow Performance-systemet använder sig av en mikroprocessor och programvara som i nutid räknar om flödet, från det aktuella systemtrycket som dammsugaren klarar av att ge, till ett på förhand specificerat systemtryck (Flow Performance, 2006a).



Figur 1, Systemschema över Flow Performance flödesmätningssystem (Flow Performance, 2006)

I *Figur 2* nedan visas flödesbänken med topplocket monterat. I figuren syns också en ring runt kanalen gjord i modellera, denna behövs då luften inte klarar av att ta sig runt ett skarpt hörn utan att släppa från ytan. Utan denna ring skulle resultatet bli ett sämre flöde till följd av att kanalen skulle verka mindre än vad den egentligen är, så kallat vena contracta (Cox, 2013).



Figur 2, Flödesbänk med topplock monterat

Flödesmätningen är uppbyggd av två tryckgivare som är kopplade till en behållare och ett flödeselement gjort i pvc-rör. I behållarens innanmäte finns en mätsond som mäter systemtryck, två flödesriktare som styr luften samt ett nät i botten. Flödesriktarna samt nätet i botten skall tillsammans störa ut så mycket turbulens som möjligt. I slutet av rörsystemet sitter själva flödeselementet, som mäter trycket inuti röret och på så vis ger mikroprocessorn det sista den behöver för att beräkna flödet (Flowperformance, 2006).

För att kalibrera flödesmätningen används en glasskiva med en stansad cirkel som har diametern en tum. Denna skiva fås färdigt flödestestad från Flow Performance där flödet står

skrivet på skivan. Nedan i *Figur 3* ses skivan jag erhållit, som enligt den graverade texten flödar 155 CFM vid 28 tum vattenpelare. För att kalibrera systemet flödestestar man skivan och justerar värdet man erhåller i programvaran tills det stämmer överens med det specificerade flödet på skivan (Flow Performance, 2006b).



Figur 3, Kalibreringsskiva från Flow Performance

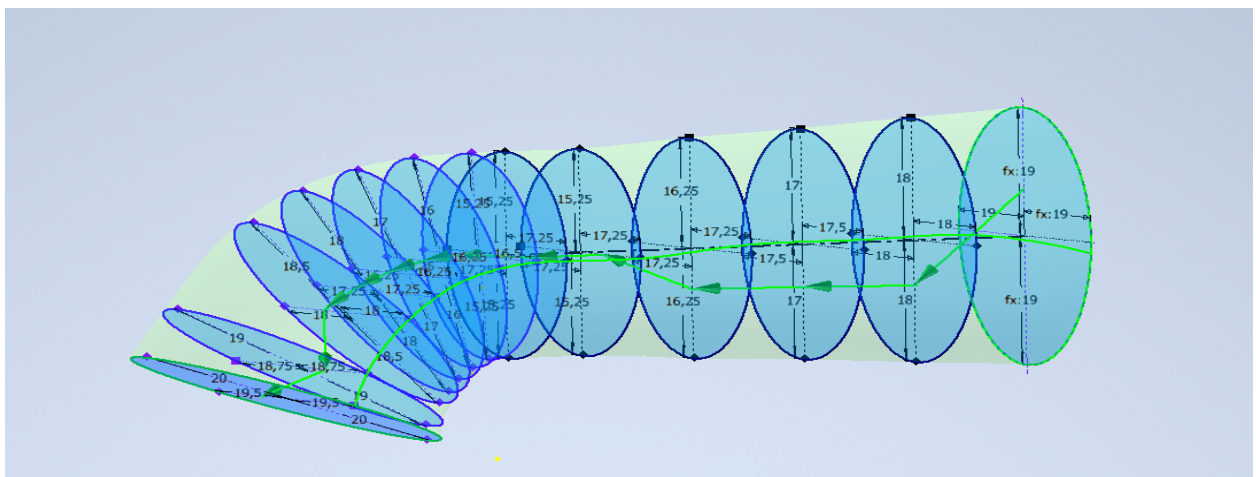
2.3 Kanalutformning

Genom att gjuta topplockets insugskanal med modellera erhöles modellen visad nedan i *Figur 4*. Formen på denna var svår att upprätthålla då den, på grund av sin komplicerade form, behövde gjas i tre delar. Noggrannheten ansågs ändå vara tillräcklig för att ge en uppfattning om hur modellen skulle ritas i Inventor.



Figur 4, Avformad insugskanal i modellera

Modellen avbildades i ritprogrammet Inventor genom att med skjutmått mäta upp höjden och bredden vid förutbestämda punkter längs dess centrumlinje. Dessa punkter ritades sedan ut i programmet samt sammanfogades till areor med 2d-kommandot spline. När alla areor ritats upp användes 3d-kommandot loft vilket gav en solid kanal, visad i *Figur 5* nedan. I figuren är också areorna synliga.



Figur 5, Avbildad insugskanal i Inventor

Det ska även vara möjligt att rita detta i COMSOL men då jag sedan tidigare är bekväm med Inventors uppbyggnad och tillvägagångssätt valde jag att använda mig av Inventor för att sedan importera filen till COMSOL. Då COMSOL kräver solida kroppar att binda kommandon till är det ej möjligt att rita kanalen ihålig så som den ser ut i verkligheten. Detta betyder att ventilstyrningen, som sticker ner en bit i kanalen, inte kan ritas på ett sådant sätt som låter den vara delaktig i COMSOL. För att göra undersökningen så riktig som möjligt slipades därför styrningen i den verkliga kanalen bort.

Vid importering av 3d-filen fanns det olika filformat att välja på, IGES-formatet gav den minsta felfaktorn och således också det bästa resultatet. Efter att kanalen importerats i COMSOL flödestestades den genom att ge kanalens utlopp ett undertryck av 28 tum vattenpelare samt låta inloppet vara utsatt för atmosfärstryck. Detta gav ett resultat vilket användes som bas för optimeringen.

2.4 Optimering

Genom att systematiskt flytta ritpunkterna en halv millimeter utåt åt gången, samt att flöda kanalen vartefter i COMSOL, erhöles en uppfattning om var längs med centrumlinjen en areaökning av kanalen gav ökat flöde. Med denna metod kunde riktningen på areaökningen också avläsas. Målet i detta skede av optimeringen var att försöka hitta så mycket flöde som möjligt utan att ändra för mycket på kanalens storlek.

2.5 Praktisk flödesmätning och optimering

I denna del av arbetet genomfördes de praktiska flödesundersökningarna, vilka inleddes genom att flödestesta en helt orörd insugskanal. Därefter optimerades kanalen till måtten som erhöles ur Inventor. För att slipa bort material ur kanalen användes en luftdriven roterande fil, visad i *Figur 6*. En fotpassare och ett skjutmått, visat i *Figur 7 nedan*, användes för att få rätt mått på kanalen.



Figur 6, Fotpassare till vänster och skjutmått till höger

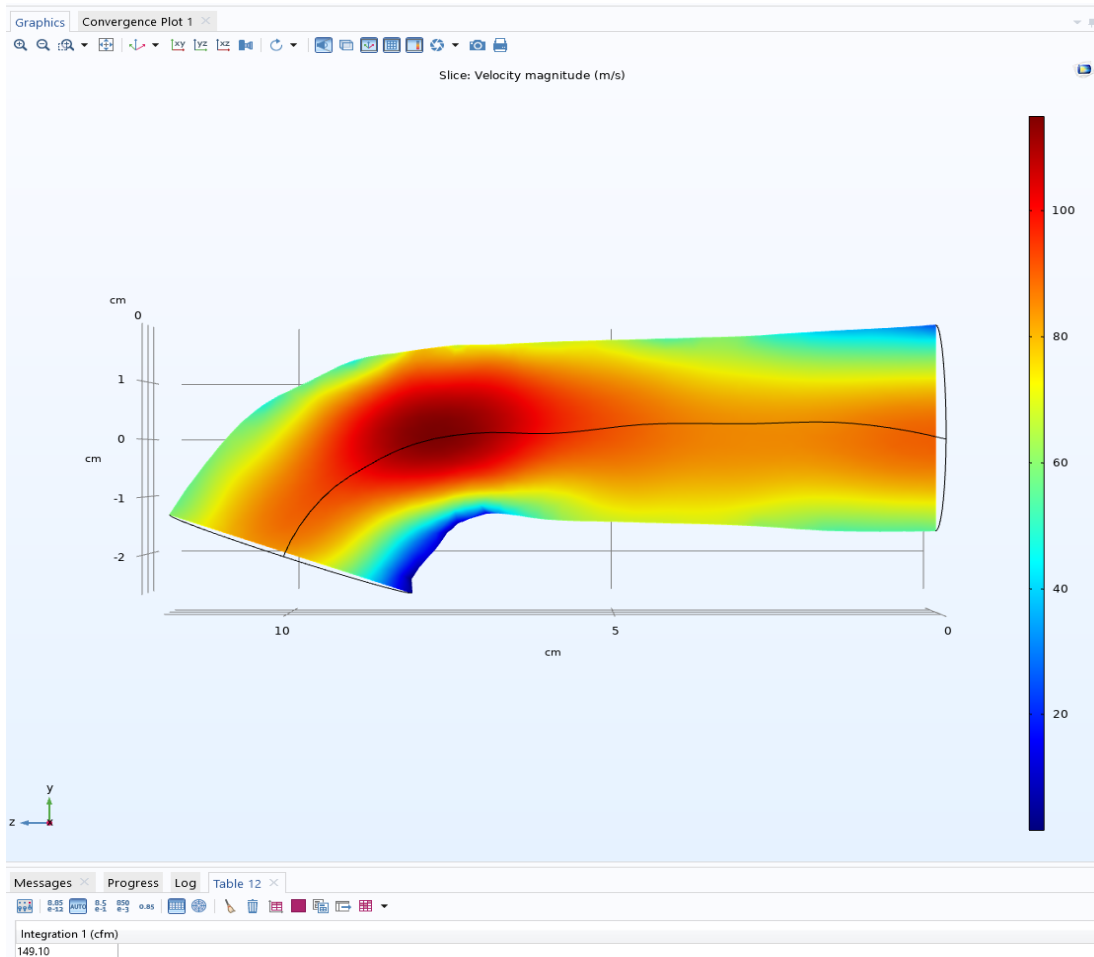


Figur 7, Luftdriven roterande fil

3. RESULTAT

3.1 Flödestester i COMSOL

Figur 8 nedan visar första kanalen importerad och flödestestad i COMSOL. Figuren illustrerar också gashastigheten i kanalen. Här ses tydligt att gasens hastighet ökar markant i det mörkröda området i mitten av kanalen medan luften nästan står stilla i det blå området i den nedre, kortare, radien. I figurens nedre hörn till vänster ses också kanalens volymflöde vilket för denna modell var 149,10 CFM, kubikfot per minut.



Figur 8, avbildad originalkanal flödestestad

Genom att mata in de tidigare uppmätta punkterna i Excel skapades en mall där första delen visas i *Tabell 1* nedan. Första delen av mallen består av förändringar i y-led och andra delen i x-led. Mallen är uppbyggd genom att dela in areorna i nummer med start från kanalens inlopp. Det betyder att area 2.1_1 visar kanalmodell nummer 2, vid area 1 med den första punktförflyttningen. Om denna areaökning ger ett positivt flödesresultat jämfört med originalkanalen blir differensrutan oberörd och är resultatet negativt blir differensrutan röd. Detta gör det lätt att se de områden där en areaökning ger positiv effekt.

Tabell 1, Optimeringsmall Del 1

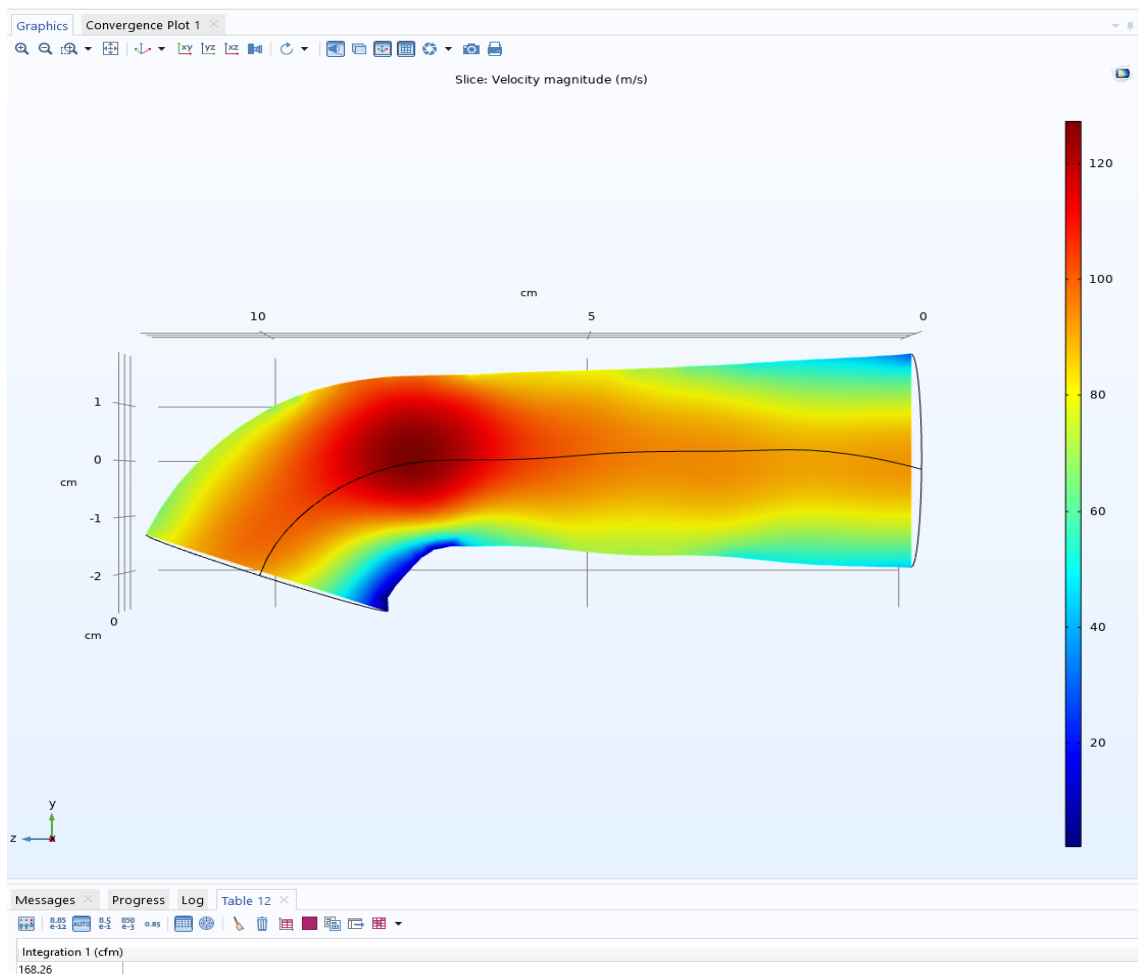
| Optimeringsmall Del 1 | | | | | | | |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|-------------|------------|
| | y1 (mm) | y2 (mm) | x3 (mm) | x4 (mm) | z (mm) | flöde (cfm) | diff (cfm) |
| 2.1_1 | 18,5 | 18 | 18 | 18 | 15 | 147,7 | -1,4 |
| 2.1_2 | 18 | 18,5 | 18 | 18 | 15 | 152,75 | 3,65 |
| 2.2_1 | 17,5 | 17 | 17,5 | 17,5 | 30 | 148,62 | -0,48 |
| 2.2_2 | 17 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 30 | 149,97 | 0,87 |
| 2.3_1 | 16,75 | 16,25 | 17,25 | 17,25 | 45 | 145,08 | -4,02 |
| 2.3_2 | 16,25 | 16,75 | 17,25 | 17,25 | 45 | 151,02 | 1,92 |
| 2.4_1 | 15,75 | 15,25 | 17,25 | 17,25 | 60 | 153,87 | 4,77 |
| 2.4_2 | 15,25 | 15,75 | 17,25 | 17,25 | 60 | 148,21 | -0,89 |
| 2.5_1 | 15,75 | 15,25 | 17,25 | 17,25 | 70 | 137,98 | -11,12 |
| 2.5_2 | 15,25 | 15,75 | 17,25 | 17,25 | 70 | 145,3 | -3,8 |
| 2.6_1 | 15,75 | 15,25 | 16,25 | 16,25 | 73,5 | 145,68 | -3,42 |
| 2.6_2 | 15,25 | 15,75 | 16,25 | 16,25 | 73,5 | 146,63 | -2,47 |
| 2.7_1 | 16,5 | 16 | 16,25 | 16,25 | 78,5 | 141,46 | -7,64 |
| 2.7_2 | 16 | 16,5 | 16,25 | 16,25 | 78,5 | 146,61 | -2,49 |
| 2.8_1 | 17,5 | 17 | 16,25 | 16,25 | 83,5 | 148,84 | -0,26 |
| 2.8_2 | 17 | 17,5 | 16,25 | 16,25 | 83,5 | 148,74 | -0,36 |
| 2.9_1 | 18,5 | 18 | 17,25 | 17,25 | 88,5 | 145,86 | -3,24 |
| 2.9_2 | 18 | 18,5 | 17,25 | 17,25 | 88,5 | 148,02 | -1,08 |
| 2.10_1 | 19 | 18,5 | 18 | 18 | 93,5 | 149,39 | 0,29 |
| 2.10_2 | 18,5 | 19 | 18 | 18 | 93,5 | 148,51 | -0,59 |
| 2.11_1 | 19,5 | 19 | 18,75 | 18,75 | 98,5 | 152,22 | 3,12 |
| 2.11_2 | 19 | 19,5 | 18,75 | 18,75 | 98,5 | 147,63 | -1,47 |

I *Tabell 2* nedan visas den andra delen av optimeringsmallen. Denna baserar sig på förändringar i x-led.

Tabell 2, Optimeringsmall Del 2

| Optimeringsmall Del 2 | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|
| 2.1_3 | 18 | 18 | 18,5 | 18 | 15 | 154,14 | 5,04 |
| 2.1_4 | 18 | 18 | 18 | 18,5 | 15 | 151,26 | 2,16 |
| 2.2_3 | 17 | 17 | 18 | 17,5 | 30 | 149,35 | 0,25 |
| 2.2_4 | 17 | 17 | 17,5 | 18 | 30 | 148,16 | -0,94 |
| 2.3_3 | 16,25 | 16,25 | 17,75 | 17,25 | 45 | 150,46 | 1,36 |
| 2.3_4 | 16,25 | 16,25 | 17,25 | 17,75 | 45 | 151,88 | 2,78 |
| 2.4_3 | 15,25 | 15,25 | 17,75 | 17,25 | 60 | 151,91 | 2,81 |
| 2.4_4 | 15,25 | 15,25 | 17,25 | 17,75 | 60 | 153,08 | 3,98 |
| 2.5_3 | 15,25 | 15,25 | 17,75 | 17,25 | 70 | 143,03 | -6,07 |
| 2.5_4 | 15,25 | 15,25 | 17,25 | 17,75 | 70 | 142,77 | -6,33 |
| 2.6_3 | 15,25 | 15,25 | 17 | 16,5 | 73,5 | 151,22 | 2,12 |
| 2.6_4 | 15,25 | 15,25 | 16,5 | 17 | 73,5 | 156,28 | 7,18 |
| 2.7_3 | 16 | 16 | 16,75 | 16,25 | 78,5 | 142,07 | -7,03 |
| 2.7_4 | 16 | 16 | 16,25 | 16,75 | 78,5 | 143,34 | -5,76 |
| 2.8_3 | 17 | 17 | 16,75 | 16,25 | 83,5 | 152,69 | 3,59 |
| 2.8_4 | 17 | 17 | 16,25 | 16,75 | 83,5 | 151,56 | 2,46 |
| 2.9_3 | 18 | 18 | 17,75 | 17,25 | 88,5 | 142,86 | -6,24 |
| 2.9_4 | 18 | 18 | 17,25 | 17,75 | 88,5 | 145,12 | -3,98 |
| 2.10_3 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18 | 93,5 | 143,96 | -5,14 |
| 2.10_4 | 18,5 | 18,5 | 18 | 18,5 | 93,5 | 144,37 | -4,73 |
| 2.11_3 | 19 | 19 | 19,25 | 18,75 | 98,5 | 148,2 | -0,9 |
| 2.11_4 | 19 | 19 | 18,75 | 19,25 | 98,5 | 151,66 | 2,56 |

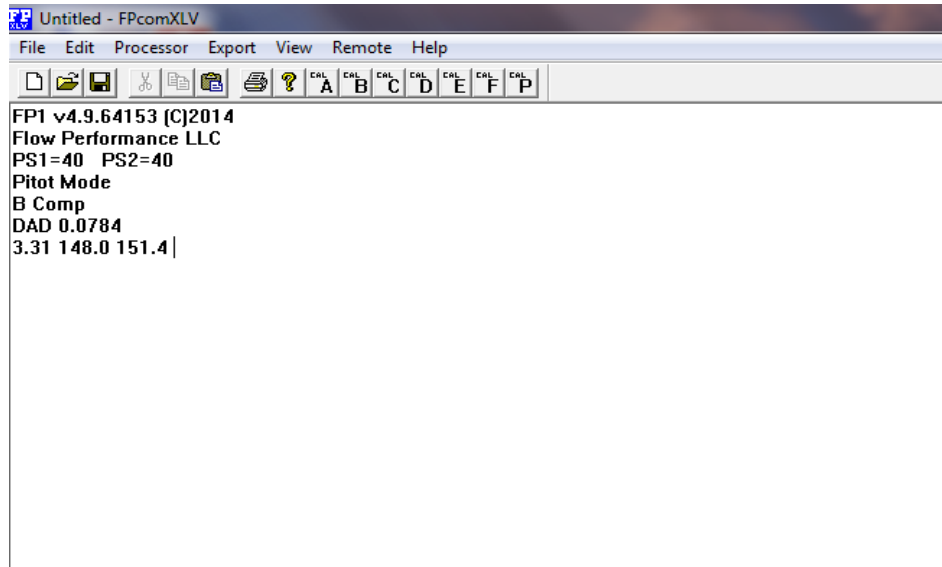
När kanalen sedan justerades, med optimeringsmallen som grund, ökades volymflödet till 168,26 CFM. I *Figur 9* nedan syns också varför. Den röda delen i figuren där gashastigheten är som störst har blivit större, medan den blåa delen där luften nästan står stilla har blivit mindre.



Figur 9, optimerad kanal flödestestad

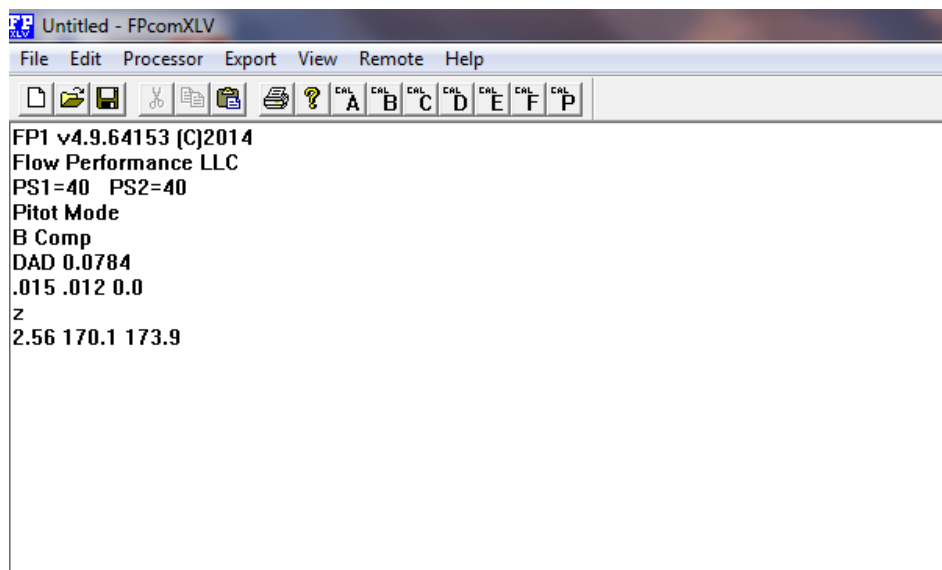
3.2 Flödestester med flödesbänk

Genom att flödestesta originalkanalen erhöles värdena visade i *Figur 10* nedan. Här syns att flödesbänkens verkliga systemtryck är 3,31 tum vattenpelare medans det beräknade flödet är 148,0 CFM, vid ett systemtryck av 28 tum vattenpelare.



Figur 10, Verkligt flödestest av orörd kanal

I Figur 11 nedan visas flödestestet av den optimerade kanalen. Detta test visar att den optimerade kanalen flödar 170,1 CFM men då denna kanal är större till volymen orkar inte dammsugaren hålla samma systemtryck som vid föregående test och ger därför ett mindre systemtryck av 2,56 tum vattenpelare. Däremot räknas fortfarande flödet om till 28 tum vattenpelare och visar således jämförbara värden.



Figur 11, Verkligt flödestest av optimerad kanal

3.3 Jämförelse mellan COMSOL och verklighet

Om man då tar figurerna ovan i beaktande ses att differensen mellan teoretiskt och praktiskt flöde som mest varierar med 1,9 CFM. I metriska mått blir differensen alltså 0,05 m³/min, eller 55 l/min, vilket motsvarar ca 1%. Denna deviation anses fullt acceptabel.

3.4 Effektberäkning

Vid en renodlad racingmotor kan man räkna ut effekten man får av insugskanalens flöde genom formeln: $hk = 0,43 \times CFM(10''VP)$. I detta fall kan effekten då fås ut genom beräkningen nedan. (*Snabbaste Vägen till ökad Effekt*, 1990)

3.4.1 Original kanal

$$0,43 \times \sqrt{\frac{10''VP}{28''VP}} \times 148 CFM = 38,03 hk$$

$$38,03 hk \times 4 = 152,13 hk$$

3.4.2 Optimerad kanal

$$0,43 \times \sqrt{\frac{10''VP}{28''VP}} \times 170 CFM = 44,69 hk$$

$$44,69 hk \times 4 = 178,76 hk$$

Genom att optimera originalkanalen erhålls ett ökat flöde av 22 CFM som med rätt konfiguration av motor borde generera en effektökning av 22,61 hk.

4. SLUTSATS

Syftet med arbetet var att jämföra teoretisk flödestestning mot praktisk samt undersöka luftflödet i en motors insugskanal. Även då flödesbänken är en simpel och förhållandevis billig konstruktion erhöles resultat som direkt kunde jämföras med värden hämtade ur COMSOL. Detta betyder att tillvägagångssättet med att flödesoptimera topplock i CFD-program går att tillämpa.

Vill man då ta steget längre bör det alltså vara möjligt att rita upp och optimera ett topplock i COMSOL för att sedan använda en CNC-fräs för det fysiska optimerandet och på så vis snabba upp processen samt få bort eventuella misstag orsakade av den mänskliga faktorn.

Arbetet har varit mycket intressant och lärorikt. Speciellt i COMSOL där man fritt kan prova olika problem och idéer samt snabbt få fram svar och lösningar på dessa.

Detta arbete kunde även jobbas vidare på genom att undersöka avgaskanalens utformning, flödesförändringar skapade av ventiler i olika utföranden, förbränningsrummets utformning samt påverkan av olika dimensioner och former av kolvar.

KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING

Alvarez, H. (2006). *Energiteknik*. Studentlitteratur AB.

Cox, E. (2013). *Flödesbänken*. Topplöcksverkstans Flödesbänk.

<http://www.topplöcksverkstan.se/flodesbanken.html>

Femto Engineering. (2017, October 4). *An introduction to CFD: what, why and wow - femto engineering*.

Femto Engineering. <https://www.femto.eu/stories/what-is-cfd/>

Flow Performance. (2006a). *Bench construction*. Flow Performance.

http://www.flowperformance.com/docs/bench_construction.pdf

Flow Performance. (2006b). *FE Series Flow Element Calibration*. calibration_7.doc.

http://www.flowperformance.com/docs/fe_calibration.pdf

Flowperformance. (2006). *quick setup*. Flowperformance.

http://www.flowperformance.com/docs/quick_setups.pdf

Flow Performance. (2007). *Flow Performance Frequently Asked Questions*. Flow Performance.

<http://www.flowperformance.com/faq.html>

Salminen, J. (2010, July 21). *Mer om hästkrafter*. Mer Om Hästkrafter - Spix.

<https://www.spix.nu/motor/mer-om-hastkrafter/>

Snabbaste vägen till ökad effekt. (1990). Airflow X-pert.