

CHALMERS



Kylfläns till förbränningsmotor hos radiostyrda tävlingsbilar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Michael Nilsson
Mattias Rehn

Institutionen för Tillämpad mekanik
Avdelningen för fordonsteknik och autonoma system
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2011
Examensarbete 2011:06

EXAMENSARBETE 2011:06

Kylfläns till förbränningsmotor hos radiostyrda tävlingsbilar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

MICHAEL NILSSON
MATTIAS REHN

Institutionen för Tillämpad mekanik
Avdelningen för fordonsteknik och autonoma system
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2011

Kylfläns till förbränningsmotor hos radiostyrda tävlingsbilar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

MICHAEL NILSSON

MATTIAS REHN

© MICHAEL NILSSON, MATTIAS REHN, 2011

Examensarbete 2011:06 ISSN 1652-9901

Institutionen för Tillämpad mekanik

Avdelningen för fordonsteknik och autonoma system

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Prototypkylfläns monterad på verklig motor

Chalmers Reproservice

Göteborg, Sverige 2011

Förord

Som du läst ovan är vi två killar som heter Michael och Mattias. Vi går sista året på maskiningenjörsprogrammet (180 hp) på Chalmers och avslutar vår utbildning med detta examensarbete inom kylflänsutveckling.

På sin fritid tävlar Michael inom radiostyrd bilsport. När hans sponsor HP Hobbyprodukter fick höra att det var dags för examensarbete hörde de av sig och presenterade sin idé. Vi fick uppdraget att utveckla en ny typ av kylfläns till motorn på de radiostyrda bilarna som Michael tävlar med. Att hitta ett examensarbete som passar ens intressen kan vara svårt. Vi tycker båda om att modellera i CAD, och har konstruktion som ett gemensamt intresse. Därför är vi väldigt tacksamma att vi fick möjligheten att göra något som kombinerar de två intressena.

Att hitta en lämplig handledare och examinator inom vårt område visade sig vara svårt på campus Lindholmen. Tack vare ett bra kontaktnät mellan lärarna på Chalmers fick vi kontakt med Lennart Löfdahl, professor i strömningsmekanik. Han arbetar på campus Johanneberg och åtog sig att vara examinator för oss. Lennart introducerade oss för forskningsingenjören Andrew Dawkes, som har verkat som vår handledare för de tekniska bitarna i arbetet. Vi är tacksamma för den hjälp och det stöd vi fått av dem, och för det som de har lärt oss.

Vi vill även passa på att tacka Kjell Melkersson, Univ. lektor i konstruktion, som tipsade oss om beräkningsverktyget COMSOL Multiphysics och var allmänt behjälplig vid uppstarten av projektet. Vi tackar även Göran Stiegler, som hjälpte oss med prototypframställningen med 3D-printning.

Sammanfattning

Inom Radiostyrd Bilsport tävlas det med ett antal olika klasser som drivs av 2-takts förbränningsmotorer. Dessa blir mycket varma och måste kylas av. Det sker med hjälp av en kylfläns som är monterad ovanpå förbränningsrummet, och som kyls av fartvinden.

HP Hobbyprodukter har frågat oss om vi kan hjälpa dem att ta fram en egen kylfläns åt dem. Eftersom det ofta förekommer ovarsam behandling i tävlingsammanhang, är det ett krav att kylflänsens ska tåla detta. Den måste även avleda värme från förbränningsrummet, motorblocket och övriga motorkomponenter effektivt. Ett önskemål är att kylflänsen ska ha ett unikt utseende, så att den är lätt att känna igen ute på banan.

Arbetet har inriktat sig på prototypnivå. Alla termodynamiska beräkningar har genomförts som simuleringar av luftflöde och värmeledning hos en CAD-modell i COMSOL Multiphysics 4.0a. Endast värmeavledning genom konvektionen till omgivningsluften har behandlats.

Ett problem som finns med dagens modeller är att de har för tunt gods i de delar som ska leda värmen uppåt i flänsen. Vi har arbetat med olika lösningar och genom flertalet simuleringar har vi fått fram ett koncept som är både effektivare och snyggare än standardflänsarna. Den framtagna kylflänsen har tjockare gods på kritiska ställen och kyler ungefär 30-40% bättre än referensflänsen, och vikten är cirka 20% lägre.

Summary

In RC car racing, several different car classes are propelled by two-stroke internal combustion engines. These get very hot and must be cooled. This is achieved with a heat sink that is mounted on top of the combustion chamber, and is cooled by the windflow.

HP Hobbyprodukter has asked us to develop a unique cooling head for them.

Requirements for the cooling head is that it has to withstand rough treatment, which often occur in competition racing, and it has to dissipate heat from the engine block and other engine components efficiently. The cooling head has been given a unique look, so it is easily recognized on the track.

The assignment has been focused on prototype level. All thermodynamic calculations were done as simulations of airflow and heat transfer from a CAD model in COMSOL Multiphysics 4.0a. Only heat dissipation through convection to the ambient air has been taken into consideration.

A problem with today's models is that they have very thin walls in the regions that lead the heat to the upper parts of the cooling head. We have combined different solutions and run several simulations that resulted in a cooling head that is both more effective and better-looking than standard cooling heads. The developed cooling head cool about 30-40% better than reference cooling head, and the weight is about 20% lower.

The report is written in Swedish.

Keywords: Heat sink, cooling head, internal combustion engine, RC race car, buggy

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| BETECKNINGAR | 1 |
| 1. INLEDNING..... | 2 |
| 1.1 Bakgrund | 2 |
| 1.2 Syfte..... | 2 |
| 1.3 Avgränsningar..... | 2 |
| 1.4 Precisering av frågeställningen..... | 3 |
| Vilka material och tillverkningsätt ska användas?..... | 3 |
| Design | 3 |
| Luftflöde | 3 |
| Simulering..... | 3 |
| Vibrationer och egenfrekvenser | 3 |
| 2. TEORETISK REFERENSRAM..... | 3 |
| Vad är värmeöverföring?..... | 3 |
| Kylflänsen..... | 4 |
| Pinnflänsar..... | 5 |
| 3. METOD | 7 |
| 4. RESULTAT | 9 |
| Pinnflänsar..... | 9 |
| Materialval..... | 9 |
| Standardflänsar | 9 |
| Novarossi Plus-4..... | 9 |
| Novarossi Bonito | 10 |
| Tankar kring nedsänkning..... | 12 |
| Viktoptimering och energibuffert..... | 14 |
| Tjockare gods..... | 15 |
| Koncept..... | 15 |
| Bonito | 15 |
| Stående flänsar, “blad-flänsar” | 16 |
| Blad3 och Blad4..... | 16 |
| Solfjäderflänsar | 17 |
| Analys vid låg fart..... | 19 |
| Vibrationer och egenfrekvenser | 19 |
| Design | 19 |
| Alien Demon 1..... | 21 |
| Rapid Prototyping | 22 |
| SLUTSATSER..... | 24 |
| KÄLLFÖRTECKNING..... | 26 |

BETECKNINGAR

Förbränningsrum: Motorblockets övre del och kompressionskammarens lock. Här sker själva explosionen, och det är ovanpå förbränningsrummet som kylflänsen monteras. Ett av motorns varmaste områden.

LTI: Luft-TemperaturIndex. Ett värde som vi använder för att kunna jämföra alla flänsarna med varandra.

Rapid Prototyping: Additiv framställningsmetod för att skriva ut 3D CAD-modeller. Modellen skrivs ut lager på lager med smält plast.

Features: Alla de egenskaper som tillsammans bygger upp en CAD-modell. Kan vara en kub, ett mått, en urröpning, extrudering eller liknande.

Modellträd: Lista med features i CAD-program.

Släppvinkel: En svagt vinklad yta för att underlätta avlägsning av gjuten komponent ur gjutform. Anges i grader.

1. INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Inom Radiostyrd Bilsport tävlas det med ett antal olika bilklasser drivna av 2-takts förbränningsmotorer. Dessa blir mycket varma och måste kylas av. Det sker med hjälp av en kylfläns som är monterad ovanpå förbränningsrummet. Kylflänsen sticker upp ur den täckande karossen genom ett hål, och får på så vis kylning av fartvinden.

I längre lopp krävs ett antal bränslestopp. Ju magrare en motor körs, desto mindre bränsle förbrukar den. En nackdel med mager bränsletillförsel är att temperaturen stiger avsevärt. För att motorn inte ska ta skada behövs en kraftfull och effektiv kylfläns.

HP Hobbyprodukter har frågat oss om vi kan hjälpa dem att ta fram en egen kylfläns åt dem. Eftersom det ofta förekommer ovarsam behandling i tävlingsammanhang, är det ett krav att kylflänsens ska tåla detta. Den måste även avleda värme från förbränningsrummet, motorblocket och övriga motorkomponenter effektivt. Framför allt varma sommardagar uppkommer problem med överhettade motorer, och då behövs en kylfläns kapabel att klara av uppgiften.

Många inom sporten intresserar sig minst lika mycket om utseendet på sina tävlingsbilar, som för själva prestandan på produkterna. Därför är det viktigt att kombinera prestanda med utseende på varje enskild komponent, för att skapa en konkurrenskraftig produkt.

1.2 SYFTE

HP Hobbyprodukter vill ha en kylfläns med ett unikt utseende, så att den är lätt att känna igen ute på banan. Samtidigt ska den klara av att kyla lika bra eller bättre än de kylflänsar som redan finns på marknaden.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Eftersom tiden är begränsad kommer alla termodynamiska beräkningar genomföras som simuleringar av luftflöde och värmeledning hos en CAD-modell i lämpligt program. Gällande värmeavledningen kommer hänsyn endast att tas till konvektionen mellan kylfläns och omgivningsluft. Till exempel strålning, och värmeledning ner i övriga chassit, kommer ej att behandlas.

Eftersom vi inte kommer tillverka någon modell i aluminium förrän möjligtvis i slutet mäts all vikt med en beräkningsfunktion i Pro/E, där man anger material till modellen (aluminium 6063).

I.4 PRECISERING AV FRÅGESTÄLLNINGEN

VILKA MATERIAL OCH TILLVERKNINGSSÄTT SKA ANVÄNDAS?

Aluminiumskum med öppen cellstruktur - Vi tror att detta kan skapa ett intressant luftgenomflöde.

Gjuten aluminium - enkel och billig metod.

Sintrad aluminium - mycket yta p.g.a. kornigheten. Borde ge bra kylgenskaper, och ger en lätt konstruktion p.g.a. materialets små håligheter.

Koppar – Bra kylförmåga

DESIGN

Vilken design ger bäst kylning? Kan olika materialstrukturer ge olika estetiskt tilltalande attribut?

LUFTFLÖDE

Bör designen jobba med eller mot luftströmmen? (Högt eller lågt motstånd?)

Om vi väljer att ha kylkanaler ovanpå flänsarna, ska dessa vara raka eller kurviga?

SIMULERING

Kommer datorsimuleringarna ge ett tillräckligt bra resultat?

Är vårt sätt att simulera korrekt?

Kan man simulera på annat sätt? T. ex. i vindtunnel.

VIBRATIONER OCH EGENFREKVENSER

Vissa kylflänsar av aluminium har haft problem med att de skakar sönder efter en tids körning. Kommer kylflänsens egenfrekvens påverka livslängden?

2. TEORETISK REFERENSRAM

VAD ÄR VÄRMEÖVERFÖRING?

Ju större temperaturdifferens, desto större är värmeutbytet. Värmeöverföring sker överallt där det finns en temperaturdifferens.

Det finns tre typer av värmeöverföring; ledning, konvektion och strålning. (*Y. A . Cengel 2006*)

Ledning: Värme som leds inom ett medium, t ex luft, vatten och metall. Värmeledningstalet för ett material berättar hur bra materialet leder värme.

Konvektion: Värmeöverföring från ett fast medium till ett flytande eller gasformigt, eller vice versa. Konvektionen kan vara både naturlig eller forcerad. Exempel på naturlig konvektion är en varm potatis på en tallrik som kyls av omgivningsluften, medan forcerad konvektion kan vara ett ägg som kyls under vattenkranen eller om en fläkt blåser på potatisen.

Strålning: Avgiven energi i form av elektromagnetiska vågor eller fotoner på grund av materialets atomära rörelser. Till skillnad från ledning och konvektion behöver strålning inget omgivande medium, utan kan ske i vakuum. Strålning från ett material beror på materialets yta och färg. Svarta och matta ytor både absorberar och utsöndrar värmestrålning bäst. Solenergi är en sorts värmestrålning.

KYLFLÄNSEN

En kylfläns är ett stycke metall som fästs på ett varmt objekt för att avleda värme via konvektion till ett omgivande kylningsmedium (luft eller ibland vatten eller olja). Kylmediet strömmar runt och igenom flänsen och tar upp och leder bort värmen. Materialet i flänsen är ofta koppar eller aluminium, där koppar har bäst prestanda, medan aluminium är lättare och billigare. Formen består av flera olika sorters plattor, veck, skivor eller stavar för att skapa stor yta till kylningsmediet.

En kylfläns utformning måste ha två viktiga egenskaper.

1. Att ha så stor area som möjligt, för att på så vis få stor kontaktyta mot luften, för att i sin tur ge mycket konvektion från kylflänsen till omgivningsmediet. Konvektionen kan vara både forcerad och naturlig.

2. Att leda värme från värmekällan till kylflänsens konvektionsarea. Värmeöverföring är driven av temperaturdifferenser. Om det inte finns någon temperaturskillnad mellan kylflänsen och omgivningsmediet sker ingen värmeöverföring. Därför måste kylflänsens material leda värme så bra som möjligt för att temperaturdifferensen ska vara så stor som möjligt vid konvektionsarean. I dagsläget finns det enbart en enda typ av kylfläns till modellmotorerna, se figur 1. De är uppbyggda av runda diskar monterade vågrätt ovanpå varandra med jämna mellanrum och kopplas samman med en cylinder i mitten. De kan vara både helgjutna och med påpressade diskar på en gjuten stomme. De påpressade flänsarna har stor benägenhet att vibrera sönder. Cylindern sitter monterad direkt ovanpå det varma förbränningsrummet.



Figur 1. Typisk kylfläns. (Hot Bodies Online)

Det finns inga officiella artiklar att läsa inom kylning för radiostyrda bilar. Närliggande område är kylflänsar till datorkomponenter. De har lägre flödes hastighet, men ungefär samma temperaturer.

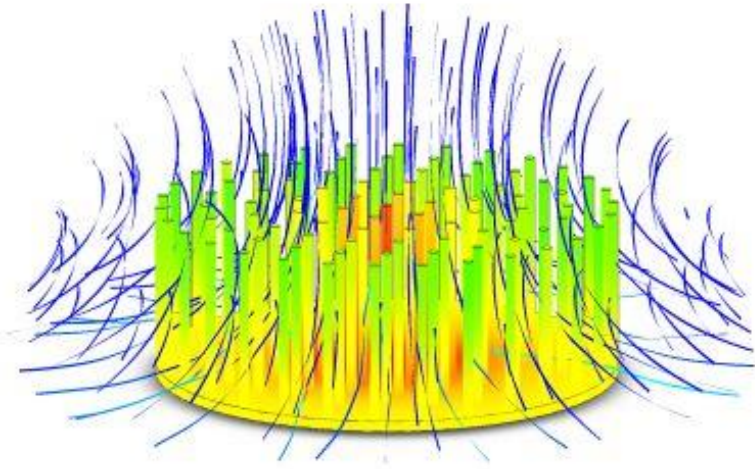
PINNFLÄNSAR

“Ju större area en fläns har, desto bättre kyler den. Detta är emellertid inte alltid sant.”

-Kordyban (*T. Kordyban 1998*)

Areamässigt är pinnflänsar (stolpar) överlägset bladflänsar, men fungerar inte alltid bäst. Forghan har utfört tester på pinnflänsar och bladflänsar, och kommit fram till att pinnflänsar fungerar bättre vid låga hastigheter (≤ 1 m/s) och vid naturlig konvektion. Pinnflänsar fungerar bäst när luftflödet är parallellt med pinnarnas axlar. Vid naturlig konvektion stiger den varma luften upp längs med pinnarna och kall luft sugas in i flänsen från sidorna, se Figur 2.

Vid högre hastigheter med strömning vinkelrät mot stolparna bildas vakar bakom stolparna. Vakarnas turbulens ger lokalt väldigt bra kylning på grund av kraftig blandning, medan den genomsnittliga värmeöverföringen för stolpen försämras. (*Y. A. Cengel 2006*)



Figur 2. Pinnfläns vid naturlig konvektion. (Novel Concepts, Inc)

3. METOD

En undersökning av marknaden gjordes, där vi tittade på kylflänsar från olika märken. Vi kunde snabbt konstatera att principen för alla befintliga kylflänsar för bilarna är identiska. Vi valde att modellera upp två av dem för att få referenser att utgå ifrån. Dimensionerna togs med skjutmått från verkliga produkter.

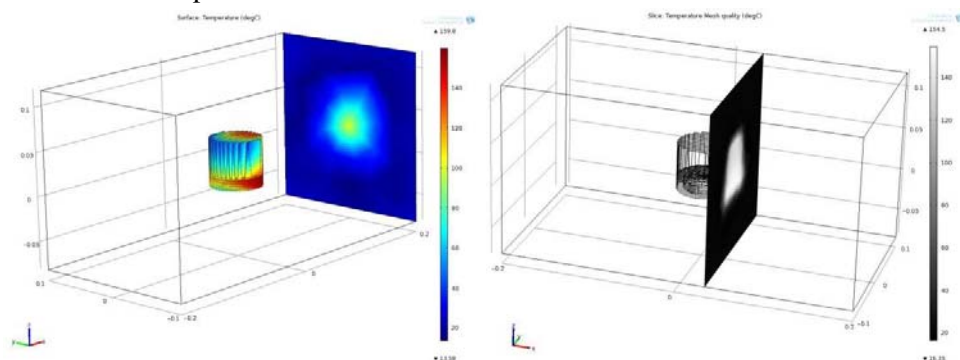
För att utvärdera flänsarna använde vi programmet COMSOL Multiphysics 4.0a. Det är ett analysprogram som kombinerar olika fysikaliska simuleringsmoduler. Vi använde oss av värmeöverföringsmodulen och egenfrekvensmodulen. Multiphysics kan även beräkna och simulera till exempel hållfasthetsproblem och kemiska reaktioner.

I COMSOL Multiphysics finns ett antal olika fysikaliska moduler. I varje modul anges materialdata, randvillkor och eventuella andra inställningar. Varje modul skapar ett system av Partiella DifferentialEkvationer (PDEer) och randvillkor med de aktuella inställningarna. Vid beräkningen slår Multiphysics samman alla modulernas PDEer och randvillkor till ett större system av PDEer och randvillkor, som sedan löses iterativt tills önskad noggrannhet uppnås.

En fördel med Multiphysics är att det är enkelt att använda, med en låg inlärningströskel, och man får snabbt ut sitt resultat i grafiskt form. Det var en stor fördel för oss när vi testade många olika koncept och idéer.

Med COMSOL Multiphysics 4.0a gjorde vi fluid-simulationer på referensflänsarna. Materialet i kylflänsen är i samtliga fall aluminium 6061.

Simulationen utfördes enligt följande; kylflänsen monterades i mitten av ett rätblock av luft med måtten 0,2m x 0,2m x 0,4m. Kylflänsens bottenplatta sattes med Heat Source (värmekälla) till 433 Kelvin (vid test uppmättes temperaturen 160 °C med IR-termometer). Därefter blåstes laminärt strömmande rumstempererad luft på den varma kylflänsen från ena kortsidan i x-led (Inlet, lufthastighet 10m/s). Luften strömmade runt och igenom kylflänsen, och sedan ut genom andra kortsidan (Outlet (no pressure) och Outflow (värmens utströmning)). När simuleringen var klar mättes temperaturen över ett snitt i luften fem millimeter bakom flänsens bakersta del.



Figur 3. Värmefördelning och LTI-slice för kylflänsen "Blad3". Vindriktning från vänster i bild.

Snittet plottades i en svartvit gradientskala, där solid vit representerar 433K, och helt svart representerar rumstemperaturen 20 °C (293K), se Figur 3. Snittet exporterades som en bitmapsbild som importerades i Matlab där luftens medeltemperatur kunde beräknas som medelvärdet av alla pixlarna. (1000x1000px i 8-bitars gråskala. Solid svart får värdet 0 i Matlab, och solid vit 255). Det numeriska medelvärdet som Matlab returnerade säger i sig ingenting om hur effektiv kylflänsen är, men det gav oss ett index (LTI - luft-temperatursindex) att jämföra alla testade kylflänsar med. Högre LTI-värde visar på en effektivare kylfläns. Får vi ett högre LTI-värde än standardkylaren kan vi vara nöjda.

Efter varje simulering gick vi tillbaka till Pro/E för att justera, och ibland skapa helt nya features som skulle kunna ge bättre resultat. Blev kombinationerna lyckade så sparades dessa egenskaper till framtida modeller.

När vi nådde en design som vi var nöjda med rent prestandamässigt började vi se över den estetiska biten. Efter ansiktslyftningen gjordes ytterligare simuleringar för att kontrollera att det inte påverkade flänsens prestanda nämnvärt negativt.

För att få en "ren" och städad CAD-modell beslutade vi att rita om den helt från grunden, där alla mått och referenser är satta på ett smartare och mer logiskt sätt än innan, för att undvika eventuella komplikationer vid framtida tillverkning. Vi la även till släppvinklar på de ytor som behövde detta för att kunna gjuta modellen i sandform.

Den färdiga CAD-modellen skrev vi sedan ut i plast med en 3D-printer för att verifiera kylflänsens passform på motorn. Verifieringen gjordes genom montering på verklig motor.

4. RESULTAT

PINNFLÄNSAR

Vi kommer inte att göra några analyser av pinnflänsar. Vid högre lufthastigheter fungerar en bladflänskonfiguration bättre än pinnflänsar, se teorikapitlet. RC-bilarna kör väldigt våldsamt och landar ibland på taket vid höga hopp, och vi bedömer att pinnfläns inte är tillräckligt stryktålig.

MATERIALVAL

ALUMINIUMSKUM OCH SINTRAD ALUMINIUM

På grund av svåra tillverkningsmetoder och begränsade beräkningsmöjligheter valde vi att inte undersöka aluminiumskum och sintrad aluminium som möjliga material.

KOPPAR

Eftersom koppar är mycket dyrt och dessutom mjukt och relativt tungt jämfört med aluminium, valde vi att inte behandla koppar ytterligare.

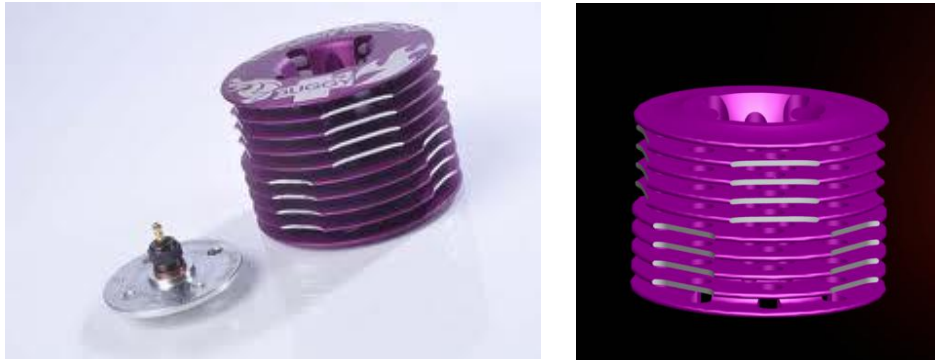
GJUTEN ALUMINIUM

Vi valde att föreslå gjuten aluminium som material för kylflänsen, eftersom det ger en enkel tillverkning, samt att det är billigt att både köpa in och bearbeta. Aluminium har även väldigt låg vikt och hög hållfasthet, samtidigt som det leder värme godtagbart bra.

STANDARDFLÄNSAR

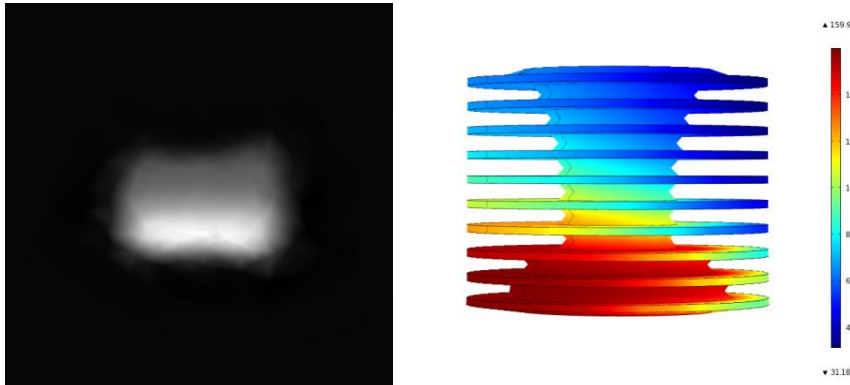
NOVAROSSİ PLUS-4

För att få en referens valde vi att modellera upp en av kylflänsarna som vi hade tillgängliga; Novarossi Plus-4. Det är en relativt stor kylfläns av standardutförande.



Figur 4. T.V: Förbränningsrum med monterat glödstift, och Novarossi Plus-4. T.H: CAD-modell.

Analys i Multiphysics gav följande temperaturgradient:



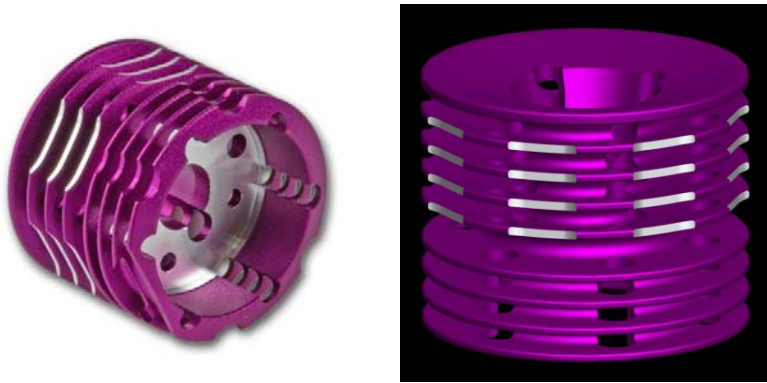
Figur 5. T.V: Värmebild bakom kylflänsen. (LTI på 64,3) T.H: Värmespridningen i godset

Som man kan se av Figur 5 har värmen svårt att nå upp i flänsens övre regioner. Det blåa högst upp är relativt kallt, och det syns tydligt på det ljusa området i Figur 5 att endast de 3-4 understa skivorna avger nämnvärd värme. Den översta delen är svart, och därmed verkningslös. Slutsatsen vi drog av detta är att det är för stort termiskt motstånd inuti flänsen. Avståndet från förbränningsrummet till flänsens övre del är också långt, och detta ger tillsammans ett högt termiskt motstånd.

NOVAROSSİ BONITO

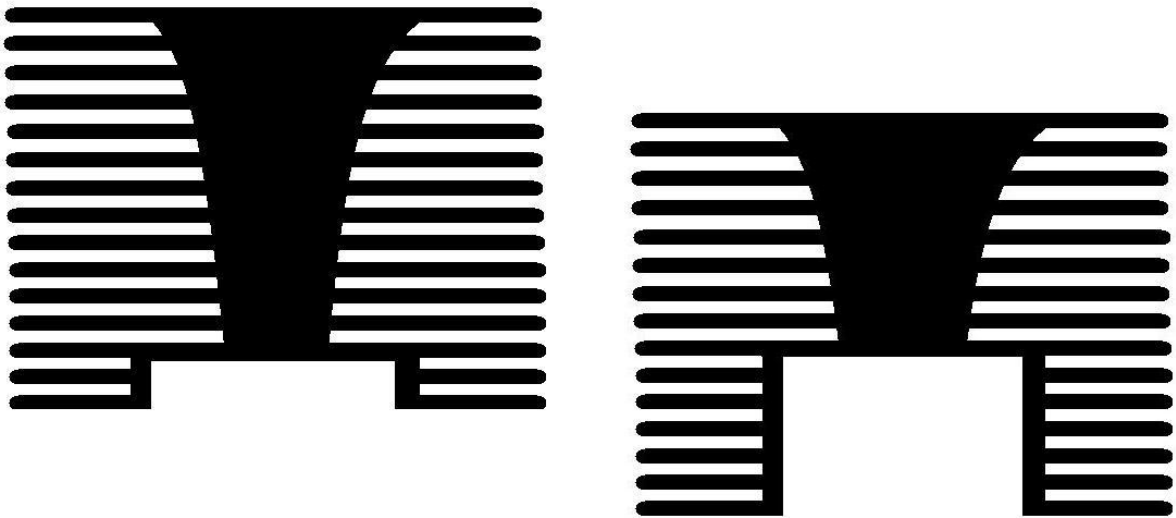
Novarossi har en ny variant av sin kyltopp som är lite annorlunda utformad. Den är ungefär lika stor, men sitter monterad längre ner över förbränningsrummet, med en s.k. nedsänkning.

Kylflänsens nedsänkning är den delen av flänsen som hänger nedanför förbränningsrummet i höjddled. I bilden t. v. nedan är förbränningsrummets position i höjd med den aluminiumfärgade ytan. Allting nedanför tillhör därmed kyltoppens nedsänkning.

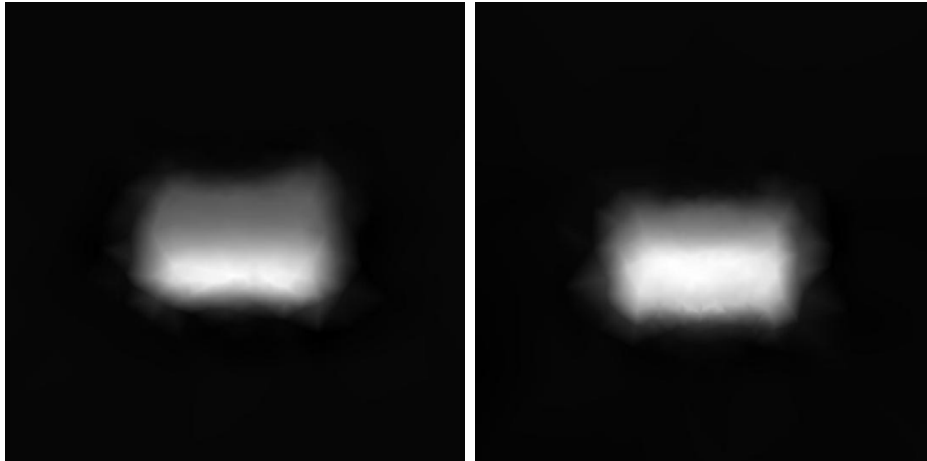


Figur 6. Bild på, respektive CAD-modell av, Novarossi Bonito-flänsen.

Nedsänkningen gör att värmekällan hamnar mer centralt i flänsen, vilket gör att vägen från förbränningsrummet till skivorna längst bort blir mycket kortare, se figur 7. Det medför att totala värmemotståndet blir lägre vilket ger högre temperatur i skivorna (Y. A. Cengel 2006). Samtidigt förbättras väghållningen något av den lägre tyngdpunkten.



Figur 7. Jämförelse av höjd mellan Novarossi Plus-4 T.V. och Bonito T.H.



Figur 8. Värmebild från Novarossi Bonito resp. Novarossi Plus4.

Bonito-flänsen har LTI 69,5, vilket är 5,2 enheter bättre än Novarossis standardfläns på 64,3.

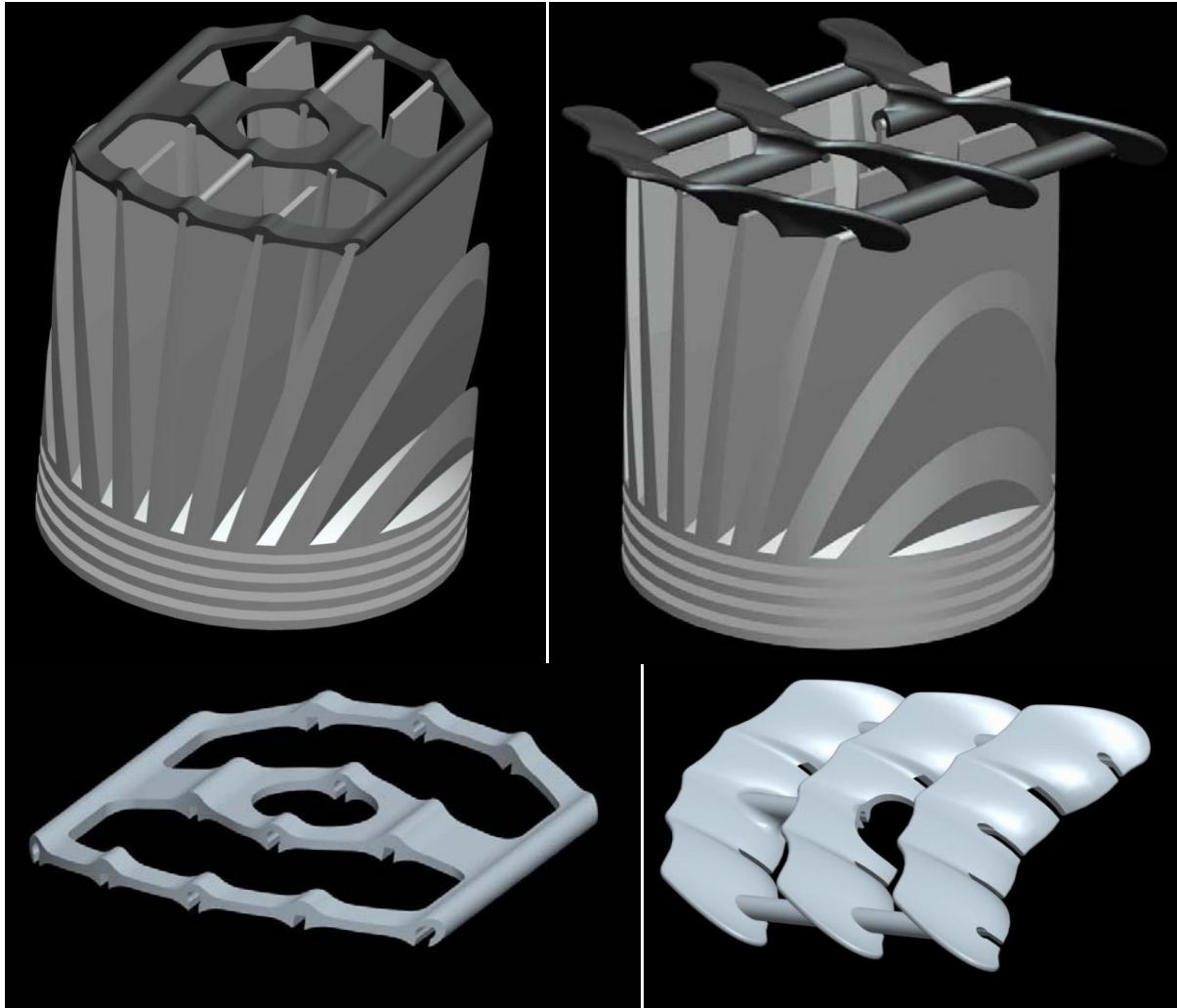
Jämför man bilderna ser man att Bonitons värmebild är både ljusare och mer utbredd. Värmen har alltså spridit sig längre ut i flänsen. Slutsatsen man kan dra av detta är att en centralt placerad värmekälla ger effektivare kylning.

TANKAR KRING NEDSÄNKNING

På grund av andra motorkomponenter och funktioner är utformningen av kylflänsens nedsänkning begränsad. Exempel på överordnade funktioner är avgasrörsanslutning, åtkomst av fästskruvar mellan motorblock och chassiinfästning, förgasare och eventuella justeringsnålar på förgasare. Andra aspekter att beakta är tillverkningsmöjligheter.

Vår design på nerhäng består av flänsar i form av skivor, och är väldigt lik Bonito-lösningen. Eftersom nedsänkningen är delvis skydd av övriga motorkomponenter kommer den forcerade konvektionen att vara begränsad. Därför behöver nedsänkningen ha stor area för att maximera den naturliga konvektionen, och då passar skivlösningen väldigt bra. Fördelarna med den är att den är lätt att tillverka och mycket enkel att modifiera för att skapa plats åt övriga motorkomponenter utan att tappa nämnvärd kylförmåga.

Ett problem som finns är att bilen inte alltid håller sig på rätt köl. Vid ett hopp eller svår kurva kan bilen hamna på taket. Har man då en kyltopp av tunt material som sticker upp över karossen kommer den sannolikt gå sönder. För att lösa detta designades olika skydd av plast som man skulle montera uppe på kylflänsen, se figur 9.



Figur 9. Olika varianter av plastskydd för flänsarna.

Dessa kan man designa på en mängd olika sätt, i valfri färg. Designas de rätt kan de även hjälpa till att leda ner luftströmmen i flänsen för att förbättra kylningen. Tanken var att de skulle ge merförsäljning till någon som säljer vår kylfläns, eftersom de i längden skulle räknas som förbrukningsvara.

Ett annat sätt att lösa problemet med skador på flänsen är att göra den lägre. Som man ser i figur 10 har den nedsänkta kyltoppen Bonito Novarossi bra marginal ner till marken. Vi kommer sikta in oss på samma nedsänkning och höjd som Boniton, eftersom den har god frigång mot marken.



Figur 10. Avstånd till marken för en bil som rullat runt på tak.

VIKTOPTIMERING OCH ENERGIBUFFERT

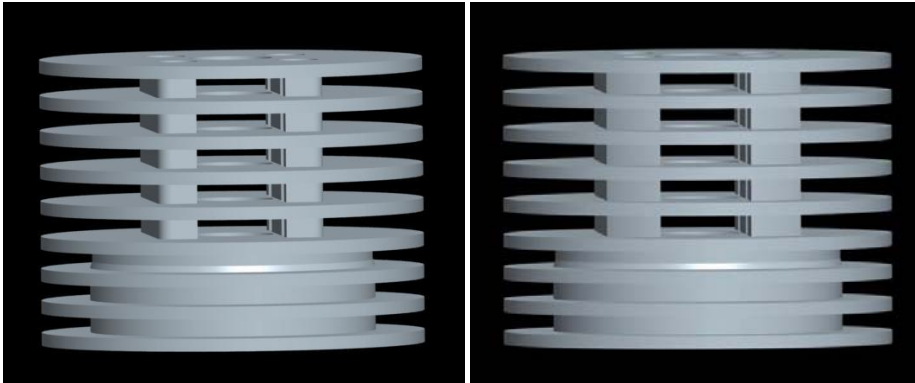
Lägre vikt betyder bättre väghållning, medan högre vikt betyder jämnare motortemperatur p.g.a. mer material som kan buffra värme. En tung kylfläns ger bilen högre tyngdpunkt, vilket påverkar väghållningen negativt. En lätt kylfläns blir snabbare överhettad vid låg hastighet, på grund av mindre massa som kan absorbera värmeenergi från förbränningsrummet.

Det är bra att samla så stor del av massa långt ner i flänsen; dels för att få ner tyngdpunkten och dels för att värmen ska transporteras så kort väg som möjligt. Det sistnämnda löser vi genom att ha kilformade flänsblad.

TJOCKARE GODS

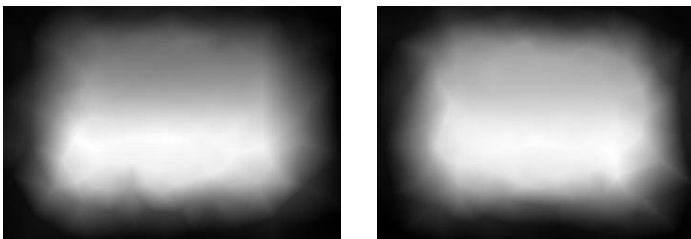
KONCEPT

För att testa om mer gods i ledarna ger bättre värmespridning ritade vi två konceptflänsar. Enda skillnaden mellan de två är att den ena har tjockare värmeledare, för att på så vis minska den termiska resistansen.



Figur 11. T.V: Version 1, smala ledare. T.H: Version 2, tjocka ledare.

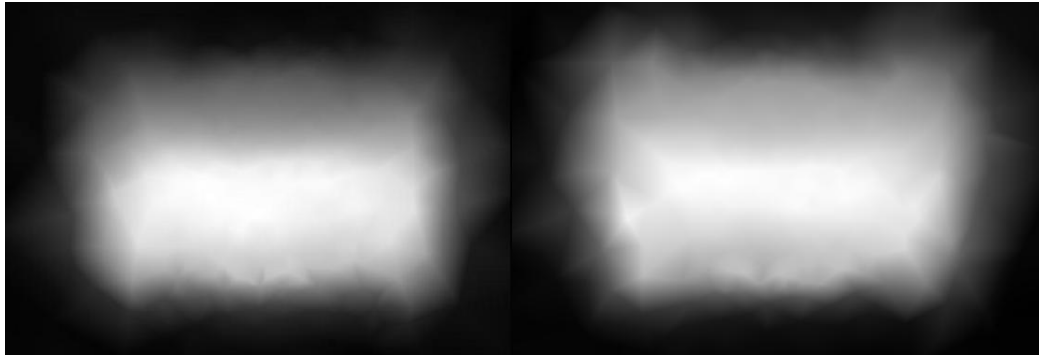
Version 1 hade LTI 80,6 och version 2 LTI 83,5. Det visar att värmeledarnas tjocklek har betydelse, även om skillnaden i det här fallet är liten. Blir de för tjocka minskas luftgenomströmningen och vikten ökar onödigt mycket.



Figur 12. T.V: Version 1, analys. T.H: Version 2, analys.

BONITO

För att applicera teorin på ett verkligt fall testade vi att göra godset tjockare i en standardfläns. Testet utfördes på Bonito-flänsen, där rörets gods gjordes en millimeter tjockare. I figur 13 syns en viss skillnad i värmebild.



Figur 13. Standard Bonito T.V. och modifierad Bonito T.H.

Den modifierade flänsen har LTI 77,2. Det är 7,7 enheters skillnad jämfört med standardflänsen, vilket visar att värmemotståndet minskar med ökad godstjocklek. De befintliga kyltopparna har alltså fått försämrade kylegenskaper som följd av allt för hård viktnedskärning.

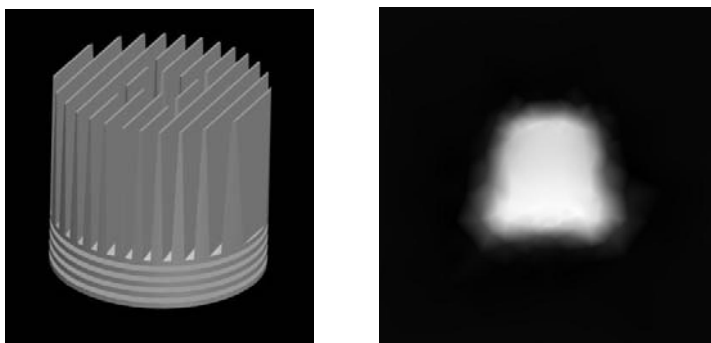
I figur 13 kan man se att värmen sprider sig bättre till flänsens övre regioner i flänsen med tjockare rör, vilket bekräftar vår teori om termisk resistans.

STÅENDE FLÄNSAR, “BLAD-FLÄNSAR”

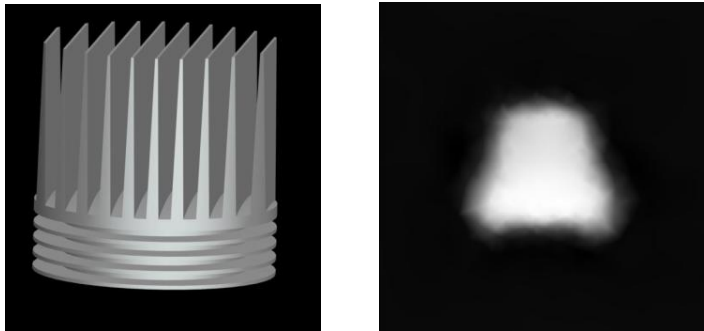
BLAD3 OCH BLAD4

En naturlig tanke var att sätta flänsarna vinkelrätt direkt mot värmekällan, istället för att ta steget genom en värmeledare. Varje blad är brett i botten för att öka värmespridningen, och smalt högst upp för att spara vikt och för att öka luftgenomströmningen.

I blad4 minskades antalet flänsar, för att öka luftgenomströmningen. Sedan ökades bladens tjocklek gradvis för att minska det termiska motståndet. (Y. A. Cengel, 2006)



Figur 14. Blad3 resp. värmebilden för Blad3.



Figur 15. Blad4 resp. värmebilden för blad 4.

Analysen i Multiphysics visar att flänsarna inte får stå för tätt, på grund av ökat luftmotstånd. Att värmebilden för blad4 är ljusare visar att den genomströmmande luften är varmare.

Värmevärdena blev 93,7 och 106,1 för blad3 respektive blad4. Ett problem med blad3 och 4 är att de är aningen höga, och skulle därför skrapa i marken om de inte kortades av. Se bild 10.

SOLFJÄDERFLÄNSAR

Första konceptet för att få bra luftgenomströmning hade svepande blad, i ett försök att ta tillvara på bottenytan så väl som möjligt. Ovanpå fanns ett platta som skydd från yttre våld. Den hade ett LTI på 99, men var tung och dessutom omöjlig att tillverka.



Figur 16. Första solfjäderkonceptet.

En annan idé att minska luftmotståndet genom flänsen var att vinkla flänsbladen bort från varandra, som i en solfjäder. Eftersom mellanrummet mellan flänsarna blir glesare kommer luften att strömma igenom lättare och därmed höja genomsnittshastigheten för luften. Detta ger i teorin bättre kylning. (Lasance och Eggink, 2005).

Till vårt solfjäderkoncept utgick vi från konceptet i Blad4 och byggde upp en ny modell kallade Solfjäder2. Simulering gav LTI 119,1, vilket är en ytterligare förbättring jämfört med Blad4.

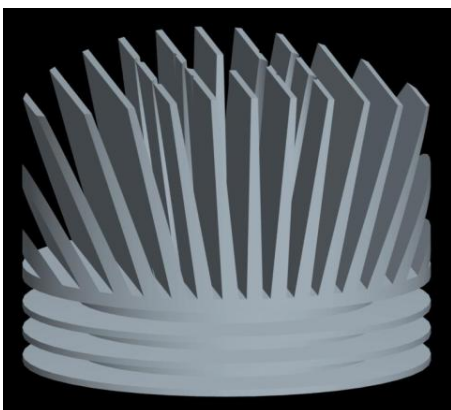


Figur 17. Solfjäder2.

Solfjäder2 var stor och grovhuggen, men vi gillade utseendet. Den hade sju blad med kraftig kilform, vilket gav den hög vikt.

Eftersom luftströmningen är bättre genom en solfjäderfläns kan man öka antalet blad, med bibehållen god luftgenomströmning. Solfjäder11 är en nedbantad variant av Solfjäder2 med 11 blad, som namnet antyder. LTI 94,6. Indexet känns lågt vid första anblicken, men vikten är minskad med hela 97g, vilket är nästan 3% av bilens totala vikt och ca 64% lägre än Solfjäder2. LTI minskade med ca 20%. Förhållandet vikt/kylning är till Solfjäder11s fördel.

Vi testade att öka antalet flänsar till 15, men minskade bladens höjd med 15mm och gjorde bladens rötter tunnare. Det resulterade i en LTI-minskning med 2 enheter, men en viktnedgång på 50g. Återigen, vikt/kylning-förhållandet värt LTI-minskningen.



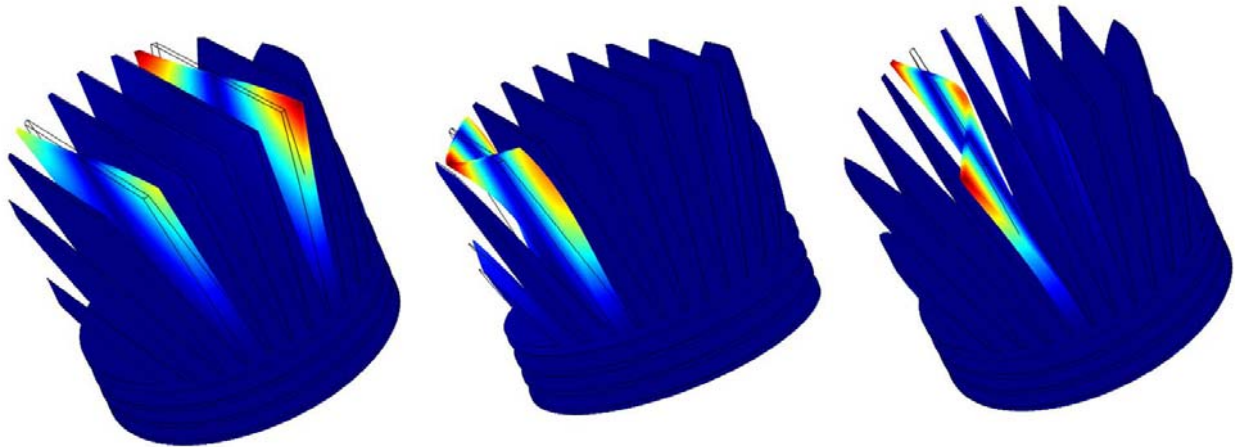
Figur 18. Solfjäder15.

ANALYS VID LÅG FART

Analys vid låg fart (3m/s istället för 10m/s) visade att Solfjäder11 fungerade aningen bättre än Solfjäder15, 10 LTI-enheter skillnad. Det beror på att bladen sitter tätare ihop på Solfjäder15, vilket gör att luften har svårare att flöda igenom flänsen. Vi beslutade att fortsätta med en fläns med 13 blad, som vi uppskattade är en bra kompromiss mellan högfartskylning och lågfartskylning.

VIBRATIONER OCH EGENFREKVENSER

För att kontrollera kylflänsens egenfrekvenser gjordes analyser i Multiphysics för att se om vår modell låg i riskzonen för snabb och överdriven utmattning på grund av stora vibrationer. I figur 19 syns de olika deformationerna för respektive egenfrekvens.



Figur 19. Olika deformationer vid egenfrekvenserna 3231 Hz, 7896 Hz resp. 5390 Hz.

Lägsta egenfrekvensen ligger kring dryga 3000 Hz, vilket motsvarar ett motorvarvtal på 180 000 RPM. Med andra ord ligger egenfrekvenserna långt över motorns maximala varvtal på 45000 RPM, = 750 Hz. Säkerheten mot självsvängning har alltså en faktor 4.

DESIGN

Hobbyprodukter ville ha en kyltopp med unik design. För att göra kylflänsen mer attraktiv gjorde vi några små ändringar i geometrin. När vi var klara märkte vi att vår kylfläns har en slående likhet med en viss figur från en film från 70-talet:



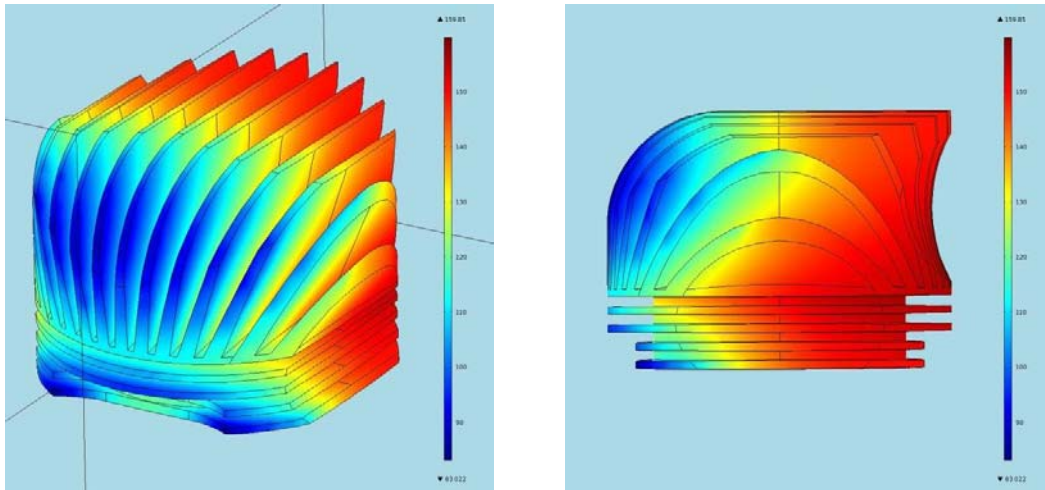
Figur 20. En utomjording från filmen Alien. (Twentieth Century Fox, 2003)

Namnet på en produkt är också viktigt för att den ska sälja bra. Ett säreget namn gör att man kommer ihåg produkten, och ett engelskt namn med fräcka ord är något som går hem i vår målgrupp. Likheten med rymdmonstret ihop med att kyltoppen ser snabb och elak ut gav oss namnet Alien Demon.

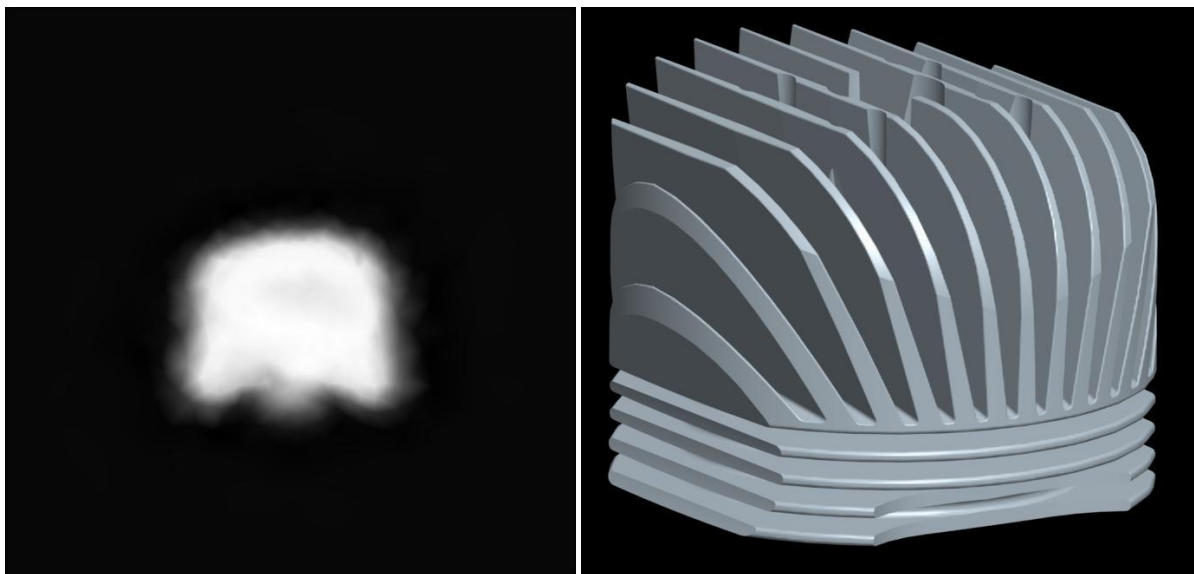
ALIEN DEMON I

Efter de kosmetiska modifieringarna är kylflänsens vikt 115g, att jämföra med Novarossi Plus4 på 148g, vilket är 22% lägre.

LTI-index är 88,7, vilket är 38% respektive 28% bättre än referensflänsarna Novarossi Plus-4 och Novarossi Bonito.



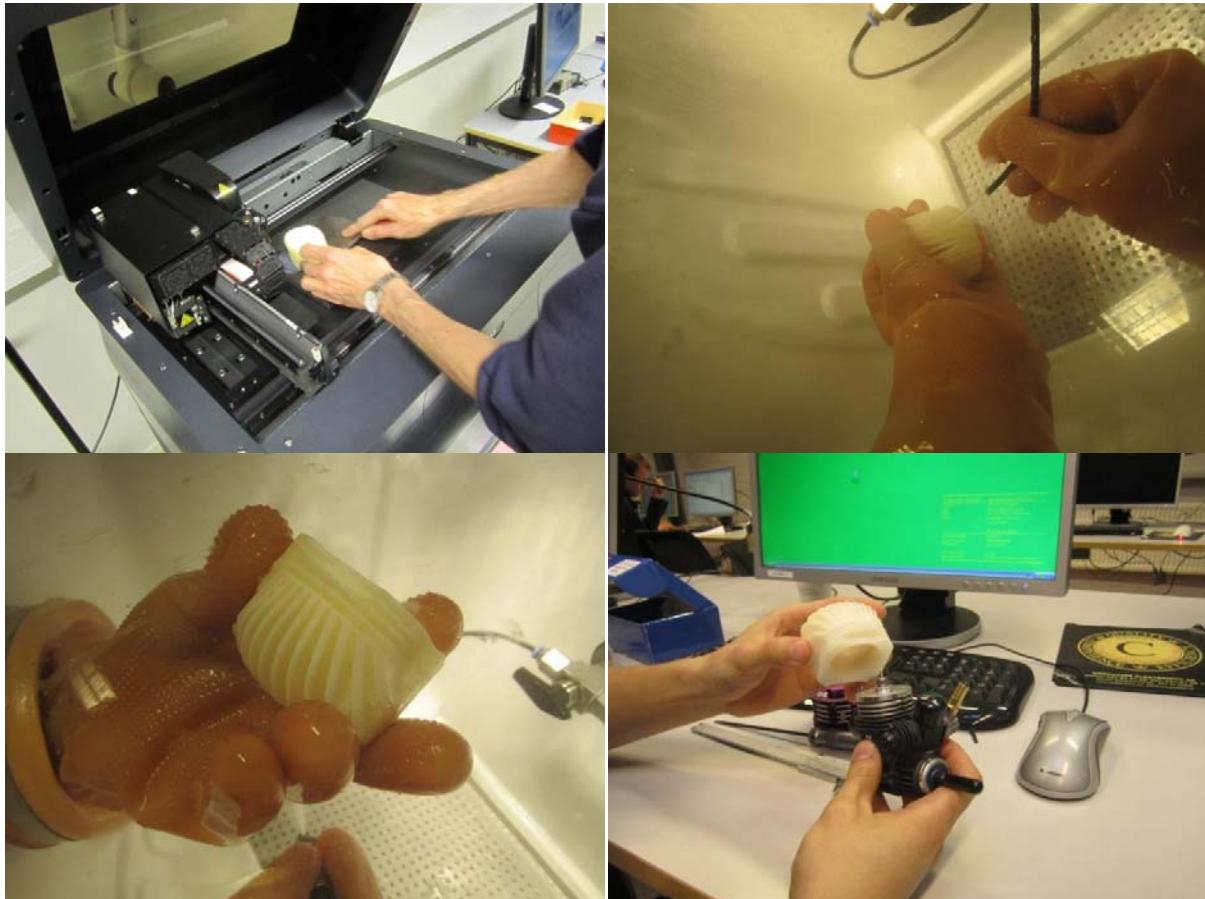
Figur 21. Värmespridningen i godset hos Alien Demon 1.



Figur 22. Värmebild och CAD-modell för den slutgiltiga modellen, Alien Demon 1.

RAPID PROTOTYPING

För att kontrollera att kylflänsens mått är riktiga, framställde vi den med Rapid Prototyping. Eftersom vår modell printas i plast går det inte att testa de mekaniska och termiska egenskaperna, men flänsen kan monteras på en verklig motor för att verifiera passformen.



Figur 23. Tillverkningsprocessen.

Själva utskriften tog ungefär ett dygn. I Figur 23 kan man se de sista stegen i tillverkningsprocessen. Flänsen skrapades loss ur printern för att sedan spolas med högtryckstvätt för att skölja bort den stödvävnad som fanns mellan bladen. Stödvävnad behövs för att tunna och överhängande detaljer ska kunna skrivas ut utan att deformeras.



Figur 24. Den utskrivna modellen monterad på motorn.

SLUTSATSER

Innan vi började arbetet hade vi idéer om att göra spår eller mikroflänsar högst upp på en konventionell fläns. Vi insåg ganska snabbt när vi började analysera konceptflänsar att det behövde göras något mer radikalt än så.

Vår fläns har ett mycket eget utseende som inte liknar någonting som finns på marknaden. I teorin kyls den ungefär 40% bättre än de flänsarna vi utgick ifrån, och har cirka 20% lägre vikt. Vi har utfört uppgiften som gavs oss, nämligen att ta fram en bra och, i vårt tycke, estetiskt tilltalande kylfläns. Praktisk verifiering av de data vi fått fram innefattar mer arbete än vad som rymdes inom vår tidsram. Tillverkning är ett helt eget avsnitt, och det kommer behövas ytterligare arbete och dialog med sakkunniga innan vår kylfläns blir verklighet. Vi föreslår gjutning i sandform eftersom det är ett billigt och lätt sätt att tillverka flänsen i större kvantitet.

Gjuten aluminium är bra av många skäl. Det har mycket bra värmeledningsförmåga, är relativt billigt att framställa och bearbeta och det har väldigt bra hållfasthet i förhållande till vikten. Dagens konventionella kylflänsar utnyttjar sin vikt och sitt material väldigt dåligt. Deras tunna gods gör att värmen har svårt att sprida sig i hela toppen, vilket gör att temperaturgradienten blir dålig i regionerna längst bort från värmekällan. Vår fläns har termiska motorvägar upp till flänsens övre delar. På så vis når värmen lätt ditt, och kyls effektivt bort. Den högre vikten ger en större värmebuffert, vilket hjälper till att avleda värme från förbränningsrummet då lufthastigheten är tillfälligt låg.

LTI är inte uppseendeväckande högt för den slutgiltiga modellen. Detta på grund av de kosmetiska förändringarna och till exempel släppvinklar som koncepten inte hade. Vi antar att försämringarna är ungefär lika stora för godtycklig fläns om den beskärs på samma sätt, varför djupare jämförelser inte är gjorda.

Vi anser att vårt sätt att simulera är tillräckligt noggrant för uppgiften. Det går att göra bättre genom att t.ex. göra verkliga analyser i vindtunnel, men det förutsätter en större budget både ekonomiskt och tidsmässigt. Vi har inte tittat nämnvärt mycket på den metoden, men vi antar att den innefattar många fler prototyper med 3D-printing, vilket kostar både tid och pengar. Framtiden får berätta hur väl våra analysmetoder stämmer överens med verkligheten, men vi uppskattar att vi är tillräckligt nära. Dessutom finns ett stort antal andra parametrar som påverkar, t.ex. smuts på flänsen, banans medelhastighet, banans maxhastighet och storleken på effektuttaget.

Om man vill ha en ännu lättare kylfläns kan man borra lättningshål i den. Man får dock vara medveten om att den termiska prestandan påverkas negativt vid sådana ingrepp. I vissa tillämpningar, till exempel vid kalla dagar, kan det till och med vara positivt, då det kan vara svårt att få upp motorn i tillräcklig arbetstemperatur.

Vidare arbete och utveckling av Alien Demon 1 kan bestå i att testa att ha ribbor längs med luftflödet, se Figur 25.



Figur 25. Ribbor på bladen.

Ribborna kan försvåra tillverkningen på grund av deras små radier, men det finns potential för ytterligare kylförmåga till kostnaden av liten/låg viktökning, eftersom arean ökar mycket mer än vad vikten ökar. Vi kunde inte testa den här teorin på grund av den komplexa geometrin som ribborna utvecklar. Multiphysics krävde helt enkelt mer minne och datorkraft än våra datorer kunde ge. Därför har någon djupare analys av ribbor ej gjorts.

KÄLLFÖRTECKNING

Cengel, Y. A. (2006) *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach*. Third Edition. New York: McGraw-Hill

COMSOL AB. (2011) What Equations Does COMSOL Multiphysics Solve? I *COMSOL Multiphysics Reference Guide*. [Elektronisk] ss. 431. Upplaga 4.2. Stockholm: COMSOL AB

Forghan, F., Goldthwaite, D., Ulinski, M., Metghalchi, M. (2001) *Experimental and Theoretical Investigation of Thermal Performance of Heat Sinks*. ISME, maj, 2001.

Hot Bodies Online (2004) *Black Heat Sink Cooling Head (Novarossi .21)*.
<http://www.hotbodiesonline.com/> (Feb, 2011)

Twentieth Century Fox, Robert Penn (2003) *Alien*.

Kordyban, T. (1998) *Hot air rises and heat sinks – Everything you know about cooling electronics is wrong*. New York: ASME Press.

Lasance, C.J.M., Eggink, H.J. (2005) *A Method to Rank Heat Sinks in Practice: The Heat Sink Performance Tester*, 21st IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium. 15-17 mars, 2005.

Novel Concepts, Inc (24 Jan 2007) *Pin Fin Heat Sink with Free Convection Flow*
<http://www.novelconceptsinc.com/> (Mar, 2011)