

# Aerodynamiskt koncept för långloppsracing



## Fordonsaerodynamik

**CHALMERS**

Chalmers University of Technology

Johan Jarl

# 1. Inledning

Chalmers-racing är ett relativt nystartat racing-team. Vi har kört en säsong i Svenska LångdistansCupen, SLC, där tävlingarna är 3,8 eller 12 timmar långa. SLC är en serie som på senare år börjat bli väldigt populär då den ger mycket körtid för en hyfsad penning. På finalen, seriens 12 timmars lopp, var det 45 bilar startande och flera team hade förstärkt med förare från STCC vilket gör att serien även uppmärksammas i media. Denna säsong har vi tävlat med en bil men till nästa säsong blir det ett två-bils team, fig. 1. Bilen vi tävlat med i år har vi byggt själva från grunden. Motorn är en T6 som vi fått från VOLVO. Den är i stort sett original, ca 300 hk, vilket är bra då tillförlitlighet är mycket viktigt i dessa tävlingar.



Fig. 1: Våra två bilar

Denna rapport skall beskriva den aerodynamiska anpassningen av denna bil, utgår alltså från en original Volvo 240, fig. 2, samt beskriva hur olika detaljer såsom vinge och spoiler påverkar strömningen runt bilen och hur de samverkar för att generera downforce. Termen downforce används för att beskriva den nedåtriktade kraft som genereras av olika delar.

Målet med de aerodynamiska hjälpmedlen är:

- 1 Skapa downforce för att ge bättre väggrepp
- 2 Bra balans mellan krafterna på fram respektive bakhjul.
- 3 Tillräcklig kylning för motor, bromsar, transmission och förare.
- 4 Lågt luftmotstånd



Fig. 2: Volvo 240 "original"

I SLC får däcken endast vara 205 mm breda. De skall också vara godkända för gatbruk, d.v.s. slicks får inte användas. Denna regel begränsar kraftigt hastigheten i kurvorna och då de aerodynamiska krafterna är starkt hastighetsberoende  $\sim V^2$  kan man undra om det är någon idé att

använda vingar m.m. För att undersöka detta gjordes en simulering av varvtider på olika banor då  $C_L$  ändrades från 0.3, original 240, till  $-0.5$  som är mycket möjligt att uppnå med ett effektivt aerodynamiskt paket. Varvtiderna sjönk med 4% vilket motsvarar ca 5 s på Mantorps långa slinga och visar att det är en viktig del i utvecklingen av en tävlingsbil även på den här nivån.

Det aerodynamiska reglementet i SLC ger stora möjligheter till att utveckla ett bra koncept: Aerodynamisk anordning är tillåten under förutsättning att den inte har vassa kanter. Dock får spoiler inte sticka ut framåt mer än 20 cm från kaross. Spoiler bak får inte sticka ut bakåt mer än 30 cm från kaross och inte vara högre än taklinjen + 10 cm. Spoilers får inte vara bredare än närliggande karossdelen.

Detta reglemente innebär att bilen kan göras mer aerodynamiskt extrem än övriga typer standardvagnsracing. Om reglementet skall utnyttjas ordentligt krävs dock mycket tester för att få konceptet att fungera bra. För att göra det lite enklare har Mercedes bil i DTM, fig. 3, har fått bidra med en del lösningar, främst utformningen av frontspoilern som har en ganska enkel yttre form. Något som underlättar då plugg skall tillverkas och frontspoilern gjutas.



Fig. 3: Mercedes DTM

## 2. Fordonsdynamik

De krafter som gör att bilen svänger, accelereras eller bromsas uppstår i kontaktytan mellan däck och underlag. Den maximala sidokraft  $F$  som kan genereras beror på friktionen mellan däck och underlag samt den vertikala kraft  $N$  som verkar på däck  $\Rightarrow F = N \cdot \mu$ . En ökning av den vertikala kraften på däck medför en ökning av den sidokraft som kan genereras. Då bilen kör i en kurva uppstår en centrifugalkraft  $mV^2/R$  som balanseras av friktionskraften som genereras av däcken. En ökning av den vertikala kraften på däck ger alltså en ökning av den hastighet som bilen kan ha i kurvan.

En ökning av den vertikala kraften åstadkommes med aerodynamiska hjälpmedel och ger en kraft  $F = C_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A$  där  $A$  är den projicerade arean. För att denna kraft skall ge betydande bidrag krävs höga hastigheter, ca 100 km/h vilket inte förekommer i mer än ca 2 kurvor per bana med våra däck, men ökat marktryck förbättrar även bromsförmågan och stabiliteten i bilen.

### 3. Aerodynamiskt koncept

Vingar och spoilers som används för att generera downforce ger även ett ökat luftmotstånd men då vi har en bil med mycket effekt och lite grepp är det downforce som prioriterats.

Olika delar på bilen påverkar varandra oerhört mycket, det går därför inte att utveckla en del utan att ta hänsyn till hur det inverkar på övriga. Denna påverkan tas upp inom respektive område.

#### 3.1 Frontspoiler

En frontspoiler skall minska lyftkrafterna på framvagnen. Detta åstadkommes genom att den begränsar luftflödet in under bilen och utnyttjar det höga tryck som existerar i fronten på en bil. Det höga trycket i fronten kan utnyttjas för att förse kylare, motor och bromsar med luft. Uttag för kyl luften till dessa detaljer skall göras på passande ställen i fronten.

Bernoullis ekv. säger att längs en strömlinje är det totala trycket konstant,  $P_{tot} = P_{stat} + P_{dyn}$ . Det innebär att då hastigheten på luften är hög d.v.s. högt dynamiskt tryck, så är det statiska trycket lågt vilket är önskvärt under bilen. I fronten på bilen bromsas luften upp och hastigheten går mot noll och vi får en stagnationspunkt med högt statiskt tryck. Detta höga tryck som verkar på frontytan orsakar en kraft som är en del av bilens totala luftmotstånd.

Då tryck verkar lika i alla riktningar så kan det höga stagnationstrycket utnyttjas för att skapa en nedåtriktad kraft. Ett sätt är att montera en splitterplatta där det höga trycket verkar på ovansidan, fig. 4. På dess undersida accelereras luften p.g.a. av det lilla utrymme mellan väg och platta och på så sätt fås ett lågt tryck på undersidan. Detta resulterar i en stor tryckskillnad vilket ger en stor kraft. Optimal längd på plattan för maximal downforce påverkas av frontens utformning och bör testas fram. Det höga trycket existerar närmast bilen men avtar längre bort från bilen, alltså fås ingen extra downforce om plattan görs längre utan bara ett ökat luftmotstånd p.g.a. större friktionsförluster.

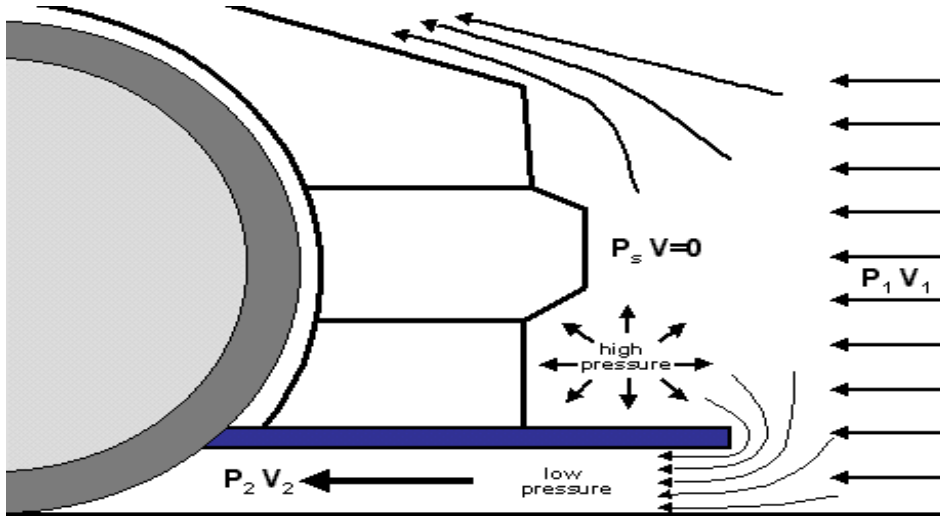


Fig. 4: Splitterplatta monterad i fronten

En uppåtriktad kraft förekommer ofta p.g.a. att stagnationstrycket även verkar på undersidan av stötfångaren, fig. 4, detta kan åtgärdas genom att flytta fram underdelen av fronten, fig. 5.



Fig.5: Utformningen av frontspoiler

En annan metod att skapa downforce i fronten är att försöka få in mer luft under bilen. En förträngning under fronten accelererar sedan flödet för att minska trycket, fig. 6. Kraftigare förträngning ger till en viss gräns större acceleration men det minsta avståndet mellan undersida och väg begränsas av gränsskiktets tjocklek. Blir avståndet för litet blockeras flödet och trycket ökar.

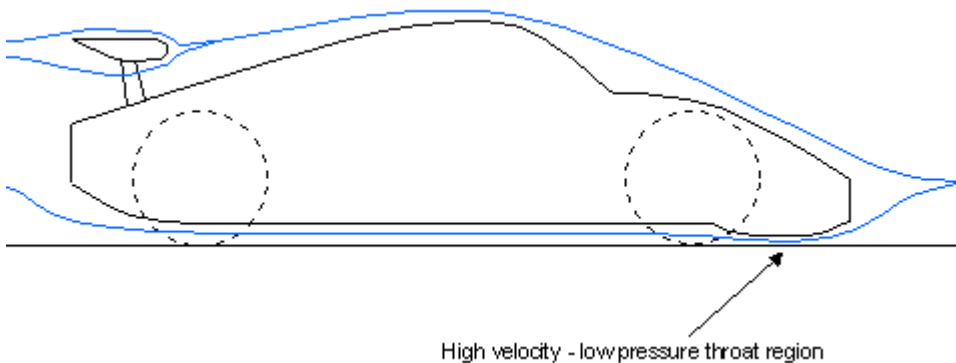


Fig. 6: Förträngning för att accelerera flödet och skapa downforce fram

Studerar Mercedes utformning går det att se att de kombinerat dessa två idéer och på så sätt fås ännu mer downforce. Mycket goda resultat har uppnåtts med en minskning av  $C_L$  på 0.45 vilket i 160 km/h motsvarar ca 130 kg i ökat marktryck på framhjulen. Mercedes har även dive-plates på fronten för att få lite extra kraft på framhjulen, se kapitlet vingar och aerodynamisk balans.

Om det finns en diffusor eller venturitunnlar, se kapitlet undersida, under bilen behöver dessa ett visst luftflöde för att fungera. Vid inbromsning fås en lastförskjutning vilket medför en större



kraft på framhjulen vilket leder till att avståndet mellan väg och splitter minskar. Då begränsas flödet under bilen och effekten från diffusorn minskar, d.v.s. mindre kraft över bakhjulen då den behövs som mest. Följden blir att bilen är känslig för pitchrörelser och balansen försämras. En metod att minska denna effekt är att höja mittdelen på splitterplattan, fig. 7, och på så sätt säkerställa ett rikligt flöde till den bakre diffusorn även om markfrigången ändras.

Att behålla ett litet avstånd mellan ytterdelarna på splittern och vägen har flera fördelar, luftströmmen mot däcken minskas och inflödet från sidorna kan begränsas.

Förträngningen under fronten orsakar ett lägre tryck än det på sidorna av bilen vilket leder till ett inflöde av luft från sidorna och resulterar i ett högre tryck. Mindre inflöde från sidan ger alltså ett lägre tryck under fronten, då SLC inte har någon minimal markfrigång kan inflödet från sidorna på splittern minimeras genom att montera små sidostycken som är i kontakt med marken.



Fig.7: Mittendelen av fronten upphöjd

För att utnyttja fördelarna med plant golv kommer all luft från kylarna släppas ut genom huven. För att få så bra flöde till och genom kylarna så kommer all luft till dem tas in under stötfångaren. Denna lösning kommer att minska trycket på splitterplattan vilket till viss mån kompenseras av att grillen kommer att tätas. *Hucho [3]* påpekar att en tät front utan springor och hål ger mer downforce fram. TWR var i Volvos vindtunnel och testade detta på 850 (BTCC) där de tejpade alla springor runt lampor och skärmar och fick en ökning av downforce fram. En förklaring till detta resultat är att ett högre tryck fås på stötfångarens ovansida. Då grillen och lamporna inte längre har någon funktion kan dessa ersättas utav ett stycke och en stagnationspunkt fås vid stötfångarens ovansida.

Frontspoilerens kommer att likna den som sitter på Mercedes DTM med en splitter som har en upphöjning i mitten och en förträngning under. Minsta avstånd mellan väg och undersida kommer att vara ca 50 mm. Splitters sidor kommer att vara i kontakt med marken för att förhindra inflöde från sidorna. All luft till motor, kylare och bromsar tas in under stötfångaren. Grillen och lampkåporna ersätts av ett stycke. För att kunna justera balansen i bilen kan splitterplattans längd samt användandet av dive-plates ändras.

### 3.2 Undersida

Undersidan på en vanlig bil är långt ifrån slät. Här finns avgassystem, kardanaxel, bakaxel, hjulupphängningar m.m. Alla dessa ojämnheter leder till att flödet under bilen bromsas upp och det tjocka turbulenta gränsskiktet kan orsaka blockage. Detta leder till högt tryck under bilen med resulterande lyftkrafter. Att enbart göra golvet slätt minskar lyftkrafterna, se fig. 8, men det går att ytterligare förbättra flödet på undersidan av bilen på många sätt.

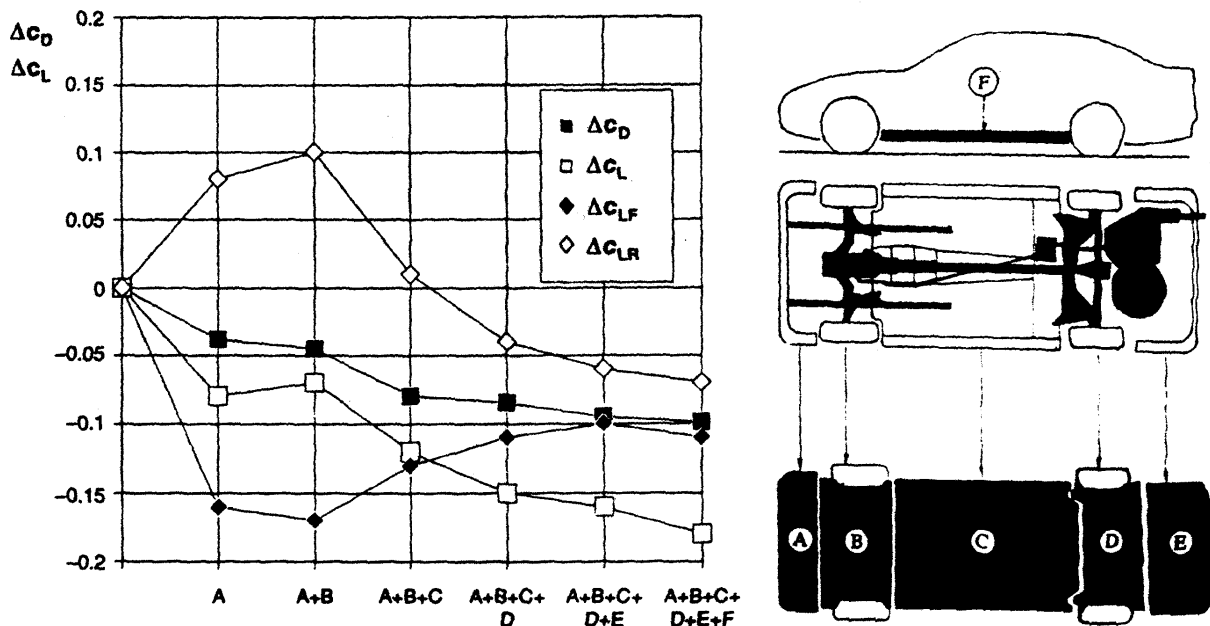


Fig. 8: Stora förbättringar i  $C_L$  och  $C_D$  fås genom att kapsla in golvet.  $C_L$  är den totala lyftkoefficienten på hela bilen och  $C_{LF}$  och  $C_{LR}$  är lyftkoefficienten på fram respektive bakhjulen.

Undersidan är den del som under årens lopp använts för att skapa otroligt stora nedåtriktade krafter. Värst var de så kallade ground effect bilarna i F1 som kunde ge en nedåtriktad kraft på upp till 16 kN vid 290 km/h. Dessa bilar hade kjolar som gled mot backen och förhindrade att luft strömmade in från sidan. Grupp C bilarna (Le Mans) med sina stora venturitunnlar, fig. 9, producerade också de oerhörda krafter. Tunnlarna fungerar enligt följande: ett lågt tryck skapas i ingången till tunnlarna, detta låga tryck leder till att flödet från bilens sidor sugas in i tunnlarna och skapar kraftiga virvlar. Dessa virvlar förhindrar separation i tunneln och stabiliserar på så sätt flödet. Det låga trycket i centrum av virvlarna ökar flödet under bilen ytterligare och minskar trycket under bilen.

Dessa stora krafter som genererats av tunnlar har lett till begränsningar på golvets utformning. Numera är golvets form reglerad och skall i de flesta klasser vara plant mellan hjulaxlarna. I SLC får ej golvets modifieras för annat än ljuddämpare och hjulupphängning men det är tillåtet att kapsla in det genom att sätta aluminiumplåtar under golvet. Minimalt avstånd mellan golv och väg beror på golvets utformning men skall definitivt inte vara mindre än 5 cm för att undvika blockage. Det som reglerar våra möjligheter till att utforma det nya golv är bakaxelns placering och det faktum att bilen måste gå att få ur garaget som ligger i en källare. Då avståndet mellan

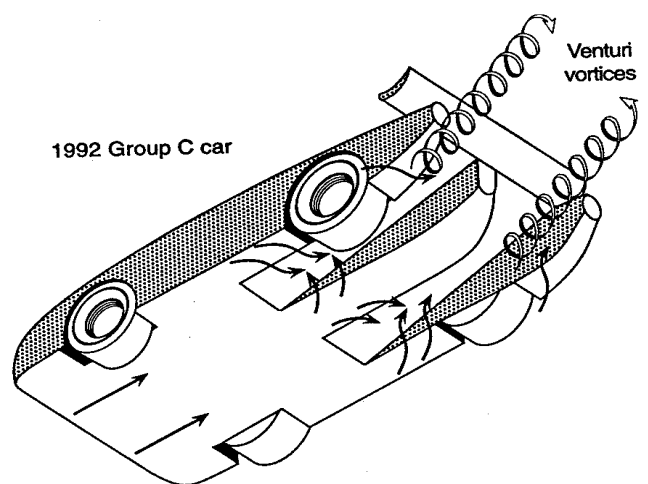


Fig. 9: Virvlarna som bildas i tunnlarna

ordinarie golv och väg är relativt stort, ca 12 cm finns det möjlighet att sänka plåtarna och utforma dem som tunnlar. Tunnlarnas utformning skulle dock behöva optimeras med hjälp av vindtunneltester.

En enklare lösning är därför att utforma bakre delen av golvet som en diffusor, se fig. 10. I diffusorn fås en tryckåterhämtning då luften expanderar och minskar sin hastighet. Flödet från undersidan strömmar ut vid ett konstant tryck bakom bilen vilket medför att tryckåterhämtningen i diffusorn resulterar i en lågtryckstopp vid ingången till diffusorn. Detta låga tryck leder till ett ökat flöde under bilen och ökad downforce. Diffusorn fungerar med andra ord som en pump som effektivt minskar trycket på undersidan. Skillnaden i tryckfördelningen på undersidan för en kropp med och utan diffusor ses i fig. 11, Där syns tydligt att det låga trycket i ingången till diffusorn sänker trycket under resten av bilen. För att inte få avlösning i diffusorn och därigenom en ökning av trycket under bilen rekommenderas diffusorvinklar mellan 6-12 grader.

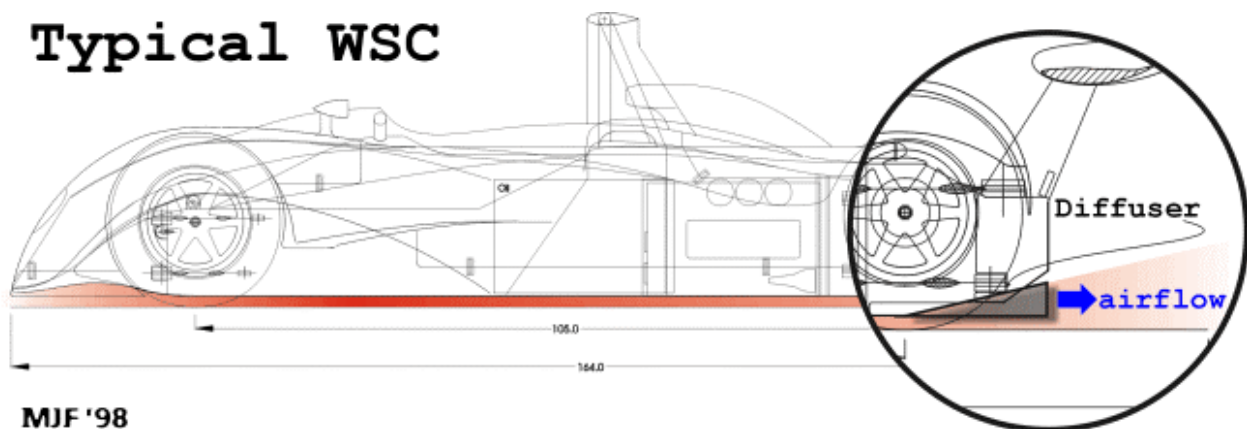


Fig. 10: Diffusor på en LMP

Att utforma en diffusor på optimalt sätt går inte utan vindtunneltester men med hjälp av Cooper [6 och 7] så går det troligtvis att utforma en som fungerar bra. I [6] har funktionen hos en diffusor undersökts och [7] ger en analytisk metod för att bestämma diffusorns dimensioner (kort diffusor). Denna metod ger självklart ingen optimal lösning utan är till för att minska utprovningstiden i vindtunneln. Påverkningar från däck, inflöde från sidorna och bilens form har inte studerats i dessa rapporter vilket är viktiga parametrar som påverkar funktionen hos diffusorn och bör studeras för att få den att fungera riktigt bra. Att effektivt utnyttja inflödet från sidorna och de virvlar som bildas för att öka flödet under bilen är något som bör optimeras. På tävlingsbilar med fritt reglemente har större längder på diffusorn använts men [6] visar att en diffusor både kan vara för lång eller för kort för att fungera bra. Därför används [7] som grund för att beräkna dimensionen på diffusorn, en diffusor med längden 80 cm och  $8.5^\circ$  lutning resulterar i mest negativ lyftkraft, se appendix för beräkning. Denna diffusor börjar precis bakom bakaxeln och är därför lätt att montera på vår bil.



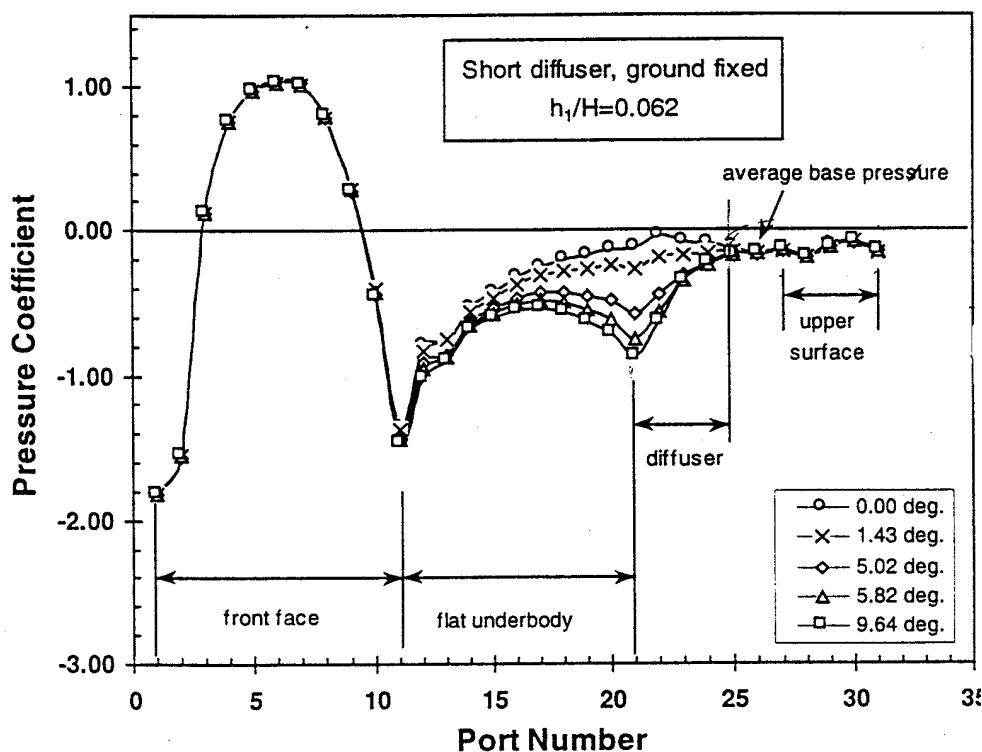


Fig. 11: Modellen som använts i försöket har 32 tryckkuttag. Figuren visar tryckfördelningen på fronten och undersidan för olika diffusorvinklar.

Flödet genom diffusorn kan förbättras ytterligare genom att sänka trycket bakom bilen. Monteras bakvingen lågt utnyttjas det låga trycket på vingens undersida för att öka flödet under bilen, se kapitel samverkan. Ett annat sätt att stabilisera flödet är att minska påverkan från däck, detta görs genom att montera ändplattor på diffusorn. För att begränsa flödet från sidorna in under bilen monteras kjolar. Avståndet mellan väg och dessa skall vara ca 4-5 cm.

### 3.3 Vingar

Utnyttjandet av vingar på tävlingsbilar har förekommit sedan 60-talet och varit ett effektivt sätt att minska lyftkrafterna. Downforce genererad av vingar är inte lika känslig för pitch-rörelser och avståndsändringar mellan mark och bil som den kraft som fås från diffusor-verkan och bilens uppträdande blir därför mer förutsägbart. Vingar som används på bilar är inverterade vingar, d.v.s. de skall generera en kraft riktad mot marken, fig. 12.

Det är tryckskillnaden mellan ovan och undersidan som genererar negativ lyftkraft, downforce, fig. 13. Tryckfördelningen är direkt proportionell mot hastighetsfördelningen över vingprofilen. En fluidpartikel i en strömlinje precis under stagnationsströmlinjen bromsas upp då den närmar sig vingen men tvingas att accelerera då den skall runt framkanten på vingen, vilket resulterar i ett mycket lågt tryck på undersidans framkant. På ovasidan bromsas fluidpartiklarna upp av vingen vilket leder till en tryckökning.

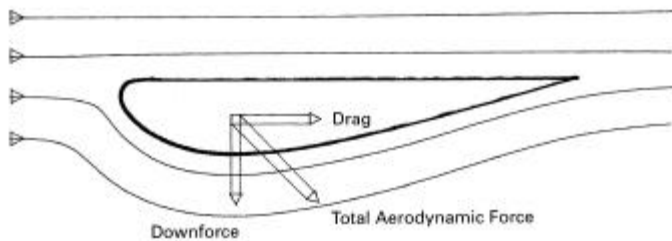


Fig. 12: Krafter orsakade av vingen

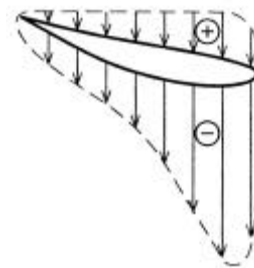


Fig. 13: Tryckfördelningen runt en vinge

Ur detta resonemang inses att vingens form och anfallsvinkel starkt påverkar hastighetsfördelningen. En vinge med mycket camber, fig. 14, eller stor anfallsvinkel medför mycket lågt tryck i framkant på vingen.

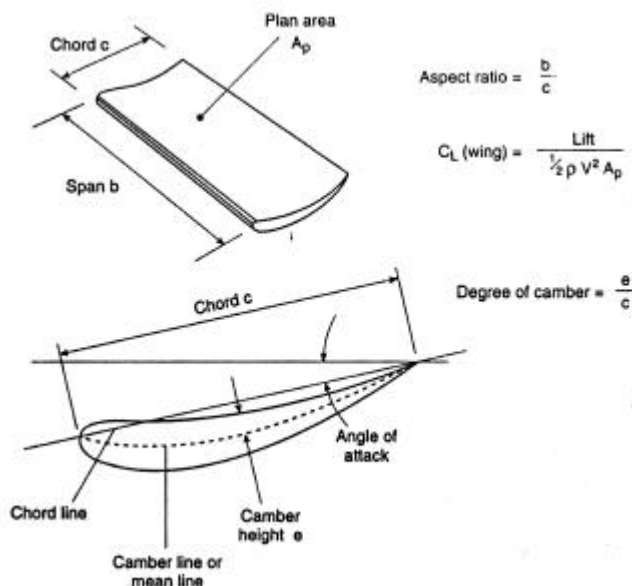


Fig. 14: Definition av mått på en vinge

I bakkant på vingen är trycket på båda sidor lika vilket medför att en tryckåterhämtning måste ske på vingens ovsida. Är trycket i framkant mycket lågt resulterar detta i en stor tryckgradient, då tryckgradienten är för stor separerar flödet, fig. 15. Då flödet separerar kan det inte längre följa vingens form vilket leder till ett högre tryck och vingen förlorar sin lyftkraft.

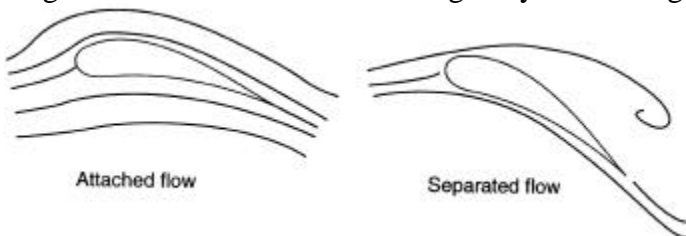


Fig. 15: Då anfallsvinkeln blir för stor separerar flödet, här vinge för lyftkraft.

En enkel beskrivning av separation är att gränsskiktet närmast vingen bromsas upp, stillastående fluid samlas och trycker ut strömlinjerna som inte längre kan följa vingen. Större tryckgradient leder till kraftigare uppbromsning av gränsskiktet. För att undvika separation skall alltså antingen

tryckgradienten minskas eller så skall det tillföras energi till gränsskiktet som motverkar uppbromsningen. Det enklaste sättet att förhindra separation är att få gränsskiktet turbulent, turbulensen drar med sig den stillastående fluiden och en senare separationpunkt fås.

Vingar med flera element används flitigt inom racing för att generera mycket downforce, fig. 16. Grundprincipen med flera element är att vingprofilens camber kan öka jämfört med en enkel vinge utan att få separation. I spalten mellan ving-elementen strömmar luft från trycksidan på det första elementet till sugsidan på det andra elementet, energi tillsätts alltså gränsskiktet på undersidan och separation förhindras.



Fig. 16: En två-elementvinge hos Mercedes DTM

Vid vingen sidor fås ett läckage från sidan med högt tryck till den med lågt, vilket inducerar två virvlar från vingen, fig. 17. Dessa virvlar påverkar flödet mellan dem på så sätt att flödet från vingen trycks upp och lyftförmågan (negativ) försämras och luftmotståndet ökar.

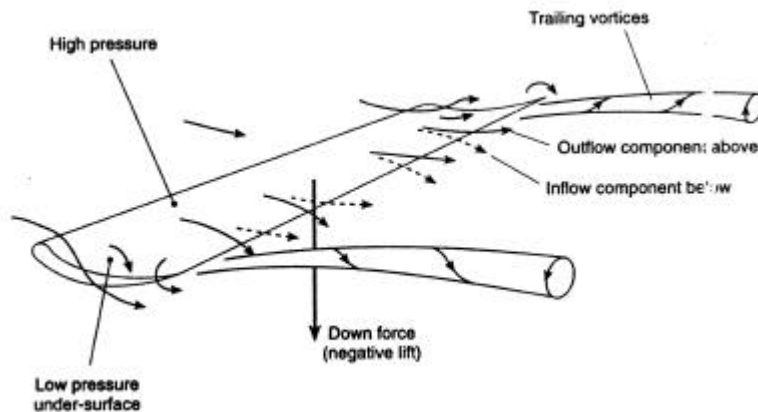


Fig. 17: Virvlar som uppstår p.g.a. flöde från högtryck till lågtryckssida.

Ett sätt att minska effekten från dessa virvlar är att montera ändplattor på vingen som förhindrar detta läckflöde. Enligt Katz [1] gäller regeln, ju större desto bättre. Storleken på dessa är i de flesta serier reglerad men har varit ett sätt att justera balansen i bilen.

Andra typer av vingar som används inom racing är de som utnyttjar bildandet av virvlar så kallade "delta wings", fig. 18. På dessa vingar som används under stor anfallsvinkel separerar flödet på undersidan och bildar virvlar. Dessa vingar har skarpa kanter då dessa ger starkare virvlar. I kärnan på virvlarna är hastigheten mycket hög och trycket lågt.

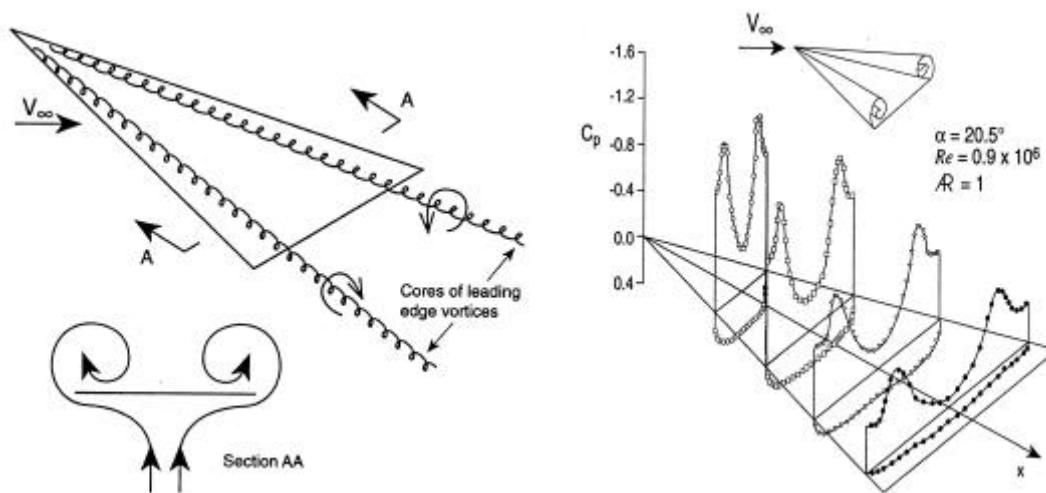


Fig. 17: Funktionen hos en "delta wing" som ger lyftkraft.

Virvlarna kan även användas för att öka generera mer downforce från andra delar, t.ex. om dessa virvlar skulle träffa undersidan på bakvingen och öka flödet där så skulle den vara effektivare. Virvlarna kan även förhindra separation då de kan förse gränsskiktet med energi. Dessa vingar genererar högre luftmotstånd jämfört med en vanlig vinge men de är oftast små och används för att förbättra den aerodynamiska balansen. De kan ofta ses i fronten på bilarna och kallas då dive-plates, se fig. 18.



Fig. 18: Dive-plates ger ett lite extra downforce och används för att förbättra balansen i bilen.

Inom flygindustrin finns ett mycket stort antal vingprofiler som är väl optimerade för önskad driftsituation. Tyvärr är dessa inte automatiskt användbara på en tävlingsbil. En vinge på en bil påverkas starkt av närliggande delar som marken, karossen och hjulen. Denna påverkan ger ett komplext 3-dimensionellt flöde och ändrar tryckfördelningen över vingen och både geometri och anfallsvinkel bör anpassas för att generera så mycket downforce som möjligt.

Karossen påverkar den effektiva anfallsvinkeln då flödet strömmar från taket ned mot bakluckan. Den effektiva anfallsvinkeln kan även variera längs vingens bredd vilket medför att vingar på vissa bilar t.ex. har en upphöjning i mitten. Vingor med mycket camber som genererar mycket downforce kan vid påverkan av karossen bli känsliga för separation i framkant av vingen. Detta uppstår vid stora anfallsvinklar p.g.a. att stagnationspunkten är placerad på vingens ovansida. Flödet måste då accelereras kraftigt runt framkanten och separation kan inträffa. För att motverka denna kraftiga acceleration runt vingens framkant kan separationspunkten flyttas genom att modifiera framkanten på vingen, fig. 19 och fig. 16, denna åtgärd ger inget extra bidrag i downforce men minskar risken för separation.

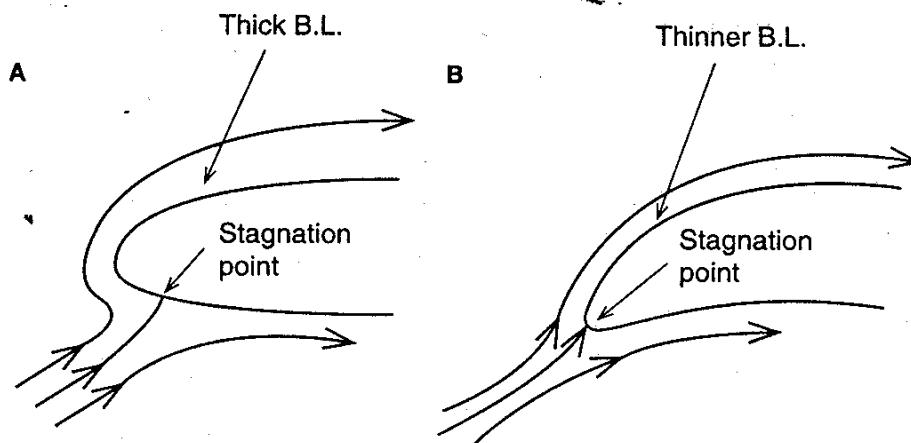


Fig. 19: Framkanten på en vinge (lyftande) sänks för att undvika separation vid stora anfallsvinklar.

För att få en väl fungerande design av vingar placerade på bilen krävs att deras samverkan med övriga delar simuleras och en bra design bör räknas fram. I SLC begränsas inte antalet vingar som används, detta medför att två vingar kan användas. En lågt placerad som skall samverka med diffusorn och en som är högt monterad för att vara i så ostört flöde som möjligt. Nackdelar med detta arrangemang är ökad vikt och ökat luftmotstånd.

### 3.4 Kylning

Kylning av mekaniska komponenter såsom motor, växellåda, bakaxel och bromsar är en mycket viktig del att ta hänsyn till då karossen ändras. Flertalet av delarna kyls med olja eller vatten tillsammans med luft. Genom att kapsla in eller skärma av dessa delar minskar kylningen av dem och olika typer av luftintag krävs för att delarna skall hålla rätt temperatur och inte överhettas.



Placeringen av intag och utsläpp av luften är mycket viktig, finns det ingen fläkt som driver detta flöde så måste det vara en tillräcklig tryckskillnad. I fronten på bilen är det högt tryck, detta tryck kan förutom att skapa downforce användas för att driva kylflödet till motor och bromsar.

Genom att utforma kylflödet så att trycket ökar innan kylaren fås ett större flöde genom kylaren. Verkningsgraden hos kylaren påverkas starkt av hastighetsfördelningen framför kylaren, en jämn fördelning ger bra verkningsgrad. Vid en tryckhöjning finns det risk för separation vilket starkt påverkar hastighetsfördelningen och verkningsgraden sänks. Separation kan också minska den effektiva kylarean som används, fig. 20. Att förhindra separation är svårt då utrymmet framför kylarna är begränsat men kraftiga ändringar i tvärsnittsarea skall undvikas samtidigt som ledskenor kan användas för att länka om flödet.

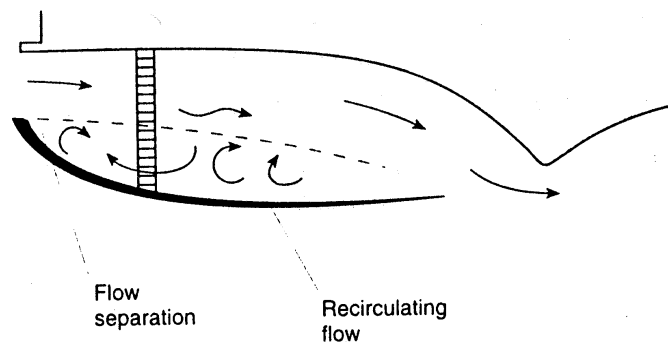


Fig. 20: Vid kraftiga areaändringar fås separation som minskar den effektiva kylarean.

Motorn som används är en turbomotor vilket medför att det är tre kylare som skall ha förses med luft: Intercooler, vattenkyl samt oljekyl. Dessa bör skärmas av och avståndet mellan dem bör tätas för att förhindra läckflöden runt kylarna.

För att kunna utnyttja fördelarna med ett plant golv krävs det att kylflödet inte släpps ut under bilen där den kan orsaka blockage vilket resulterar i en tryckökning. Då finns det två möjligheter att släppa ut kylflödet på, antingen genom huven eller så genom hjulhusen och skärmarna. Det senare alternativet sätter SLC reglemente för karossen stopp för vilket innebär att luften skall släppas ut genom huven. I framkant på huven fås ett lågt tryck p.g.a. av att luften accelereras över grillen. Detta tillsammans med en liten läpp på huven som genererar en vak ger ett mycket lågt tryck och är en utmärkt placering för att släppa ut kylflödet, fig. 21.



Fig. 21: Mitsubishi släpper ut kylflödet genom huven

Flödet genom kylarpaketet assisteras av kylfläkten som sitter bakom kylarpaketet för att inte störa hastighetsfördelningen framför. Fig.22 visar tryckfördelningen av flödet genom en kylare. Diffusorn höjer trycket innan kylaren, genom kylaren sänks trycket p.g.a. friktion och uppvärmning. Fläkten hjälper till att höja trycket efter kylaren och flödet ökas.

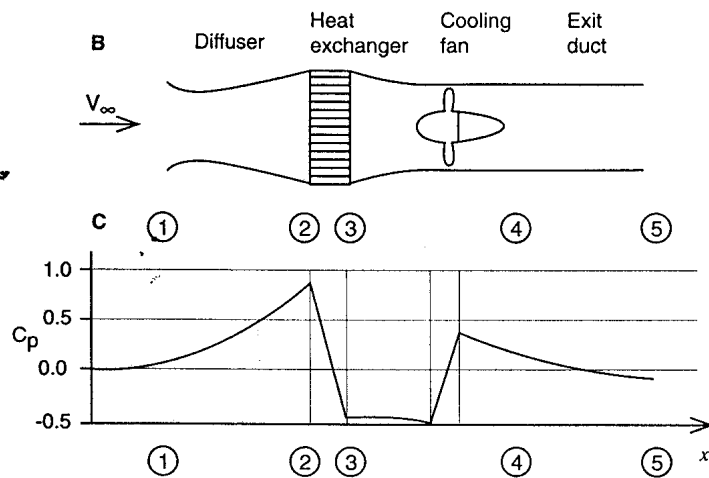


Fig. 22: Tryckfördelningen genom en kylare.

För att få ett så bra flöde som möjligt skall all luft tas in under stötfångaren, vidare genom kylarpaketet och slutligen upp genom huven. Denna lösning kräver att kylarpaketet lutas och sänks. Att släppa ut kylsluften genom huven ger enligt Hucho [3] ökad downforce fram, fig. 23. En nackdel är dock att densiteten hos den luft som strömmar genom kylaren och vidare till bakvingen har sänkts vilket minskar den tillgängliga energin i flödet.

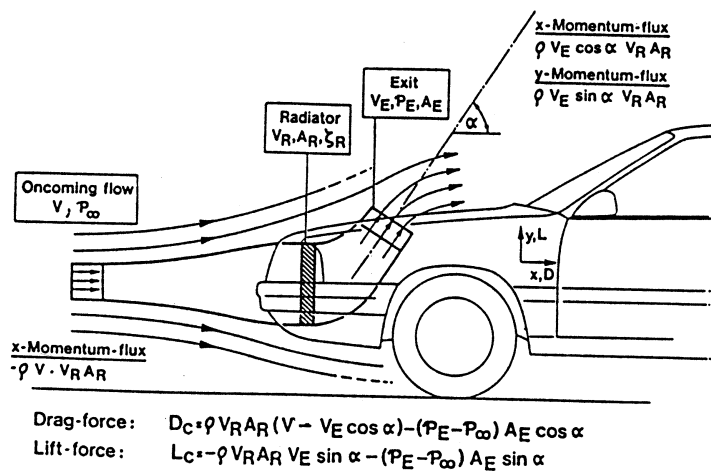


Fig. 23: Genom att släppa ut luften genom huven fås downforce fram.

Stora mängder värme genereras av turboaggregaten vilka skärmas av men för att sänka temperaturen i motorrummet ventileras huven vid dessa. Ett flöde från fronten strömmar över aggregaten och ut genom huven.

Frambromsarna och framförallt bromsskivorna får också luft från frontspoilern. Slangar går från fronten till fjäderbenet där de är fästa och riktade mot skivan. Genom att öka cirkulationen genom hjulhuset förbättras kylningen ytterligare samtidigt som trycket i hjulhusen sänks och lyftkrafterna minskar. Bakom skärmkanten är det en lågtryckszon vilken lämpar sig väl för ett utsläpp, fig. 24. Flödet genom detta utsläpp drivs även av hjulets rotation. Att få ett bra

kylluftsflöde till bakbromsarna är lite svårare men tester har visat att de klarar sig utan extra kyl Luft.

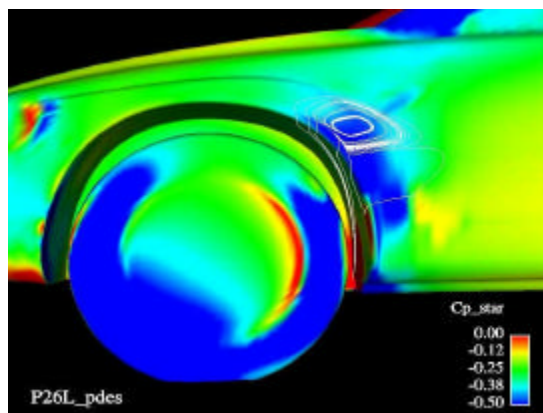


Fig. 24: Tryckfördelningen runt hjulhuset visar var det lämpar sig att släppa ut luft genom skärmen.

Då golvet är slätt och växellåda och bakaxel är inkapslade försvinner kyl luften över dessa. En möjlighet är att göra luftintag typ NACA-duct, fig. 25, för att förse dessa delar med tillräckligt kyl Luft. Flödet över kanterna på NACA-ducten skapar virvlar, det låga trycket i dessa virvlar verkar för att öka flödet in i rampområdet. Detta innebär att sidorna på ducten skall vara skarpa samtidigt som bakre kanten skall vara rundad. Rampvinkeln skall inte vara mer än ca  $7^\circ$  för att inte få avlösning. Är det ändå inte tillräcklig kylning över bakaxel och växellåda är ett annat alternativ att förse dem med oljekylare men det är en åtgärd som leder till ökad vikt.



Fig. 25: Framför bakhjulet ses två st NACA-ducter.

Långlopp innebär långa körpass, maximalt 1.5 timmar i sträck, vilket ställer höga krav på förarens uthållighet och koncentrationsförmåga. Detta innebär att temperaturen inne i kupén inte kan vara allt för hög för att föraren skall klara av att prestera jämna låga varvtider under hela körpasset. Varm luft kommer att strömma över huvan in i ordinarie kupélufsintag, detta måste förhindras samtidigt som nya möjligheter till kylning måste hittas. Luft kan tas in under backspeglarna och riktas mot föraren, en annan lösning är att köra utan sidoruta men det ger ett ökat luftmotstånd. Dessa intag är dock lätta att prova ut då du som förare snabbt känner av om luftströmmen är rätt riktad och tillräcklig.

### 3.5 Samverkan mellan olika delar

Att få ett väl fungerande aerodynamiskt koncept beror på om de olika delarna är anpassade och optimerade för varandra. Frontspoilern skall leverera tillräckligt med luft under bilen för att diffusorn skall fungera väl. Denna anpassning begränsar förträngningen under fronten men mer downforce fram kan genereras på andra sätt, se kapitlet aerodynamisk balans.

Vingens funktion påverkas starkt av karossen. Då den är monterad på bakluckan av en sedan ändras dess anfallsvinkel p.g.a. att flödet strömmar från taket ned mot vingen på bakluckan. Avståndet mellan bakluckan och vingen påverkar tryckfördelningen på vingens undersida och påverkar på så sätt kraften från vingen.

Den samverkan som genererar mest downforce är dock den mellan bakvinge och diffusor. Genom att placera bakvingen lågt nära diffusorn kan det låga trycket på undersidan av vingen utnyttjas för att öka flödet genom diffusorn. Denna samverkan sänker trycket under hela bilen och ger därför mycket downforce, fig. 25. Det lägre trycket bakom diffusorn minskar risken för separation och en effektivare diffusor kan utformas. Optimal horisontal placering av vingen är enligt *Katz [8]* då framkanten på vingen är ovanför bakkanten på diffusorn. Samverkan mellan vinge och diffusor i [8] studerades på en täckt sportvagn typ Grupp C. På dessa bilar följer flödet karossens bakre delar, d.v.s. att flödet över vingen är bra även om vingen sänks. Avståndet mellan vinge och diffusor på en sådan kaross är mycket mindre än vad som är möjligt på en standardvagn vilket innebär att samspelet mellan dem får större betydelse.

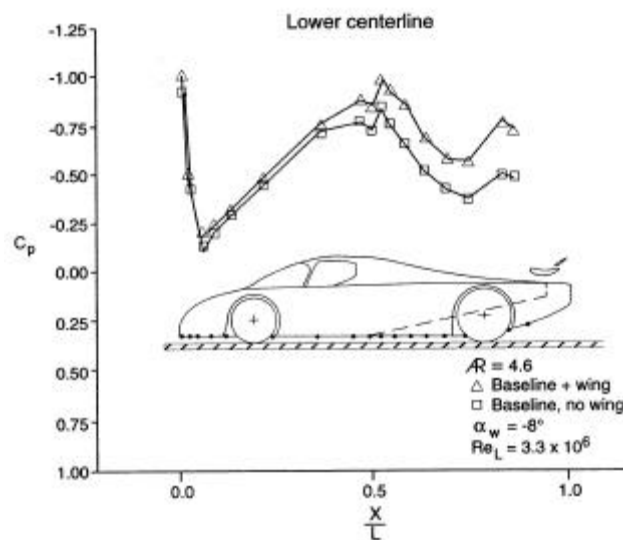


Fig. 25: Bakvingen samverkar med diffusorn och sänker trycket under bilen.

På en standardvagn som Volvo 240 är flödet vid bakluckan starkt påverkat av den vak som bildas bakom bakrutan. Att placera vingen alltför lågt gör att den påverkas av denna vak och dess funktion försämras, placeras den högt så fungerar vingen utmärkt men fördelarna med samverkan mellan vinge och diffusor går förlorad. I DTM fås endast en vinge användas, denna är dock ganska högt placerad trots att en diffusor används, fig. 26. Skall endast en vinge användas bör

dess placering provas fram, används två så skall den ena monteras lågt samtidigt som den andra monteras så högt som möjligt.



Fig. 26: Bakvingen relativt högt placerad trots att en diffusor används.

### 3.6 Aerodynamisk balans

Att vingar och spoilers skall öka marktrycket och på så sätt tillgängligt sidogrepp är uppenbart men för att kunna prestera lägre varvtider måste det vara balans mellan de krafter som genereras på fram och bakaxel. Obalans mellan krafterna leder till att bilen under eller överstyr, för mycket downforce bak gör bilen understyrd. Då de aerodynamiska krafterna påverkar bilens uppträdande främst i de snabba kurvorna är det bättre om bilen är något understyrd än överstyrd. En lätt understyrning går att balansera med gasen och det är ingen drömsituation om bakvagnen släpper t.ex. under bron på Kinnekulle där det går i ca 170 km/h.

Om själva grundkonceptet med frontspoiler, undersida och vinge skall producera den största delen av downforce går det att justera balansen med några enkla hjälpmedel och tillägg. Dessa justeringsmöjligheter skall inte innebära några större förändringar på grundkonceptet utan de skall vara enkla att utföra. Hur mycket de olika delarna påverkar skall testas fram för att finna en bra lösning.

De justermöjligheter vi har för att öka downforce fram är längden på splitteplattan och användandet och antalet dive-plates.

Bak är det vingens anfallsvinkel och användandet av en Gurney flap och dess längd.

En Gurney flap är en liten läpp som sätts i  $90^\circ$  vinkel på vingens bakkant, fig 27. Dess höjd kan varieras men skall vara inom området höjd/vingecorda = 0.01 till 0.06. Bakom läppen bildas två motroterande virvlar. Trycket i dessa virvlar är lågt och ökar därför flödet från vingens sugsida vilket resulterar i en trycksänkning längs vingens bakkant. På vingens trycksida bromsas flödet upp av läppen vilket resulterar i en liten tryckökning längs vingens bakkant. En ökad tryckdifferens längs bakkanten medför att både  $C_L$  för en given anfallsvinkel samt  $C_{Lmax}$  ökas.



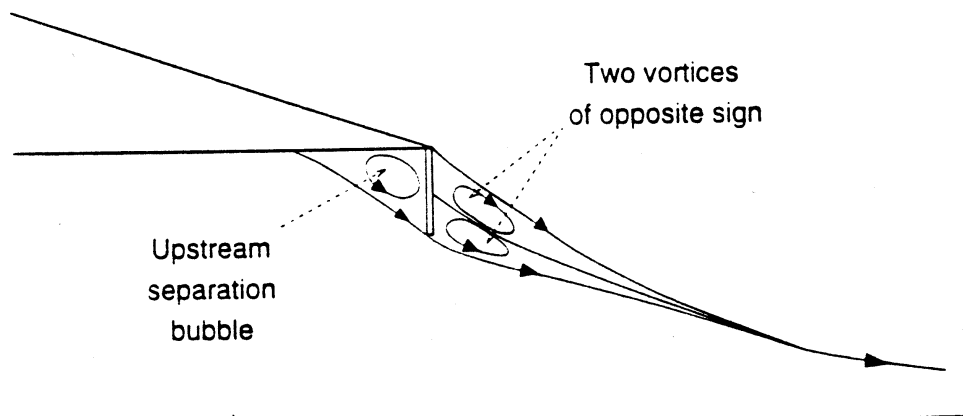


Fig. 27: En Gurney flap används för att öka lyftkraften

#### 4. Slutsats

Att testa olika aerodynamiska lösningar är både dyrt och svårt. Ett lågbudget team som vårt har inte dessa testmöjligheter. Det innebär att det aerodynamiska konceptet inte kan optimeras på ett bra sätt. Marginal mot bl.a. avlösning måste finnas för att de olika delarna skall fungera bra och påverkas av ändringar på ett förväntat sätt. Ett exempel vore om vi har för mycket anfallsvinkel på vingen. Flödet separerar då och vingen producerar inte så mycket downforce. Har vi samtidigt problem med understyrning så skall downforce bak minskas, alltså kan vingens anfallsvinkel minskas. Denna åtgärd skulle dock öka understyrningen eftersom flödet över vingen inte separerar vid den nya anfallsvinkeln och vingen skulle ge mer downforce. Ändringen skulle inte ha den förväntade effekten och det skulle vara svårt att ställa in bilen.

Valt aerodynamiskt koncept grundar sig på studie av bilar med liknande form främst Mercedes CLK DTM samt den litteratur som anges som referens.

Frontspoilersn kommer att likna den som sitter på Mercedes DTM med en splitter som har en upphöjning i mitten och en förträngning under. Minsta avstånd mellan väg och undersida kommer att vara ca 50 mm. Splitterns sidor kommer att vara i kontakt med marken för att förhindra inflöde från sidorna. All luft till motor, kylare och bromsar tas in under stötfångaren. Grillen och lampkåporna ersätts av ett stycke. För att kunna justera balansen i bilen kan splitteplattans längd samt användandet av och antalet dive-plates ändras.

Huven modifieras för att det skall vara möjligt att släppa ut kyl luften genom den. Ventilation för att kyla turboaggregaten tas också upp.

Golvet kommer att kapslas in med aluminiumplåtar och vara slätt fram till diffusorn. Denna kommer att ha en längd på 85 cm och en vinkel på  $8,5^\circ$ . Kjolar monteras längs bilens sidor.

Stora friheter finns då vingarrangemanget skall bestämmas. Skall en vinge användas bör denna ha två element för att ge mycket downforce. Om två vingar används skall en monteras lågt och den

andra så högt som möjligt. Lämpliga vingprofiler bör testas eller räknas fram. Fås inte dessa möjligheter kopieras en vingprofil från en ”fabriksbil” med liknande kaross.

I SLC och i de flesta serier på den här nivån är aerodynamik ett område som inte utnyttjas. Detta beror på att det kräver en hel del kunskap samtidigt som det är svårt och dyrt att testa olika lösningar. Lyckas vi med att generera relativt mycket downforce samt att få ett bra balanserat koncept kommer detta leda till att vi får en stor fördel gentemot övriga i vår serie. Förbättras även väghållning, motoreffekt och förare så kommer vi snart att placera oss mycket väl.

## Referenser

### Böcker

1. Katz, J., 1995, Race Car Aerodynamics, Robert Bentley Publishing
2. Barnard, R. H., 1996, Road Vehicle Aerodynamic Design, Harlow:Longman
3. Hucho, W. H., 1998, Aerodynamics of Road Vehicles, SAE Publications.
4. Milliken, W. F., 1995, Race Car Vehicle Dynamics, SAE Publications.
5. McBeath, S., 1998, Competition Car Downforce, Haynes Publishing

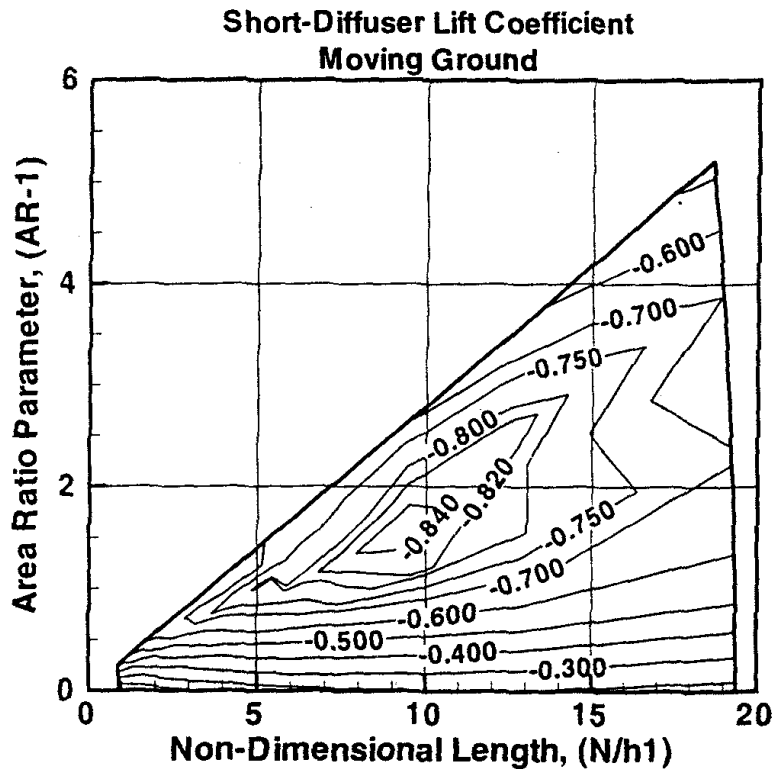
### Rapporter

6. Cooper, K. R., 1998, The Aerodynamic Performance of Automotive Underbody Diffusers, SAE paper no 980030.
7. Cooper, K. R., 2000, Selecting Automotive Diffusers to Maximise Underbody Downforce, SAE paper no 2000-01-0354.
8. Katz, J., 1989, Experimental Study of the Aerodynamic Interaction Between an Enclosed-Wheel Racing-Car and Its Rear Wing, Journal of Fluids Engineering.
9. Katz, J., 1994, Considerations pertinent to race-car wing design, Presented at Vehicle Aerodynamics Conference.
10. Jeffrey, D. R., 1996 A Wind-Tunnel Investigation of Aerofoils Fitted with Gurney Flaps, The Engineer.

### Internetsidor

11. [www.e30m3performance.com/myths/splitter/splitter.htm](http://www.e30m3performance.com/myths/splitter/splitter.htm)
12. [www.slc.se/index4.htm](http://www.slc.se/index4.htm)
13. [www.dtm-magazin.de](http://www.dtm-magazin.de)
14. [www.chs.chalmers.se/foreningar/cmkracing](http://www.chs.chalmers.se/foreningar/cmkracing)
15. [www.rallycars.com](http://www.rallycars.com)
16. [www.mulsannescorner.com](http://www.mulsannescorner.com)

## Appendix



**Fig. 14: Contours of Constant Lift Coefficient; Short Diffuser**

Diagrammet visar kurvor för konstant  $C_L$  för olika dimensioner på diffusorn.

$AR-1 = (N/h1) \cdot \tan\theta$ , där  $N$  är diffusorns längd,  $h1$  är avståndet mellan golv och väg och  $\theta$  är diffusorvinkeln.

Maximal negativ lift fås för  $AR-1 = 1.5$  och  $N/h1 = 10$ . Då  $h1$  bör vara ca 8 cm för att vi skall få upp bilen ur garaget fås  $N = 10 \cdot h1 = 80$  cm och  $\theta = 8.5^\circ$ .

Dessa data ger en diffusor som inte kräver några större modifieringar på karossen då den hamnar precis bakom bakaxeln.