

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

ŠTÍT ZADNÍ AUTOMOBILOVÉ BRZDY

BRAKE PLATE FOR REAR AUTOMOTIVE SUSPENSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN KRASULA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. IVAN MAZŮREK, CSc.

BRNO 2009

ANOTACE

Tato bakalářské práce je zaměřena na rozměrový návrh štítu zadní brzdy závodního automobilu kategorie T1 s předepsanými parametry. Začátek práce bude věnován seznámení s kategorií T1 a se závody cross-country rallye. Druhá část bude osvětlovat problematiku brzd a chlazení. Dále bude navržen systém chlazení a výpočtem ověřena jeho funkce. Závěr práce je vyhrazen pro vlastní konstrukci štítu brzdy.

Klíčová slova: cross-country rallye, terénní vůz, brzdič, brzdový kotouč, chlazení, decelerace.

ANNOTATION

This bachelor thesis main aim is proportional design of racing car rear brake shield. Race car was built in T1 group. At the beginning of thesis there will be devoted to introduce T1 group regulations and cross-country rally races. Questions of brakes and brake cooling will be resolved in second part. There will be calculations of cooling system function. At the end of thesis there will be place for design of brake shield.

Key words: cross-country rally, cross-country car, brake calliper, brake disc, deceleration.

Bibliografická citace: KRASULA, J. *Štít zadní automobilové brzdy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 43 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci *Štít zadní automobilové brzdy* jsem vypracoval a napsal samostatně, pod vedením mého vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Ivana Mazúrka, CSc. a uvedl všechny zdroje, z kterých jsem čerpal.

Jan Krasula v Brně 20. 5. 2009 _____

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem lidem, kteří mi pomohli při vypracování bakalářské práce zvláště pak Ing. Miroslavu Zapletalovi za informace spojené se závoděním. Velké díky patří vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ivanu Mazůrkovi, CSc., který mě s trpělivostí vedl celý semestr a přizpíval cennými radami.

OBSAH

OBSAH	11
ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Závody	14
1.1.1 Závody cross-country	14
1.1.2 Brzdění při závodech	14
1.2 Závodní automobil kategorie T1	15
1.2.1 Předpisy	15
1.2.2 Konkrétní automobil	16
1.3 CHLAZENÍ BRZD	16
1.3.1 Nutnost chlazení	16
1.3.2 Možnosti chlazení	19
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA	22
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	23
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ	24
4.1 Metodika výpočtu	24
4.2 Metodika návrhu tvaru štítu	24
4.3 Výpočet	26
4.3.1 Výpočet energie vzniklé brzděním	26
4.3.2 Rozložení sil při brzdění	27
4.3.3 Teplo odvedené vzduchem proudícím kolem automobilu	29
4.3.3 Teplo odvedené s použitím chladicího systému	30
5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	34
5.1 První návrh	34
5.2 Druhý návrh	34
5.3 Třetí návrh	35
5.4 Výběr varianty	35
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	36
6.1 První díl	36

6.2 Druhý díl	37
6.3 Konzola	38
7 KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ	39
7.1 Konstrukční rozbor řešení	39
7.2 Technologický rozbor řešení	39
7.3 Ekonomický rozbor řešení	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40
SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	41
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	43
SEZNAM TABULEK	44
SEZNAM PŘÍLOH	45

ÚVOD

Při výrobě a návrhu vozu pro běžný provoz se upřednostňují zcela jiné potřeby, než při konstrukci závodního automobilu. Sériové auto se konstruuje pro vyšší životnost všech dílů a pro komfort posádky. Při konstrukci závodního automobilu se konstruktér snaží o maximalizování výkonu a nastavení takové spolehlivosti, aby díly vozu vydržely závod a poté byly zkontrolovány nebo vyměněny. Závodní díly jsou více namáhány ať už silově nebo tepelně. Proto se u závodních automobilů volí odolnější materiály, aby vydrželi více mechanického namáhání. U závodního automobilu se také chladí více provozních kapalin a součástí, například oleje v motoru, převodové skříně a diferenciálech a také se často chladí i tlumiče a brzdy.

Pro tyto účely se konstruuje speciální přiváděče vzduchu, sběrače vzduchu, štíty usměrňující proud vzduchu a přidávají se přívodní hadice s ventilátory, které na sériových vozech nenajdeme.

Od sériových vozů se liší i použití materiálů, které nejsou vystaveny přímému namáhání. Zde je kladen důraz na maximální snížení hmotnosti, proto se používají například kompozitní materiály, jako jsou uhlíková vlákna. Z toho a taky z objemu výroby plyne, že se značně odlišuje výroba a na to navazující ceny automobilů a jejich dílů. V sériové výrobě, kde se uplatňuje nejmodernější automatizace, se náklady na výrobu minimalizují efektivností a výrobou jednoúčelových přípravků a strojů. To v závodní výrobě není možné a tak i ceny dílů jsou nepoměrně vyšší.

Potřebou se zlepšovat závod od závodu je zde urychlen vývoj, díly se po zkušenostech často obměňují a přichází se s novými řešeními, která jsou testována v těch nejtěžších podmínkách. Tyto poznatky se pak přenáší i na sériové vozy. To je vedle zviditelnění značky dalším důvodem proč automobilky vedou svá sportovní oddělení a angažují se v motorsportu.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Závody

1.1.1 Závody cross-country

Závody cross-country by se dali do češtiny přeložit jako dálkové rally. Závodníci soutěží na rozbitých cestách, v lesích, v těžkých bahnitých terénech, ve skalách, na písečných pouštích i ledových cestách, ale také na asfaltových cestách a šotolině.

V této disciplíně motorsportu se závodí se speciály T1, upravenými terénními vozy kategorie T2, závodními kamiony T4, nebo na terénních motocyklech a čtyřkolkách. Vozy těchto kategorií musí splňovat pravidla FIA a motocykly pravidla FIM. Tato disciplína rozlišuje tři druhy závodů, Cross-country rally, Cross-country maraton rally (maraton), Cross-country BAJA (BAJA).

Cross-country rally je závod, který musí mít délku tratí mezi 1200 km a 6 500 km a minimální délku včetně spojovacích etap 2000 km. Závod nesmí trvat více jak deset dní včetně technických přejímek a prologu.

Maratonský závod většinou vede přes území několika států. Celková vzdálenost musí být větší než 6 500 km s minimální délkou tratí 4 000 km. Trvání závodu by nemělo překročit 31 dní včetně technických přejímek a prologu.

Baja je typ závodu, který by měl trvat jeden nebo dva dny. První den s maximální délkou 800 km a druhý den 1 200 km. Mezi těmito dny je minimální dovolená přestávka 8 hodin a maximální 20 hodin.

1.1.2 Brzdění při závodech

Brzdění je maření kinetické energie třením. Brzdění závodních vozů se značně odlišuje od brzdění vozů sériových. Zatímco při jízdě v běžném provozu se snažíme o co největší komfort při jízdě, tedy o pomalou a dlouhou deceleraci, tak aby nevznikaly rázy. Naopak u závodní jízdy se snažíme o co nejrychlejší zpomalení na potřebnou rychlost. Jinými slovy je potřeba zmařit množství energie v co nejkratším čase a v důsledku toho vzniká velké množství tepla.

Brzdy sériového vozu také mají dlouhý prostor na ochlazení mezi jednotlivými brzděními. Vůz jede většinu času konstantní maximální povolenou rychlostí. Naopak závodní vůz prakticky vůbec nejede konstantní rychlostí, buď zrychluje, nebo brzdí. Závodní vůz se pohybuje na technické trati, kde nejsou prostory na dlouhé zrychlování a chlazení brzd, ale je zde velké množství zatáček, do kterých je nutno brzdit.

1.2 Závodní automobil kategorie T1

1.2

1.2.1 Předpisy

1.2.1

Mezinárodní automobilová federace rozlišuje dvě kategorie, sériové terénní vozy T2 a upravené terénní vozy T1. Skupina T2 je striktně omezena v úpravách vozu. Naopak vozy skupiny T1 se mohou upravovat daleko více než je tomu ve skupině T2. Tyto úpravy však musí také odpovídat daným předpisům. Jde o tzv. přílohu „J“ k mezinárodním sportovním řádům FIA.

Automobily se řadí do několika kategorií nejprve podle typu paliva na benzínová a dieselová s tím, že dieselová mohou být přeplňována. Dále se pak dělí podle objemu motoru. Podle objemu motoru se určuje minimální hmotnost a průměr restriktoru. Například pro benzínový motor o obsahu 3999ccm je minimální hmotnost 1787,5 Kg a průměr restriktoru je 32mm. Restriktor je díl, který se zařazuje do sacího systému vozu. Jeho funkcí je omezit proudění vzduchu do motoru a tím i jeho výkon.

Minimální hmotnost je hmotnost automobilu s povinnou výbavou a dvěma náhradními koly, bez posádky.

Z důvodu poměrně vysoké hmotnosti vozidla a omezení výkonu restriktorem nejsou tyto vozy v porovnání s ostatními závodními speciály moc rychlé, maximální rychlosti nejlepších automobilů se pohybují okolo 180 km/h. Uvážíme-li, v jakém terénu se automobily pohybují, pak už není maximální rychlost tak podstatná. Dalším důsledkem restriktoru a náročného terénu je spotřeba automobilů. U benzínových motorů se v závislosti na profilu tratě pohybuje spotřeba od 70-100 l/km. Spolu s délkou rychlostních zkoušek to vyžaduje až pět seti litrové nádrže na palivo.

Omezená je také maximální šířka automobilu, pro automobil s náhonem na všechna kola na 2 m bez zpětných zrcátek nebo na 2,2 m pro vozy s jednou poháněnou nápravou. Další rozměrová omezení jsou: maximální průměr kol je 810 mm, maximální zdvih nápravy je 250mm pro nezávislé zavěšení a 300 pro tuhou nápravu, každá náprava může být osazena čtyřmi tlumiči (2 na kolo).

Zvláštní pozornost je věnována bezpečnosti a bezpečnostnímu vybavení. Sedadla a pásy musí projít homologací a po havárii musí být vyměněny, i když nejsou nějak zjevně poškozeny. Vůz musí mít manuální a automatický hasicí přístroj. Automatický musí být ovládán jak z prostoru posádky, tak i z vnějšku automobilu spolu s odpojovačem elektrické energie. Odpojovač mechanicky odpojí všechny elektrické obvody a musí zhasnout motor.

Bezpečnostním prvkem je také ochranný rám, který musí obsahovat několik povinných prvků tvořených z ocelových trubek o průměrech 40 a 50 mm. Jak má takový bezpečnostní rám vypadat, popisuje právě příloha „J“, kde je na výběr z několika variant. Další možností je rám postavit podle potřeby autora vozu a rám homologovat. Rám musí projít zkouškami, kdy je zatěžován v lisu. Nejčastěji je auto konstruováno jako nosný trubkový rám, jehož součástí je i bezpečnostní rám.

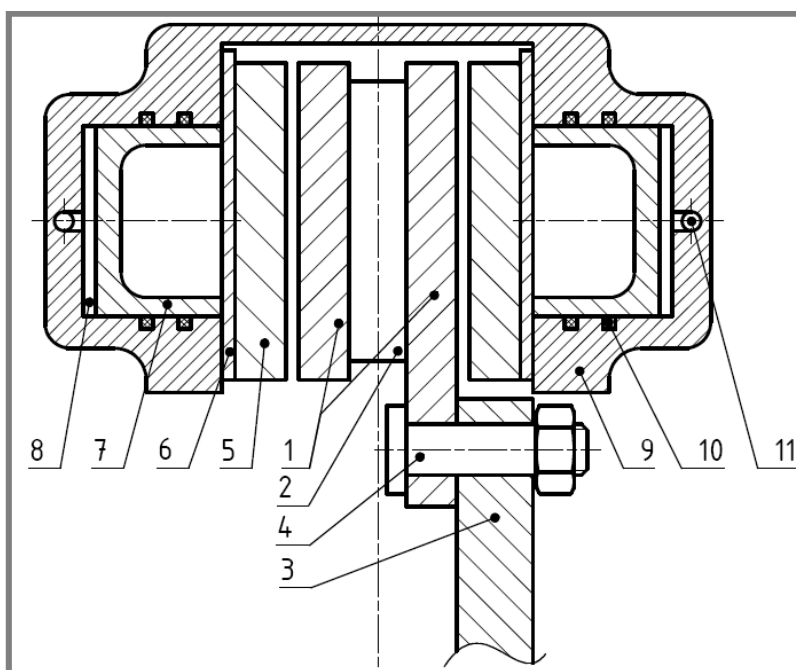
1.2.2 Konkrétní automobil

Automobil pro, který budeme navrhovat kryt zadní brzdy, je Hummer H3, který se vyrábí v dřevohostických dílnách týmu OffroadSport. Je to speciál kategorie T1 s celo trubkovým rámem s nezávislým zavěšením všech kol. Automobil bude mít motor Toyota V6 se zdvihovým objemem 3999 cm. Tým si konstruuje vlastní šestistupňovou sekvenční převodovku s externí spojkou. Přední diferenciál bude použit z Nissanu Navara a zadní diferenciál bude převzat z Mitsubishi Pajero. Hummer bude mít osm tlumičů Reiger Racing. Nádrž vyrobená firmou Continental bude mít objem 500 litrů.

1.3 CHLAZENÍ BRZD

1.3.1 Nutnost chlazení

Brzdění je maření kinetické energie třením. U závodních vozů se používají kotoučové brzdy. Kotouč je připevněn ke kolu a spolu s ním se točí. Brzdíč, který je připevněn k těhlici, je složen z těla, pístků a brzdových destiček. Po stisknutí brzdového pedálu, který je přes táhlo spojen s brzdovým válečkem, se v okruhu s brzdovou kapalinou zvýší tlak a vysunou se pístky v brzdíči. Ty přitlačí brzdové destičky na kotouč a vzniká tření. Počet pístků v brzdíči ovlivňuje rozložení tlaku na destičku. Větší počet pístků dovolí použít větší destičku. To má za následek delší životnost destičky a větší plochu pro odvod tepla.



- | | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 1 – Funkční plochy brzdového kotouče | 7 – Pístek |
| 2 – Žebro | 8 – Válec |
| 3 – Unašeč kotouče | 9 – Tělo brzdíče |
| 4 – Šroub | 10 – Těsnění |
| 5 – Brzdová destička | 11 – Přívodní kanálek |
| 6 – Základna brzdové destičky | |

Obr. 1 Schéma brzdy

Třením vzniká tepelná energie, která ohřívá jak brzdové destičky a kotouč, tak celý prostor kolem nich. Kinetická energie závisí na hmotnosti pohybujícího se tělesa a na kvadrátu jeho rychlosti. Vezme-li v úvahu relativně velkou hmotnost závodního automobilu, vyplyne nám velká tepelná energie jako důsledek brzdění.

V závodech cross-country jsou největším problémem soutěže typu BAJA, kdy je profil tratě více technický a dochází k častému zrychlování a brzdění do zatáček. Nebývají zde dlouhé rovinky, jako na maratónských závodech, kde brzdy stačí vychladnout. Na těchto soutěžích se také nešetří tolik technika a jede se co možná nejrychleji. Rovněž se zde používá jiný řídičský styl, kdy je pravá noha pořád na plynovém pedálu a levá noha obsluhuje spojkový i brzdový pedál. V zatáčkách se používá brzdový i plynový pedál současně a vozidlo se uvádí do malých smyků, které jsou potřebné ke zvládnutí zatáčky v co nejrychlejší čas. Brzda neustále krotí výkon motoru, a tím opět vzniká množství tepelné energie

Prostor před přední nápravou bývá zcela odkrytý, a k brzdám se dostane velké množství vzduchu, proto tu problémy nebývají. Opakem je zadní náprava, kde je prostor schovaný v podběhu a dochází tu jen k minimálnímu proudění vzduchu.

Vysoká teplota v tomto prostoru vede k několika zásadním problémům. Při vysoké teplotě brzdového kotouče a brzdových destiček se mění jejich povrch a klesá součinitel tření a brzdy se stávají nepoužitelnými, což znemožňuje ovladatelnost automobilu. V jiných disciplínách motorsportu se používají brzdové destičky a kotouče z kompozitních materiálů, které fungují dobře i za velmi vysokých teplot, a mají vysoký součinitel tření. Například u závodů cestovních vozů jsou často vidět do oranžova rozpalené kotouče. Tyto materiály jsou však u závodů cross-country zakázané a nesmějí se používat.

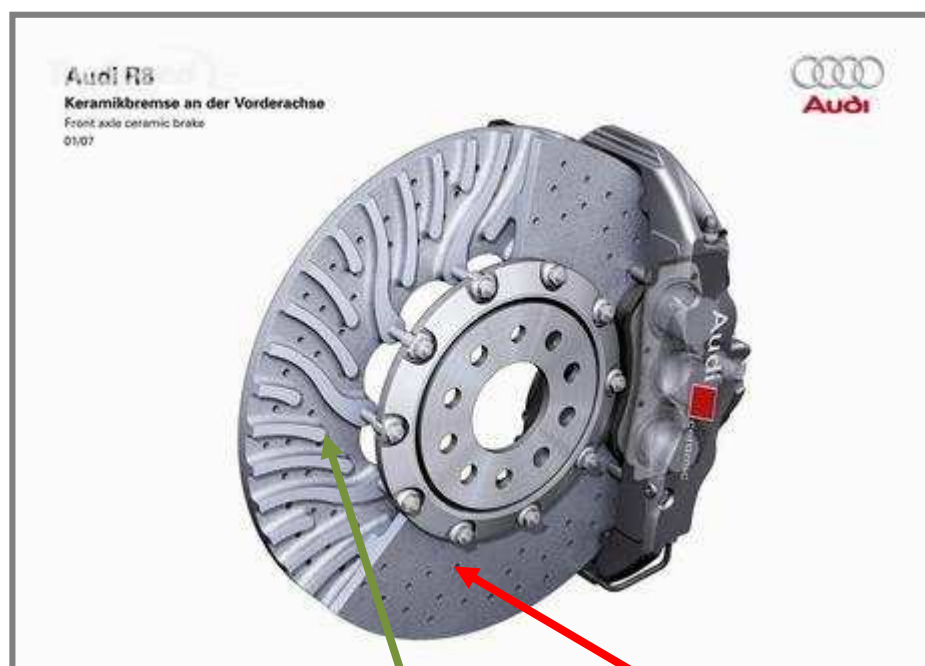


Obr. 2 Závodní vůz s rozžhavenými brzdovými kotouči

Brzdový kotouč se vlivem tepla deformuje. Při vysokých teplotách je deformace tak velká, že kotouč rozhazuje brzdové destičky a brzdový systém přestává fungovat. Problém je, že i po vychladnutí kotouče je stále zdeformovaný a musí se vyměnit.

Pokud je kotouč zahřátý a stále se zahřívá, přenáší teplo na ostatní části podvozku, například na ložiska náboje. V ložiscích dochází k odpařování mazací látky a ty se stávají nefunkčními. Brzdový kotouč zahřívá i disk kola a ten ohřívá vzduch v pneumatikách, kde se zvyšuje tlak, a tak pneumatiky nefungují správně. Může dojít až k takovému zahřátí, že se utaví ventilky, vzduch uteče a kolo se musí vyměnit. Od rozežřátých destiček se ohřívá celý brzdič, jehož komponenty nemusí vydržet takové teplo. Jedná se o těsnění válečku nebo pružinky ve válečcích. Všechny tyto závady mohou vést až k odstoupení ze soutěže.

Z termodynamického hlediska je kotouč těleso o určité teplotě, který je v prostředí se vzduchem, jenž má také svou teplotu. Kotouč svou tepelnou energii předává do okolí tak dlouho, dokud se teploty nesrovnají. Kotouč předá energie tím víc, čím bude větší rozdíl mezi teplotami, proto se v motorsportu používají karbonové kotouče, které dovolí zahřátí na extrémní teplotu. Přenos také záleží na velikosti plochy, která je v kontaktu, proto je závodní kotouč konstruován ze dvou mezikruhových desek, která jsou spojena žebry, tím se plocha zdvojnásobí. Další možností urychlení přenosu energie je proudění vzduchu po povrchu kotouče. Proudění se vyvodí tvarem žebrování, která jsou konstruována jako lopatky radiálního kompresoru.



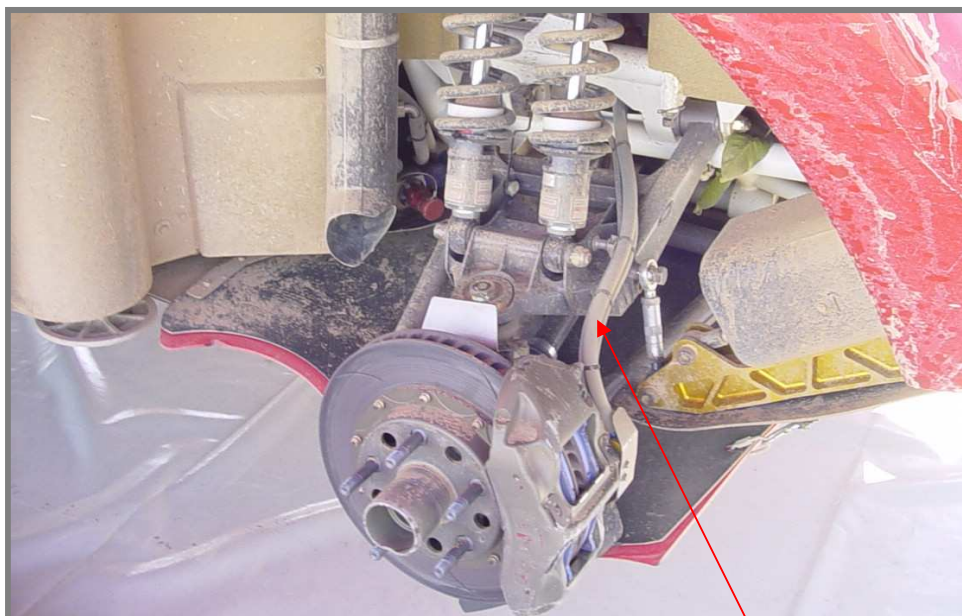
Funkční plocha disku
Žebra tvarovaná tak, aby mezi nimi rotací disku vznikalo proudění vzduchu

Obr. 3 Brzdový kotouč

1.3.2 Možnosti chlazení

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že zadní brzdy je nutno chladit. Způsobů je několik. Jedním způsobem jsou speciální brzdíče od společnosti Brembo, ve kterých jsou provrtané kanálky, jimiž proudí voda. Takové řešení odvede více tepla než jakékoliv vzduchové chlazení.

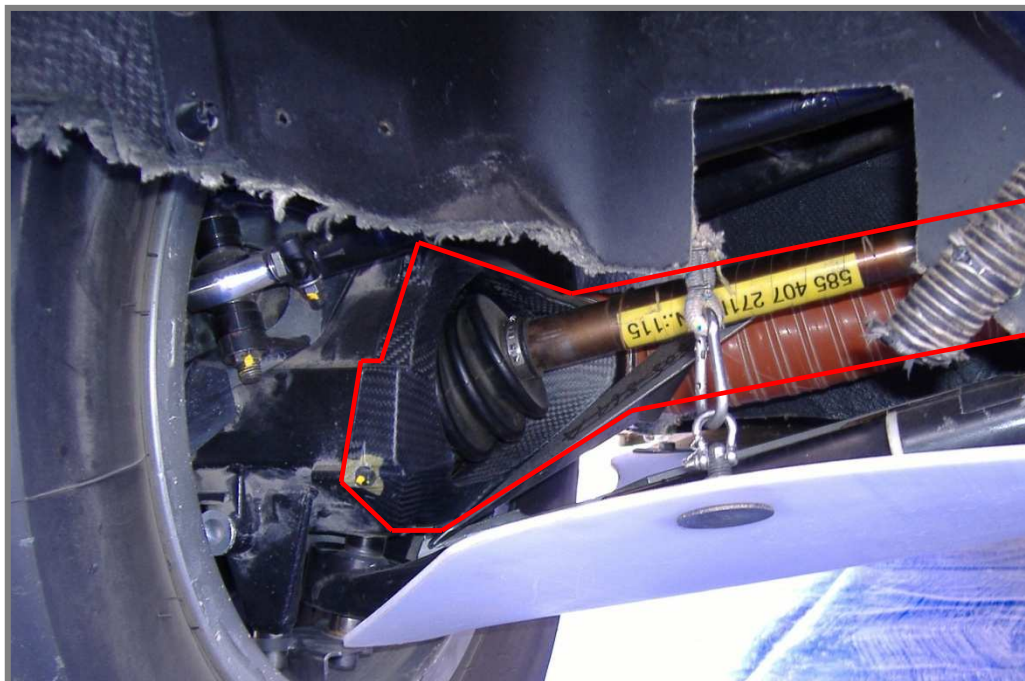
Nevýhodou je, že k brzdám musí být vytvořen chladicí okruh s vodním čerpadlem a výměníkem tepla. Takové brzdíče jsou nepoměrně dražší než standardní závodní brzdíče. Při výpadku vodního čerpadla jsou brzdy jako nechlazené



Hadice přivádějící chladicí kapalinu do brzdíče

Obr. 4 Zadní zavěšení Mitsubishi Pajero

Další možností je speciální svařovaná těhlice, která má kolem uložení ložiska žebrovaný prostor, jenž je průchozí. Na vnitřní stranu se přimontuje kryt, do kterého je hadicí přiváděn vzduch ze střešního nasávače. Vzduch pak proudí těhlicí a chladí i ložisko. Po výstupu z těhlice je vzduch nasán lopatkami brzdového kotouče a prouděním přes něj kotouč chladí. Výhodou tohoto řešení je chlazení celé těhlice a funkčnost bez jakýchkoliv mechanismů, které by se mohly poškodit. Je však potřeba speciální konstrukce těhlice a brzdy jsou chlazeny, pouze pokud se automobil pohybuje.



Obr. 5 Přívodní hadice vzduchu s krytem přes celou těhlici.

V automobilovém sportu se ke chlazení brzd používá i ostřík vody přímo na kotouč. Při kontaktu vody s kotoučem se voda vypaří a přitom je spotřebováno skupenské teplo, které se odvede z kotouče. Takové chlazení je tedy velmi efektivní. Tento způsob se používá u terénních motocyklů a okruhových tahačů. U motocyklů proto, že jejich brzdy jsou malé, a tak ke zchlazení stačí málo vody. Tahače jsou hodně těžké a nevadí, že sebou vozí spoustu vody. U závodů cross-country je tento způsob nepoužitelný, protože na dlouhé tratě by množství vody bylo enormní, a to by vůz hodně zpomalovalo.



Obr. 6 Vodní pára jdoucí od brzd závodního tahače

Nejjednodušším řešením je připevnit hadici na horní rameno a nasměrovat ji na kotouč. Začátek hadice se musí umístit tak, aby do něj proudil vzduch. Například na střechu automobilu udělat otvor a do něj NACA štěrbinu, na kterou se napojí hadice. Toto řešení se dá vylepšit umístěním směrovacího prvku na konec hadice, který bude usměrňovat proud vzduchu pod kotouč tak aby si ho lopatky kotouče mohly nasát a tím se kotouč lépe chladil. Dalším vylepšením může být ventilátor, který se umístí za NACA štěrbinu. Tím se zajistí chlazení brzd i při malých rychlostech nebo dokonce když bude automobil stát.

Takové řešení je možno použít u všech vozidel, pouze prvek, který bude vozidla který bude usměrňovat proud vzduchu na konci hadice, nebude stejný. Nevýhodou je zvýšení odporu vzduchu vozidla, které způsobuje NACA štěrbinu a tím snížení maximální rychlosti a akcelerace. Tento faktor bude rozhodující hlavně u okruhových speciálů. U vozů pro cross-country nebude až tak zásadní.

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že chlazení brzd je pro závodní vůz důležité. Pokud chceme provozovat konkurenci schopný, a tedy spolehlivý vůz, je třeba se tímto problémem zabývat. Výše je také uvedeno několik způsobů jak chladicí systém řešit. Musíme brát v úvahu také konkrétní automobil a typ soutěží, ke kterým je určen.

Problémem bude ověřit funkci chladicího systému výpočtem. Je nezbytné fyzikálně popsat termodynamický děj chlazení brzdy a odvodit jeho matematické vyjádření.

Nejvhodnějším řešením pro konkrétní vůz cross-country bude vzduchové chlazení za použití ventilátoru. V tomto systému bude zařazena NACA štěrba, ventilátor, přívodní hadice a štít. Všechny komponenty kromě štítu je možno zakoupit ve specializovaných obchodech se zbožím pro motorsport. Štít je tedy nutno navrhnout.

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Tvar štítu bude přizpůsoben těhlici daného závodního automobilu tak, aby nenarušoval její funkci. Štít musí být snadno demontovatelný, ale přesto musí na těhlici pevně držet. Tak jako štít na těhlici musí i přívodní hadice držet na štítu a proto je třeba vyřešit její přichycení. Štít musí být funkční i z aerodynamického hlediska. Musí být tedy navržen tak, aby v něm nevznikali velké aerodynamické ztráty a tím se nesnižovala účinnost chladicího systému. Štít také musí přivádět vzduch tak, aby se co nejlépe využil jeho chladicí potenciál, tj. musí přivádět vzduch k lopatkám brzdového kotouče. Při návrhu budeme vyházet ze zkušeností teamu OffroadSport. Řešení bylo rozděleno do těchto cílů:

- Rozměrová analýza nápravy, odměření připojovacích rozměrů.
- Výběr reprezentativního úseku z palubního datalogeru za účelem analyzování jízdní a brzdné dynamiky potřebné k odhadu brzdné energie.
- Stanovení chladicího účinku proudícího vzduchu na brzdové ústrojí.
- Rozměrový návrh štítu.
- Vytvoření výkresové dokumentace.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

4.1 Metodika výpočtu

Jako vstupní data poslouží výstup z datalogeru MOTEC, například jedna vybraná vzorová minuta zaznamenaná během závodu na autě stejné specifikace a velmi podobných parametrů.

Záznam rychlosti vozidla se rozdělí do úseků podle toho, zda auto akcelerovalo, pohybovalo se konstantní rychlostí, nebo decelerovalo. Z nich budou vybrány ty úseky kdy auto decelerovalo a budou odečtena data.

Pokud auto brzdí, je vlivem setrvačnosti zatížena více přední náprava vozu. Přední brzdy tedy musí zmařit více energie. Jaké je rozložení sil lze zjednodušeně zjistit, pokud budeme uvažovat automobil jako dokonale tuhé těleso zatížené silami. Z momentové a silové rovnováhy určíme velikosti sil pod přední a zadní nápravou. A ze znalosti tohoto poměru se z dříve vyjádřené kinetické energie určí brzdný výkon jedné brzdy, a tedy i vyrobené teplo.

Termodynamický výpočet nucené konvekce by byl tak složitý, že by se musel provádět za použití technologie CFD. Proto si určíme maximální přípustnou teplotu, která nebude nepříznivě ovlivňovat okolní součásti. Tuto teplotu pak porovnáme s teplotou přivedeného vzduchu poté, co odebere teplo vzniklé brzděním.

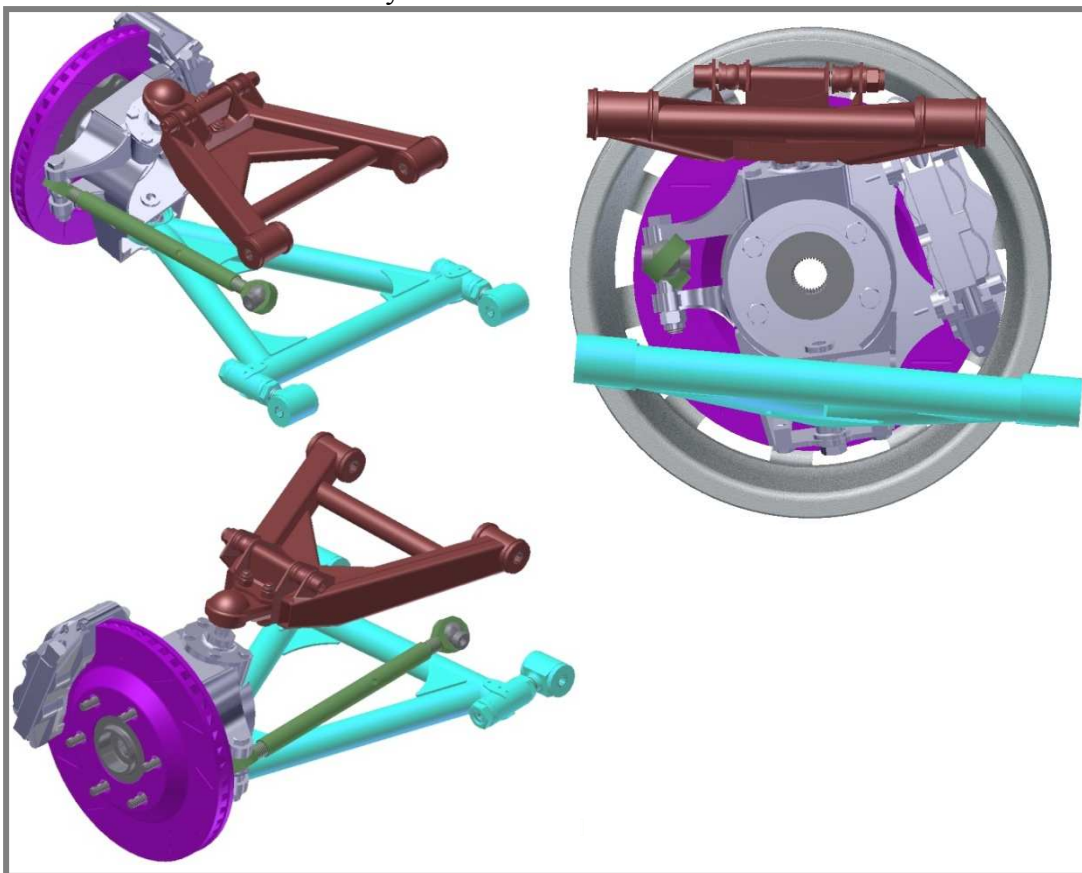
Automobil při jízdě rozráží vzduch, který jej obtéká. Objemový tok vzduchu kolem automobilu se rovná rychlosti násobené čelní plochou automobilu. Pokud podělíme délku, kterou z obvodu zaujímá vnitřní strana disku, obvodem celé čelní plochy automobilu, dostaneme zlomek, který přibližně určuje množství vzduchu, které protéká kolem brzdy.

Ze zkušenosti víme, že vzduch proudící kolem automobilu nebude stačit k odvedení tepla, vzniklého brzděním. Proto výpočet zopakujeme s tím, že k brzdě přivedeme další vzduch chladicím systémem. Protože tento vzduch prochází potrubím, určíme ztráty v jednotlivých částech potrubí.

4.2 Metodika návrhu tvaru štítu

Protože do prostoru kolem štítu zasahuje mnoho komponentů, bude ke konstrukci použit 3D konstrukční software (Autodesk Inventor 2009). Prostor kolem štítu bude přeměřen a bude vytvořen jeho model. Tvar štítu bude vytvořen s ohledem na cíle výše zmíněné.

V programu Autodesk Inventor byly vytvořeny součásti podvozku, které se budou nacházet v blízkosti štítu brzdy.

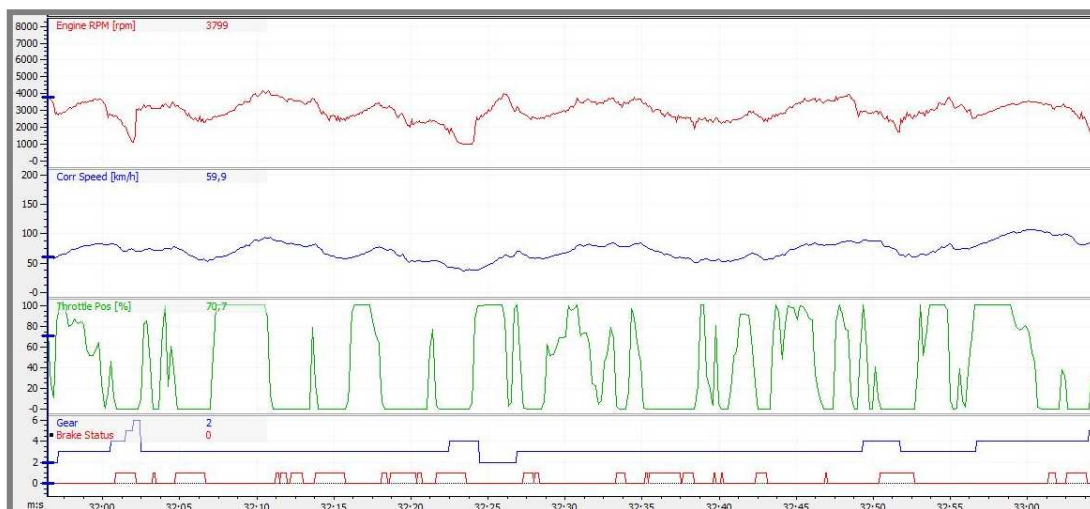


Obr. 7 Ukázka zpracovaných dílů kolem štítu

4.3 Výpočet

Výpočet bude postupovat podle metodiky uvedené v bodě 4.1.

4.3.1 Výpočet energie vzniklé brzděním



- První graf - otáčky klikové hřídele
- Druhý graf - rychlost vozidla
- Třetí graf - poloha plynového pedálu
- Čtvrtý graf - rychlostní stupeň
- použití brzdy

Obr. 8 Data o průběhu vzorové minuty na rychlostní zkoušce

Záznam rychlosti vozidla byl rozdělen do jedenácti úseků podle toho, zda auto akcelerovalo, pohybovalo se konstantní rychlostí, nebo decelerovalo. Z nich bylo vybráno pět deceleračních úseků a byla odečtena data.

- t_1 – čas, při kterém vozidlo začalo zpomalovat
- t_2 – čas, při kterém vozidlo přestalo zpomalovat
- Δt – délka zpomalování
- v_1 – rychlost vozidla před zpomalováním
- v_2 – rychlost vozidla po zpomalování
- Δv – změna rychlosti
- a – vypočtené zpomalení
- ΔE_k – změna kinetické energie vozidla
- m – maximální hmotnost automobilu
- P_b – brzdový výkon

Tab. 1 Odečtené a vypočítané hodnoty

Úsek	t1	t2	Δt	v1	v2	Δv	a	ΔEk
-	S	s	s	m.s ⁻¹	m.s ⁻¹	m.s ⁻¹	m.s ⁻²	kJ
1	4	6	2	77,4	52,7	-24,7	-12,35	3213
2	10	15	5	92,7	57,3	-35,4	-7,08	5310
3	17	23	6	77,3	38,7	-38,6	-6,43	4477
4	34	38	4	82,9	50	-32,9	-8,22	4372
5	50	52	2	87,6	60,3	-27,3	-13,65	4037

Ukázka výpočtů:

$$m = 2000 \text{ kg}$$

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 52,7 - 77,4 = -24,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 6 - 4 = 2 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-24,7}{2} = -12,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot (77,4^2 - 52,7^2) = 3213470 \text{ J}$$

$$P_b = \frac{\sum_{i=1}^5 E_{ki}}{t} = \frac{(3213 + 5310 + 4477 + 4372 + 4037) \cdot 10^3}{60} = 356852,5 \text{ W}$$

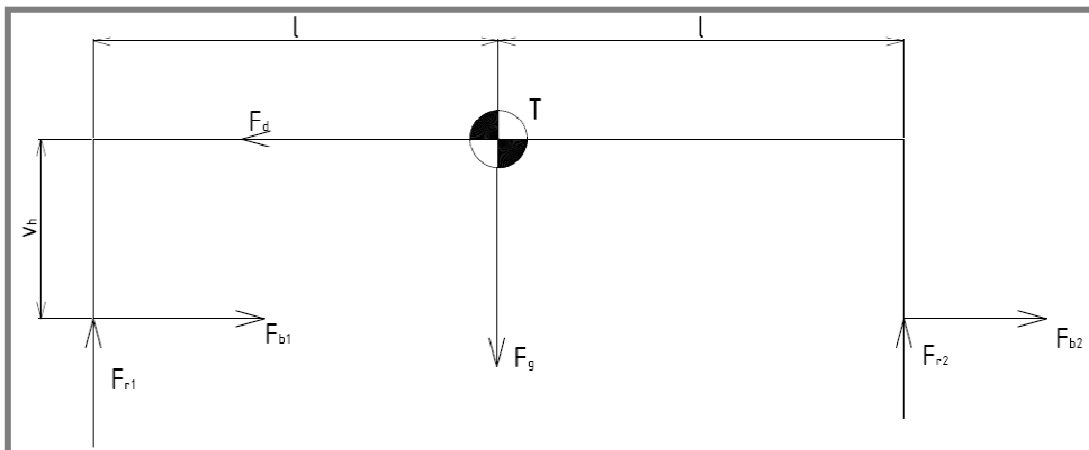
4.3.2 Rozložení sil při brzdění

4.3.2

Jde o výpočet procentuálního poměru rozložení sil na jednotlivé nápravy.

- v_h - výška těžiště automobilu
- a_p - průměrná decelerace
- g - gravitační zrychlení
- l - vzdálenost náprav od těžiště
- F_g - síla vyvozena gravitací
- F_d - síla vyvozena setrvačnými účinky
- F_{r1} - reakce působící na přední nápravu
- F_{r2} - reakce působící na zadní nápravu
- F_{b1} - brzdná síla přední nápravy
- F_{b2} - brzdná síla zadní nápravy
- A - procentuální zatížení přední nápravy
- B - procentuální zatížení zadní nápravy
- P_{b1} - brzdný výkon jedné zadní brzdy

$$a_p = \frac{\sum_{i=1}^5 a_i}{5} = \frac{12,35 + 7,08 + 6,43 + 8,22 + 13,65}{5} = 9,546 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$



Obr. 9 Schéma rozložení sil v automobilu při brzdění

$$v_h = 632,7 \text{ mm}$$

$$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

$$l = 1420 \text{ mm}$$

$$F_d = a_p \cdot m = 9,546 \cdot 2000 = 19094 \text{ N}$$

$$F_g = g \cdot m = 9,81 \cdot 2000 = 19613,3 \text{ N}$$

$$y: F_{r1} - F_g + F_{r2} = 0$$

$$M: F_d \cdot v_h - F_g \cdot l + F_{r2} \cdot 2 \cdot l = 0$$

$$F_{r2} = \frac{F_g \cdot l - F_d \cdot v_h}{2 \cdot l} = \frac{196113,3 \cdot 1420 - 19094 \cdot 632,7}{2 \cdot 1420} = 5553,1 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_g - F_{r2} = 19613,3 - 5553,1 = 14060,2 \text{ N}$$

$$A = \frac{F_{r1}}{F_g} \cdot 100 = \frac{14060,2}{19613,3} \cdot 100 = 71,7 \%$$

$$B = \frac{F_{r2}}{F_g} \cdot 100 = \frac{5553,1}{19613,3} \cdot 100 = 28,3 \%$$

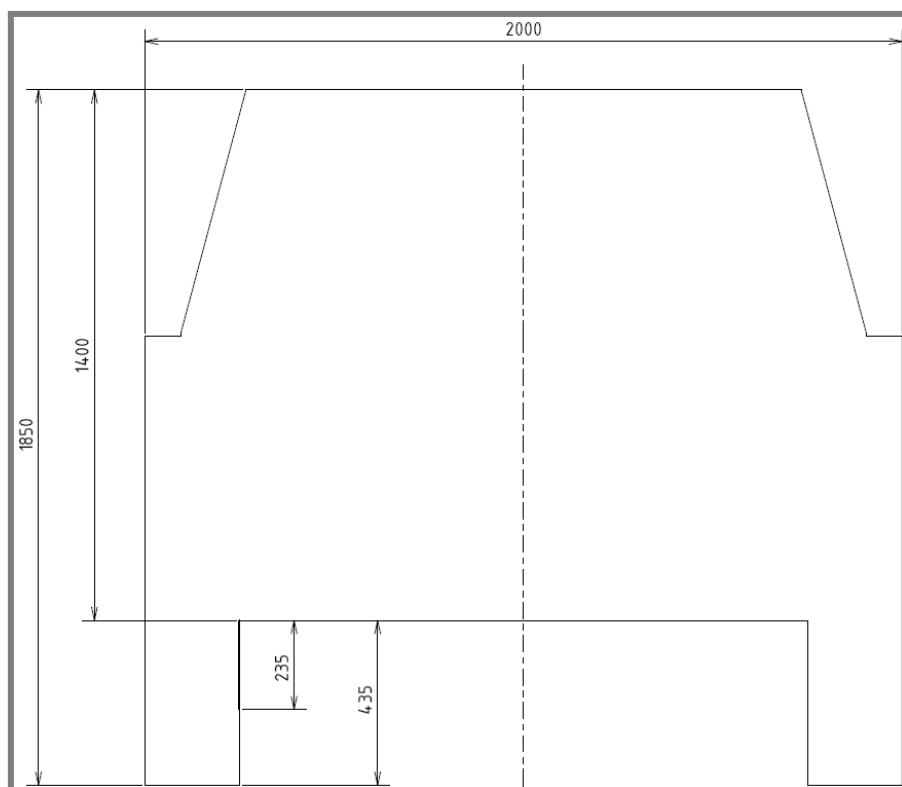
Při průměrném brzdění zadní náprava vyrábí 28,3% brzděného výkonu. Jedna brzda bude vyrábět polovinu.

$$P_{b1} = \frac{1}{2} \cdot P_b \cdot 0,283 = \frac{1}{2} \cdot 356852,5 \cdot 0,283 = 50494,6 \text{ W}$$

4.3.3 Teplo odvedené vzduchem proudícím kolem automobilu

Výpočet toku vzduchu, který automobil vyrobí jízdou a určení jeho poměru, který jde do prostoru zadní brzdy. Plocha a obvod byly odečteny z modelu v Autodesk Inventoru.

- s_a - čelní plocha automobilu
- o_a - obvod automobilu
- l_d - délka disku v čelním průmětu
- v_p - průměrná rychlost automobilu
- w_a - průtok vzduchu kolem automobilu
- p_v - poměr mezi obvodem a délkou disku
- T_1 - maximální teplota na vstupu
- T_2 - teplota na výstupu při chlazení proudícím vzduchem
- T_d - dovolená teplota vzduchu
- c_p - tepelná kapacita při konstantním tlaku
- ρ - hustota vzduchu



Obr. 10 Přibližný tvar automobilu

$$\begin{aligned}
 s_a &= 2,7904 \text{ m}^2 \\
 o_a &= 8,302 \text{ m} \\
 l_d &= 0,235 \text{ mm} \\
 v_p &= 19,94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \\
 T_1 &= 303,15 \text{ K} \\
 T_d &= 353,15 \text{ K} \\
 c_p &= 1050 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \\
 \rho &= 1,092 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}
 \end{aligned}$$

$$w_a = s_a \cdot v_p = 2,7904 \cdot 19,94 = 55,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$p_v = \frac{l_d}{o_a} = \frac{0,245}{8,302} = 0,03$$

$$P_{b1} = w_a \cdot p_k \cdot c_p \cdot \rho \cdot (T_2 - T_1)$$

$$T_{2o} = \frac{P_{b1}}{w_a \cdot p_k \cdot c_p \cdot \rho} + T_1$$

$$T_{2o} = \frac{50494,6}{55,6 \cdot 0,03 \cdot 0,5 \cdot 1050 \cdot 1,092} + 303,15$$

$$T_{2o} = 359,9 \text{ K} = 86,75^\circ\text{C}$$

$T_{2o} > T_d \rightarrow$ chlazení vzduchem obtékající auto je nedostatečné

4.3.3 Teplo odvedené s použitím chladicího systému

Protože vzduch proudící kolem automobilu nestačí k odvedení tepla, vzniklého brzděním, přivedeme k brzdě další vzduch.

- w_0 - objemový průtok vzduchu ventilátorem
- v_{o1} - rychlost vzduchu za ventilátorem
- v_{o2} - v_{o5} - rychlost vzduchu v částech potrubí
- v_{o6} - rychlost na výstupu
- ξ_1 - místní součinitel ztrát pro první ohyb
- ξ_2 - místní součinitel ztrát pro druhý ohyb
- λ - délkový ztrátový součinitel
- d - průměr hadice
- l_1 - délka prvního úseku
- l_2 - délka druhého úseku
- S - plocha řezu potrubím
- T_{2ch} - teplota na výstupu za použití chlazení
- Re - Reynoldsovo číslo
- ν - viskozita vzduchu
- Dr - drsnost hadice
- \overline{dr} - střední drsnost
- r_1 - poloměr zakřivení prvního ohybu
- r_2 - poloměr zakřivení druhého ohybu
- λ_{el} - součinitel délkové ztráty pro koleno
- δ - úhel zakřivení ohybu
- Pu_λ - poměr určující podle kterého vzorce se bude počítat λ_{el}
- A_2 - součinitel úhlu ohybu
- B_2 - součinitel ztrát ohybu
- C_2 - součinitel rovnoměrnosti průřezu
- π - Ludolfovo číslo
- Q_2 - Q_6 - objemový průtok v částech hadice

NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

$$w_0 = 350 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 0,0974 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

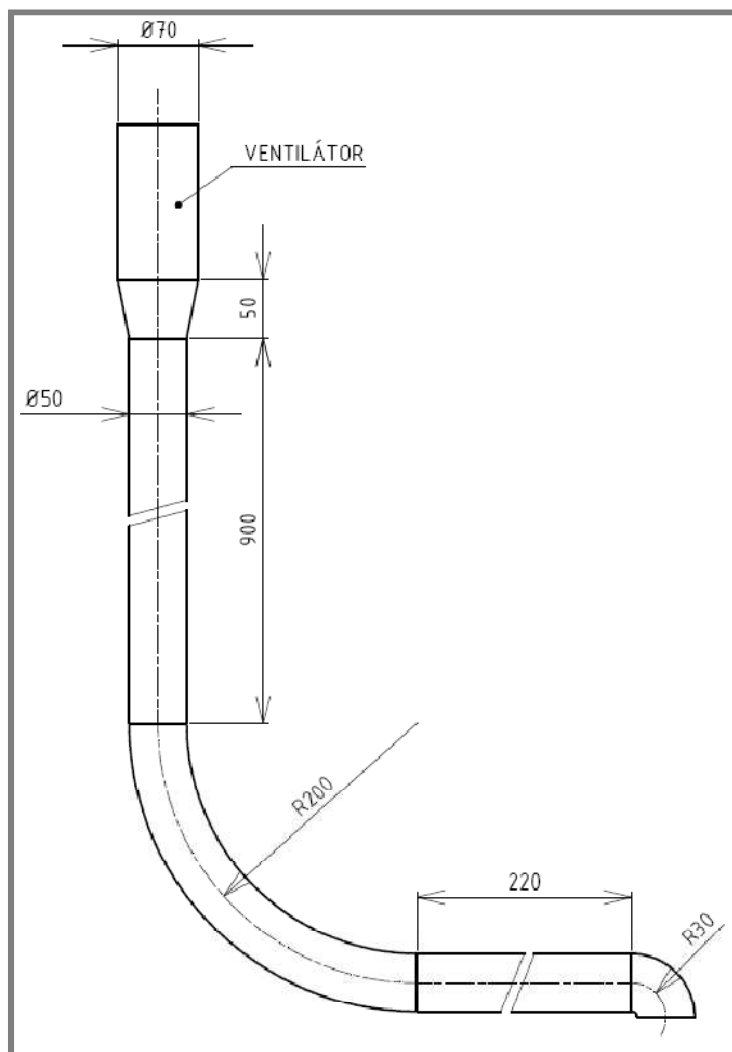
$$\nu = 16,61 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$dr = 0,01 \text{ mm}$$

$$r_1 = 230 \text{ mm}$$

$$r_2 = 30 \text{ mm}$$

$$\delta = 90^\circ$$



Obr. 11 Schéma vedení vzduchu

$$v_1 = \frac{w_0}{S} = \frac{w_0}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{0,0974}{\frac{\pi \cdot 0,05^2}{4}} = 49,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet délkového ztrátového součinitele

$$Re = \frac{v_{o1} \cdot d}{\nu} = \frac{49,5 \cdot 50}{16,16 \cdot 10^{-6}} = 149051$$

$$\overline{d_r} = \frac{dr}{d} = \frac{0,01}{50} = 0,0002$$

Z Nikuradseho diagramu vyplývá, že jde o turbulentní hladké proudění. A tedy ztrátový součinitel je závislý pouze na Reynoldsově čísle.

Vzorec dle Drewa:

$$\lambda = 0,0056 + 0,5 \cdot Re^{-0,32} = 0,0056 + 0,5 \cdot 149051^{-0,32} = 0,017$$

Místní ztráty v ohybech

První ohyb

$$\text{Poměr mezi průměrem a poloměrem ohybu } \frac{r_1}{d} = \frac{230}{50} = 4,6$$

$$\text{Poměr je větší než } 3 \rightarrow \xi_1 = 0,0175 \cdot \lambda_{el} \cdot \delta \cdot \frac{r_1}{d}$$

$$Pu_\lambda = Re \cdot \sqrt{\frac{d}{2 \cdot r_1}} = 149051 \cdot \sqrt{\frac{50}{2 \cdot 230}} = 49140 \rightarrow \lambda_{el} = \frac{5}{Re^{0,45}} \cdot \left(\frac{d}{2 \cdot r_1}\right)^{0,275}$$

$$\lambda_{el} = \frac{5}{149051^{0,45}} \cdot \left(\frac{50}{2 \cdot 230}\right)^{0,275} = 0,013$$

$$\xi_1 = 0,0175 \cdot \lambda_{el} \cdot \delta \cdot \frac{r_1}{d} = 0,0175 \cdot 0,013 \cdot 90 \cdot \frac{230}{50} = 0,092$$

Druhý ohyb

$$\text{Poměr mezi průměrem a poloměrem ohybu } \frac{r_2}{d} = \frac{30}{50} = 0,6$$

$$\text{Poměr je menší než } 3 \rightarrow \xi_2 = A_2 \cdot B_2 \cdot C_2 + 0,0175 \cdot \delta \cdot \lambda \cdot \frac{r_2}{d}$$

$$A_2 = 1 \text{ protože ohyb má } 90^\circ$$

poměr je v intervalu (0,5;) \rightarrow

$$B_2 = 0,21 \cdot \left(\frac{r_2}{d}\right)^{-2,65} = 0,21 \cdot \left(\frac{30}{50}\right)^{-2,65} = 0,735$$

$C_2 = 1$ protože jde o kruhový průřez

$$\xi_2 = A_2 \cdot B_2 \cdot C_2 + 0,0175 \cdot \delta \cdot \lambda \cdot \frac{r_2}{d} = 1 \cdot 0,735 \cdot 1 + 0,0175 \cdot 90 \cdot 0,017 \cdot \frac{30}{50}$$

$$= 0,769$$

Výpočet rychlosti na konci potrubí z Bernouliho rovnice

$$\frac{v_{01}^2}{2} = \frac{v_{06}^2}{2} + \frac{v_{02}^2}{2} \cdot \xi_1 + \frac{v_{03}^2}{2} \cdot \frac{l_1}{d} \cdot \lambda + \frac{v_{04}^2}{2} \cdot \frac{v_{05}^2}{2} \cdot \frac{l_2}{d} \cdot \lambda + \frac{v_{06}^2}{2} \cdot \xi_2$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q_6, d = d_2 = d_3 = d_4 = d_5 = d_6 \rightarrow v_{02} = v_{03} = v_{04} \\ = v_{05} = v_{06}$$

$$\frac{v_{01}^2}{2} = \frac{v_{06}^2}{2} + \frac{v_{06}^2}{2} \cdot \xi_1 + \frac{v_{06}^2}{2} \cdot \frac{l_1}{d} \cdot \lambda + \frac{v_{06}^2}{2} \cdot \frac{v_{06}^2}{2} \cdot \frac{l_2}{d} \cdot \lambda + \frac{v_{06}^2}{2} \cdot \xi_2$$

$$v_{06} = \sqrt{\frac{v_{01}^2}{1 + \xi_1 + \xi_2 + \frac{l_1}{d} \cdot \lambda + \frac{l_2}{d} \cdot \lambda}} \\ = \sqrt{\frac{49,5^2}{1 + 0,769 + 0,092 + \frac{900}{50} \cdot 0,17 + \frac{220}{50} \cdot 0,017}} \\ v_{06} = 33,16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Teplota odváděného vzduchu po zapojení ventilátoru

$$T_{2ch} = \frac{P_{b1}}{(w_a + v_{06} \cdot S) \cdot p_k \cdot c_p \cdot \rho} + T_1$$

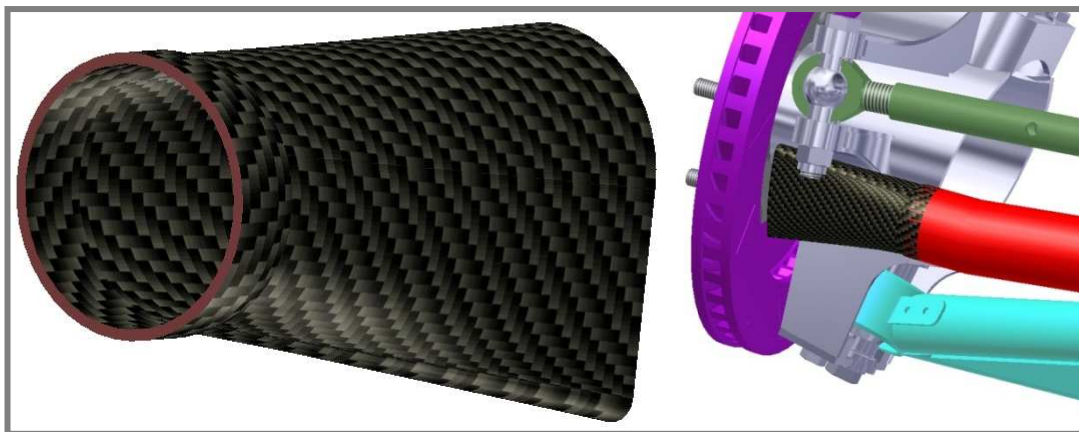
$$T_{2ch} = \frac{50494,6}{(55,6 + 33,16 \cdot 0,002) \cdot 0,03 \cdot 0,5 \cdot 1050 \cdot 1,092} + 303,15$$

$$T_{2ch} = 352,8 \text{ K} = 79,6^\circ\text{C}$$

$T_{2ch} < T_d \rightarrow$ chlazení za použití ventilátoru je dostatečné

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

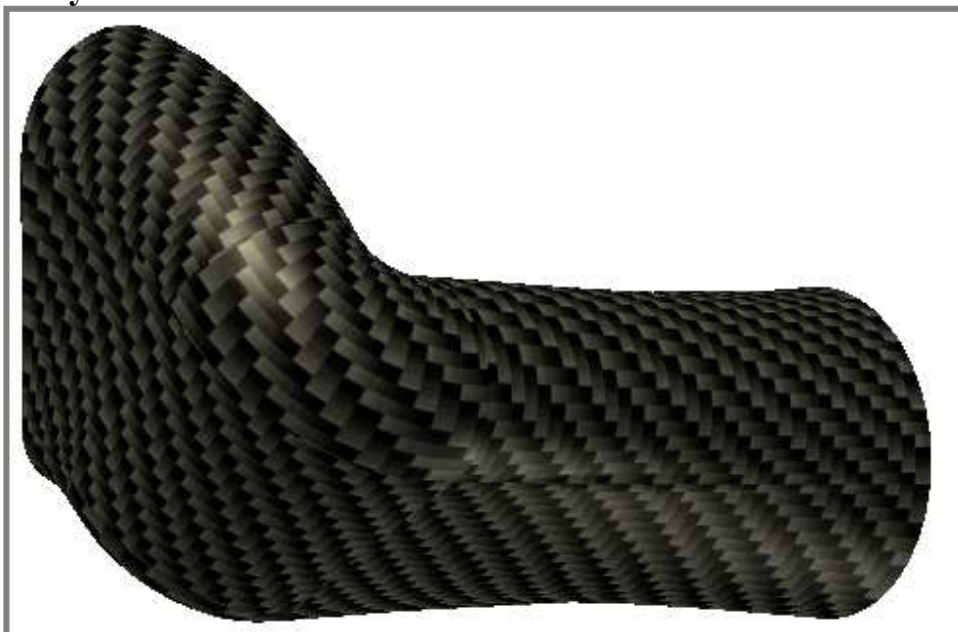
5.1 První návrh



Obr. 12 První návrh

První návrh je jednoduché konstrukce, proto by jeho výroba byla levná. Na začátku je zesílen, aby na něj mohla být navlečena hadice připevněna páskou. Tento návrh přivádí vzduch kolmo k lopatkám brzdového kotouče, což není výhodné z hlediska účinnosti radiálního ventilátoru.

5.2 Druhý návrh



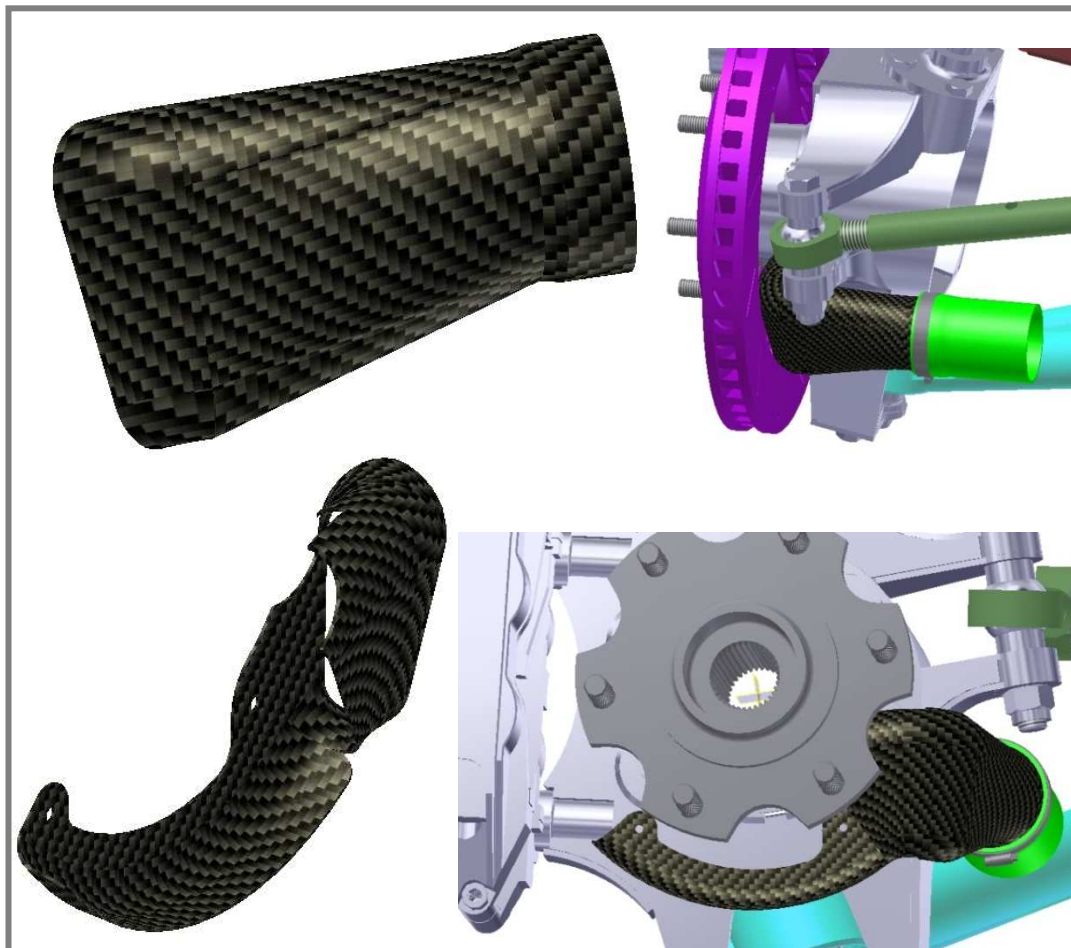
Obr. 13 Druhý návrh

Druhý návrh je složitější, ale přivádí vzduch přímo na lopatky brzdového kotouče. Složitost konstrukce se nepříznivě odrazí v ceně výrobku. Štít je opět zesílen na vstupu. Při výpočtu tohoto řešení by bylo třeba uvažovat ostré zahnutí a tedy i

relativně velké aerodynamické ztráty. Část přivedeného vzduchu nepůjde do prostoru kotouče, ale uteče mezerou mezi kotoučem a těhlicí.

5.3 Třetí návrh

5.3



Obr. 14 Třetí návrh

Třetí návrh je sice tvarově nejsložitější, ale rozdělením na dva díly jeho výroba nebude náročná. Toto řešení přivádí vzduch přímo na lopatky a mezera mezi kotoučem a těhlicí je vyplněna kanálkem, který zabraňuje velkému úniku vzduchu.

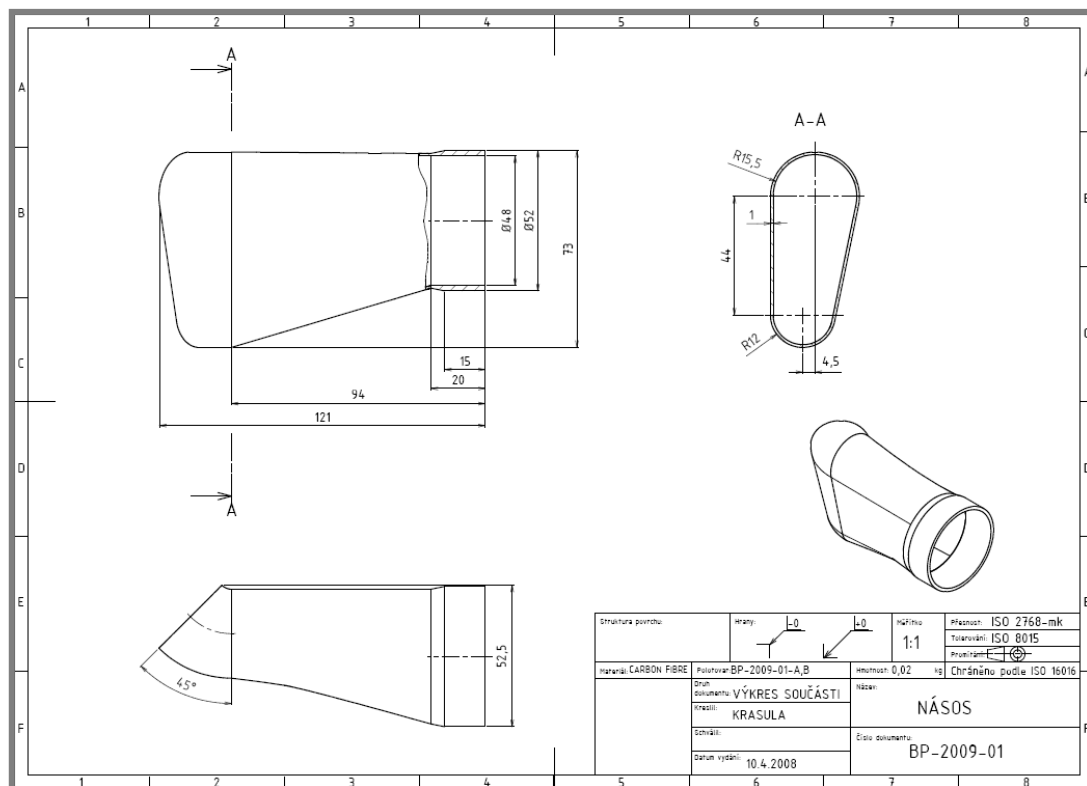
5.4 Výběr varianty

5.4

Z výše uvedených důvodů volíme třetí návrh. Jde o nejsložitější návrh a také výrobně jistě nejdražší. Protože se štít bude vyrábět, pouze na jeden automobil nemusíme na složitost jeho výroby brát velký ohled. Při výrobě štítu nebude použita automatizace.

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

6.1 První díl



Obr. 15 Výkres prvního dílu

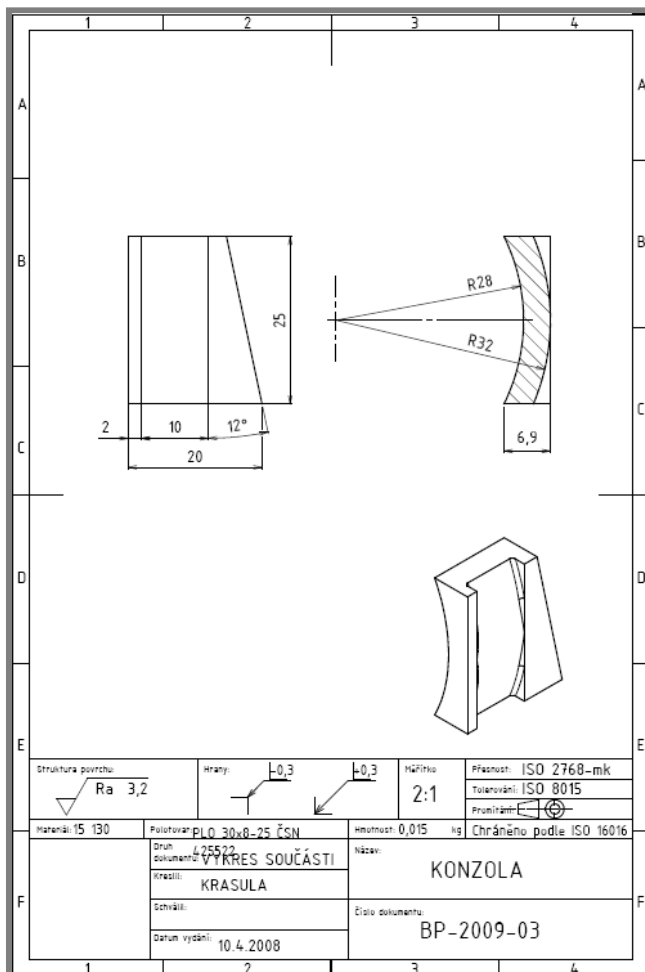
První díl je konstruován tak, aby měl v každém svém řezu konstantní plochu, aby docházelo k minimálním aerodynamickým ztrátám. Dle zkušenosti byla volena tloušťka 1 mm, která se používá u podobných dílů. Na začátku má díl kruhový průřez a tloušťka stěny je zesílena na 2 mm. Kruhový průřez proto, že přes něj bude navlečena hadice. Přes tuto hadici bude nasazena stahovací kovová páska a tím zajištěno uchycení. Druhý charakteristický profil je ve vzdálenosti 94 mm od vstupu. Jde o dva kruhy různých poloměrů spojené tečnami. Rozdíl poloměrů je způsoben tvarem díry brzdového kotouče, do kterého se profil musí vlézt. Přejechod mezi kruhovým a tímto profilem je navržen tak aby na profily tečně navazoval. Poslední část je protažení profilu po oblouku, zde bude navázáno druhým dílem, ve kterém bude první díl zasazen. Tato část štítu bude připevněna k těhlici stahovací páskou. K těhlici se přivaří konzola přes, kterou bude páska přetažena.

Díl bude vyráběn nanášením uhlíkové látky na model a následně přetřením pryskyřicí. To se bude opakovat tak dlouho, dokud nebude dosažena požadovaná tloušťka. Protože jde o uzavřený kus, model by se nedal vytáhnout. Z tohoto důvodu se bude díl vyrábět na poloviny a ty se slepí. Protože vnitřní plochy budou tvořeny na modelu, jejich struktura povrchu bude velmi dobrá. Modely budou vyráběny na 3D tiskárně. Čísla modelů jsou uvedena v popisovém poli v kolonce polotovary.

s těhlicí. Za profilem pokračuje lišta, která vyplňuje prostor mezi kotoučem a těhlicí. Střed poloměru zaoblení je v ose kola a poloměr spodní hrany je takový, aby navazoval na díru v brzdovém kotouči. Nad touto lištou jsou dva otvory pro dva šrouby M5, které budou tuto část štítu držet na těhlici. Poloha děr je převzata s těhlice, na které tyto díry se závity sloužily pro připevnění ochaného dílu, který byl ve finální verzi vozu zamítnut.

Protože je díl opět uzavřeného profilu bude se vyrábět ze dvou polovin jako první díl.

6.3 Konzola



Obr. 18 Výkres konzoly

Konzola bude vyrobena frézováním. Materiál je stejný jako materiál těhlice. Vnitřní poloměr je součet poloměru krytu a tloušťky hadice. Na připevnění bude použita stahovací páska o šířce 8 mm, proto má tedy drážka pro ni 10 mm.

7 KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ

7

7.1 Konstruktivní rozbor řešení

7.1

Navrhli jsme štít zadní automobilové brzdy, který je složen ze dvou částí. Obě tyto části jsou pevně připevněny na těhlici. Tvar štítu je navržen tak, aby všechn přivedený vzduch prošel brzdovým kotoučem, a tak maximalizoval jeho chladicí potenciál. Připevnění prvního dílu stahovací páskou je snadno rozebíratelné a dá se snadno a rychle demontovat v průběhu servisu. Což je důležité v případě, že by přípojná hadice překážela případné opravě komponentů vozu.

Použitím lehkého a tepelně odolného materiálu jsme zajistili, že štít nebude pro automobil zátěží, a že odolá i vysokým teplotám, které se v této oblasti vyskytují. Při použití konvečních materiálů, které využívá konkurence, by se nedalo dosáhnout takového tvaru. Tvar by musel být jednodušší a nevyužil by dostatečně malého prostoru, který je pro štít vyhrazen. Při použití těchto materiálů by muselo být použito svarů, které by zvyšovaly aerodynamický odpor, a tím snižovali účinnost celého systému. Naproti tomu skořepina z uhlíkových vláken je hladká a nemá žádné ostré výčnělky.

Štít je posledním dílem celého systému chlazení brzdy. Tento systém snižuje teplotu výstupního vzduchu z prostoru zadní brzdy, a tím tedy přispívá k jejich ochraně před nepříznivými vlivy vysoké teploty. Například se nezvyšuje teplota vzduchu v pneumatikách, a tím i tlak vzduchu co má za následek nesprávné fungování pneumatiky.

Ve výpočtu je zavedeno několik zjednodušení, což je jeho značná nevýhoda, a může docházet k chybě. Po celou dobu výpočtu se, ale počítá s nejnepříznivějšími podmínkami, které mohou nastat. Z toho vyplývá, že možná chyba může vést k ještě většímu snížení teploty. Což potvrzuje i praxe, kdy je na podobném vozu nainstalováno zařízení podobné konstrukce, ale bez štítu. Toto podobné chladicí zařízení je funkční. Výhodou tohoto výpočtu je, že se dá aplikovat i na jiné závodní vozy různých kategorií.

7.2 Technologický rozbor řešení

7.2

Laikovy se mohou zdát uhlíková vlákna jako nějaká vesmírná technologie. Pravdou je, že uhlíková vlákna se začínají ve větší míře používat nejen v motorsportu a letectví, ale i v jiných běžných aplikacích. Výroba dílů je velice jednoduchá a není k ní potřeba žádných zvláštních přístrojů a zařízení. Nejobtížnější částí je výroba modelů. Naše použití 3D tiskárny tuto obtížnost zcela odstraňuje. Pro 3D tiskárnu není potřeba napsat speciální program jako pro CNC obráběcí centrum. Při naší složitosti modelu je prakticky nemyslitelné, aby model byl vyráběn ručně.

7.3 Ekonomický rozbor řešení

7.3

Nevýhodou použití uhlíkových vláken je jejich vyšší cena než u konvenčních materiálů. Tuto nevýhodu bychom pocítili spíše u výroby sériových vozů. Vzhledem k tomu, že na závodním automobilu je většina karosářských dílů tvořena z uhlíkových vláken můžeme tuto nevýhodu zanedbat. Ekonomickou nevýhodou je nezaměnitelnost dílů z pravé a levé strany. Bude potřeba vyrobit tedy 8 různých modelů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PAVELEK, M A KOLEKTIV. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM , 2003. 286 s. ISBN: 80-214-2409-5.
- [2] IDELCHIK, I. A. *Handbook of hydraulic resistance*, 3rd edition. New York: Bell House, 1993. 775 s. ISBN: 1-56700-074-6.
- [3] <http://www.0-60mag.com/online/wp-content/uploads/2007/08/audi-le-mans.jpg>
- [4] http://pictures.topspeed.com/IMG/crop/200701/2008-audi-r8-81_460x0w.jpg
- [5] <http://www.buggyra.com/cz/galerie-nuerburg08.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

A -	[%]	procentuální zatížení přední nápravy
A ₂ -	[-]	součinitel úhlu ohybu
a -	[m.s ⁻¹]	vypočtené zpomalení
a _p -	[m.s ⁻¹]	průměrná decelerace
B -	[%]	procentuální zatížení zadní nápravy
B ₂ -	[-]	součinitel ztrát ohybu
C ₂ -	[-]	součinitel rovnoměrnosti průřezu
c _p -	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	tepelná kapacita při konstantním tlaku
Dr -	[mm]	drsnost hadice
d -	[mm]	průměr hadice
\overline{dr} -	[-]	relativní drsnost
ΔE _k -	[J]	změna kinetické energie
F _{b1} -	[N]	brzdná síla přední nápravy
F _{b2} -	[N]	brzdná síla zadní nápravy
F _d -	[N]	síla vyvozena setrvačnými účinky
F _g -	[N]	síla vyvozena gravitací
F _{r1} -	[N]	reakce působící na přední nápravu
F _{r2} -	[N]	reakce působící na zadní nápravu
g -	[m.s ⁻²]	gravitační zrychlení
l -	[mm]	vzdálenost náprav od těžiště
l _d -	[mm]	délka disku v čelním průmětu
l ₁ -	[mm]	délka prvního úseku
l ₂ -	[mm]	délka druhého úseku
m -	[kg]	maximální hmotnost automobilu
o _a -	[mm]	obvod automobilu
P _b -	[W]	brzdný výkon
P _{b1} -	[W]	brzdný výkon jedné zadní brzdy
P _{uλ} -	[-]	poměr určující podle kterého vzorce se bude počítat λ _{e1}
p _v -	[-]	poměr mezi obvodem a délkou disku
Q ₂ -Q ₆ -	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok v částech hadice
Re -	[-]	Reynoldsovo číslo
r ₁ -	[mm]	poloměr zakřivení prvního ohybu
r ₂ -	[mm]	poloměr zakřivení druhého ohybu
S -	[mm ²]	plocha řezu potrubím
s _a -	[mm ²]	plocha automobilu
T ₁ -	[K]	maximální teplota na vstupu
T ₂ -	[K]	teplota na výstupu při chlazení proudícím vzduchem
T _{2ch} -	[K]	teplota na výstupu za použití chlazení
T _d -	[K]	dovolená teplota vzduchu
t ₁ -	[s]	čas, při kterém vozidlo začalo zpomalovat
t ₂ -	[s]	čas, při kterém vozidlo přestalo zpomalovat
Δt -	[s]	čas zpomalování
v ₁ -	[m.s ⁻¹]	rychlost vozidla před zpomalováním
v ₂ -	[m.s ⁻¹]	rychlost vozidla po zpomalování
v _h -	[mm]	výška těžiště automobilu
v _{o1} -	[m.s ⁻¹]	rychlost vzduchu za ventilátorem

$v_{o2-v_{o5}}$	- [m.s ⁻¹]	rychlost vzduchu v částech potrubí
v_{o6}	- [m.s ⁻¹]	rychlost vzduchu na výstupu
v_p	- [m.s ⁻¹]	průměrná rychlost automobilu
Δv	- [m.s ⁻¹]	změna rychlosti
w_a	- [m ³ .s ⁻¹]	průtok vzduchu kolem automobilu
w_o	- [m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok vzduchu ventilátorem
δ	- [°]	úhel zakřivení ohybu
λ	- [-]	délkový ztrátový součinitel
λ_{el}	- [-]	součinitel délkové ztráty pro koleno
ξ_1	- [-]	místní součinitel ztrát pro první ohyb
ξ_2	- [-]	místní součinitel ztrát pro druhý ohyb
π	- [-]	Ludolfovo číslo
ρ	- [kg.m ⁻³]	hustota vzduchu
ν	- [m ² .s ⁻¹]	viskozita vzduchu

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr.1 Schéma brzdy – nakresleno v Autodesk Inventor	16
Obr. 2 Závodní vůz s rozžhavenými brzdovými kotouči – zdroj 3	17
Obr. 3 Brzdový kotouč – zdroj 4	18
Obr. 4 Zadní zavěšení Mitsubishi Pajero – archív autora	19
Obr. 5 Přívodní hadice vzduchu s krytem přes celou těhlici – archív autora	20
Obr. 6 Vodní pára jdoucí od brzd závodního tahače – zdroj 5	20
Obr. 7 Ukázka zpracovaných dílů kolem štítu - nakresleno v Autodesk Inventor	25
Obr. 8 Data o průběhu vzorové minuty na rychlostní zkoušce - data z logeru MOTEC od OffroadSport.cz	26
Obr. 9 Schéma rozložení sil při brzdění - nakresleno v Autodesk Inventor	28
Obr. 10 Přibližný tvar automobilu - nakresleno v Autodesk Inventor	29
Obr. 11 Schéma vedení vzduchu - nakresleno v Autodesk Inventor	31
Obr. 12 První návrh - nakresleno v Autodesk Inventor	33
Obr. 13 Druhý návrh - nakresleno v Autodesk Inventor	34
Obr. 14 Třetí návrh - nakresleno v Autodesk Inventor	35
Obr. 15 Výkres prvního dílu - nakresleno v Autodesk Inventor	36
Obr. 16 Přichycení štítu k těhlici - nakresleno v Autodesk Inventor	37
Obr. 17 Výkres druhého dílu - nakresleno v Autodesk Inventor	37
Obr. 18 Výkres konzoly - nakresleno v Autodesk Inventor	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Odečtené a vypočítané hodnot

27

SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Výkres prvního dílu štítu
- 2 Výkres druhého dílu štítu
- 3 Výkres konzoly