



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

CHLAZENÍ STLAČENÉHO VZDUCHU PRO SPALOVACÍ MOTOR KATEGORIE CDS SEMI-PRO

INTERCOOLER FOR THE CDS SEMI-PRO COMBUSTION ENGINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Richard Novozámský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Svída, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Richard Novozámský
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. David Svída, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Chlazení stlačeného vzduchu pro spalovací motor kategorie CDS SEMI-PRO

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvoření návrhu chladicího systému pro chlazení stlačeného vzduchu zážehového přeplňovaného spalovacího motoru vozidla kategorie CDS SEMI-PRO.

Cíle diplomové práce:

Provést rozbor současných systémů pro chlazení stlačeného vzduchu, jejich vlastnosti a vhodnost pro kategorii CDS SEMI-PRO. Sestavit výpočtový model zadaného spalovacího motoru a s jeho pomocí provést návrh nového systému pro chlazení stlačeného vzduchu. Navrhnout a případně zrealizovat dostupné měření pro získání reálných vstupních parametrů do výpočtového modelu. Provést ověření a zhodnocení získaných výsledků.

Seznam doporučené literatury:

HEYWOOD, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 1st edition. New York: McGraw-Hill, 1988. 930 s. ISBN 0-07-028637-X.

STONE, R. Introduction to Internal Combustion Engines. Fourth Edition. Houndmills: Palgrave Macmillan, 2012. 516 s. ISBN 978-1-137-02829-7.

MTZ Motorentechnische Zeitschrift. Wiesbaden: Springer Wieweg | Springer Fachmedien Weisbaden GmbH, 1939- . ISSN 0024-8525.

FERGUSON, Colin R., KIRKPATRICK, Allan T. Internal combustion engines: applied thermosciences. Third. United Kingdom: John Wiley, 2016. ISBN 978-1-118-53331-4.

CATON, J. A. An introduction to thermodynamic cycle simulations for internal combustion engines. The Atrium, Southern Gates, Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley, 2016. ISBN 978-111-9037-569.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nového systému chlazení stlačeného vzduchu pro přeplňovaný motor použitý v kategorii závodu CDS Semi-Pro. První část práce je zaměřena na analýzu vnějších podmínek ovlivňující návrh systému. Druhá část se věnuje simulacím výkonových parametrů motoru. Ve třetí části je proveden návrh dvou nových systémů a návrh metodiky testování. Poslední část se věnuje zpětnému dosazení reálných parametrů do výpočtového modelu, ověřením výsledků a zhodnocením navržených systémů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Chlazení, Stlačený vzduch, Přeplňování, Turbodmychadlo, Zástavba, Mezichladič, Sací trakt, Teploty, Plnicí tlak, CA18, Voda, Vzduch, Porovnání, Měření

ABSTRACT

This diplom thesis describes design of new pressured air cooling system for turbocharged Diesel engine used in CDS Semi-Pro competitions. First part is focused on analysis external conditions influencing the desing. Second part pays attention to simulations of performance. Third part describes design of two systems and possible testitng method. In last part, the real parametrs are put into the computing model followed by verification of the results and evaulation of the designed systems.

KEYWORDS

Cooling, Compressed air, Turbocharger, Intercooler, Intake, Temperature, Pressure, Boost, CA18, Air, Water, Comparison, Data, Measure

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVOZÁMSKÝ, R. *Chlazení stlačeného vzduchu pro spalovací motor kategorie CDS SEMI-PRO*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 64 s. Vedoucí diplomové práce David Svída

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Davida Svídy, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2019

.....

Richard Novozámský

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Davidovi Svídovi, Ph.D za odborné vedení práce, čas, cenné a vítané rady. Dále bych chtěl poděkovat celé rodině za umožnění studia a podporu po celou jeho dobu. Také bych chtěl poděkovat přátelům a zaměstnavateli za cenné rady, podporu a zapůjčení potřebného vybavení.

OBSAH

Úvod	9
1 Závod CDS	10
1.1 Hodnocení	10
1.2 Kategorie a analýza pravidel.....	13
1.3 Tratě	15
2 Chlazení nasávaného vzduchu.....	19
2.1 Vliv vlastností nasávaného vzduchu.....	19
2.2 Komponenty sacího traktu přeplňovaného motoru.....	21
2.3 Konvenční metody chlazení stlačeného vzduchu	27
2.4 Metody chlazení stlačeného vzduchu využívané v motorsportu	29
3 Výpočtový model spalovacího motoru.....	34
3.1 Volba výpočtového software	34
3.2 Měřené vozidlo	35
3.3 Použitý motor.....	35
3.4 Simulace v programu Lotus Engine Simulation	37
4 Nový systém pro chlazení stlačeného vzduchu	41
4.1 Analýza zástavbového prostoru – Využití 3D skenování	41
4.2 Volba metod chlazení pro testování.....	45
4.3 Zástavba komponent	48
5 Návrh metodiky měření	50
5.1 Měřící zařízení	50
5.2 Metodika měření	54
6 Ověření a zhodnocení výsledků.....	55
6.1 Porovnání vlivu chlazení a tlakových ztrát.....	55
6.2 Hmotnost.....	57
6.3 Rychlost demontáže	57
6.4 Robustnost řešení	57
6.5 Pořizovací a provozní náklady.....	58
Závěr.....	59
Seznam použitých zkratk a symbolů	63
Seznam příloh.....	64

ÚVOD

Automobilové závody mají téměř stejně dlouhou historii jako automobily samotné. Ostatně na planetě není oboru takového, aby v něm lidstvo dříve nebo později nenalezlo způsob porovnávání, potažmo závodění. Stejně jako v ostatních sportech, ve kterých člověk rozvíjí sám sebe nebo řemeslo neúprosným bojem s konkurencí, tak i rozvoj v automobilovém průmyslu posouvají dopředu konkurenční války mezi jednotlivými týmy. Už nejednou jsme byli svědky toho, že se technologie použité původně v závodních vozech dostala, byť ve značně upravené variantě, do běžného života každého z nás. Samotný směr vývoje v dané disciplíně je pak vždy určován pravidly konkrétního odvětví motorsportu. Tímto způsobem možné ovlivnit, které důležité technologie je potřeba posouvat dopředu.

Samotná různorodost automobilových závodů potom dokáže otevřít nový náhled na řešenou problematiku, a to díky díky použití stejné technologie v novém prostředí. Jedním takovým odvětvím je právě Drifting. Jde o poměrně mladý sport, ne starší než 35let, který si zdánlivě jednoduchou myšlenkou postupně prorazil cestu z Japonských okresek, až k vyprodaným tribunám na největších okruzích světa. Přestože v Evropě tento sport není ještě natolik rozvinutý jako na jiných kontinentech. I tak je vidět stále se rozšiřující povědomí o tomto sportu a zvyšující se kvalita i úroveň nejenom jezdců, ale i hlavního českého šampionátu CDS. Každý rok také expanduje do dalších zemí a šampionátů. Někteří závodníci, kteří vyrůstali na tomto českém poháru se již propracovali až na světovou úroveň, kde postupně sbírají první zkušenosti.

Neobvyklý průběh celého závodu otevírá u závodních automobilů tohoto druhu nové směry vývoje a téměř každý rok je vidět ve světovém šampionátu zcela nový přístup ke stavbě závodních vozů. Tohoto jevu si lze všimnout i u výrobců pneumatik nebo převodových kitů celé kinematiky přední nápravy. Drifting je pak ze své podstaty jedna z mála disciplín, u které nedochází k tak podstatným restrikcím pravidel pro úpravy motorů jako u jiných soutěží. Právě úprava výkonových parametrů motoru pro kategorii Semi-Pro bude předmětem této diplomové práce. Samotná úprava parametrů motoru pak bude provedena za pomoci nového systému chlazení stlačeného vzduchu motoru. Od úpravy sacího traktu si slibujeme navýšení výkonových parametrů vozidla v rámci zatížení a provozu vozidla, které je pro danou disciplínu atypické.

1 ZÁVOD CDS

Drift (jízda kontrovaným smykem) jako takový, je disciplína rozšířená původně z Japonska kde je často uváděno také její založení kolem roku 1970. V Česku se začalo závodit na amatérské úrovni na přelomu tisíciletí. První oficiální sezóna pod hlavičkou AČR a FIA startovala v roce 2018. Dnes se driftingu věnuje v Čechách profesionálně zhruba do 30 závodníků, na poloprofesionální úrovni pak kolem 50 jezdců.

CDS čili Czech Drift Series je český šampionát v závodní automobilové disciplíně Drift. Jedná se také o jediný český i slovenský seriál závodů, který spadá pod Autoklub České republiky (AČR). Nejbližší nadřazený seriál v driftingu je Drift Kings (dříve King of Europe) což je největší evropský seriál. V rámci CDS je tak velmi častá mezinárodní účast například právě v Brně, kde je téměř polovina jezdců ze zahraničí. AČR stanovuje pravidla jak pro konkrétní závodní speciály, tak pro výstroj posádek.



Obr. 1 Závod CDS v Brně [2]

1.1 HODNOCENÍ

Jako standard se po celém světě usadilo hodnocení podle japonských pravidel. Hodnocení driftů by se dalo asi nejlépe, byť v automobilovém sportu atypicky, přirovnat například ke krasobruslení. Rychlost a výsledný čas nehraje téměř roli, hodnotí se provedení a technika jízdy jezdců.

Základními hodnocenými parametry jsou rychlost driftu, úhel driftu, průjezd kolem Apexů-bodů těsného průjezdu, hodnotí se také schopnost druhého startujícího jezdce adaptovat se na jízdní styl prvního jezdce, takzvané stínování neboli kopírování jízdy soupeře v tandemové jízdě. V samotném hodnocení jízdního stylu jezdce je také posuzováno napojování jednotlivých kontrovaných smyků na sebe, přechod mezi nimi a celkový dojem z ovládní vozidla ve smyku.

Z chyb, které jsou v rámci hodnocení nejzásadnější je nejčastější přetočení vozidla o více jak 180°, zastavení nebo vyjetí vozidla z trati celým svým objemem. Častou a důležitou chybou bývá také pohyb po hodnocené části tratě bez jízdy kontrolovaným smykem po více jak 30% tratě. Za zásadní chybu se považuje také technická závada nebo poškození vozidla v takovém rozsahu, že dojde k nepojízdnosti stroje. Za takové se nepočítá defekt pneumatik na zadní ose vozidla.

1.1.1 KVALIFIKACE

Jezdec musí jet samostatně vytyčenou trasou co nej přesněji, v co největším úhlu a plynule. Pokud porota zpozoruje nějaké nadbytečné korekce při driftu, jezdec přichází o body. Ty se rozdělují podle obtížnosti tratě a počtu zatáček, typicky 10bodů za projetí Apexu do 1m, 5-10bodů za každou zatáčku a 25-30bodů za osobní ohodnocení. Z kvalifikace postupuje TOP16 jezdců do tzv. tandem battlů.

Úkolem jezdce je projet část hodnocené trati v maximálním možném úhlu smyku, rychlosti a také dodržovat přesně vytyčený směr. Porota při hodnocení kvalifikace hodnotí také nadbytečné korekce natočení předních kol nebo použití ruční brzdy jinde než při iniciaci smyku. Body pro kvalifikaci se přidělují dle počtu zatáček, obtížnosti tratě standardně 10bodů za projetí kontrolních bodů do 1m, 5-10bodů za každou zatáčku a 25-30bodů za osobní hodnocení. Kontrolní body jsou záměrně umístěny mimo ideální stopu a lze tím tak jednoduše regulovat náročnost dané zatáčky. Do tohoto se započítává již zmíněná plynulá jízda, ale také například technika použitá pro iniciaci smyku.



Obr. 2 Přejezdový a přibližovací kontrolní bod [3]

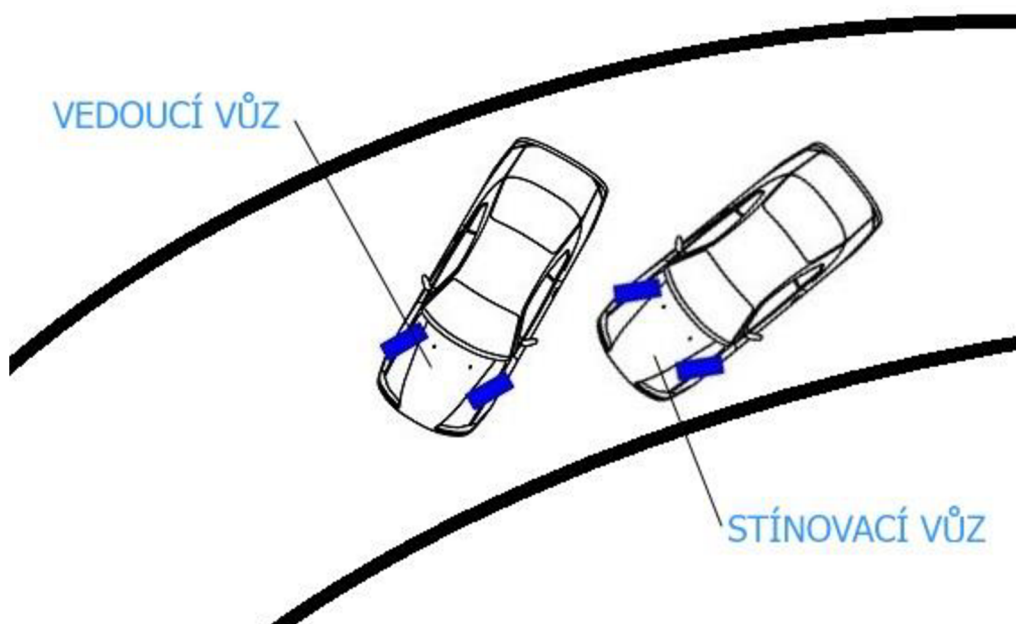
Právě ony techniky iniciace nebo udržování vozidla v plynulém smyku jsou často základním ukazatelem úrovně pilota. Mezi základní metody patří využití výkonového potenciálu vozidla a prudké akcelerace při nájezdu do zatáčky, nebo užití ruční brzdy v kombinaci se škubnutím volantem. Další častou technikou je rychlé stlačení a uvolnění spojkového pedálu při nájezdu do zatáčky. Tímto dosáhneme prokluzu kol hnané nápravy nebo náprav. Složitější techniky užívají práce s přenášením hmotnosti vozu mezi jednotlivá kola při nájezdu do zatáčky a docílení ztráty adheze pneumatik na požadované straně vozu [2].

1.1.2 TANDEMOVÉ JÍZDY

Z kvalifikace postupuje do tandemových jízd (tzv. K.O. tandemové jízdy) vždy šestnáct jezdců.

System, založený na postupu z kvalifikace, je založený na dosazování jezdců do skupin po dvou, kdy první nasazený jezdec je zároveň vítězem kvalifikace. K prvnímu jezdcovi se vždy dosazuje jezdec poslední z kvalifikace a tak dále. Postup dosazování jezdců do dalších jízd je zajištěn klasickým pavoukem známým například z tenisu. Do další jízdy tedy nastupuje vítěz z předchozí rozjížděky. Rozjížděka má vždy dvě kola, kdy v druhém kole si jezdcové vymění nájezd do první zatáčky. Vždy je tedy předem určeno, který jezdec vjíždí jako první do první zatáčky a celou tandemovou jízdu vede a jeho soupeř stínuje.

V tandemových jízdách jde tedy především o to, který jezdec dokáže udržet tempo s vedoucím jezdcem a stínovat jeho jízdu co nejpřesněji a v co nejmenší vzdálenosti, tím vytvořit tlak na stínovaného vedoucího jezdce a dovést ho k chybě, například zbytečným korekcím. Předjetí vedoucího jezdce není hodnoceno jako vítězství, naopak se jedná o chybu branou jako nedostatečný odhad stínujícího jezdce. Tato konkrétní část pravidel platí v českém šampionátu, a v různých zahraničních soutěžích se často podstatně liší.



Obr 3 Tandemové jízdy

Styl, inicializace a celkové provedení se hodnotí samostatnou porotou pro oba jezdce nezávisle a výsledky se následně porovnávají. Hodnocení pro jezdce je vždy maximálně 10b, kdy rozhodčí určují poměr rozdělení bodů obou jezdců. Rozhodují se na základě pozorování jízd, vzdálené telemetrie z vozů nebo ze záznamů kamer. Po Top16 skupině jezdců přichází samotné finále tří nejlepších jezdců v samostatných rozjížděkách mezi sebou [2].

1.1.3 GYMKHANA

V nedávné době přibyla v českém CDS samostatná podsoutěž s názvem, který sahá dávno před vynález automobilu. Původní Gymkhana je závod na koních. Jedná se o závod na čas, kdy je

trať často zrcadlená pro dva jezdce a každý jede svoji polovinu. Hodnotí se počet sražení nebo nedodržení kontrolních bodů a porušování jízdy kontrolovaným smykem. Za každou z těchto chyb se k výslednému času přičítají trestné vteřiny. Tento podšampionát má pouze dvě kategorie a to Street a Pro.

1.2 KATEGORIE A ANALÝZA PRAVIDEL

V českém šampionátu jsou jezdci rozděleni dle úrovně úprav závodních automobilů a zkušeností samotných jezdců. O zařazení jezdce do skupiny rozhoduje vždy komisař v čele se sportovním komisařem.

Tab. 1 Průměrné parametry motorů nejlepších 10 jezdců dané kategorie

Šampionát / kategorie		Zdvihový objem [ccm]	Výkon [kW]	Moment [Nm]
CDS	Street	2900	164	290
	Semi Pro	3280	272	464
	Pro	3925	391	697
DriftAllstars		3360	559	786
FormulaD	Pro	3150	692	1101

1.2.1 STREET

Pro sezónu 2019 je nově kategorie Street rozdělena na dvě podkategorie a to Street a Street+. V kategorii STREET startují hobby závodníci s nulovými nebo nízkými zkušenostmi. Nebo s vozidlem, které nesplňuje požadavky kategorie Semi-pro / Pro.

Kategorie STREET je určena závodníkům s nulovými nebo téměř nulovými zkušenostmi, nebo s vozidlem sériovým s platnou STK nebo s vozidlem splňujícím pravidla pro tuto kategorii.

Kategorie STREET+ bude určena pro závodníky kteří již mají zkušenosti ze závodů, ale nemají vozidlo s dostatečným potenciálem pro skupinu SEMI-PRO, nebo pro jezdce, kteří mají vozidlo jež by sice pravidla vyšší kategorie splňovalo, ale zatím nemají dostatek zkušeností, aby bylo bezpečné jejich zařazení do tandemových jízd.

V sezóně 2018 startovalo na různých závodech zhruba 40 jezdců. Průměrný objem motoru startujících jezdců je v této kategorii 2900ccm s výkonem 164kW a 290Nm. Velice časté jsou zde vozy s atmosférickými motory BMW.

1.2.2 SEMI-PRO / PRO

Kategorie Pro a Semi-Pro se od sebe pravidly a náročností na závodní speciály prakticky neliší. Do kategorie PRO postupují nejlepší jezdci ze Semi-Pro podle svých zkušeností a zároveň s dostatečně výkonnou technikou.

V této kategorii mohou startovat pouze vozidla s platným průkazem sportovního vozidla splňující národní technický předpis AČR pro drifting, sloučitelné s kategorií dle Přílohy J MSŘ FIA, vozy GT2 a GT3 dle př. J MSŘ FIA a vozy skupin E1 dle kap. H ZAO NSŘ

Tato směrnice upravuje stavbu auta, zejména nutnou bezpečnostní výbavu jakou bezpečnostní rám dle přílohy J, hasící systémy, sedačky, pásy, zásahy do karoserie. Dále ale také možné úpravy. Ty jsou pro drifting zatím poměrně volné. Použitý motor může být libovolný, je limitován pouze umístěním a pak převážně měřením hluku a vývody výfukového systému. Je zde brán ohled hlavně na bezpečnost, výkonové omezení v daných kategoriích téměř nejsou. Jako dominantní omezení podvozku je zde od tohoto roku například omezen maximální rozměr pneumatik.

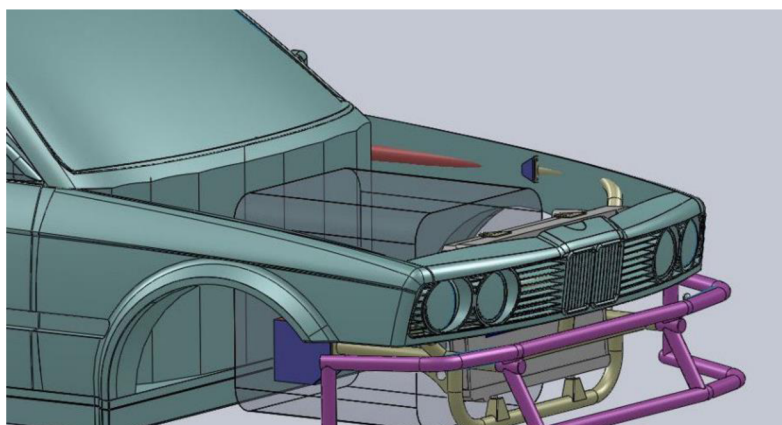
V sezóně 2018 startovalo ve skupině Semi-Pro zhruba 20 jezdců s vozy s průměrným objemem motoru 3280ccm a výkonovými parametry 272kW a 464Nm. V kategorii PRO startují vozy s průměrným objemem motoru 3925ccm, výkonem 391kW a 697Nm. Vozy v těchto kategoriích jsou již značně rozlišné, tak jako jejich úpravy a motory. Mezi často používané lze zařadit motory Nissan RB, SR a Toyota JZ, případně BMW M62, M60, S62 nebo motory GM LS.

1.2.3 KATEGORIE VE SVĚTOVÝCH POHÁRECH

V rámci Evropy je český šampionát jeden z mladších. Je zde ale rychle rostoucí trend směrem k dorovnání technických i organizačních požadavků v pravidlech, a tím pádem i úrovně jezdců a techniky. V dnešní době se několik závodů českého poháru jede i v zahraničí, třeba na známém Nürburgringu.

Obecně se pravidla i kategorie v Evropě (například v šampionátech AllStars nebo DriftKings) poměrně sjednotila tak, aby jezdci mohli s jedním vozem testovat i na ostatních šampionátech. Toto už neplatí na světové úrovni, kde jsou pravidla například pro stavbu a celkový koncept závodního stroje daleko přísnější. V dnešní době můžeme pozorovat například migraci některých zahraničních pravidel i do českého šampionátu. Například již zmíněné omezení šířky pneumatik hnací nápravy.

Co se týče světových závodů, třeba FormulaD, jakožto největší pohár ve střední, Jižní i Severní Americe, má dnes již pravidla upřesňující konstrukci soutěžních vozů, daleko důkladnější.



Obr. 4 Ochranná konstrukce [29]

Navíc jsou zde jiným způsobem omezeny úpravy rámu, zavěšení kol, úpravy a maximální rozměry středových tunelů nebo zásahů do nosných částí karoserie, nebo naopak jejich vyztužení nebo krytování v místech nebezpečných pro jezdce nebo pro okolí, například ochranná konstrukce proti narušení chladičů a úniku provozních kapalin. Americká směrnice je také mnohem přísnější v oblasti ochranných rámu. Nestačí pouze základní nebo rozšířené ochranné rámy dle přílohy J MSŘ FIA, ale přesně definuje vyztužení v oblasti dveří. Dále zde není omezen pouze maximální rozměr pneumatiky, ale také předepsán pohárový dodavatel pneumatik. Je zde také striktně zakázáno logovat nebo zpracovávat signály o rychlostech otáčení kol. Jako jediný povolený a předepsaný zdroj rychlosti je GPS logger. Dále je příkázáno odstranit všechny původní senzory snímající rychlosti otáčení kol nebo hnacích hřídelů.

Kategorie jsou zde rozděleny také do čtyř úrovní, Pro, Pro2, International a ProAM. Obecně je tento motorsport v Americe natolik oblíbený, že jsou lístky na tribuny vyprodány několik měsíců dopředu. Obecně v České republice platilo pravidlo, že pokud plánujeme stavět soutěžní vůz na několik sezón dopředu, je vhodné ho stavět dle evropských směrnic. Pokud se dnes Evropa, sjednotí bude nejlepší, řídit se nejbližší náročnější směrnicí, což je pravděpodobně tato.

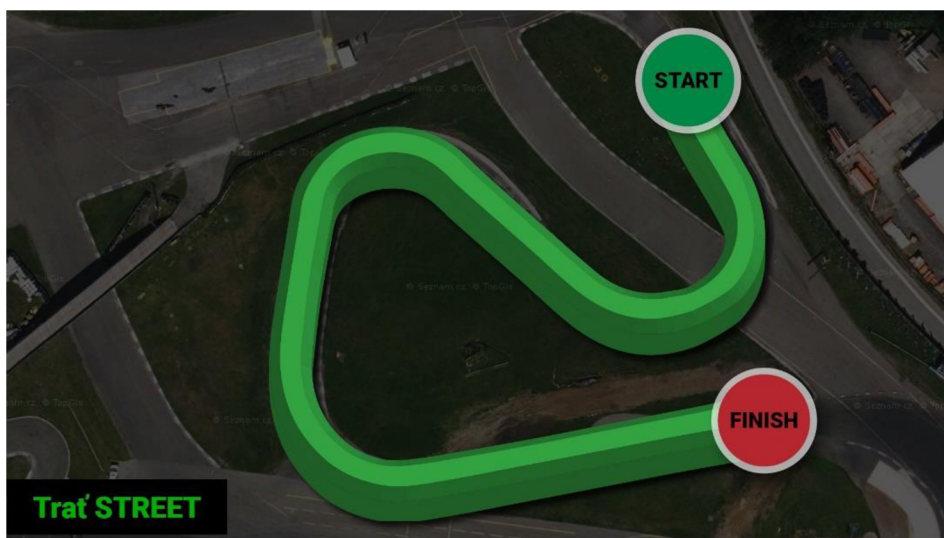
Pro chlazení spalovacího motoru, stlačeného vzduchu, paliva, oleje a příslušenství se směrnice FormulaD vyjadřuje tak, že může být vyměněn nebo upraven volně, avšak musí dodržovat původní umístění, nebo být dostatečně chráněn vůči možné kolizi. Pravděpodobně se tak myslí hlavně na možné úniky provozních kapalin při drobných kolizích, které jsou nedílnou součástí téměř každé rozjížděky. Je zde také věnován odstavec přídavným vodním ostříkovačím systémům chladičů. Ty jsou povoleny, ale musí být konstruovány tak, aby jejich pracovní médium neunikalo z vozidla na vozovku na trati, startu ani na rozehrávací ploše. Ostřík CO₂ upraven nijak není. Stejně tak samotná koncepce chlazení nasávaného vzduchu. Je zde regulováno vedení chladících systémů prostorem pro jezdce. To v případě vodního chlazení intercooleru nebo CO₂ může zasáhnout do koncepčního návrhu. Je nutno vedení krytovat definovanou tloušťkou plechu a umístit odtokové otvory [3] [29].

1.3 TRATĚ

Závody CDS jsou v poslední době často spolupořádány s dalšími evropskými šampionáty. Proto lze v harmonogramu českého poháru najít tratě jako Nürburgring (Německo), Kielce (Polsko) z českých pak Brno, Sosnová, Hradec Králové, Polygon Libros Ostrava a další. Tratě dané kategorie se přizpůsobují výkonům vozů, jejichž počet sezón od sezóny roste a rozdíly mezi kategoriemi se zvětšují. Proto se rozdělily v minulé sezóně poháry Street a Semi-Pro nejen po technické stránce, ale často lokací i termíny. Délka tratí je stanovena na minimálních 400m se čtyřmi zatáčkami a tři průjezdné kontrolní body [2].

1.3.1 TRATĚ STREET

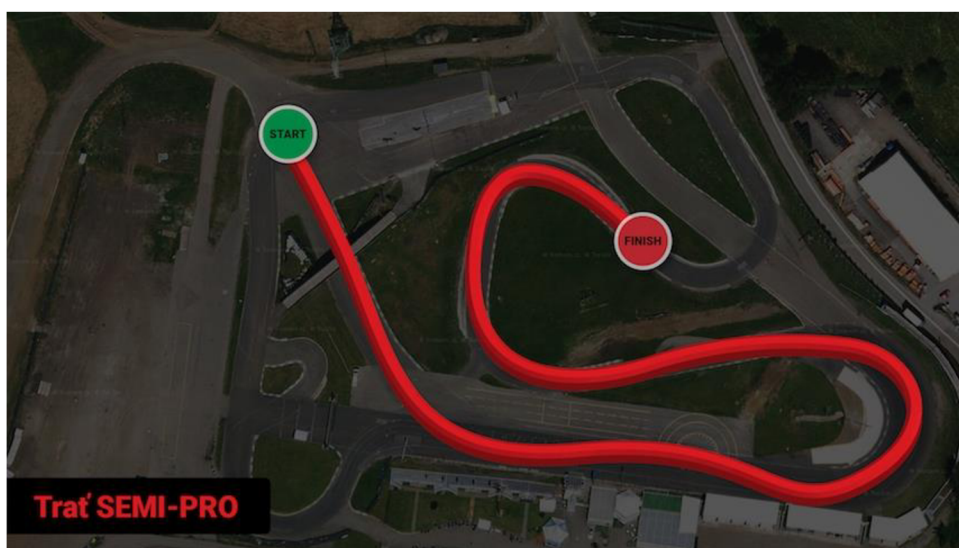
V kategorii Street najdeme spíše technické tratě, na delších rovinkách doplněné kontrolním bodem navíc, aby byl jezdec s vozidlem s nižším výkonem schopen udržet vozidlo v kontrolovaném smyku. V této kategorii se setkáme se zatáčkami s poloměrem do 30m a rovinkou bez přidání kontrolního bodu 40-50m. Nájezdová rychlost do první zatáčky je průměrně 90km/h. Jezdí se vždy dvě hodnocené jízdy. Mezi těmito není možné žádné chladící kolo a po prvním kole nastupuje přímo na kolo další.



Obr. 5 Trať Sosnová 2018 – Street [2]

1.3.2 TRATĚ SEMI-PRO

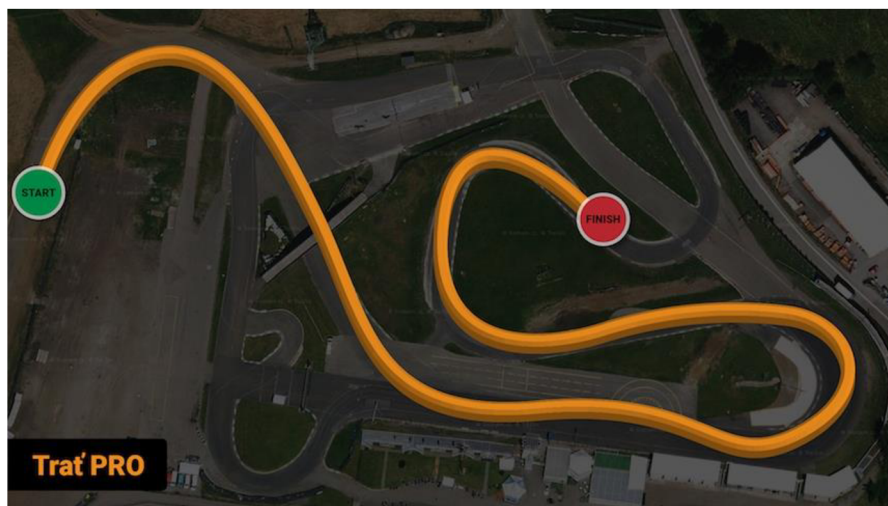
Ve skupině Semi-Pro nalezneme středně rychlé tratě s již poměrně vysokou rychlostí nájezdu do první zatáčky (často přes 120km/h). Poloměry zatáček jsou již od 25m, ale klidně i přes 40m. Rovinky bez kontrolních bodů jsou často kolem 45m. Trať Semi-Pro a Pro lze často upravit také rozložením kontrolních bodů, ke kterým se jezdci snaží při jízdě přiblížit. Umístěním kontrolního bodu mimo ideální stopu za normálních podmínek je naprosto změněn charakter tratě. Toho lze využít při konstrukci tratě při společném podniku Pro i Semi-Pro. Jezdci projíždí trať poprvé při tréninkových jízdách, poté při dvou kvalifikačních kolech, stejně jako u třídy Street. Při jízdách tandem battle jízdy navazují také přímo na sebe a není možné mezi nimi jakkoliv vychlazovat. Jedinou výjimkou pozastavení vozu mezi jízdami je rychlá oprava vozu, například po drobném kontaktu se soupeřem. Na tuto opravu má jezdec maximálně 5minut.



Obr. 6 Trať Sosnová 2018 – SEMI-PRO [2]

1.3.3 TRATĚ PRO

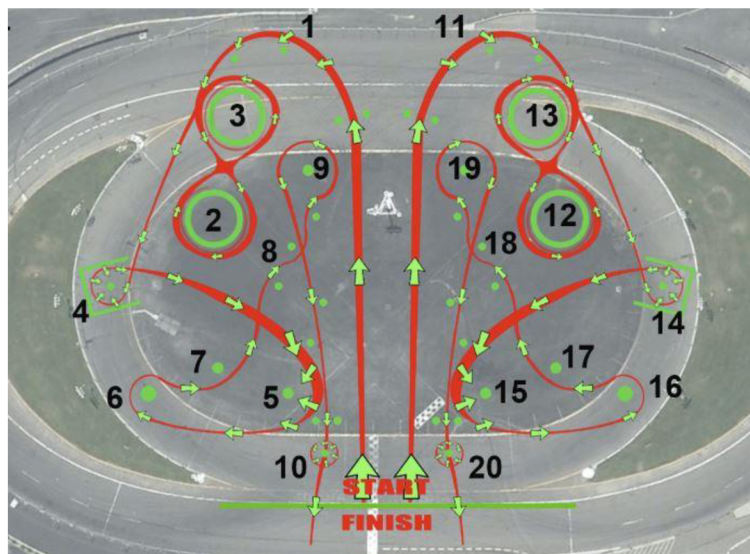
Ve vrcholné skupině Pro jsou tratě nejenom nejrychlejší, ale také nejdelší, což často znamená extrémní teplotní zatížení pro motory speciálů a časté odstoupení pro různé poruchy. Jedná se o tratě s nájezdovou rychlostí i přes 150km/h, rovinkami i 100m a poloměry zatáček kolem 60m. Doba trvání jízdy je zpravidla v řádech minut s následným pomalým přejezdem k druhému kolu závodu, dohromady tak obě dvě jízdy nezabírají více než deset minut pro všechna měřená kola. V případě shodnosti výsledků hodnotících komisařů se může rozjíždka opakovat.



Obr. 7 Trat' Sosnová 2018-PRO [2]

1.3.4 TRATĚ GYMKHANA

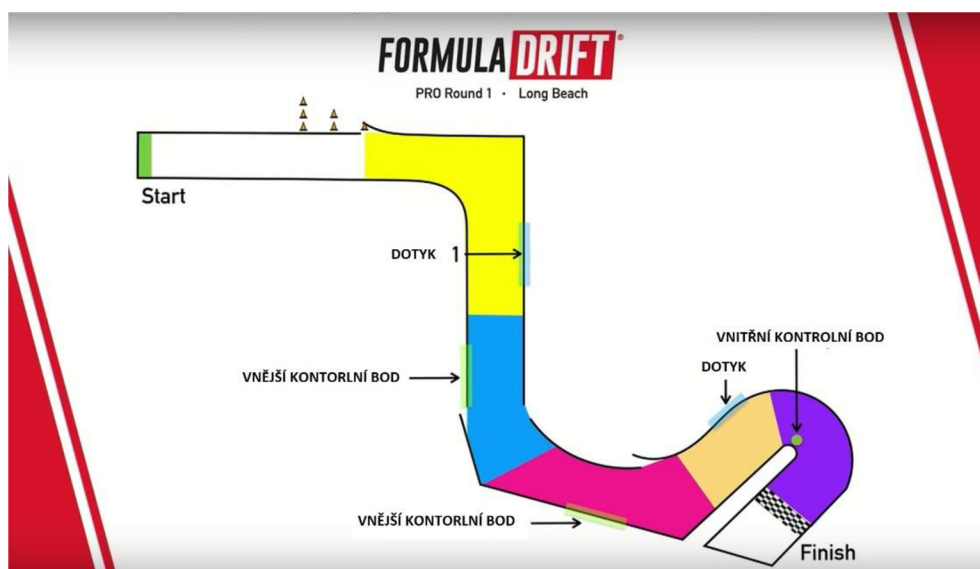
Tratě na podskupinu gymkhána jsou celosvětově obecně techničtější a jsou postaveny na způsob autoslalomu. Kolem většiny kuželů se krouží dokola a nejnáročnější na techniku jízdy a použití strategie jsou výjezdy a napojování řízeného smyku v konkrétních bodech mezi překážkami. Čas jednoho kola netrvá výkonným závodním speciálům zpravidla déle než dvě minuty.



Obr. 8 Schéma dvojité tratě gymkhána [3]

1.3.5 TRATĚ VE SVĚTĚ

Ve světové špičce například v pohárech FormulaD se tratě tolik neliší od domácích CDS podniků. Bývají občas techničtější nebo naopak rychlejší, ale nijak se až na výjimky nevymykají evropským standardům. Bývá ale běžné tratě konstruovat na uzavřených částech velkých měst, kde taková show přivede organizátorům obrovské množství diváků. Finální jízdy opět zpravidla netrvají déle než minutu. Na některých okruzích můžeme narazit také na prudké horizonty, kdy není nic neobvyklého, že automobil v průběhu zatáčky skočí. Na toto je třeba myslet a nepodceňovat při návrhu konceptu rozmístění jednotlivých součástí tak, aby nemohlo dojít k jejich porušení při prudkém dopadu vozidla na vozovku. Na zámořských tratích se můžeme setkat také s takzvanými dotykovými plochami, což je obdoba kontrolního bodu. Tady je cílem malý dotyk vozu zadním nárazníkem v kontrolovaném smyku zpravidla s bariérou [3][29].



Obr. 9 FormulaD tratě PRO – Long Beach [3]

2 CHLAZENÍ NASÁVANÉHO VZDUCHU

Výsledné parametry motoru jsou dominantně ovlivněny právě nasávaným vzduchem. Zejména pak jeho teplotou, hustotou, tlakem a vlhkostí. Vyjma toho může negativně ovlivnit parametry motoru a životnost jeho součástí také mechanická čistota vzduchu. Výrazný vliv na vzduch, spalovaný ve válci motoru má celá soustava sacího vedení a jejích prvků. V případě přeplňovaných motorů můžeme do této soustavy zanést také kompresorovou část turbodmychadla, jeho konstrukční provedení a vlastnosti, nebo samotné umístění turbodmychadla v prostoru. Už samotná zástavba pohonné jednotky v automobilu, má zásadní vliv na rozmístění a volbu určujících geometrických i funkčních vlastností jednotlivých komponent v rámci karoserie a motorového prostoru. Od toho se odvíjí délka a tvar vzduchového vedení. Právě vedení od vzduchového filtru přes turbodmychadlo, dále do mezichladiče stlačeného vzduchu až ke klapce, vzdušníku a nakonec sacím ventilům motoru je nedílnou součástí celé sestavy. To může mít ve výsledku jak pozitivní, tak negativní vliv na výkonové vlastnosti celé pohonné jednotky v zástavbě, potažmo celého vozu[1].

2.1 VLIV VLASTNOSTÍ NASÁVANÉHO VZDUCHU

Vzduch, nasávaný spalovacím motorem je směsí dalších plynů, pevných a kapalných částic. Hmotnostní podíly rozložení jednotlivých prvků složení ve vzduchu jsou tvořeny ze 77% dusík, dalšími plyny jsou kyslík 23% a další plyny, které jsou obsaženy ve stopových množstvích: neon, argon, helium, xenon a další. [4]

Určujícím parametrem pro výsledné užití vzduchu a jeho základní komplexní popis je hmotnostní tok nasávaného vzduchu. Ten určuje objemová hustota, která vyjadřuje úroveň plnění válců pohonné jednotky. Tato objemová účinnost vyjadřuje poměr skutečně nasátého množství již smíchané směsi do válců, proti teoretickému množství směsi, které je definováno zejména zdvihovým objemem válce. Tuto objemovou účinnost můžeme definovat vztahy: [1]

$$\eta_V = \frac{V_S}{V_t} = \frac{V_S}{V_Z} \quad (1)$$

$$V_S = \frac{M_V}{\rho_1} \quad (2)$$

η_V	[-]	Objemová účinnost
V_S	[m ⁻³]	Skutečný spotřebovaný objem vzduchu válce
V_t	[m ⁻³]	Teoretický spotřebovaný objem vzduchu válce
V_Z	[m ⁻³]	Zdvihový objem válce
M_V	[kg]	Hmotnostní náplň válce vzduchem
ρ_1	[kg · m ⁻³]	Hustota vzduchu v sacím traktu

2.1.1 VLIV TEPLoty A TLAKU NASÁVANÉHO VZDUCHU

Hustota vzduchu, která je zásadní pro výkonové parametry motoru, je výrazně ovlivňována právě teplotou. Vzduch studený má vyšší hustotu nežli vzduch teplý. Je tomu tak, protože teplý vzduch obsahuje ve stejném objemu méně molekul, nežli vzduch chladný. Pokud tedy teplota vzduchu roste, čili jeho hustota klesá, a tedy i výkonové parametry motoru. Tuto hustotu můžeme vyjádřit například upravenou rovnicí pro 1kg plynu [5]:

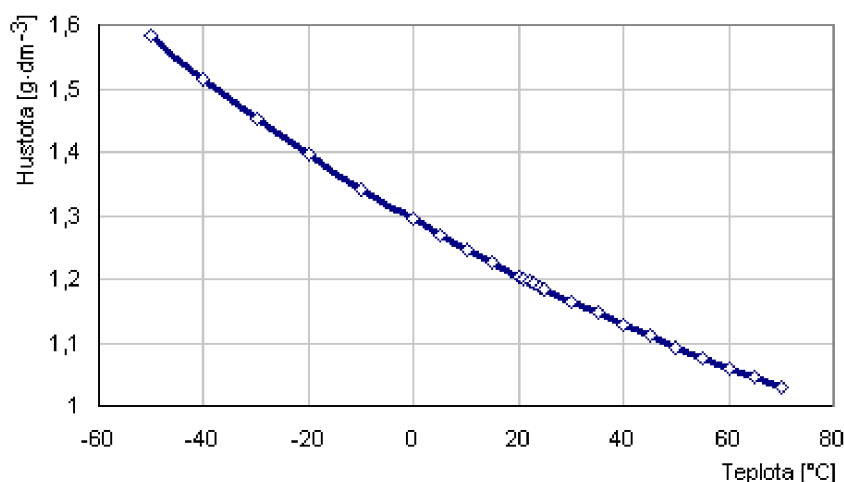
$$\rho_1 = \frac{p_1}{r \cdot T_1} \quad (3)$$

Kde:

ρ_1 [Pa] Tlak vzduchu v sacím traktu

T_1 [K] termodynamická teplota vzduchu v sacím traktu

Je tedy evidentní, že pokud chceme zvyšovat výkonové parametry motoru, je žádoucí zvyšovat tlak vzduchu v sacím traktu nebo snižovat jeho teplotu.



Obr. 10 Závislost teploty na hustotě vzduchu [5]

Toto nás vede k tomu, upravovat vždy také množství dávkovaného paliva pro udržování stechiometrické směsi. Proto jsou v moderních motorech užity často sdružené snímače tlaku a teploty stlačeného vzduchu, dodávající jednotce motoru informace. Jednotka na jejich základě dle korekčních tabulek upravuje doby vstřikování [1].

2.1.2 VLIV VLHKOSTI NASÁVANÉHO VZDUCHU

Atmosférický vzduch je představitel směsi par a plynů. Konkrétně vzduchu suchého a vody. Voda se do vzduchu dostává mnoha způsoby a mění se v rámci nadmořské výšky. To je dané tím, že zdroje vody, kterou obsahuje vzduch, jsou u země. Vzdušná vlhkost se mění v průběhu jízdy automobilu. Při zjednodušení pro užití ve výpočtech, bereme do úvahy pouze onen suchý vzduch a vodu, ostatní příměsi plynů a znečištění je zanedbatelné. Absolutní vlhkost vzduchu popisuje vzorec [5]:

$$\Phi = \frac{m_{vpa}}{V_{VZ}} \quad (4)$$

Kde:

Φ [kg · m⁻³] Absolutní vlhkost vzduchu

m_{vpa} [kg] hmotnost vodních par

V_{VZ} [m³] objem vzduchu

Další často uváděná veličina je relativní vlhkost vzduchu. Ta se rovná poměru hmotnosti vodní páry, jako součásti objemové jednotky vlhkého vzduchu a hmotnosti vodní páry, obsazené v jednotce vlhkého vzduchu, když obsahuje sytou vodní páru. Relativní vlhkost je jinými slovy poměr absolutní vlhkosti vzduchu a absolutní vlhkosti nasyceného vlhkého vzduchu při konstantní teplotě a mluvíme tedy o míře nasycení vodních par [5].

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_{max}} \cdot 100 \quad (5)$$

Kde:

φ [%] Relativní vlhkost vzduchu

Φ_{max} [kg · m⁻³] Absolutní vlhkost vzduchu nasyceného

V motorech je vzdušná vlhkost vnímána jak pozitivně, tak negativně. Vodní páry ubírají v nasávaném vzduchu množství objemu, tím se ubírá podíl náplně válce kyslíkem v čerstvé směsi. Proto se při zvyšující míře vlhkostí vzduchu zhoršují výkonové parametry motoru [1].

Na druhou stranu vodní vlhkosti dokážeme v motoru využít i pro náš prospěch. Vodní páry v nasávaném vzduchu mají velké výparné teplo. Tím pádem dokáží ochlazovat spalovací prostor a zvyšuje se tedy i odolnost motoru proti detonačnímu hoření. Proto se v některých závodních aplikacích, ale také u výkonných sériových automobilů využívá vstřikování vodní mlhy do sacího traktu [5].

2.2 KOMPONENTY SACÍHO TRAKTU PŘEPLŇOVANÉHO MOTORU

Tak jak již bylo vysvětleno v předchozím textu, hmotnostní plnění válců čerstvou směsí, je do značné míry ovlivňováno právě teplotou nasávaného vzduchu. Tímto jsou přímo ovlivněny výkonové parametry motoru. V důsledku stlačování vzduchu turbodmychadlem je vzduch

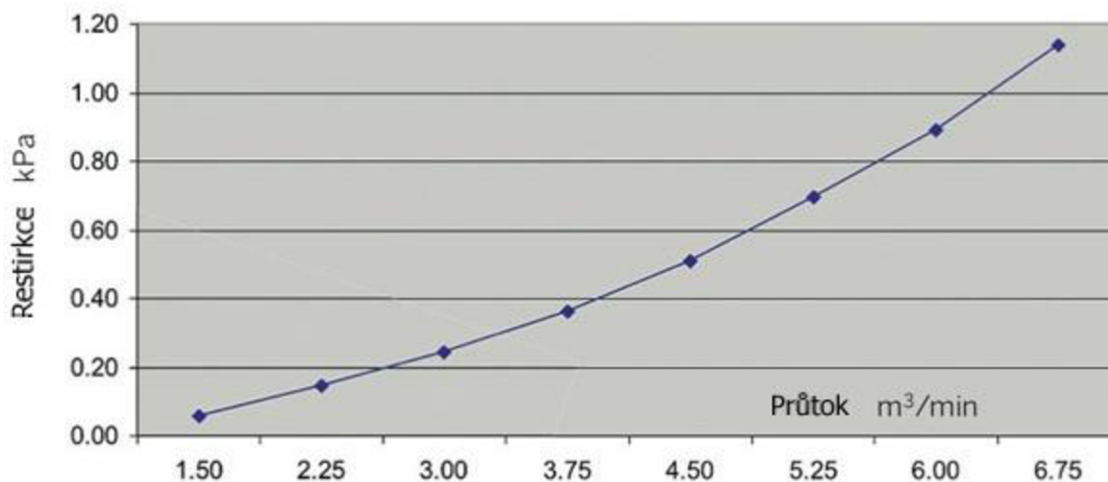
extrémně ohřátý a způsob a efektivita chlazení je tak na výkonových parametrech znát. Zatímco u atmosférické koncepce motoru bývají rozdíly teplot na vstupu filtru až po ventil v jednotkách stupňů, u přeplňovaného motoru není problém dosáhnout hodnot přes 120°C.

Velkou roli u přeplňovaného motoru hraje právě onen koeficient přeplňování, což je poměr přetlaku v sání vůči atmosférickému tlaku. U starších dieselových koncepcí pohonných jednotek se můžeme setkat i s variantou bez chladiče vzduchu, obvykle s koeficientem přeplňování do 1,5-1,7

Všechny tyto vlivy nám nakonec promlouvají do volby celkové koncepce sacího ústrojí, a tím pádem i do jeho chlazení a zástavby. Při dimenzování jednotlivých součástí je nutné brát v úvahu teploty, v jakých budou součásti pracovat, i zmíněný koeficient přeplňování čili přetlak v sání. V dalších odstavcích je rozepsán základní popis používaných částí v běžné praxi sériově vyráběných vozidel, tak i závodních aplikacích. Samotným mezichladičům stlačeného vzduchu je věnován odstavec 2.3.

2.2.1 VZDUCHOVÝ FILTR

Proti mechanickému znečištění nasávaného vzduchu používáme různé druhy filtrů. Nejčastěji pak s papírovou nebo pěnovou vložkou. U vozidel, kde je předpoklad znečištění vyšší, bývá doplněn odstředivým cyklónovým filtrem. Parametry filtrů mohou značnou měrou také ovlivňovat výkonové charakteristiky vozů, zvláště u koncepce motoru s přirozeným sáním.



Obr 11 Poměr restřikce vůči průtoku výkonného filtru dodaný výrobcem [6]

U závodních motorů, kde nepředpokládáme vlivem provozních podmínek velké znečištění nasávaného vzduchu, bývá tedy zvykem použít takový filtr, který minimalizuje tlakové ztráty za cenu nižší filtrační schopnosti. Absolutní vynechání vzduchového filtru není nezvyklé u některých disciplín včetně CDS. K tomuto kroku vede také problém se zástavbou často přeplňovaných, velkých vidlicových osmiválcových motorů do karoserií, které výrobce osazoval maximálně řadovou čtyř nebo šestiválcovou pohonnou jednotkou.

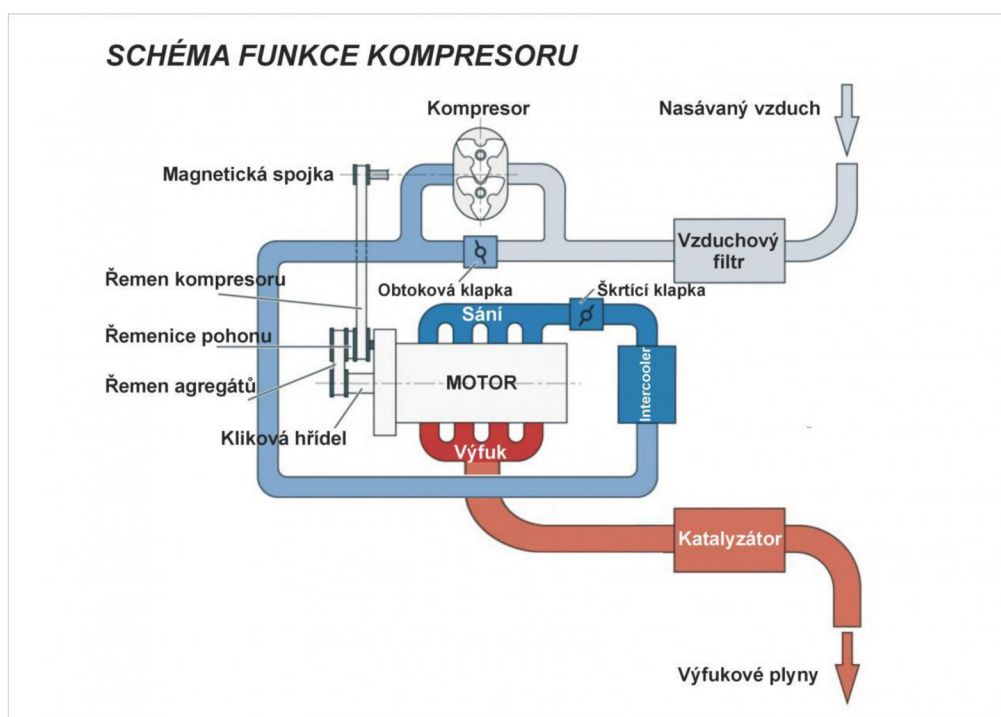
2.2.2 TURBODMYCHADLO / MECHANICKY POHÁNĚNÝ KOMPRESOR

Základním prvkem sestavy sání přeplňovaného motoru je kompresorová část použitého systému přeplňování. Toto zařízení je určující pro výkonové parametry motoru. Jejich princip funkce, typ a konstrukce určují nejenom parametry vzduchu vstupujícího dále k mezichladiči, ale i jejich zástavba z velké části stanovuje uspořádání komponent v motorovém prostoru. Určuje také tepelný management vozidla, koncept chladicího okruhu motoru a také sacího traktu, včetně chladiče vzduchu. Z metod přeplňování vynecháme v této práci způsoby využívající dynamiku plynů a jejich proudění v sacím traktu, tedy bez vnějšího ovlivnění, čili pulzační nebo rezonanční přeplňování. Toto řadíme stále spíše k motorům s atmosférickým plněním, s nízkým koeficientem přeplňování a také zde nedochází k výrazné změně teplot mezi vstupem sání a sacím ventilem v hlavě motoru.

V praxi nejpoužívanější metody, kde využíváme mezichladiče stlačeného vzduchu, jsou motory s mechanicky poháněným dmychadlem nebo přeplňování turbodmychadlem [4].

MECHANICKY POHÁNĚNÁ DMYCHADLA

Mechanicky poháněná dmychadla, s častým označením kompresory, používají pro svou činnost výkonu motoru přenášeným mechanickým spojením, často například z hlavní řemenice samostatným pomocným řemenem. Časté je také řešení pohonu přes ozubená kola přímo z klikové hřídele. Toto se odráží na jejich hlavních vlastnostech, na výhodách i nevýhodách.



Obr. 12 schéma systému s mechanicky poháněným dmychadlem [7]

Hlavní nevýhodou této koncepce je samotný odběr výkonu motoru, který musí dmychadlo nejprve pokrýt. Výhodou je pak přetlak již od nízkých otáček motoru, a také rychlá reakce na změnu zatížení motoru. To je dáno absencí takzvaného turboefektu, známého u dmychadel poháněných výfukovými plyny.

Plnicí tlak těchto dmychadel může být regulován například obtokovými ventily z výstupu dmychadla, zpět na stranu jeho sání. Tento obtokový ventil může být řízen mechanicky, častější je řízení řídicí jednotkou motoru. Dmychadla, která pracují ve vysokých otáčkách, je třeba chránit proti náhlé změně otáček motoru například prokluzovou spojkou [4].

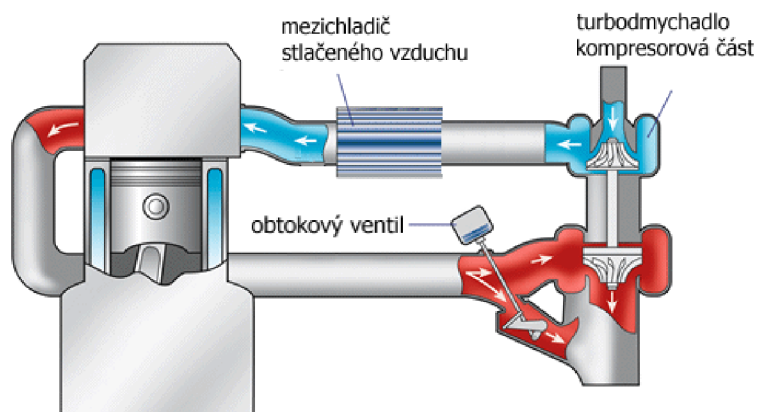
Nejčastějšími typy těchto dmychadel jsou:

- Rootsova dmychadla
- Lysholmova dmychadla
- G (spirální) dmychadla
- Odstředivá (centrifugální) dmychadla
- Tlakový výměník Comprex

TURBODMYCHADLA

Turbodmychadla, na rozdíl od mechanických dmychadel, používají pro svůj pohon energii výfukových plynů, vystupujících z hlavy motoru, k práci v oběžném kole plynové turbíny. V turbínové sekci turbodmychadla se tak tepelná energie a dynamika plynů vzniklých spalovacím procesem mění na energii mechanickou práci a roztáčejí centrální hřídel turbodmychadla, spojenou s kompresorovou částí rotoru [4].

Oproti mechanickému dmychadlu má tak turbodmychadlo řadu výhod, ale opět i nevýhod způsobených právě pohonem. Výhoda turbodmychadel je ta, že mají obecně nižší měrnou spotřebu paliva, často také jednodušší konstrukci a jsou méně náročná na uspořádání a zástavbový prostor v karoserii vozidla. V dnešní době jsou turbodmychadla velmi často používána napříč celým automobilovým trhem. Dříve byla doménou spíše dieselových spalovacích motorů a vysokovýkonných sportovních automobilů. Dnes jsou nasazována do pohonných jednotek s malými objemy válců, právě díky možnosti dosažení nižších hodnot spotřeby paliva a měřených emisí. Zároveň ve srovnání potřebného zástavbového prostoru pro motor s obdobným výkonem a atmosférickým plněním, je turbomotor mnohem menší. Je tak



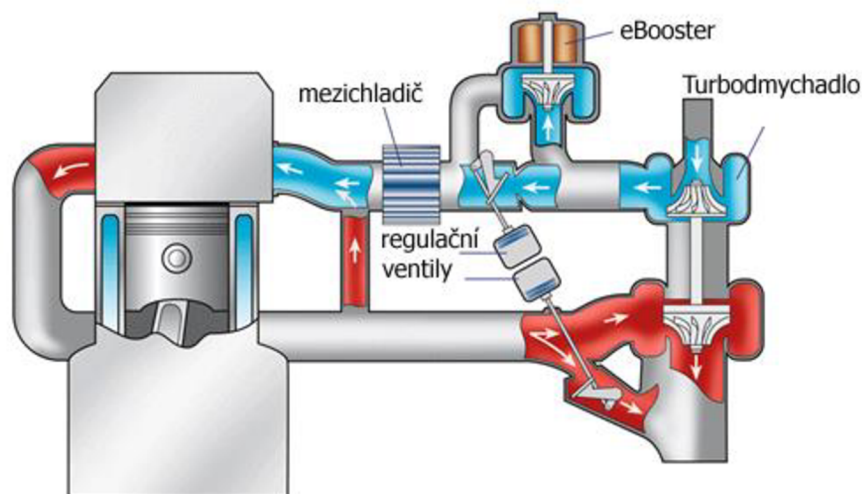
Obr 13 schéma systému s turbodmychadlem [8]

možné jej posunout blíže těžišti a u sportovních automobilů tak dosáhnout lepších jízdních vlastností vozu.

Z tohoto plyne také hlavní nevýhoda tohoto druhu přeplňování. To je nutnost dostatečného množství plynů k dosažení provozních otáček turbodmychadla, nebo požadovaného přetlaku v sacím traktu. Dále se projevuje setrvačnost samotného rotoru turbodmychadla, například při změně zátěže motoru. Maximální moment motoru se nedostaví okamžitě po změně polohy škrtkovací klapky a oné mezeře ve výkonu, při změnách zatížení mluvíme jako o takzvaném turboefektu. Ten nastává v praxi typicky například při změně rychlostního stupně. [4]

Onen turboefekt se dá různými metodami omezit nebo téměř odstranit. Nejdůležitější je správná volba parametrů turbodmychadla pro daný motor, zejména pak kompresorové části turbodmychadla. Je důležitá optimalizace rozměrů a množství dodaného vzduchu tak, aby bylo turbodmychadlo co nejmenší s co nejkratší dobou roztočení, ale zároveň aby dokázalo pokrýt nároky na množství vzduchu pro motor. Současně je důležité turbodmychadlo dimenzovat tak, aby se nedostalo přes své maximální otáčky do stavu, kdy má motor větší spotřebu vzduchu, než je turbo schopné dodat nebo do stavu kdy překročí mez pumpování, tady může způsobit kolísání plnicího tlaku a také turbodmychadlo dlouhodobě axiálně zatěžovat. V mezním případě může dojít k jeho selhání. Pro toto dimenzování turbodmychadla slouží takzvaná kompresorová mapa. [8]

Z možností, jak účinně odstranit prodlevu mezi nástupem plného kroutícího momentu od změny zatížení, je důležité zmínit kombinaci více turbodmychadel. Pro víceválcové motory bývá zvykem použití dvou menších turbodmychadel nebo menšího a většího turbodmychadla, kdy menší pokryje dolní spektrum otáček nebo zatížení a větší zase oblast vysokých otáček, tak aby bylo možné využít přeplňování v co největším rozsahu otáček a zatížení. V dnešní době je také velký rozmach použití variabilních lopatek na turbínové straně turbodmychadla. Tímto se dají dobře regulovat otáčky turbodmychadla a měnit tak jeho charakteristiku. Nejnovější variantou je technologie eBooster, kdy je k velkému turbodmychadlu přidáno dmychadlo s elektrickým pohonem. [4]

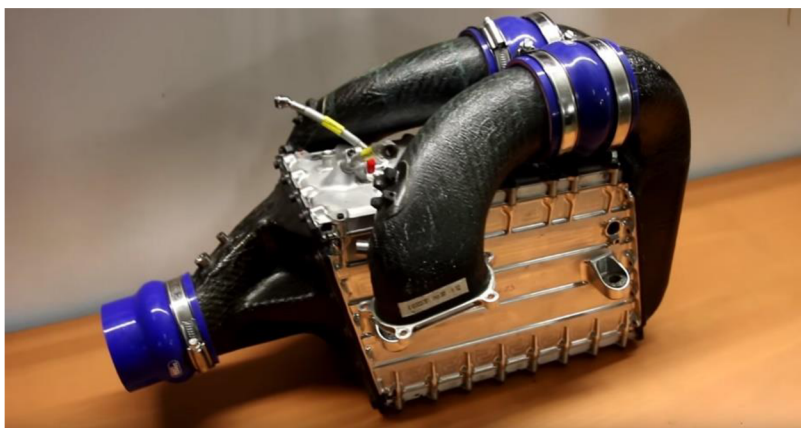


Obr 14 eBooster [8]

Doposud zmíněné techniky jsou používané v sériově vyráběných vozidlech. V případě závodních aplikací bývá často využit tzv. Anti Lag Systém (ALS). Jeho aktivaci má na svědomí většinou závodní řídící jednotka motoru. Principy jsou různé podle použitého motoru. V principu a nejčastěji u motorů s nepřímým vstřikem paliva, se při zavřené mechanické škrtkové klapce používá obtokový ventil pro přísun vzduchu i paliva. Současně se posune hranice předstihu o 40 i více stupňů později. Také dojde k obohacení směsi. Díky tomuto se směs zapálí až těsně před otevřením výfukových ventilů. To má za následek hoření a expanzi směsi ještě ve výfukovém potrubí a tím roztáčení turbodmychadla. Díky tomuto máme k dispozici požadovaný tlak v sání prakticky kdykoliv. Toho lze využít například u motorů s velkým turbodmychadlem na startu závodu nebo při brždění před zatáčkou [10].

VEDENÍ VZDUCHU

Nedílnou součástí celého systému je také vedení stlačeného vzduchu. Toto bývá v praxi řešeno silnostěnnými tvarovanými profily z ABS plastu, spolu s přechodovými tlumícími prvky proti přenášení vibrací z motoru na karoserii. V závodních aplikacích se nejčastěji používají hliníková tvarová kolena nebo přímo natvarované a svařované hliníkové vedení. Ve špičce motorsportu jsou taktéž užívány pro vedení stlačeného vzduchu kompozitní materiály. Pro



Obr. 15 Vedení vzduchu k mezichladiči z kompozitních materiálů pro motor F1 [9]

spoje, skrze rychlou a opakovatelnou demontáž, jsou užity široké hadicové spony, které jsou utahovány mechanismem se šroubem nebo přírubou. Pro spojení tuhých trubíc se užívají silikonové hadice s propletem v mnoha vrstvách. [9]

ODPOUŠTĚCÍ VENTIL

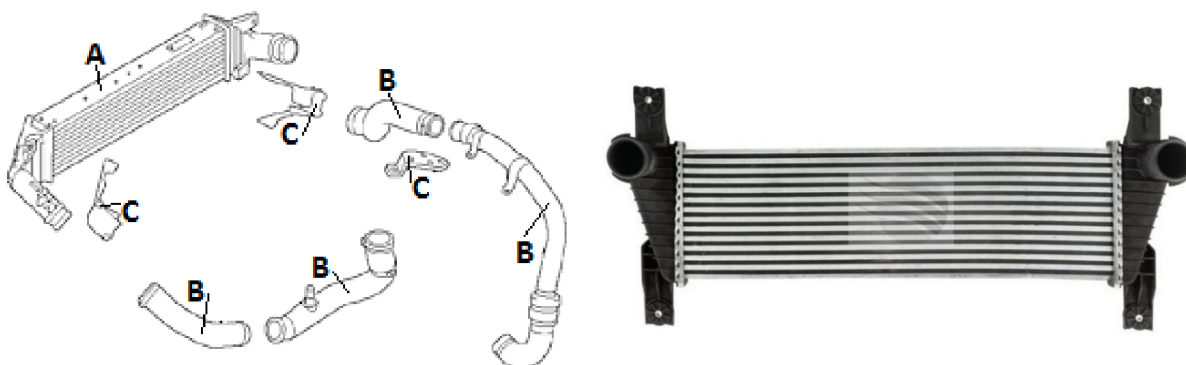
Jedná se o regulační ventil umístěný nejčastěji před klapkou na sacím potrubí. Hlavním důvodem použití tohoto ventilu je odstranění pulzací v sacím traktu vlivem plnění turbodmychadla. Konkrétně se pak snaží zabránit stavu, který bývá označován jako Compressor surge, což je stav, který vzniká typicky při akceleraci motoru s plně otevřenou škrtkovou klapkou a roztočeným turbodmychadlem, dodávající maximální množství vzduchu. Pokud se v tomto stavu klapka náhle zavře, proudící vzduch se o ní zarazí a začíná ve vedení pulzovat, resp. celá soustava se přetlaková a naráží do lopatek dmychadla, které brzdí. Tomuto stavu se snažíme použitím tohoto ventilu zabránit upuštěním přebytečného vzduchu zpět před turbodmychadlem nebo do atmosféry [11].

2.3 KONVENČNÍ METODY CHLAZENÍ STLAČENÉHO VZDUCHU

V běžné praxi jsou u sériových nebo malosériově vyráběných automobilů kladeny zcela jiné nároky než na použití pro motorsport. Zejména co se týče možností a použitých technologií. Využití plastových vstříkovaných dílců pro vedení vzduchu, tak jak tomu bývá zvykem u běžných silničních vozů, je pro většinu motorsport aplikací nedosažitelné. Naopak technologie využívané v motorsportu se nemusí vždy zaplatit v automobilu pro sériovou výrobu [4].

2.3.1 VZDUCH – VZDUCH

Základní přístup k chlazení stlačeného vzduchu u sériově vyráběných vozů je dnes prostřednictvím mezichladiče - výměníku Vzduch-Vzduch (zvané také jako intercoolery). Tyto výměníky mají jako nejčastější konstrukci hliníkový střed s voštinou a bočnice jsou ze vstříkovaného plastu. Přechod mezi bočnicí a voštinou je zatěsněn lisovanou sponou. Tu je často možné demontovat a při poškození chladiče je také možné vyměnit samotnou voštinu.



Obr 16 Sériové provedení intercooleru [15]

Na levém obrázku je vidět umístění chladiče v přední masce vozu (A). Držáky intercooleru a blízkého vedení (C) bývají provedené lisovanými plechy, nebo jsou přímo integrovány do konstrukce bočnic chladiče (viz pravý obrázek). Vedení stlačeného vzduchu (B) je z tvrdých silnostěnných plastových trubic s pružnými členy, na koncích opatřených bajonetovým systémem, nebo odsazením skrze převléknutí jedné trubice přes druhou a následným stažením hadicovou sponou [15].

U tohoto typu chlazení je nejčastějším limitem právě návrh zástavby chladiče. Moderní automobily s poměrně velkým množstvím příslušenství s požadavky rozsáhlého zástavbového prostoru utlačují prostor, kde by mohl být intercooler začleněn. Ne zřídka se tak setkáváme se zástavbou mezichladiče do podběhů vozidel, ke kterým je naveden z přední masky proud vzduchu. Avšak poměrně často je toto vedení překryto masivním dekorativním i bezpečnostním krytem, který přístup vzduchu přivedeného na intercooler ještě více znesnadňuje. I vedení vzduchu k takto umístěnému intercooleru je extrémně dlouhé, což má neblahý dosah na reakční dobu motoru jako odezvu změny polohy škrtkové klapky [15].

Konstrukce jádra, čili samotné teplosměnné plochy u výměníků vzduch-vzduch, bývá nejčastěji tvořena trubkami kulatými nebo hranatými (plochými). Ty vedou skrz a kolem nich je

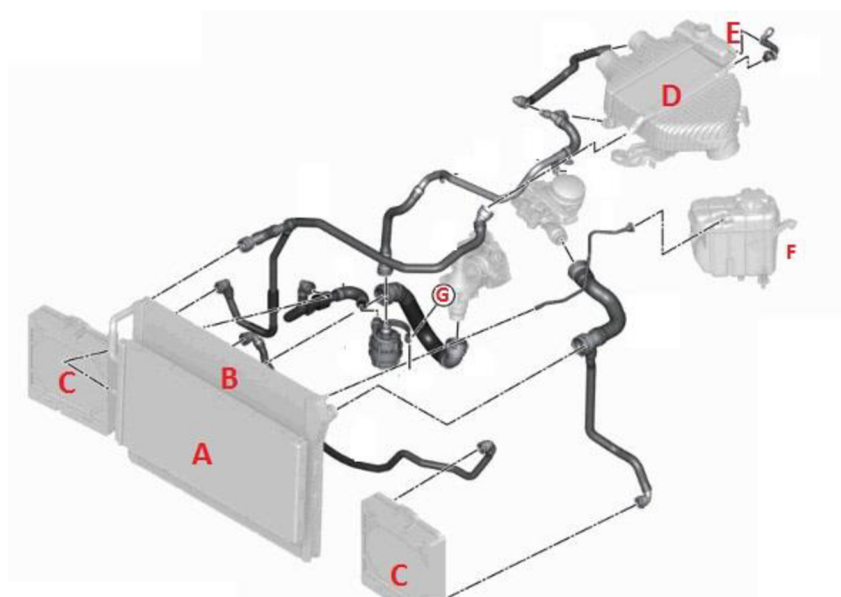
vytvořeno žebrování, které je na trubky nalisováno nejčastěji hydraulicky nebo mechanicky. Hloubka blouku bývá od 40 do 120mm, pro větší průtoky se používají trubky s přidávanou přepážkou pro lepší přenos tepla [12].



Obr. 17 Řez vložkou výměníku vzduch-vzduch [12]

2.3.2 VODA – VZDUCH

V praxi ne až tolik rozšířený typ chlazení je výměník Voda-Vzduch. Tento typ chlazení je mnohem komplikovanější, dražší, ale přináší za to mnoho výhod. Systém dochlazuje lépe stlačený vzduch i u stojícího nebo pomalu jedoucího vozidla, obzvláště při použití ventilátoru na přidavném vodním chladiči. Hodí se proto do řady aplikací, pro které by bylo použití klasického intercooleru nevhodné. Například terénní vozidla, kde vlivem rychlého zanešení klasického chladiče můžeme jeho vlastnosti značně omezit. Na obrázku vidíme kompletní systém chlazení moderního výkonného vozidla BMW, který má přidavný vodní chladič (A) potřebný pro ochlazování chladícího média vodního intercooleru umístěný v masce ještě před vodním chladičem (B). Po stranách bylo využito nádechů před koly pro další dva přidavné vodní chladiče (C). Výměník Voda-Vzduch (D) je umístěn přímo nad motorem mezi výstupem turbodmychadla a vstupy před škrtkovými klapkami. Za výměníkem je umístěna vlastní expanzní nádrž (E) pro okruh samostatného vodního okruhu vodního intercooleru. Přidavné vodní

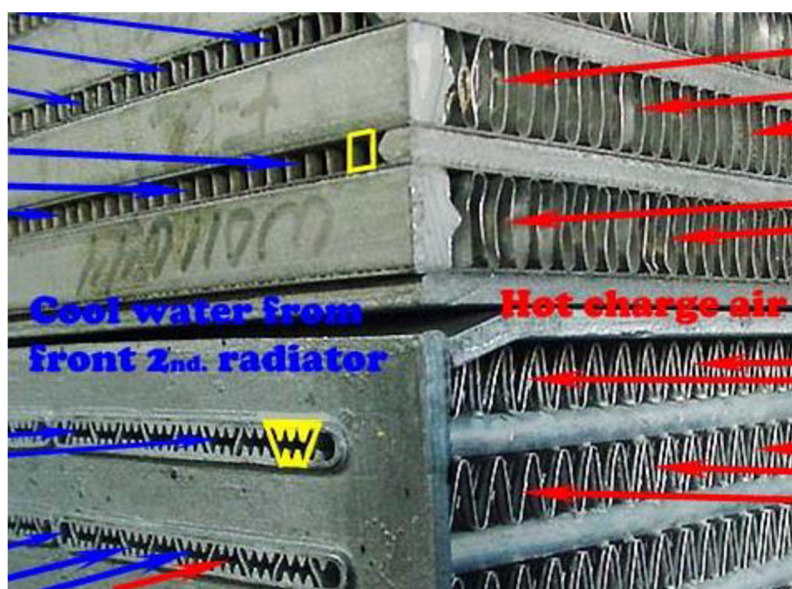


Obr. 18 Soustava chlazení vozidla BMW F80-M3 [13]

čerpadlo (G) mohlo být umístěno do volného prostoru před motor. Expanzní nádoba (F) hlavního vodního okruhu je umístěna na domku tlumiče [14] [13].

Další hlavní výhoda tohoto systému je patrná již z popisu obrázku. Je to právě krátká trasa od turbodmychadla až po sání a škrťící klapku motoru. Je to právě ta nejkratší možná trasa i kdyby nebylo intercooleru vůbec použito. Tím se výrazně zlepši odezva plynového pedálu. Zároveň zástavbové rozměry celé sestavy jednotlivých komponent nejsou tak velké jako použití klasického intercooleru dimenzovaného pro stejný výkon vozidla. Naroste nám ale oproti klasické koncepci hmotnost. A to nejen o přídatný vodní chladič a čerpadlo, ale také o samotné chladičí médium [13].

Konstrukce samotného chladiče je podobná klasickému výměníku Vzduch-Vzduch. Častěji se zde setkáme přímo ze sériové výroby s celohliníkovým provedením. U zmíněného modelu F80-M3 je však konstrukce s plastovými bočnicemi zachována. Jádru výměníku je obdobné, jen je zde častější užití křížených trubek nežli nalisovaných plechů. Na obrázku je vidět červeně znázorněný horký vzduch od turbodmychadla a modře znázorněný směr vstupu chladičí kapaliny z přídatného chladiče. Jsou zde vidět varianty provedení obyčejná čtvercová nebo do tvaru W s větší teplosměnnou plochou. [14].



Obr. 19 Varianty jádra mezichladiče Voda-Vzduch

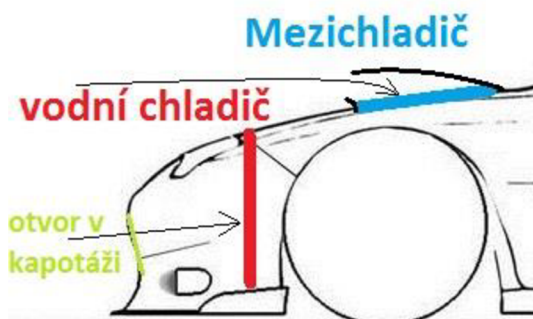
2.4 METODY CHLAZENÍ STLAČENÉHO VZDUCHU VYUŽÍVANÉ V MOTORSPORTU

Použití zmíněných metod chlazení v motorsportu je vždy extrémně odlišné pro danou aplikaci. Každá závodní disciplína si žádá specifický přístup k chlazení stlačeného vzduchu. U rally-cross speciálu bude řešeno chlazení naprosto jiným způsobem než na formuli. Konstrukce všech chladičů bývají až na výjimky celohliníkové. Stěžejní je pak zástavba chladiče a případné použití podpůrných metod chlazení. V jednotlivých disciplínách jsou navíc extrémně odlišná pravidla určující často maximální rozměry chladiče, jeho montáž, dobovou originalitu nebo možnost použití nebo zakázání určitých podpůrných systémů chlazení.

2.4.1 ZÁSTAVBA CHLADIČŮ

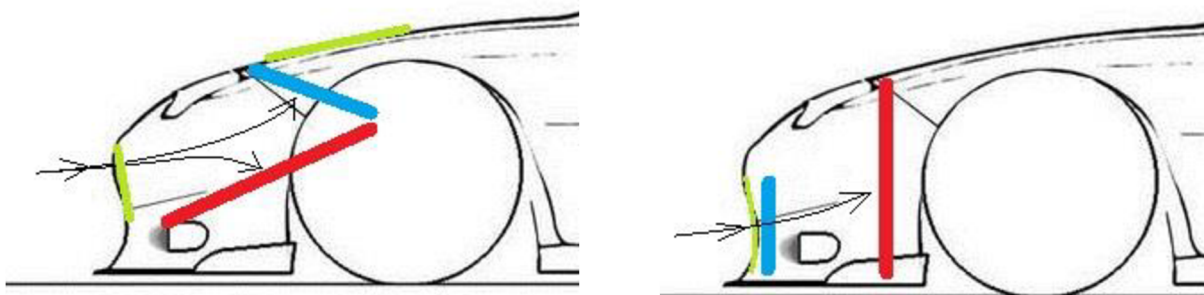
Jedná se o pravděpodobně nejrozšířenější výměník používaný v motorsportu, zejména pro svou nízkou hmotnost, jednoduchost, rychlost případné demontáže a nahraditelnost v případě poškození. Montáž tohoto systému do velké míry závisí na pravidlech daného podniku, ale také na zástavbových možnostech karoserie a nárazníku. Pro zástavbu tohoto typu mezichladiče jsou nejčastější tři druhy umístění intercooleru.

První je často používán na rally podnicích, rallycross nebo všude tam, kde se očekává rychlé zanešení chladiče. Chladič je umístěn obvykle nad motorem s otvorem v kapotě vozu, kterou je přes aktivní aerodynamický prvek přiváděn proud vzduchu. Proto toto uspořádání se ustálilo označení TMIC (Top Mount InterCooler), typicky u Subaru WRX STI všech generací nebo Toyota celica GT four st185. Lze použít jen tam, kde je dostatek zástavbového prostoru nad motorem, typicky výhoda motoru typu boxer nebo wankel. Je výhodný také z hlediska krátkého vedení nasávaného vzduchu.



Obr. 20 Uspořádání chladičů typu TMIC [12]

Dalším často používaným uspořádáním chladičů v motorovém prostoru je takzvaný Vmount (na obrázku vlevo), který bývá často využíván často v okruhových speciálech a tam, kde to zástavba umožňuje. Lze tak využít nízký zástavbový prostor k umístění chladiče s velkou teplosměnnou plochou. Je pro něj typický otvor a výdechy v kapotě vozu.



Obr. 21 Typy uspořádání Vmount a FMIC [12]

Dalším a pravděpodobně nejrozšířenějším typem umístění chladiče je takzvaný FMIC (Front Mount InterCooler). Tohoto uspořádání se využívá tam, kde v prostoru motorového prostoru již není místo, a tak je intercooler předsazen před karoserií do prostoru nárazníku. Toto umístění

je výhodné z hlediska přísunu chladícího vzduchu, ale nevýhodné pro disciplíny motorsportu, kde hrozí časté kontakty nebo jiné poškození intercooleru. Mezi tyto patří i Drift. Proto jsou při použití tohoto chladiče využívány ochranné konstrukce. Také má z dostupných variant nejdelší vedení stlačeného vzduchu.

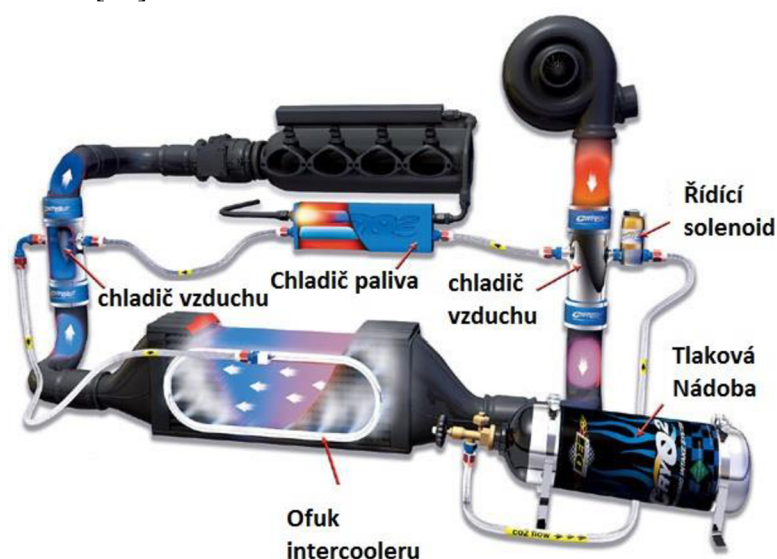
2.4.2 OSTŘÍK CHLADIČE VODOU

Metodou, jak zvýšit účinnost chlazení tepleného výměníku Vzduch-Vzduch nebo pomocného chladiče výměníku Voda-Vzduch je ostřík vodou. Při tomto ostříku dochází na povrchu teplosměnné plochy k adiabatickému chlazení. To znamená, že chladič navíc ochlazujeme množstvím energie potřebné k odpaření vody z chladiče. Chladiče ostříkujeme po celém povrchu teplosměnných ploch a co nejlépe rozprášenou vodní mlhou. Toto není doména pouze závodních automobilů. Některé sportovní verze sériově nebo malosériově vyráběné byly často, byť v příplatkové výbavě, tímto systémem vybavovány. Nevýhodou je nutnost poměrně častého doplňování postřikovací kapaliny.

Ne vždy jde tento systém například z důvodu pravidel použít. Tehdy se používá, pokud je to možné, alespoň ruční postřikovač, kterým se chladiče postříkají těsně před nájezdem na startovací čáru. Výhoda je také absence nádrže a čerpadla, tím pádem nižší hmotnost vozu.

2.4.3 OFUK CHLADIČE CO₂

Další používanou variantou ochlazování chladičů je ofukování tekutým oxidem uhličitým neboli CO₂. U této varianty je nutnost používat tlakovou lahev, ve které zůstává CO₂ kapalný i v pokojové teplotě. Jakmile začneme plyn z lahve vypouštět, dochází k prudkému ochlazení vlivem výparného a expanzního tepla, které je mu odebráno. Komplikace přichází právě s konstrukcí tlakového vedení a ventilů tak, aby vlivem vypařování nedocházelo k zamrznutí. Výhodou je možnost využití CO₂ na chlazení dalších prvků spalovacího motoru. Například chlazení paliva. Lze také využít přidavných chladičů stlačeného vzduchu v cestě jeho vedení k nebo od intercooleru. [17].



Obr. 22 Systém chlazení CO₂ [17]

2.4.4 ZÁSTAVBA POMOCNÉHO CHLADIČE VODA-VZDUCH

V závodním prostředí je obecně snahou přemísťovat konstrukční prvky s vyšší hmotností co nejbližší středu vozidla. Toto v některých případech může zasáhnout i chladiče. V případě vozidel užitých pro kategorii drift je to časté. Lze zde využít předpoklad, že se vozidlo v oblasti využívání maximálního zatížení pohybuje kolmo vůči běžné ose jízdy. Toho lze využít a jak přídatné chladiče intercooleru, tak hlavní nebo olejové chladiče umístit až nad zadní nápravu. K těmto chladičům následně přivádíme vzduch z nádechů místo bočních oken nebo ze střechy. Toto řešení zvýší hmotnost celé soustavy a přidá nutnost druhého firewallu proti úniku provozních kapalin do prostoru pro posádku. To bývá i tak nevyhnutelné skrze dým od zadních pneumatik a závodní palivovou nádrž umístěnou do zavazadlového prostoru vozidla. Touto úpravou přesuneme více hmotnosti z přední na zadní nápravu, což je žádoucí.



Obr. 23 Umístění chladiče v místech zadní nápravnice [12]

2.4.5 ALTERNATIVNÍ METODY CHLAZENÍ

Jedna z dalších používaných metod je umístění vodního ledu přímo do sacího traktu, před vstup do intercooleru. Voština intercooleru nedovolí ledu proniknout dále do sání, led se postupně odpařuje a strhává s sebou vodní páry skrze intercooler, kde se dále ochlazuje až do spalovacího prostoru. Ve spalovacím prostoru působí tyto vodní páry stejně jako výše zmíněná vstříkovaná vodní mlhy do sacího traktu.

Další metodou jak snížit teplotu nasávaného vzduchu v různých disciplínách, je například výměník využívající jako chladivo suchý nebo klasický led. Tyto výměníky bývají často velmi rozměrné s velkými průměry průchozích ochlazovaných trubek, kterými je veden ohřátý stlačený vzduch.



Obr. 24 Výměník Vzduch-Suchý led [16]

Toto řešení nalézá často využití v disciplínách, kde závod netrvá déle než 20 sekund. Typicky závody ve zrychlení na jednu míli nebo při výjezdech na písčné duny v Arabském světě.

3 VÝPOČTOVÝ MODEL SPALOVACÍHO MOTORU

Tento model by nám měl dopomoci k prozkoumání možných dopadů na výkonové parametry motoru při změnách v sacím traktu. Model bude také možné využít pro případné nutné změny součástí motoru. Bylo tedy třeba zvážit výběr vhodného a dostupného software, který nám dále pomůže pro výběr vhodných variant chlazení stlačeného vzduchu. Souběžným krokem bylo určení testovacího vozu, na kterém bude celý návrh nového sacího traktu zpracován.

3.1 VOLBA VÝPOČTOVÉHO SOFTWARE

Pro tvorbu výpočtového modelu dále zvoleného motoru bude třeba využít některý z dostupných software. V běžné praxi se dnes jako standard používají produkty firmy Gamma Technologies, zkráceně GT. Konkrétně pak software GT Suite, jakožto souboru balíků pro vývojáře v automobilovém průmyslu. Pro simulace výkonových parametrů modelu potom balík GT Power [23].

GT Power je sice považován za průmyslový standard s vysokou přesností, má však i nevýhody. Tím je například velké množství nutných vstupních hodnot simulovaného motoru. Tato data nejsou často běžně dostupná, ani jednoduše zjistitelná, bez množství práce s testováním a měřením na daném motoru [23][22].

Z tohoto důvodu volím software Lotus Engine Simulation, který obsahuje spoustu nástrojů pro zastoupení náročného měření základními volenými hodnotami. Právě toto je také jeho nevýhoda a výsledek je tím úměrně zkreslen. Pro mé použití a rozsah potřebných dat je tak tento software vhodnější [22].

3.1.1 LOTUS ENGINE SIMULATION

Lotus engine software, vytvořený Anglickou společností Lotus pro vývojové automotive inženýry, spadá do kategorie 0D a 1D simulačních software. 0D část je použita při výpočtech simulací geometrií typu samotných válců motoru nebo turbodmychadla. 1D část se používá při výpočtech té části modelu, kde se používá metody konečných objemů (známá pod zkratkou FVM z anglického Finite Volume Method). Typicky modelování sacího nebo výfukového potrubí [22].

V rámci tohoto software lze řešit různé zátěžové stavy simulovaného motoru, analyzovat jak atmosférické, tak přeplňované čtyř i dvoutaktní motory. Není určen pouze pro řešení ustálených stavů. Do jisté míry můžeme řešit i dynamické chování částí motoru. Například pulzace v sacím nebo výfukovém potrubí [22].

Lotus Engine Simulation je komplexní software obsahující jak preprocesor pro tvorbu modelu, tak vlastní numerický řešič, ale také prostředí pro analýzu zjištěných stavů. Tvorba modelů probíhá sestavováním jednotlivých bloků s uživatelem definovanými parametry. U množství bloků je možnost volby defaultních hodnot, což je již zmíněná výhoda tohoto software. V tomto kroku je také nutné nastavit obecné vnější podmínky, jako jsou například modely hoření směsi nebo okolní tlak a teplota v daných blocích. Řešič pracuje na základě principu po sobě jdoucích opakujících se výpočtů, kdy nový výpočet přebírá hodnoty z předchozího výpočtu. Tímto

způsobem postupně konverguje k výsledkům. Po dokončení výpočtů ukládá výsledky a nabízí jejich interpretaci ve vlastním postprocesoru. Máme možnost zobrazit například vnější charakteristiku motoru, plnicí účinnost nebo procházet v blokovém zobrazení výsledky v jednotlivých částech motoru. V tomto režimu máme možnost také detailně sledovat vývoj teplot v potrubí nebo stavy tlaků v jednotlivých větvích [22].

3.2 MĚŘENÉ VOZIDLO

Pro zástavbu nového chladícího systému bylo použito vozidlo Nissan 200sx s13. Vozidla od japonského výrobce NISSAN s označením karoserie S je řada vozidel určená pro sportovně zaměřené zákazníky. Řada S je dále označovaná generacemi 10 (první uvedení na trh 1976) až 15 (poslední vyrobené vozidlo v roce 2002). Předchůdce řady S bylo vozidlo CSP311. Pouze některé modely a motory byly určeny pro jiný než japonský trh. Řada S byla osazována pouze benzínovými motory obvykle v rozmezí 1800-2000 ccm, vyjma motoru KA24, který byl určený primárně pro americký trh. Jedná se o vozidla s hnanou zadní nápravou a pětistupňovou manuální převodovkou. Zvolená řada S13 má pohotovostní hmotnost 1224 kg a 52% hmotnosti na přední nápravě [15].

Konkrétní model použitý pro návrh zástavby má již několik úprav oproti sériově vyráběnému vozidlu. Zejména odlehčenou a vyztuženou karoserií, kdy jeho pohotovostní hmotnost činí 1120 kg. Z úprav na podvozku lze zmínit například zvětšení úhlu natáčení kol nebo úpravy zavěšení kol a diferenciálu.

3.3 POUŽITÝ MOTOR

Použitý motor automobilu bude ponechán původní s označením CA18DET, i přes možnost jeho záměny v pravidlech CDS viz odstavec 1.2.2. Důvodem je snaha udržet rozložení hmotnosti sériového vozu a udržení možné navratitelnosti všech úprav do výchozího stavu.

PARAMETRY MOTORU UDÁVANÉ VÝROBCEM

Typ	R4
Rozvodový mechanismus	DOHC
Materiály	Litinový blok, Hliníková hlava válců
Palivo	BA95
Vstřík paliva	4 bodový, nepřímý
Velikost vstřikovačů	377cc
Turbodmychadlo	Garrett T25 .48 A/R
Maximální plnicí tlak	0,75 bar
Počet ventilů na jednom válci	2 sací, 2 výfukové
Vrtání	83 mm
Zdvih	83,6 mm
Kompresní poměr	8,5 : 1
Maximální výkon	124kW

3.3.1 ÚPRAVY MOTORU

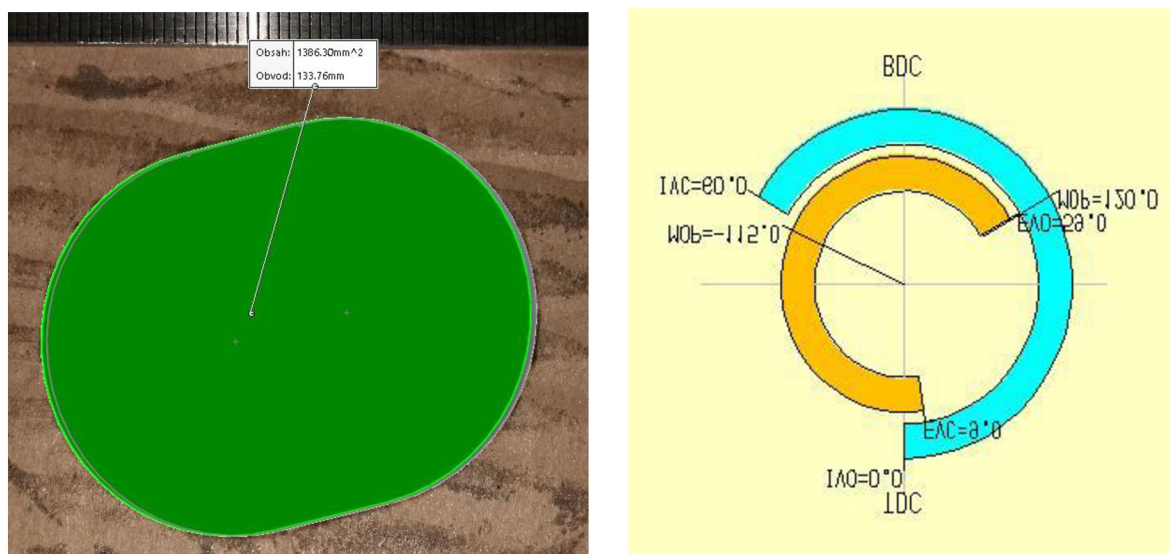
Koncept motoru CA18 byl poprvé uveden na trh ve voze Nissan Skyline R30 ve variantě CA18E už v roce 1983. Motor procházel s každou další generací řadou konstrukčních úprav a do vozu s13 se montoval s zcela přepracovanou šestnácti ventilovou hlavou válců. I tak mu některé nedluhy konceptu motorů ze začátku 1980 zůstaly. Zejména řízení motoru velkou řadou solenoidů a různými podtlakovými větvemi. Toto řešení bylo na třicet let starém sportovním voze pro většinu uživatelů neudržitelné a většina těchto vozů v provozu má tento systém již značně přestavěný. Proto i použitý motor má již pozměněné kompletní sání a části obtokových větví v oblasti škrtkové klapky [15][18].

Další úpravou, která byla provedena již při návrhu motoru pro použití na závodní účely, byla změna turbodmychadla za Garrett GT2871R a plnicího tlaku stanoveného na 1bar. Spolu s touto přestavbou došlo k přepracování výfukového vedení [18].

3.3.2 GEOMETRIE MOTORU

Parametry potřebné pro sestavení modelu motoru v prostředí Lotus Engine Simulation byly získávány mnoha způsoby. Velká část hodnot jako například hodnoty otevření a zavření sacích a výfukových kanálů nebo hodnoty vrtání a zdvihu byly získány přímo z technické dokumentace výrobce [15].

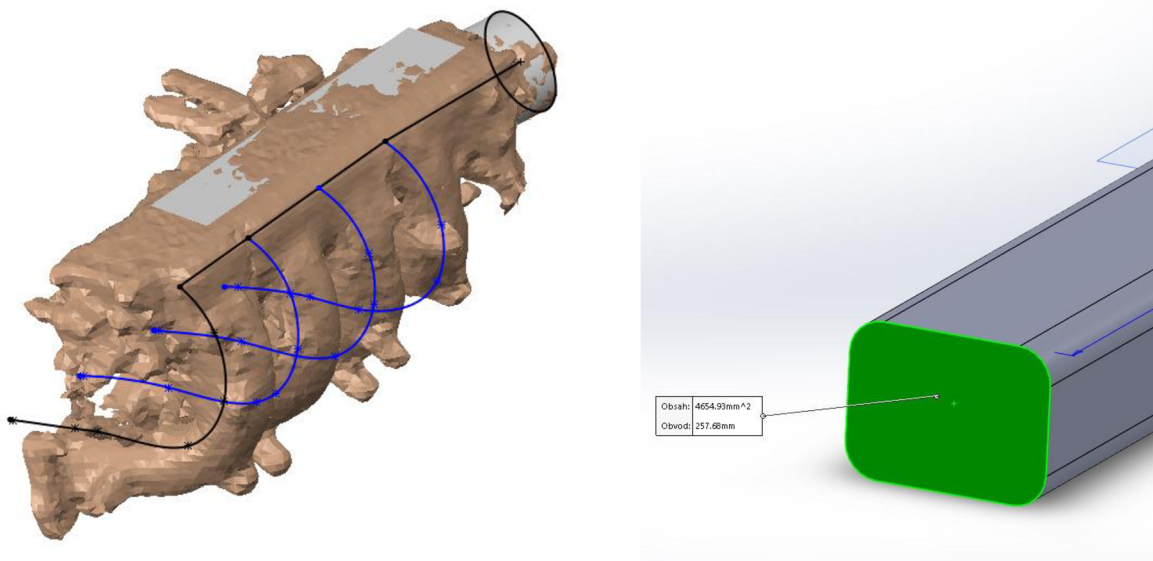
Další rozměry byly odměřeny ručně při demontáži motoru. Plochy sacích kanálů bylo nutné převést na průměry trubek, se kterými pracuje řešič programu Lotus. K tomu byl využit 3D CAD software SolidWorks, kdy byl 2D sken otisku kanálu v prostředí CAD porovnán s příloženým měřítkem a následně převeden na skicu. Obsah této skici již SolidWorks do počítal. Jednoduchý tvar takto převedeného kanálu je znázorněn na obrázku.



Obr. 25 Plocha kanálu v prostředí SolidWorks a zobrazení časování ventilů v prostředí Lotus

Těmito způsoby byly získány všechny potřebné rozměry pro bloky válců, ventilu a průměry pro bloky trubek a kanálů. Pro získání délek sacích i výfukových kanálů bylo využito odstrojení sacích a výfukových přírub pro získání ploch kanálů a bylo možné jejich přímé změření.

Pro získání přesnějších hodnot délek jednotlivých výfukových a sacích svodů bez nutnosti jejich celkové demontáže byl využit 3D sken. Postup tohoto skenování je blíže popsán v kapitole 4.1. 3D sken součásti byl přenesen do prostředí SolidWorks, kde do něj byla postupně vkládána 3D skica. Části této skicy byly posléze použity jako délky bloků v modelu prostředí Lotus. Zároveň bylo možné do skenu vymodelovat vnitřní objem vzdušníku. Jeho řezy, respektive plochy řezů, pak opět použít pro přepočet na průměry trubek, jakožto elementů modelu v prostředí Lotus. Stejným způsobem bylo postupováno v případě výfukových svodů.



Obr. 26 3D sken sání proložený skicou, vmodelovaný objem vzdušníku

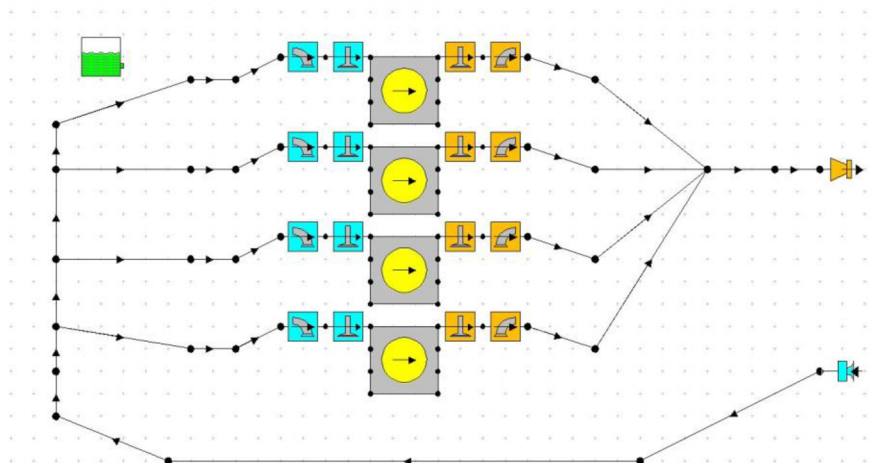
3.4 SIMULACE V PROGRAMU LOTUS ENGINE SIMULATION

Jelikož přesné hodnoty průběhu hoření paliva ve válci neznáme a je mimo rozsah práce jej zjišťovat, modely hoření ve schématickém bloku válce necháváme ve standardním nastavení default. Stejně tak další hodnoty pro nastavení hodnoty proplachování válce nebo hodnoty modelů přestupů tepla.

V rámci zjednodušení, zrychlení výpočetních časů a lepší kontroly nad modelem nepoužíváme prvek turbodmychadla, který nám Lotus nabízí. Stejně tak vynecháváme záměrně i prvky mezichladiče stlačeného vzduchu.

3.4.1 MODEL V PROSTŘEDÍ LOTUS ENGINE SIMULATION

Získané parametry modelu přepisují do prostředí Lotus tak, aby odpovídaly potřebám v jednotlivých blocích. Mezi dílčí bloky, interpretující jednotlivé dílce vedení stlačeného vzduchu nebo dílů sacího traktu, vkládám pomocné prvky určující vlastnosti dělení jednotlivých větví. Tyto prvky vnášejí do výpočtu ztráty a zpřesňují tak výsledky. Nevýhodou je delší výpočetní čas jednotlivých kroků [22].

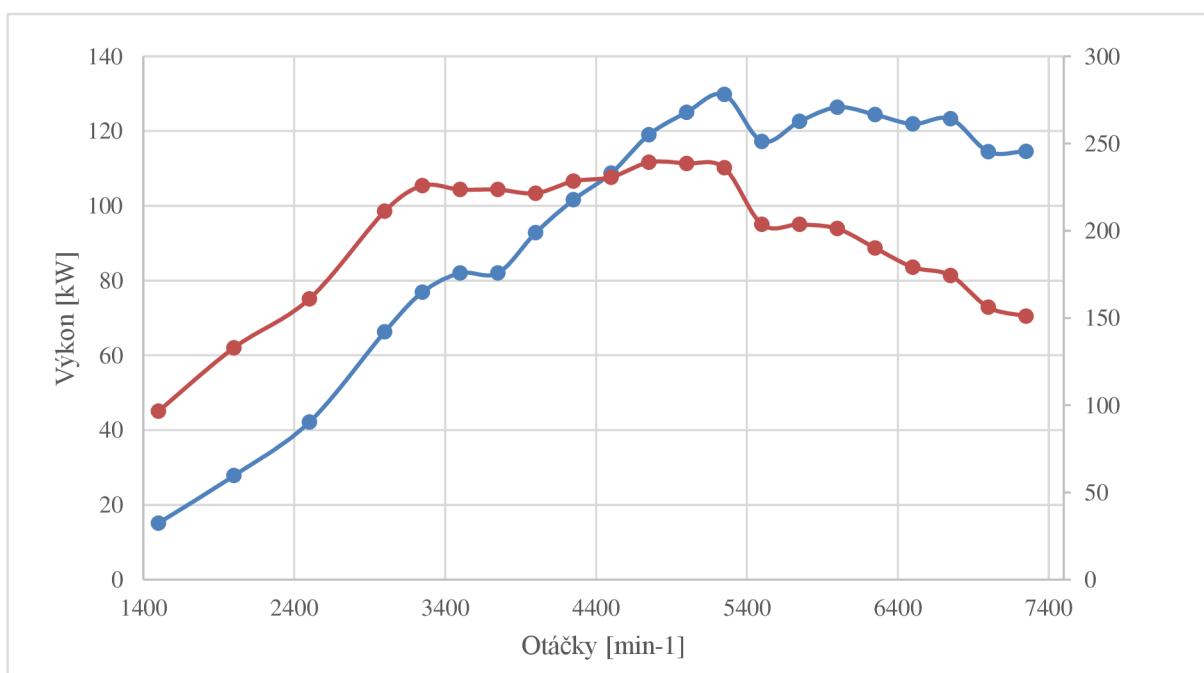


Obr 27 Schématické znázornění motoru v preprocesoru programu Lotus Engine Simulation

V levém horním rohu vidíme symbol nádrže, ve kterém se zadávají vlastnosti použitého paliva. V pravém rohu potom sání motoru značené modře a výfuk motoru značený oranžovou barvou. Parametry představující sání jsou v normálním případě okolní podmínky. V našem případě je to absolutní tlak v sání a teploty v sání. Na straně výfuku je to hlavně protitlak způsobený turbínovou částí turbodmychadla [22].

3.4.2 VNĚJŠÍ CHARAKTERISTIKA MOTORU

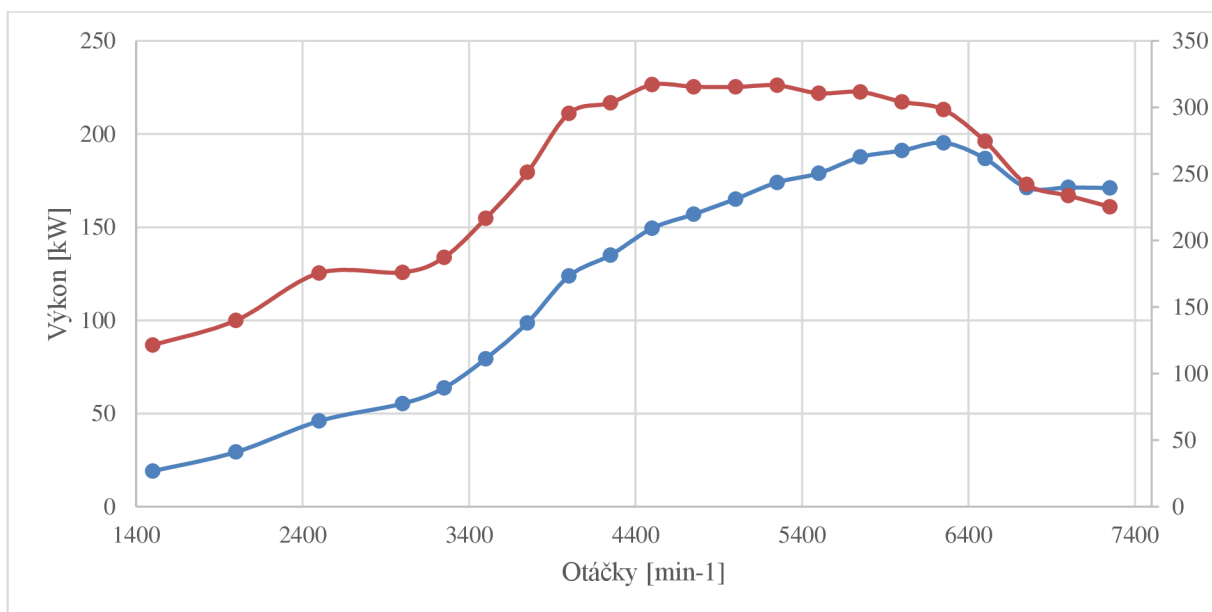
V nastavení samotného řešiče programu Lotus Engine Simulation volím předpokládaný rozsah otáček motoru. Vlhkost vzduchu neuvažuji. V dalším nastavení hodnot, které nebyly zjišťovány, jako je rychlost hoření směsi ve válci nebo nastavení modelu tření, postupujeme z dříve vysvětlených důvodů nastavením výchozích hodnot. Hodnoty předstihu upravujeme dle obecně známých nastavení motorů Nissan [15].



Graf 1 Výsledek simulace motoru se zadanými továrními hodnotami

V prvním grafu vnější otáčkové charakteristiky je vidět průběh výkonu a točivého momentu motoru s nastavením hodnot délky vzduchového vedení, předstihu a tlaku turbodmychadla odpovídající parametrům udávaných výrobcem, stejně jako hodnotu přibližné teploty nasávaného vzduchu vzhledem k okolnostem zástavy mezichladiče naznačené v odstavci 4.1.

Druhý graf vnější otáčkové charakteristiky je pro model motoru, ve kterém jsou použity parametry stávajícího upraveného motoru. Hodnoty tlaku v sacím traktu jsou nastaveny na hodnoty udržované přepouštěcím ventilem turbodmychadla. Hodnoty v nižších otáčkách volím z dat získaných datalogem na funkčním motoru.



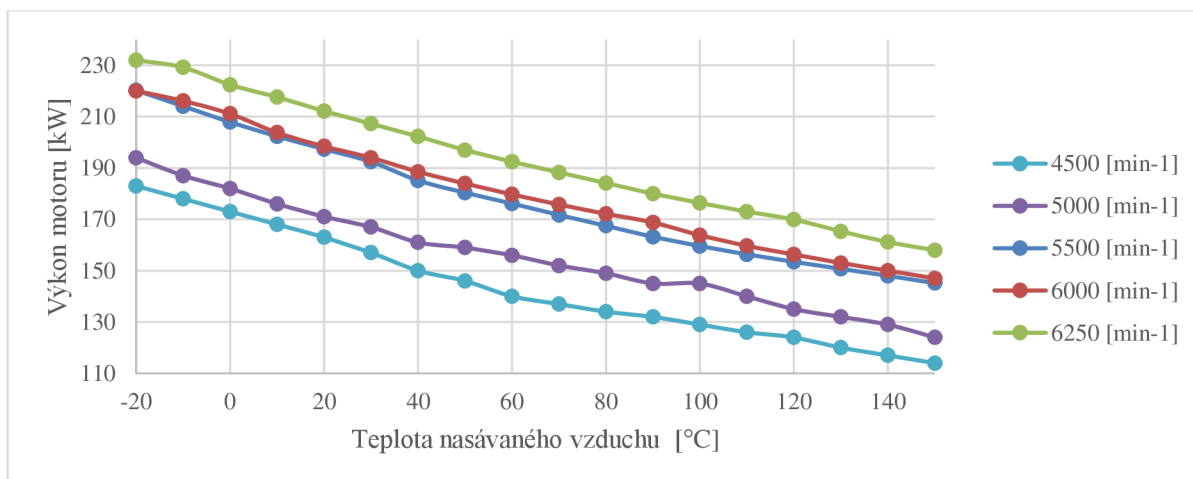
Graf 2 Simulace výkonových vlastností upraveného motoru

Z grafů jsou patrné zcela jiné průběhy momentů a výkonů motoru. To je způsobeno zejména změnou tlaku v sání motoru. Ta je zapříčiněna především změnou turbodmychadla, ale také úpravou hodnoty použité pro regulaci obtokovým ventilem turbodmychadla. Dalším faktorem určující průběh momentu a výkonu motoru je protitlak ve výfuku. Ten byl stanoven na základě měření z velmi podobného motoru [18].

Dalším využitím simulace bylo posouzení využitelnosti továrního palivového systému. Ze simulace jsme získali maximální hodnotu měrné spotřeby paliva, díky které bylo zjištěno, že tovární vstřikovače s průtokem 377cc by byly v bodě maximálního výkonu otevřené více než 92% pracovního času. Proto bylo přistoupeno k náhradě vstřikovačů s hodnotou 560cc. Tyto vstřikovače budou mít dostatečnou rezervu a nebude tak hrozit spalování chudé směsi při testování.

3.4.3 VLIV TEPLoty NASÁVANÉHO VZDUCHU NA VÝKONOVÉ PARAMETRY MOTORU

Pro další posuzování motoru byl záměr zjistit přesnější závislost teploty vzduchu na výkonové parametry motoru v různých otáčkách. Teplotní rozsah byl stanoven s velkou rezervou. Předpokládaný pracovní rozsah bude pravděpodobně mezi 25-70 °C.

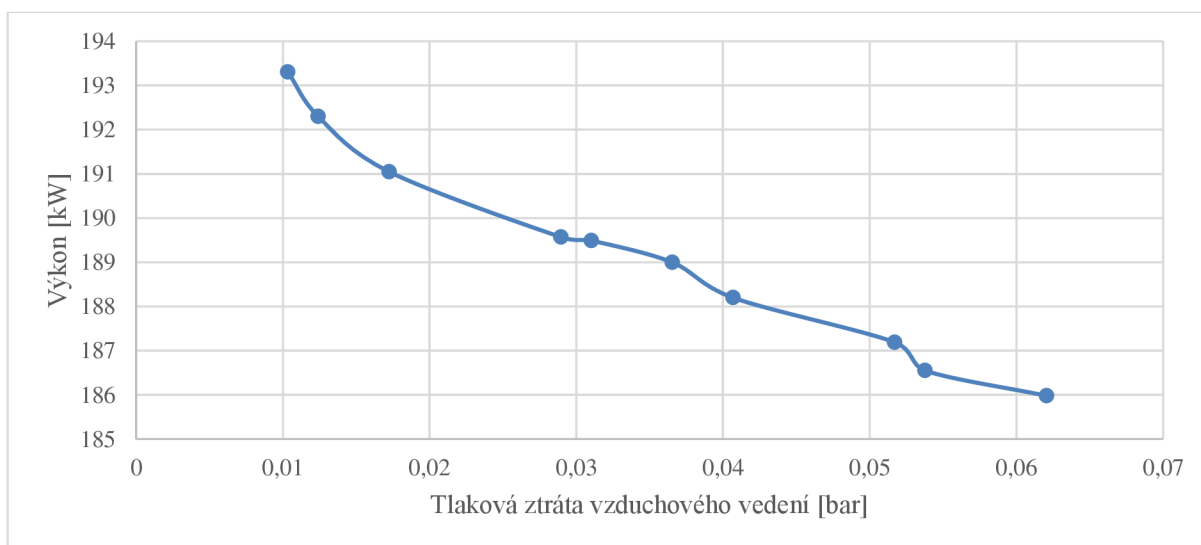


Graf 3 Závislost teploty vzduchu na výkonu posuzovaného motoru pro různé otáčky

Z hodnot průběhů výkonů je vidět závislost výkonových vlastností motoru popsány v kapitole 2.1.1. Konstrukce chladiče vzduchu, jeho zástavba a výkonová závislost pro tento konkrétní vůz je tak naprosto zásadní. Důležité je dbát také na co nejkratší možnou dráhu použitého systému chlazení, která nám ovlivňuje reakční čas motoru na změnu zatížení. Ta je daná celkovým objemem použitého chladičícího systému, jeho tlakovými ztrátami a použitím turbodmyhadla.

3.4.4 VLIV TLAKOVÝCH ZTRÁT V SACÍM TRAKTU NA VÝKONOVÉ PARAMETRY MOTORU

Vliv tlakové ztráty můžeme předem odhadnout za pomoci zpracování do modelu Lotus Engine Simulation. Určení délky sání k mezichladiči závisí od předběžné délky sání v rámci karoserie. Hodnoty tlakových ztrát mezichladiče použijeme dodané jedním z největších výrobců mezichladičů. Uvažujeme různé modely mezichladičů, běžně dodávané a používané v motorportu a takové, které by mohly být potenciálně zastavěny do posuzované karoserie [16].



Graf 4 Tlaková ztráta vzduchového vedení

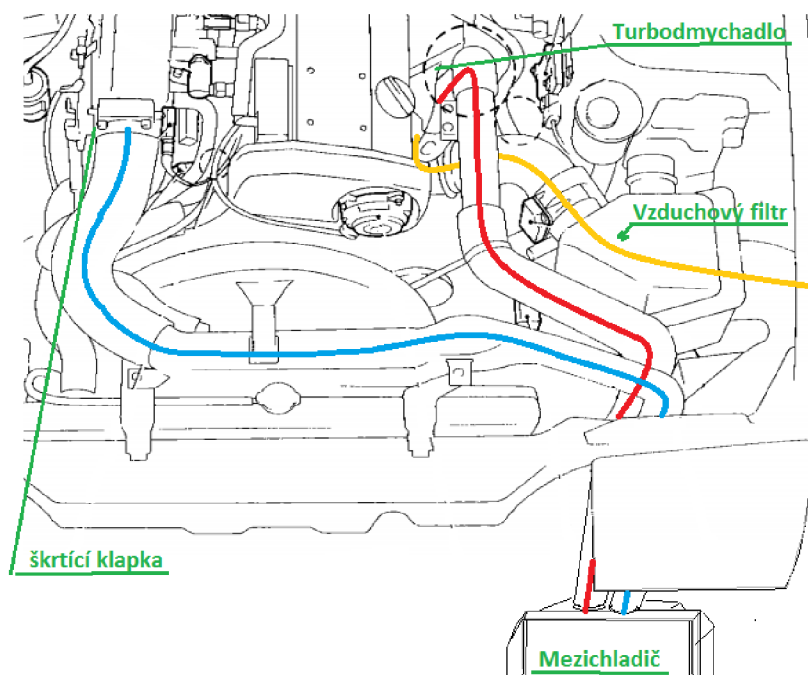
4 NOVÝ SYSTÉM PRO CHLAZENÍ STLAČENÉHO VZDUCHU

Výchozím stavem pro zástavbu nového systému chlazení motoru je tovární stav karoserie. Tento stav bude nutné lépe analyzovat a uvážit rozmístění všech důležitých komponent motoru. Na základě této analýzy určíme možný zástavbový prostor s uvážením důležitých prvků příslušenství motoru a vozu. Toto příslušenství je možné zaměnit nebo změnit jejich pozici, vždy je ale třeba dbát omezení v pravidlech pro danou kategorii CDS SEMI-PRO. Potažmo vyšší kategorie pro udržitelnost řešení mezi sezónami tak, jak je popsáno v kapitole 1.2.

4.1 ANALÝZA ZÁSTAVBOVÉHO PROSTORU – VYUŽITÍ 3D SKENOVÁNÍ

System, který vozidlo využívá z výroby, byl v době své produkce pravděpodobně hodně utlačen zástavbovým prostorem. Vozidlo s nízkým profilem karoserie a s velkým množstvím doplňkového příslušenství nenechalo mnoho prostoru v čelní části vozu také kvůli použití výklopných světel, která definují tvar přední části skeletu. Stlačený vzduch je veden od turbodmychadla vedením z ABS plastu kolem části sacího potrubí od filtru k turbodmychadlu. Dále pak do levé kapsy před předním kolem.

Zde je umístěn malý mezichladič stlačeného vzduchu typu Vzduch-Vzduch o rozměrech chladicího jádra 250x200x50mm. V těchto místech byly rozměry chladiče omezeny prostorem v nárazníku a světlou výškou vozu. Chladicí vzduch je přiváděn otvorem v nárazníku vozu o rozměrech 200x115mm. V tomto prostoru je umístěna také robustní ochranná a estetická mřížka. Intercooler má vlastní plastový přívod z otvoru v nárazníku a odvod v otvorech podběhu kola. Vzduch za mezichladičem je dále veden tvarovanými hliníkovými koleny směrem ke kapotě vozu a následně přímo nad vodním chladičem ke škrťací klapce [15].



Obr. 28 Výchozí systém chlazení stlačeného vzduchu [15]

Je evidentní, že vzhledem k přísunu vzduchu k mezichladiči a jeho rozměrům, je v tomto případě chlazení poněkud poddimenzováno. Navíc má toto řešení poměrně dlouhou trasou vedení stlačeného vzduchu.

Pro návrh nového systému tak, aby dokázal vhodně využít zástavbový prostor, by nebylo jednoduché namodelovat možné prostupy karoserií a složité tvary lisovaných dílů. Proto volíme 3D skenování celé přední části vozu včetně motoru tak, abychom mohli efektivně zvolit typy a rozmístění jednotlivých komponent v rámci motorového prostoru pro jednotlivé varianty chlazení stlačeného vzduchu.

4.1.1 MICROSOFT KINECT SENSOR

Pro tvorbu 3D skenu využijí hloubkový senzor Microsoft Kinect sensor V1. Nejčastější využití tohoto senzoru je pro herní konzoli Xbox. Je tím pádem dobře dostupný široké veřejnosti. Microsoft při vývoji tohoto zařízení v roce 2011 vydal knihovnu software Kinect SDK (software development kit) a do nabídky přidal kabel, kterým bylo možné přistupovat k zařízení skrze USB rozhraní. Tímto otevřel dveře vývojářům software, kteří na tento snímač začali nadstavovat vlastní prostředí.



Obr. 29 Microsoft Kinect Sensor [21]

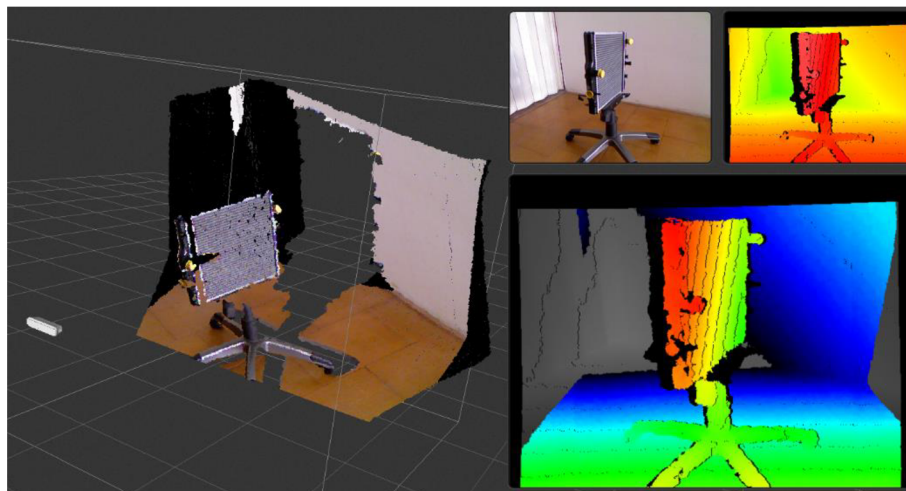
Senzor disponuje IR projektorem, IR CMOS kamerou a Klasickou RGB kamerou. IR projektor vysílá mapu bodů o různé intenzitě. Tuto mapu bodů ovlivněnou povrchem scény snímá IR kamera. RGB kameru je možné použít k rozpoznávání tvarů nebo načtení barevného schématu scény. Kamery mají rozlišení 1280x1024 bodů a jsou schopné pracovat s 30 snímky za sekundu. Mimoto je senzor schopný snímat stereo zvuk ze čtyř mikrofónů [21].

4.1.2 PROSTŘEDÍ SKANECT

Po vydání veřejné knihovny Kinect SDK začalo téměř okamžitě mnoho vývojářů toto zařízení testovat a využívat pro různé aplikace. Jednou z nich je 3D skenování objektů a převádění množství bodů do exportovatelných sítí. Při postupné analýze použitého a dostupného software byly otestovány tři nejznámější volně dostupné aplikace. První je ReconstructMe. Tento software je použitelný, avšak jeho interpretace výsledků není tolik vhodná pro potřeby této práce. Dalším je program Artec Studio. Tento software je uživatelsky mnohem přívětivější, avšak jeho volně dostupná verze neumožňuje exportovat skenované sítě do běžných formátů. Poslední software je prostředí Skanect. Toto je optimalizované hlavně pro použití senzoru Kinect. Díky tomu je jeho instalace a nastavení poměrně intuitivní a přehledné bez nutnosti

kalibrace. Export je ve volně použitelné verzi omezen na množství styčných bodů při exportu. Na drobné objekty je toto omezení dostačující a větší lze k sobě spojovat [20][19].

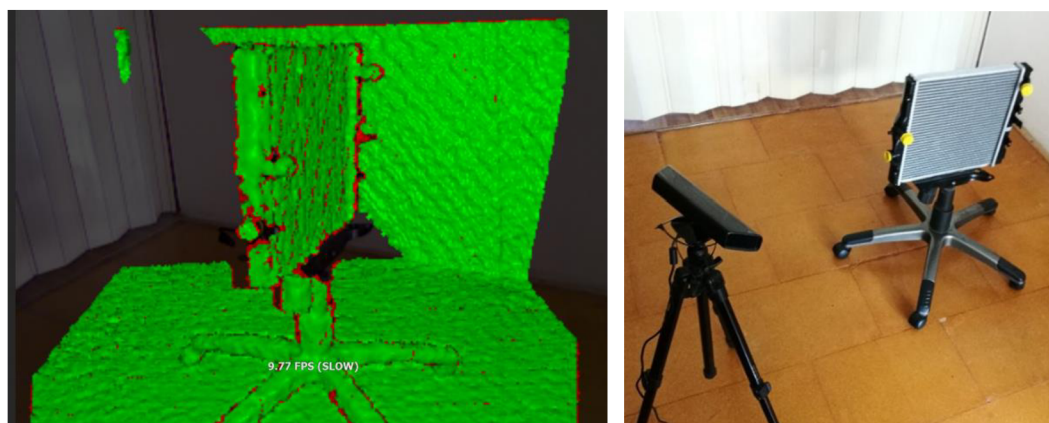
Program Skanect používá několik zobrazovacích režimů, kterými při postupu tvorby sítě skenovaného objektu postupujeme. Na obrázku 30 je vidět přípravný zobrazovací režim. V levé části je vidět krychle, jejíž rozměry volíme v přípravném okně před tímto režimem.



Obr 30 Prostředí Skanect – příprava skenování

Krychle udává skenovaný prostor, ve kterém se objekt nachází. Vynechá z něj tak rovnou nežádoucí okolní objekty, které by jinak senzor zaznamenával. V pravém horním rohu je vidět obraz RGB kamery a kompletní hloubkové schéma scény. V pravém dolním okně je vidět hloubkové schéma v daném skenovaném prostoru.

V dalším okně nalezneme prostředí pro samotné skenování. V tomto okně vidíme živě na skenovanou plochu modelu a zároveň počet snímků za sekundu. Skenování je hodně závislé na výkonu použitého počítače. Software je schopný pracovat na základě výkonu procesoru. Lepší je ale použít sestavu s podporovanou grafickou kartou. Použitím vhodného PC se můžeme dostat přes 30 snímků za sekundu. V takovém případě je skenování značně usnadněno a nedochází tak často k destrukci nebo chybám modelu. Vhodné je v této fázi použít na důležitých místech pomocné objekty, které nám velmi usnadní jak samotné skenování, tak následnou úpravu modelu. Skenovat můžeme se staticky umístěným senzorem a rotujícím skenovaným objektem nebo obcházením se senzorem kolem statického objektu.



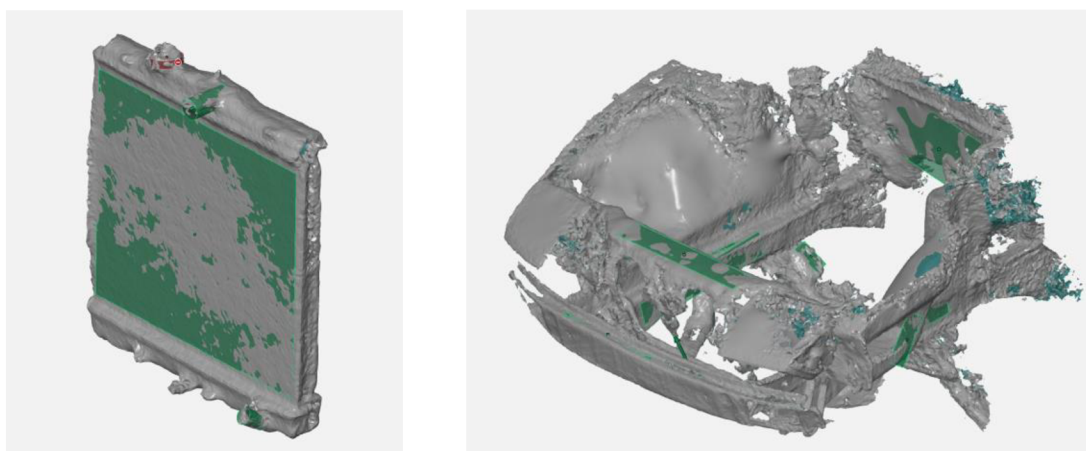
Obr.31 Skenování pomocného chladiče vodního intercooleru v prostředí Skanect

Po úspěšném naskenování objektu z požadovaných úhlů pohledu, přepneme do předposlední části programu Skanect. Tato část je věnovaná jednoduchým úpravám naskenovaného modelu. Například ořezem nadbytečných objektů při skenování. V případě na obrázcích můžeme takto například odstranit podlahu i stojan. Je zde možné udat základní souřadný systém nebo upravovat barevné textury objektu. Poslední část programu je věnovaná exportu sítě do běžně používaných formátů. K dispozici jsou formáty .PLY, .OBJ, .STL nebo .VRML. Můžeme zadat ukládání barev k síti nebo zde zjednodušit množství bodů. Také se zde zadávají použité jednotky výstupu. Export bude dále upravován v programu GOM Inspect, volíme tedy export v milimetrech bez barev ve formátu .STL.

4.1.3 PROSTŘEDÍ GOM INSPECT

Po naskenování všech potřebných dílců jako je karoserie, motor, výztuhy karoserie a přední nárazník přistupujeme k úpravě těchto skenů. Software pro úpravu sítí byl zvolen Inspect od společnosti GOM. Společnost GOM se zabývá vývojem a výrobou přesných strojů a systémů pro 3D měření. Dále pak vývojem analytického software pro zpracování ručního i automatizovaného měření. Program GOM inspect je podpůrný program dodávaný jako podpora pro měřicí stoly GOM, ty jsou velmi často využívány v automotive oboru a nejen tam. Možnosti použití programu GOM Inspect jsou rozsáhlé. Program nabízí například porovnání skenovaných součástí s 3D modelem. Toho jde perfektně využít například pro porovnání skutečné geometrie výrobku s konstrukčním návrhem a provést tak technologické úpravy k minimalizaci rozdílů. Je to tedy nástroj také pro řízení a kontroly výroby [24].

V této práci využijeme pouze části software nazvanou úprava sítě. V této části můžeme upravovat často značně poškozenou síť vzniklou 3D skenováním. Je možné odstraňovat přebytečné prvky sítě nebo zacelovat trhliny. Stejně tak můžeme vyhlazovat síť. Této funkce bylo využito poměrně často kvůli zašumění hloubkových dat skenováním senzorem Kinect. Hlavní důvod použití programu GOM Inspect byla možnost vkládání jednoduchých geometrických tvarů do modelu. Program má vestavěný algoritmus, který se snaží při označování jednotlivých částí sítě těmito body proložit zvolený typ jednoduchého objektu. Tímto nástrojem vytvoříme na skenovaných objektech plochy, koule nebo válce, které nám pomůžou například při sestavení více rozměrných skenů dohromady (na obrázcích zeleně), nebo při sesazení motoru s karoserií. Použiji je také na vstupech a výstupech následně skenovaných chladičů [24].



Obr. 32 Skeny po úpravě v prostředí GOM Inspect

4.1.4 PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS

Po upravení veškerých součástí v programu GOM Inspect jsou exportovány sítě dále ve formátu .STL a pomocné plochy a objekty ve formátu .IGES. Tyto soubory jsou následně importovány do CAD software SolidWorks od společnosti Dassault Systemes. V tomto programu vždy jednotlivé .STL soubory importujeme jako grafiku. Tímto krokem se vzdáváme jakékoliv možnosti s nimi dále pracovat. V SolidWorks je budeme dále používat jen pro vizuální představu o možných kolizích. Tento krok je použit hlavně pro zjednodušení a urychlení práce se sestavami. Proto bylo důležité naskenování dostatečných počtů podpůrných objektů a jejich následné převedení v GOM inspect na plochy a jednoduchá tělesa. Tato jednoduchá tělesa totiž v SolidWorks převádíme ukládáme jako .sldprt čili soubor SolidWorks. Následně obě části spojujeme vždy v jednu sestavu obsahující jak grafiku, tak podpůrná tělesa.

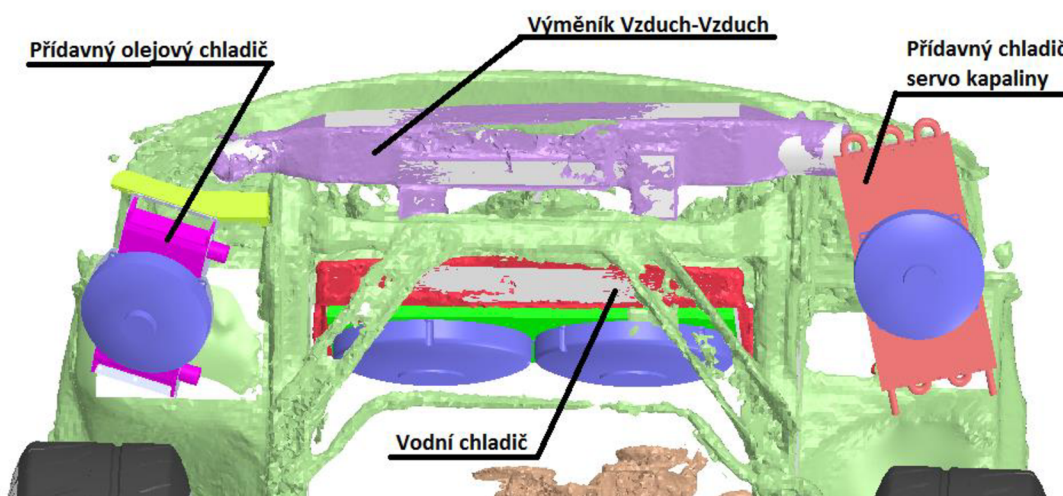
Z těchto sestav byla sestavena výchozí sestava, která obsahuje jednotlivé konstrukční celky, jež mají v karoserii své pevné místo nebo s nimi bude možno dále pracovat. V tomto kroku jsou také vymodelována jednoduchá tělesa, která bude nutné také umístit do motorového prostoru a je tedy třeba s nimi v celkovém konceptu uvažovat. Jedná se zejména o přídavný chladič oleje s ventilátorem a přídavný chladič servo oleje s ventilátorem. Dále ventilátory vodního chladiče a mezikus mezi nimi a chladičem.

4.2 VOLBA METOD CHLAZENÍ PRO TESTOVÁNÍ

Pro další testování bylo postupně vytvořeno několik variant, které by mohly být v praxi realizovatelné. Postupně byly také prověřeny alternativní montáže a záměny rozmístění jednotlivých konstrukčních celků v rámci karoserie tak, aby bylo dosaženo co možná nejlepšího rozmístění chladičů. V rámci těchto variant byly postupně prověřeny často používané možnosti zástaveb jako TMIC, FMIC a Vmount tak, jak jsou znázorněny v kapitole 2.4.1. Jednou z variant bylo také rozdělení chladičů do menších celků, aby bylo možné využít lépe otvory v nárazníku vozu. Po nalezení vhodné varianty byly zvoleny chybějící nejvhodnější komponenty a zasazeny do modelu.

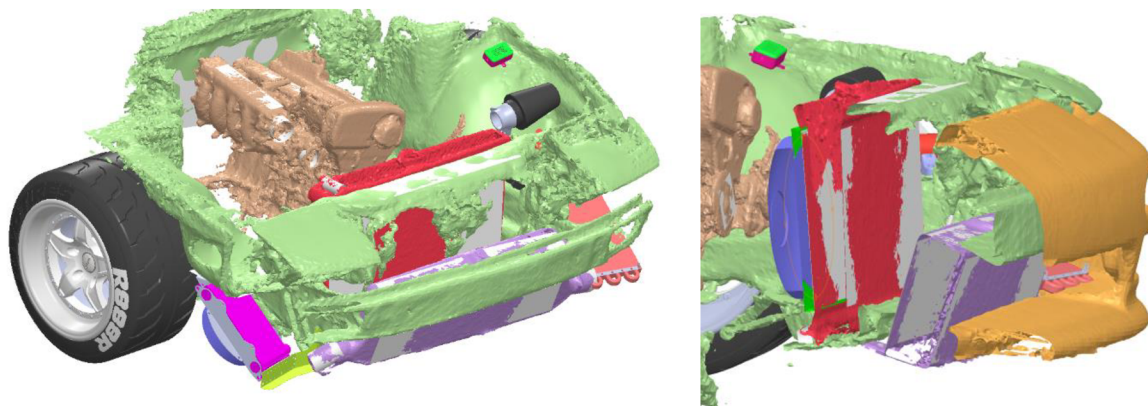
4.2.1 VÝMĚNÍK VZDUCH-VZDUCH

Z testovaných variant s dostupnými chladiči byla nakonec zvolena tato varianta pro použití výměníku Vzduch-Vzduch. Tento je umístěn za výztuhu nárazníku a před karoserii vozu, tedy



Obrázek 33 Rozložení chladičů ve variantě Vzduch-Vzduch

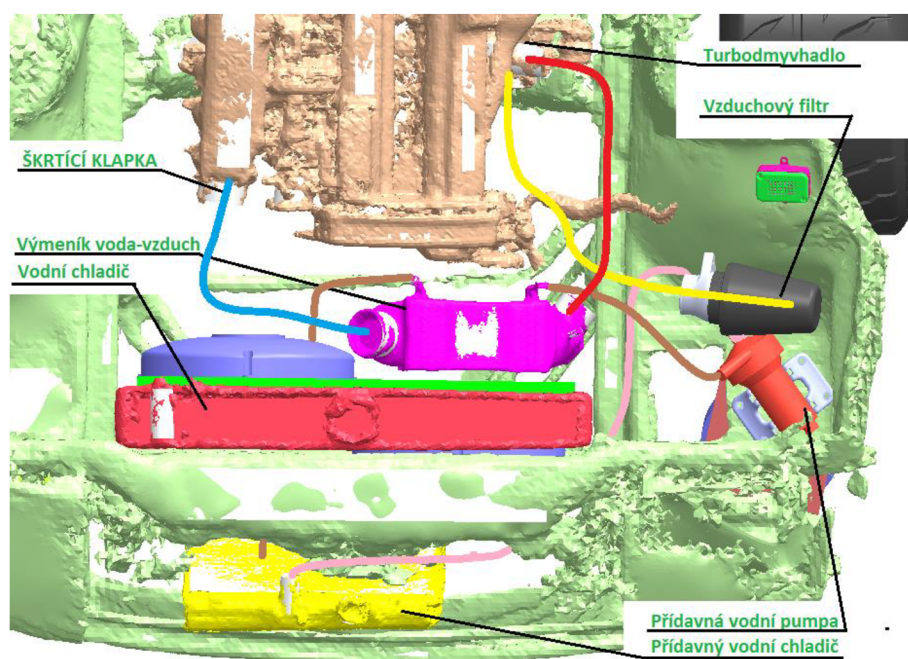
jako varianta FMIC. Toto řešení bylo z možných zástaveb vybráno také díky sdílení velkého množství ostatních zástavbových komponent s dalším konstrukčním návrhem.



Obrázek 34 Rozložení ve variantě Vzduch-Vzduch pohled včetně nárazníku

4.2.2 VÝMĚNÍK VODA-VZDUCH

Druhý konstrukční návrh je varianta chlazení stlačeného vzduchu za pomoci mezichladiče Voda-Vzduch. V tomto případě dosáhneme téměř nejkratší možné dráhy vedení stlačeného vzduchu od turbodmyhadla po škrtkovací klapku. Odstranění původního ventilátoru, montovaného skrze viscospojku na hřídel vodní pumpy, přidalo v přední části množství prostoru. Ventilátor byl nahrazen dvěma elektrickými ventilátory s malou hloubkou potřebnou k zástavbě. V rámci úprav chladicího okruhu vozu byl tovární vodní chladič nahrazen celohliníkovou variantou. Nový chladič již není jednořadý, nýbrž tvořený třemi řadami žebér pro průtok chladicí kapaliny. Pro použití chladiče Vzduch-Vzduch jsou ventilátory sací, usazené ze strany motoru. Ve



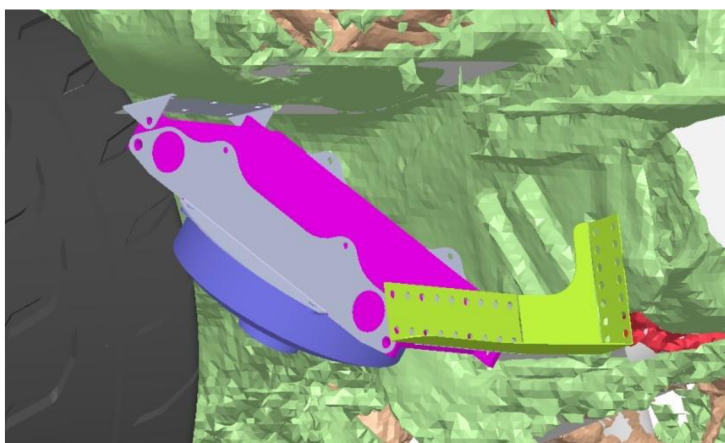
Obr 35 Zástavba mezichladiče Voda-Vzduch

variantě Voda-Vzduch je jeden ventilátor vodního chladiče ponechán stejně a druhý je zaslepen, nahrazen tlačnou variantou a přemístěn před vodní chladič. Na jeho místo je připevněn mezichladič.

Pro použití tohoto typu chlazení byl jako přídatný vodní chladič zvolen vodní chladič z vozu Honda Civic páté generace, zejména pro své zástavbové rozměry a snadnou dostupnost v případě poškození na závodech. Vodní pumpa byla zvolena od firmy Bosch. Její vlastnosti jsou popsány v katalogu Bosch motorsport. Toho bylo využito pro převzetí rozměrů ještě před dodáním pumpy i v tomto návrhu zástavby. Pumpa byla také montována například do vozů Land Rover pro nezávislé vytápění. Její pozitivní vlastnosti jsou tedy kompatibilita se vstupy a výstupy použitých chladičů, robustnost a dostupnost nového dílu v případě poruchy.

4.2.3 NÁVRH ZMĚNY UMÍSTĚNÍ CHLADIČŮ A VÝROBY PŘÍSLUŠENSTVÍ

Díky zásadním koncepčním změnám rozmístění chladičů v rámci obou hlavních větví je třeba přepracovat konstrukci držáků chladiče motorového oleje včetně ventilátoru. Stejně tak chladiče servo kapaliny. Tyto chladiče nejsou v tovární koncepci vůbec zahrnuty. Pro zatížení motoru na závodním okruhu jsou ale nezbytné.

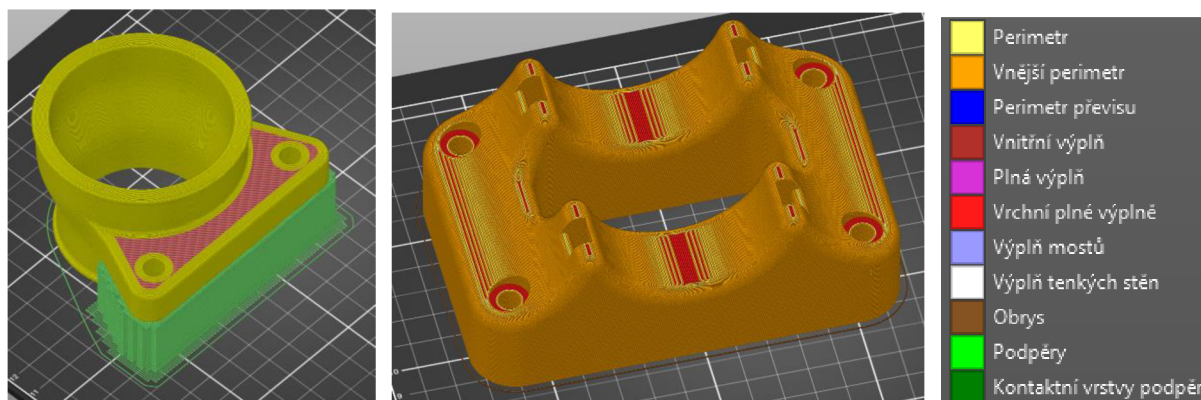


Obr. 36 Návrh zástavby olejového chladiče v jeho novém umístění

Nové prototypové držáky chladičů, jako například držáky olejového chladiče na obrázku 36, byly navrženy pro výrobu jako CNC laserové výpalky z velkoformátových plechů válcovaných za studena, z běžně dostupného materiálu s označením DC01 s následnými ohyby na ohraňovacím lisu. Následná povrchová úprava byla provedena mokrým lakováním polyuretanovým lakem Selemix.

Další prvky, jako je prototypové uložení vodní pumpy nebo držáky vzduchového filtru a různých senzorů v motorovém prostoru byly navrženy pro výrobu metodou 3D tisku. Zvolená metoda 3D tisku je metoda FDM. Tato metoda používá nanášení tenkých vrstev nataveného materiálu za pomoci souřadnicemi polohovatelného dávkovače na vyhřívanou podložku. Právě ono vrstvení jednotlivých vrstev má velký vliv na mechanické vlastnosti vytištěného vzorku v jednotlivých osách. Jako materiál použiji pro první prototyp držáku vzduchového filtru a zároveň všechny ostatní díly materiál PETG. Ten není tolik náchylný na vnější vlivy jako běžně používaný PLA zároveň je pro tisk na běžných tiskárnách lépe využitelnější než Nylon. Z tohoto materiálu jsou navrženy provozní prototypy uložení přídatné pumpy a držák

vzduchového filtru. Spojovací materiál a spojovací vedení vzduchu a vody trubkami a hadicemi do modelu nezahrnují, avšak je s ním v návrhu uvažováno. V praxi bude toto vedení vytvořeno z univerzálních hadic a hadicových kolen pro rychlou přestavbu v průběhu testování [25].



Obr. 37 Tvorba výrobního g-kódu pro 3d tisk v Prostředí PrusaSlicer

4.2.4 NÁVRH DALŠÍCH METOD SNÍŽENÍ TEPLoty NASÁVANÉHO VZDUCHU

Pro použití v následných zkouškách je možné použít přídatnou vodní pumpu jako zdroj tlaku vody pro ostřík výměníku Vzduch-Vzduch vodou. Tato metoda je teoreticky rozepsána v kapitole 2.4.2. Montáž trysek, které budou ostříkovat chladič vodní mlhou, je provedena přímo na chladič. Do 3D modelu je tedy skrze malé zástavbové rozměry nezahrnují.

Pro použití ostříku CO₂ by bylo nutné značné přepracování jedné z koncepcí v průběhu testování. Je poměrně náročné na zástavbu a pro ověření a testování jeho vlivu na parametry motoru, ale není nutná jeho pevná montáž. Při uvážení použití vozidla a charakteru tratí v CDS v dané kategorii (viz odstavec 1.3) použijeme místo pevné zástavby pro ostřík mezichladiče Vzduch-Vzduch sněhový hasící přístroj s CO₂.

Poslední variantou k úpravě vlastností stávajících navržených variant je vložení ledu přímo do sacího traktu, pokud to bude možné použít skrze praktickou zástavbu chladiče a použitého vedení. Princip a vlastnosti této metody je popsán v kapitole 2.4.5.

4.3 ZÁSTAVBA KOMPONENT

Dle zvoleného návrhu z předchozí kapitoly byly systémy chlazení rozpracovány do jednotlivých výrobních celků a zadány do výroby. Následně byla provedena montáž a jednotlivé celky byly připraveny k měření.

4.3.1 ZÁSTAVBA VÝMĚNÍKŮ A UPRAVENÝCH KOMPONENT



Obr. 38 Ukázka zástavby výměníku Voda-Vzduch

Zástavba komponent musela být v některých místech lehce upravena kvůli pružnosti některých element. Zejména pak nárazníku a blatníků, pod které se muselo přesné usazení upřesnit přiměřením. S tím se v návrhu počítalo a veškeré spojovací prvky byly navrženy tak aby se daly v případě potřeby například zrcadlově otočit a pokrýt tak montážními otvory jinou část prostoru.

ZÁSTAVBA NOVÉHO UMÍSTĚNÍ OLEJOVÉHO CHLADIČE A PŘÍSLUŠENSTVÍ

Stejně jako tak jak bylo dříve již popsáno i ostatní příslušenství byla zastavěna do karoserie, bylo přitom dbáno na zamezení případným kolizím vlivem vibrací karoserie nebo motoru. Všechny pevné hliníkové trubice jsou vedeny přes pružné spojky aby nedocházelo k přenosu vibrací z motoru na karoserii vozu.



Obr. 39 Zástavba přidavných olejových chladičů a přidavného vodního chladiče.

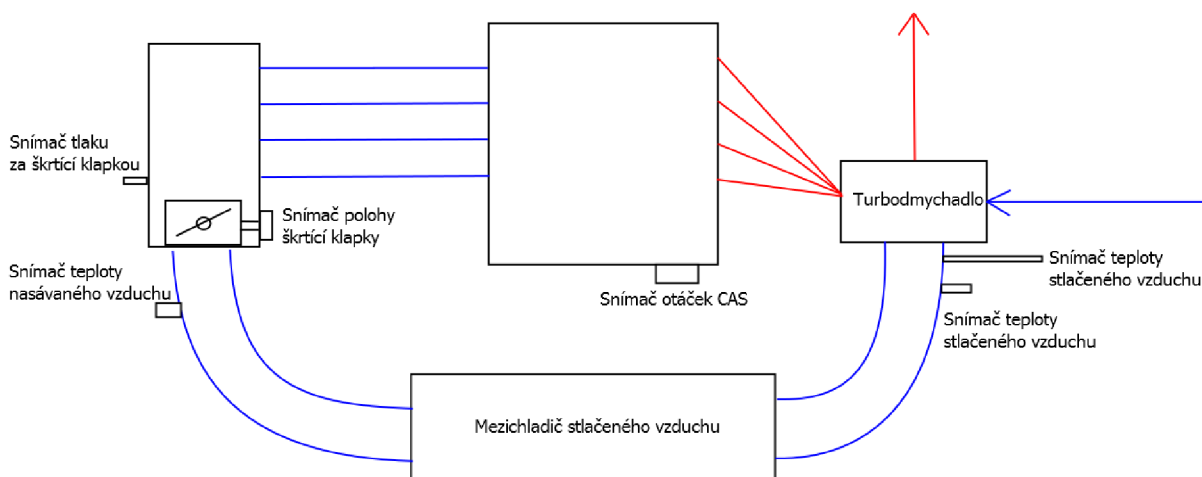
5 NÁVRH METODIKY MĚŘENÍ

Pro praktické ověření simulace provedené v kapitole 3 byla navržena metodika měření a ověření výsledků. Pro celkovou sestavu motoru a chlazení motoru je třeba vybrat vhodný způsob sběru jízdních dat při testování a také zhodnocení dosažených výsledků.

5.1 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Díky rozsáhlým změnám způsobených zástavbou nového systému chlazení se již nevyplatí upravovat stávající kabelový svazek a přidávat k němu měřicí zařízení. Rozsah měřených hodnot, která promlouvají do měření a hodnocení chladičů, je velké množství. Stávající tovární jednotka neuvažuje možnost jakékoliv použitelné a zdokumentované komunikace nebo odesílání zpracovávaných parametrů.

Z výše uvedených důvodů je zvolena nová závodní jednotka motoru, která bude současně schopná logovat všechny potřebné údaje o systému chlazení stlačeného vzduchu. Použitá jednotka je zařízení firmy Ecumaster, konkrétně model EMU-Classic. Toto zařízení disponuje velkou řadou vstupů a výstupů, které je možné použít, případně částečně upravit v prostředí ecumaster v PC [27].



Obr. 40 Rozmístění snímačů v motorovém prostoru

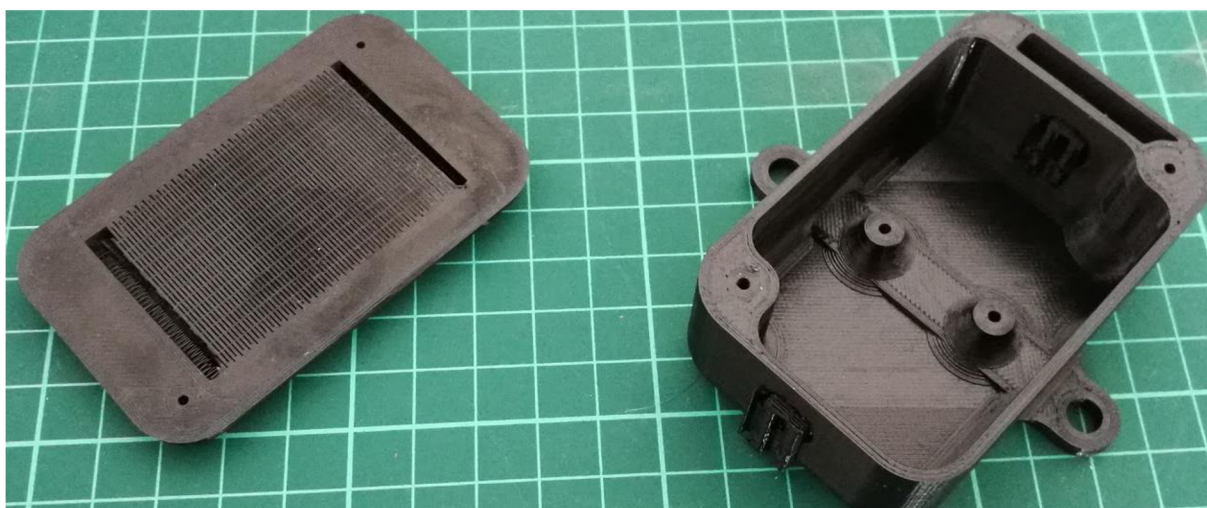
Zařízení musí být schopné měřit teplotu a tlak za turbodmychadlem, a také za škrťací klapkou, tak, abychom mohli zjistit tlakové a teplotní ztráty ve pro různé varianty systémů chlazení stlačeného vzduchu. Aby bylo měření objektivní, bude nutné měřit také otáčky motoru a jeho zatížení. Pro porovnání vlivu smyku vozidla na parametry chlazení je také třeba znát rychlost vozidla, případně úhel smyku.

5.1.1 MĚŘENÉ VELIČINY A POUŽITÉ SENZORY ČÁSTÍ MOTORU

Pro měření parametrů motoru bude zásadní znát otáčky motoru. Toho bude dosaženo použitím Továrního snímače na vačkové hřídeli zvaného CAS. Jednotka ecumaster má parametry tohoto snímače ve své databázi. Nebude třeba do něj tedy nijak zasahovat. Dalším důležitým parametrem bude zatížení motoru dané polohou škrťací klapky. Tento parametr je snímán potenciometrem firmy Bosch z katalogu Motorsport, kde jsou popsány jeho parametry, ty jsou třeba pro kalibraci v řídicí jednotce. Snímač je běžně používán v automotive, jeho použití je tedy výhodné díky rychlé nahraditelnosti. Zároveň jej lze použít na stávající škrťací klapku jen

s drobnými změnami a redukcí tvořené CNC laserovým výpalkem. Jednotka ecumaster má také vestavěný senzor tlaku v sání, ten je tedy přiveden z volného vyústění v sacím traktu. Pro běžně používané snímače Bosch motorsport má jednotka taktéž vlastní knihovny. Pro snímání teploty nasávaného vzduchu je tedy použit jeden z nich.

Pro měření teploty a tlaku za výstupem turbodmychadla využijeme termočlánek MTC11-01-150-300-10 českého výrobce Mavis. Tento termočlánek, jakožto senzor pro měření teploty, využije přímý vstup EGT v jednotce ecumaster. Pro snímání tlaku za turbodmychadlem je použit snímač vzduchu výrobce NXP, konkrétně model MPX5500DP s rozsahem tlaků 0-500kPa. Pro tento snímač bylo nutné vytvořit 3D tištěný obal vzhledem k oblasti jeho zástavby použití. Při návrhu tohoto obalu bylo využito atypických vlastností 3Dtisku technologií FDM a do modelu víka krytu byl za pomoci tenkých prutů vtisknutý filtr proti hrubým částicím. Vstupy pro tlakovou hadici a kabeláž byly po montáži zality silikonem. Snímač je diferenciální a není tak proti znečištění z výroby nijak chráněn. Pro teplotu chladiva vstupujícího do mezichladiče Voda-Vzduch je použit snímač Bosch motorsport běžně používaný pro snímání teploty chladiva motoru.



Obr. 41 Kryt tlakového snímače se zatištěným vzduchovým filtrem

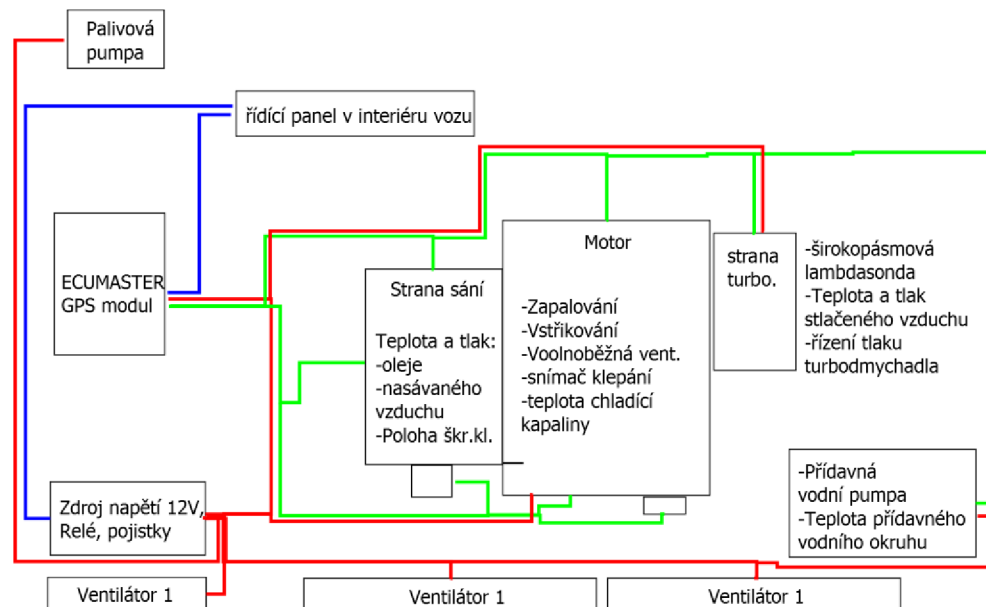
Mimo tyto hodnoty důležité pro měření této práce budou měřeny také hodnoty teploty chladiva motoru, oleje, tlaku oleje, klepání a hodnota bohatosti směsi za pomoci širokopásmové lambdasondy [27][26].

5.1.2 MĚŘENÉ VELIČINY A POUŽITÉ MODULY MĚŘENÍ JÍZDNÍCH DAT VOZIDLA

Hodnoty okolní teploty a tlaku budeme uvažovat jako konstanty, změřené na začátku a konci měření. Pro hodnoty rychlosti vozu a směr pohybu budeme používat hodnoty GPS. Původní záměr použít GPS z mobilního telefonu byl při jízdách zkouškách provedených pro ověření návrhu metodiky měření zavrhnut. GPS v telefonu má malou snímkovací frekvenci a nevhodnou anténu. Proto volíme pro získání GPS dat zařízení s označením S2525F8-GL-RTK EVB. Tento GPS modul dokáže zpracovávat GPS a GLONAS data s frekvencí 10hz a disponuje možností připojení externí antény. Zařízení je schopné komunikovat přes USB rozhraní a ukládá data za pomoci prostředí ve windows. Pro sesazení dat a následnou analýzu využíváme nádstavbu Telematrix nad software Matlab. [28].

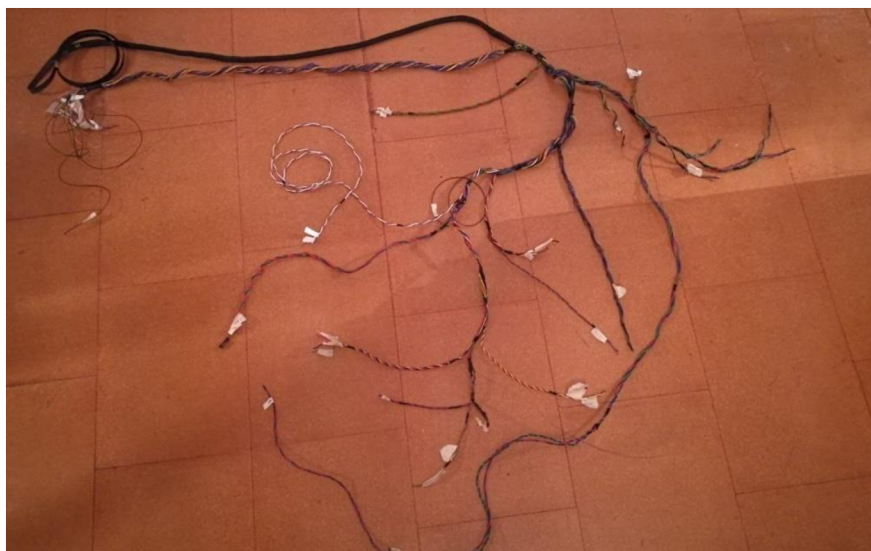
5.1.3 NÁVRH A REALIZACE KABELOVÉHO SVAZKU

V rámci realizace měření bylo třeba navrhnout nový kabelový svazek, jeho zástavbu a rozmístění nových komponent, stejně jako silové části pro napájení jednotlivých výkonových členů, jako jsou ventilátory nebo přídavné vodní čerpadlo. Zelenými čarami na obrázku jsou



Obrázek 43 Schéma kabelových svazků

znázorněny signálové části svazku připojeného k jednotce ecumaster. Výkonová větev je znázorněna červeně. Modře je znázorněno vedení od řídicího panelu ovládaného řidičem. Následně bylo zhotoveno kompletní schéma pro výrobu kabelového svazku, to je přiloženo v příloze. Při výrobě a krimpování kabelového svazku byly použity vodiče s průřezem $0,75\text{mm}^2$ na sensorické části a $1,5\text{mm}^2$ pro výkonové části kabeláže k jednotce Ecumaster. Pro hlavní výkonové části kabelového svazku bylo použito kabelu s průřezem $2,5\text{mm}^2$. Hlavní části výkonového svazku používají vlastní pojistku a relé. Vodiče byly do kabelových svazků stočeny pro zejména lepší manipulaci v motorovém prostoru.



Obr.44 Průběh tvorby kabelového svazku (stáčení vodičů)

5.2 METODIKA MĚŘENÍ

V rámci měření bylo třeba navrhnout takový postup, aby bylo zajištěno co nejlepší možná opakovatelnost. Důležité je také aby jednotlivé testované systémy měly, pokud možno, totožné okrajové podmínky. Ty se velkou měrou mohou přenést do výsledků.

5.2.1 TESTOVACÍ TRATĚ

Samotné měření probíhalo na odstavné letištní ploše LKVY Vyškov. Charakter trati byl navržena tak aby se co nejvíce přiblížila požadavkům CDS zejména pak poloměřům zatáček. Hlavní rozdíl na dané ploše a na tratích CDS je hrubost povrchu. Na odstavné letištní ploše je drážkovaný beton. Tento beton má hodně jiné vlastnosti a dopady na chování automobilu než asfalt použitý na tratích CDS. Mnohem častěji zde dochází k defektům v důsledku rozříznutí pneumatiky ve smyku.



Obr. 45 Profil testovací trati

5.2.2 PRŮBĚH TESTOVÁNÍ

Testovaný systém se vždy testoval na prohřátém motoru s provozní teplotou co nejbližší 90°C chladicí kapaliny a 80°C teploty oleje. Zatáčky se projížděly vždy pod plným zatížením a v pokud možno v obdobném úhlu smyku. Toho nebylo vždy možné dosáhnout. Toto ovlivňuje velké množství parametrů jako jsou teplota pneumatik, a také měnící se charakter trati. Pro naprosto přesné měření by bylo před dalším měřením vždy přezout nové pneumatiky a zamést trať. Také samotná nájezdová rychlost do první zatáčky je extrémě důležitá a ve velké míře ovlivňuje celé měřené kolo. Testované vozidlo nemá funkční tachometr, proto byla hodnota určována pouze jako porovnávací z údaje otáček motoru. I teplota motoru se s průběhem měření měnila a celý motorový prostor se prohříval. Pro měření rozdílů teplot na vstupu a výstupu to bylo dostatečné.

6 OVĚŘENÍ A ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Při porovnávání systémů a jejich alternativních metod vycházíme nejprve ze ztráty teploty při průchodu sacím traktem a jeho vlivu na výkonové parametry motoru. Toho dosáhneme odečtením hodnoty teploty na turbodmychadle od hodnoty za škrtkovací klapkou. Následně podobným způsobem provádíme analýzu pro tlakové ztráty chladiče. Následně obě hodnoty porovnáme a zjistíme který systém má jaký teoretický výkonový zisk na základě výstupů zpětného dosazení hodnot do softwaru Lotus Engine Simulation.

6.1 POROVNÁNÍ VLIVU CHLAZENÍ A TLAKOVÝCH ZTRÁT

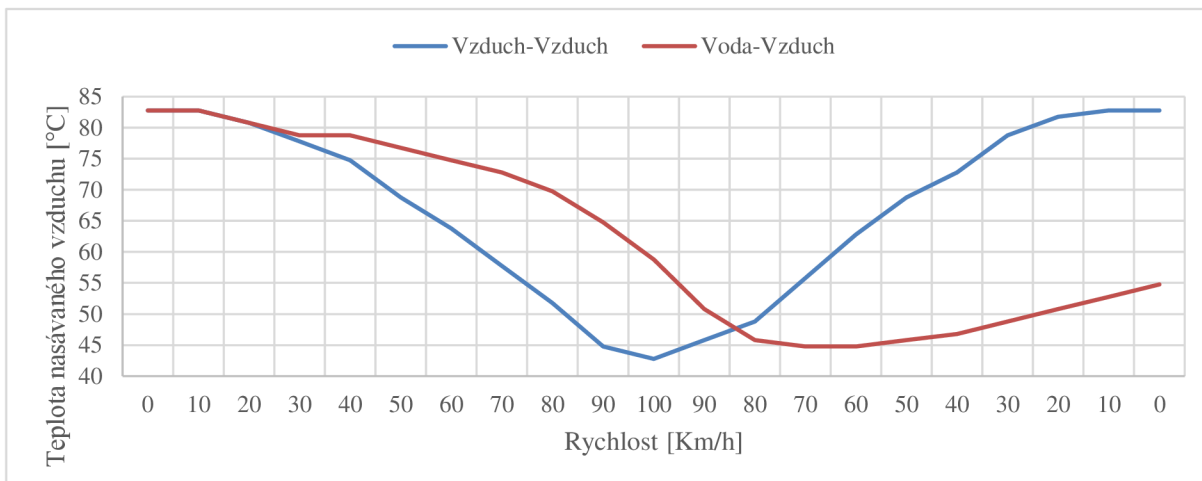
Z proběhlých měření byly zvoleny vždy ty zatáčky, ve kterých vozidlo jelo vůči jednotlivým měřeným zástavbám a metodám podobnou rychlostí a úhlu smyku. Zároveň byly z měřených jízd vynechány ty stavy, ve kterých nepracoval motor v plném zatížení. V případě více jízd s podobnými parametry se hodnoty průměrovaly. V rámci projetých zatáček se nejlépe scházely hodnoty v první zatáčce. V dalších se již okrajové podmínky pro srovnání rozcházely až příliš. První zatáčka byla vždy s nájezdovou rychlostí kolem 110km/h. Při iniciaci řízeného smyku byla rychlost 80km/h a zařazený třetí rychlostní stupeň. S otáčkami v rozmezí 5000-6500 min⁻¹. Z datalogu je pro porovnávané jízdy zvolena v průběhu zatáčky hodnota otáček 5000 min⁻¹. Hodnoty z měření jsme zpětně dosadili do výpočtového modelu programu Lotus Engine Simulation a získali tak následující výsledky pro tento konkrétní měřený bod.

Tabulka 2 Porovnání parametrů v konkrétním bodě

	Rozdíl teploty [°C]	Rozdíl v [Kw]	celkový výkon [Kw]
Vzduch-Vzduch	62	27	158
Voda-Vzduch	75	30	161
Vzduch-Vzduch + vodní ostřík	73	31	162
Vzduch + co2 ostřík	85	35	166

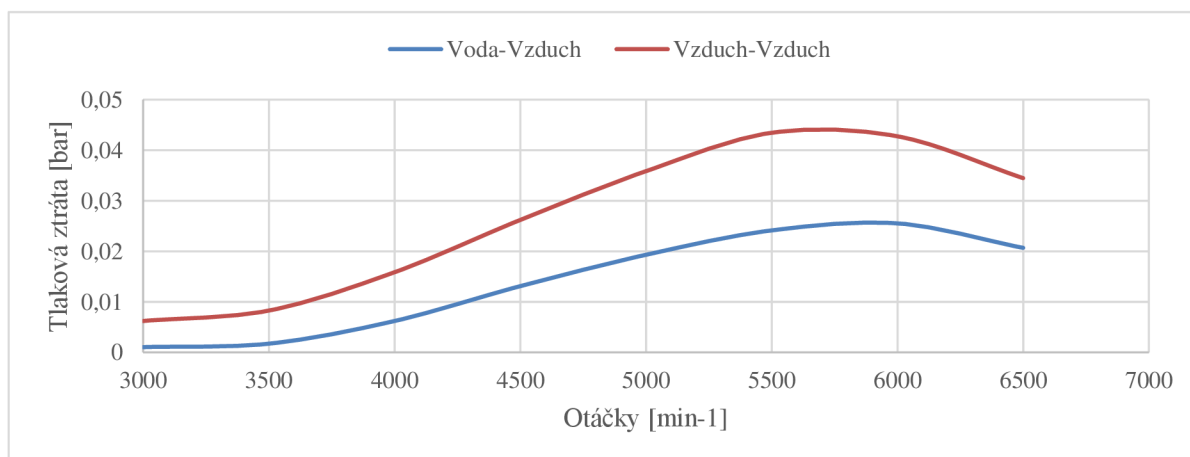
Při jednotlivých jízdách byly rozdíly konstrukcí znatelné v různých ohledech. Účinek ofuku CO₂ dle očekávání rychle klesal a v při průjezdu druhého kola nebyl již téměř znatelný. Zato vliv v první zatáčce má výrazný. Pro posouzení kompletní zástavby by tedy bylo vhodné měření opakovat s kompletním kitem trvalého ofuku intercooleru.

Vodní intercooler měl v teplotních ztrátách navrch pouze při pohledu na absolutní čísla v bodech využití maximálního výkonu po předchozím vychlazování. Projevuje se u něj vliv setrvačnosti chladicího média. Zatímco mezichladič typu Vzduch-Vzduch při snižování rychlosti a zatížení okamžitě reaguje mezichladič Voda-Vzduch má pozvolný doběh. Tento jev by bylo pravděpodobně možné omezit použitím ventilátoru nebo ostříku vodního chladiče.



Graf 5 Příklad vlivu setrvačnosti chladicího média výměníku Voda-Vzduchu při prudké akceleraci.

Tlakové ztráty systémů byly měřeny akcelerací vozu na dlouhé rovné dráze v plném zatížení. Diference tlaků z datalogu byla následně filtrována a převedena z časové osy proti otáčkám motoru.



Graf 6 Porovnání tlakových ztrát systémů

Tak jak je vidět z průběhů tlakové ztráty a výkonových parametrů vozu jakožto výsledky dosažení hodnot do modelu je evidentní, že tlaková ztráta obou porovnávaných systémů nebude mít natolik zásadní vliv na výkonové parametry motoru jako chladicí schopnosti výměníků.

6.2 HMOTNOST

Dalším faktorem pro posouzení použitého celku je jeho hrubá hmotnost. Z tabulky je evidentní, že nejnižší hmotnost má mezichladič Vzduch-Vzduch. Jakmile ale použijeme některou z metod ostříku tohoto chladiče, dostáváme se na hodnoty vyšší nežli systém Voda-Vzduch. Použití Kitu ostříku CO₂ nám hmotnost celé sestavy také zvyšuje. Pokud nepoužijeme možnost ostříku pouze před startem závodu, jak je popsáno v kapitole 2.4.3.

Tabulka 3 Hmotnosti jednotlivých systémů

Voda-Vzduch		Vzduch-Vzduch		Ostřík vodou		Ostřík CO ₂	
Komponenta	[Kg]	Komponenta	[Kg]	Komponenta	[Kg]	Komponenta	[Kg]
Odpouštění ventil	0,85	Odpouštění ventil	0,85	Odpouštění ventil	0,85	Odpouštění ventil	0,85
Čerpadlo	0,95	Vzduchové vedení	3,1	Vzduch-Vzduch	14,25	Vzduch-Vzduch	14,25
Přídavný chladič	1,5	Mezichladič	9,1	Čerpadlo	0,95	Zásobník CO ₂	4,6
Vodní vedení	1,2	Montážní prvky	1,2	Nádrž	0,3	vedení, montážní prvky	0,8
Vzduchové vedení	1,8			Kapalina	5		
Mezichladič	3,3			Vedení, montážní prvky	0,73		
Montážní prvky	0,75						
Chladiivo	6,2						
Součet	15,7		14,25		22,08		20,5

6.3 RYCHLOST DEMONTÁŽE

Praktické vlastnosti systémů nejsou na závodech určujícími pouze na trati. Důležitá je také jejich rychlá montáž a demontáž alespoň základních prvků, tak abychom se případně dostali k místům, která jsou třeba opravit. Tento faktor může být rozhodující například v drobném kontaktu ve finálové rozjížděce, kdy je na opravu vozu stanoven časový limit od příjezdu vozu do depa 5 minut, tak jak je řečeno v kapitole 1.2. Nestihnutí opravy znamená ukončení rozjížděky a může tak mít fatální následky na finální pořadí. Systém používající výměník Vzduch-Vzduch je jednoznačně dostupnější a lépe demontovatelný, případně nahraditelný. Pokud bereme v potaz využití maximálního potenciálu chladiče, pak musíme zahrnout i systém ostříků. Spolu s tímto je systém obdobně komplikovaný na demontáž jako řešení Voda-Vzduch.

6.4 ROBUSTNOST ŘEŠENÍ

Tak jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, v této disciplíně jsou drobné kolize poměrně častým jevem a je tedy nutné porovnat i odolnost obou řešení. V případě chladičů s tenkými žebry je navíc vysoké riziko poškození od odlétající nečistoty nebo kusu pneumatiky při stínování soupeře.

V tomto ohledu je v nevýhodě jednoznačně použití výměníku Vzduch-Vzduch. Proti kolizi nebo jinému poškození výměníku je mnohem hůře chráněn. Je montovaný nízko nad vozovkou

v přední části vozu před hlavním rámem skeletu. Je chráněn pouze hlavní výztuhou v nárazníku. Pokud by došlo k jeho poškození, motor přestane fungovat v přetlakovém režimu a ztratí výkon. Kromě toho je při dalším provozu vysoká pravděpodobnost nasátí úlomků intercooleru nebo okolních poškozených částí motorem. Při stejné síle nárazu nebo poškození je v případě výměníku Voda-Vzduch ohrožen hlavně chladicí okruh výměníku. Dojde ke ztrátě kapaliny, ale nedojde k znepojídnění vozu. Výměník zůstává nepoškozený a v nouzovém režimu s vypnutým vodním čerpadlem je možný přejezd do depa k výměně chladiče. Pro tento případ by bylo vhodné doplnit okruh tlakovým senzorem. Automatického odstavení vodní pumpy a varovného signálu by bylo také možné dosáhnout při překročení nestandardní teploty nasávaného vzduchu za škrťící klapkou.

Tuto situaci by dokázal do značné míry ovlivnit často používaný ochranná trubková konstrukce v předním nárazníku viz kapitola 1.2.3.

Tabulka 4 Porovnání pořizovacích nákladů systémů

Voda-Vzduch		Vzduch-Vzduch		Ostřík vodou		Ostřík CO ₂	
Čerpadlo	2 392 Kč	Vzduch-Vzduch	1 850 Kč	Vzduch-Vzduch	5 455 Kč	Vzduch-Vzduch	5 455 Kč
Přídavný chladič	900 Kč	Mezichladič	2 760 Kč	Čerpadlo	2 392 Kč	KIT CO ₂	15 170 Kč
Vodní vedení	250 Kč	Montážní prvky	845 Kč	Nádrž	480 Kč		
Vzduchové vedení	1 620 Kč			Trysky	480 Kč		
Mezichladič	4 250 Kč			Vedení	550 Kč		
Montážní prvky	650 Kč						
Chladio	250 Kč						
Součet	10 312 Kč		5 455 Kč		9 375 Kč		20 625 Kč

6.5 POŘIZOVACÍ A PROVOZNÍ NÁKLADY

V tabulce pořizovacích nákladů vidíme finanční zhodnocení pro jednotlivé sestavy komponent. Ceny jsou uváděny včetně DPH a jsou to takové ceny, za jaké bylo zařízení sestaveno. V případě dílů, které mi byly zapůjčeny nebo byly k dispozici z jiného vozu, byla posuzována cena komponent, za jakou by bylo možné její pořízení na českém i zahraničním trhu včetně poplatků a cla.

Dalším důležitým finančním faktorem jsou provozní náklady. Pro varianty Voda-Voda jsou náklady na provoz za jednu sezónu téměř nulové. Náklady, které by mohly vzniknout jsou při častější demontáži z důvodu různých změn nebo opravách různého rázu také minimální. Co už není zanedbatelné jsou náklady na provoz systémů s Ostříkem vodou nebo ostříkem CO₂. Použití šetrných mlžných trysek, u kterých výrobce udává hodnotu spotřeby 1,9l/h na jeden kus při tlaku 3bar. Se dostáváme při použití třech trysek a kapaliny do ostříkovačů na cenu zhruba 117kč / hodinu provozu. Pro ostřík CO₂ není spotřeba při použitých tryskách uváděna jedno plnění tlakové lahve leze v české republice provést za zhruba 270kč

ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout nový systém chlazení pro použití v kategorii Semi-Pro šampionátu CDS. V rámci tohoto cíle bylo nutné se nejdříve důkladně seznámit s požadavky kladenými závody v kategorii Semi-Pro na pohonnou jednotku, dále pak také s průběhem závodů, očekávanými nároky na chlazení a použitím možných strategií pro dosažení co nejlepších výsledků. K tomu bylo třeba seznámit se i s pravidly a jejich případnými omezeními samotného šampionátu CDS, ale také s mezinárodními předpisy pro stavbu závodních vozidel této kategorie.

V dalším kroku bylo nutné si uvědomit obecný vliv teploty a tlaku plnicího vzduchu na výkonové parametry motoru a podrobně se seznámit s jednotlivými konstrukčními prvky sacího systému. Důležité bylo také seznámit se s okolnostmi a vnějšími vlivy, které nám tímto přímo ovlivňují výsledné parametry motoru. Následně byly teoreticky rozebrány jednotlivé metody a systémy chlazení stlačeného vzduchu používané v automotive. Tyto přístupy byly v práci rozděleny na konvenční, velkosériové koncepce a na systémy používané v motorsportu. V rámci metod užitých v motorsportu byly také naznačeny možné přístupy k nádstavbám nad běžně používané systémy a jejich modifikace.

Následovala volba testovacího vozidla a motoru pro tuto konkrétní aplikaci. Paralelně s tímto výběrem proběhla volba software použitého pro tvorbu simulací výkonových parametrů motoru. Tím byl zvolen Lotus Engine Simulation. Následně byly shromážděny veřejně dostupné informace o zvoleném motoru. Další stavební kameny pro kompletní informace o motoru potřebných pro zhotovení matematického modelu bylo nutno naměřit. Při měření potřebných hodnot bylo využito 3D skenovaného modelu, který byl dále použit pro konstrukční návrhy. Po dokončení modelu v prostředí Lotus Engine Simulation byly vytvořeny teoretické průběhy závislosti výkonových parametrů motoru na teplotě a tlaku stlačeného vzduchu.

S ohledem na předchozí analýzy bylo třeba uvažovat nad konkrétní zástavbou a možnostmi karoserie zvoleného vozu. Pro lepší představu a následnému konstrukčnímu zapracování návrhu byl vytvořen 3D skenovaný síťový model karoserie a motoru s podpůrnými plochami a objekty. Na základě tohoto modelu byly navrženy dva konstrukční návrhy. Díky zásadním změnám rozmístění výměníků bylo nutné jednotlivé komponenty příslušenství vozidla přemístit a vytvořit prvky pro jejich montáž.

Další fází byla fyzická realizace navrženého systému a změněného příslušenství motoru. Na základě poznatků z rešeršní části byla navržena metodika měření a ověření parametrů nově navrženého systému. Pro tuto metodiku vznikl návrh měřicí sestavy a také elektrické schéma nových kabelových svazků a zapojení jednotlivých částí měřících zařízení a řídicí jednotky motoru.

V následném ověření a zhodnocení výsledků byly mezi sebou porovnány jednotlivé návrhy nových systémů pro chlazení stlačeného vzduchu motoru. Za pomoci zapracování reálných naměřených hodnot do modelu v prostředí Lotus Engine Simulation tak bylo možné určit konkrétní klady a zápory jednoho i druhého technického řešení, jakožto i finančního a hmotnostního zhodnocení. Při porovnání výsledků byl zhodnocen i faktor praktického použití a také předcházení i možných řešení krizových situací při nečekaných událostech na závodech CDS. Lze tedy prohlásit, že všechny body zadání byly splněny.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HEYWOOD, John B. *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw - Hill, c1988. McGraw-Hill series in mechanical engineering. ISBN 00-710-0499-8.
- [2] O driftování | Czech drift series. Domů | Czech drift series [online]. Dostupné z: <https://www.drifting.cz/o-driftovani>
- [3] FORMULA-D | FD Rulebook, PRO | Technical Regulations 2019 [online]. Copyright ©2019 Formula Drift Holdings LLC. All Rights Reserved. [cit. 18.05.2019]. Dostupné z: <http://www.formulad.com/rulebook>
- [4] STONE, Richard. *Introduction to internal combustion engines*. 4th ed. Basingstoke: Palgrave Macmillan, c2012. McGraw-Hill series in mechanical engineering. ISBN 978-0-230-57663-6.
- [5] PAVELEK, M.; Termomechanika. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 288 s. ISBN 80-214-2409-5
- [6] Case Studies | Pipercross Performance Air Filters. Pipercross Performance Air Filters [online]. Copyright © [cit. 18.05.2019]. Dostupné z: <http://www.pipercrossfiltersusa.com/competition/casestudies.asp>
- [7] MERCEDESCLUB | Standardy přeplňování [online]. Copyright © 2001 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://www.mercedesclub.cz/tema/r170-kompresor-35532?kols=7>
- [8] Electric Boosting Technologies - BorgWarner. [online]. Copyright © BorgWarner Inc. [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.borgwarner.com/technologies/electric-boosting-technologies>
- [9] THE MOTORHOOD, The inner-workings of a Formula One water-to-air intercooler. [online]. Dostupné z: <http://www.themotorhood.com/themotorhood/2017/8/4/the-inner-workings-of-a-formula-one-water-to-air-intercooler>
- [10] ECUMASTER, emu ecu manual. Ecumaster [online]. Copyright © 2019 ECUMASTER. All Rights Reserved. [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.ecumaster.com/download/>
- [11] Dual Piston Blow Off/Dump Valve | FMDV004 | Forge Motorsport. Forge Motorsport [online]. Copyright © 2019 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: https://www.forgemotorsport.co.uk/Dual_Piston_Blow_OffDump_Valve--product--752.html
- [12] Mishimoto Performance Automotive Parts. Mishimoto™ - Aluminium Radiator, Performance Radiator, Intercooler Specialists [online]. Copyright © Copyright 2019, Mishimoto Automotive [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.mishimoto.eu/automotive.html>

- [13] Heat exchanger cold to touch after hard driving educate me. [online]. Copyright ©2000 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://f80.bimmerpost.com/forums/showthread.php?p=17225669>
- [14] CSF Cools BMW. CSF Radiators | Ultimate Performance Cooling [online]. Copyright © CSF Racing 2018 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://csfrace.com/bmw-radiator-splash/>
- [15] Nissan Motor Corporation Global Website. Nissan Motor Company Passengers car manuals 1985-2015 [online]. Copyright © NISSAN MOTOR Co., Ltd. All Rights Reserved. [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.nissan-global.com/EN/drive/members/manuals/>
- [16] ARE Cooling. ARE Cooling [online]. Dostupné z: <https://www.are.com.au/feat/techt/airwaterinter.htm>
- [17] CryO2 Products | Design Engineering Inc. Heat & Sound Insulation Products | Design Engineering, Inc. [online]. Copyright © [cit. 21.05.2019]. Dostupné z: <http://designengineering.com/products/cryo2/>
- [18] Nissan Forum | Nissan Forums - Index page. Nissan Forum | Nissan Forums - Index page [online]. Copyright © 2000 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://forums.nicoclub.com>
- [19] 3D Scanning Software | Artec Studio – 3D Modeling Software. Professional 3D Scanners | Artec 3D | Best 3D Scanning Solutions [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.artec3d.com/3d-software/artec-studio>
- [20] Skanect 3D Scanning Software By Occipital - The Easiest Way To 3D Scan With the Structure Sensor and Kinect-like 3D Sensors [online]. Copyright © 2019 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://skanect.occipital.com>
- [21] Kinect – vývoj aplikací pro Windows. [online]. Copyright © Microsoft 2019 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://developer.microsoft.com/cs-cz/windows/kinect>
- [22] Lotus Engineering - Lotus Cars. Lotus Cars - Lotus Cars Official Website - For the Drivers [online]. Copyright © 2019 Lotus Cars. [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.lotuscars.com/engineering/>
- [23] Gamma technologies | GT Suite – GT Power [online]. Copyright © Gamma Technologies LLC, 2015 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.gtisoft.com/gt-suite-applications/propulsion-systems/gt-power-engine-simulation-software/>
- [24] GOM Inspect. GOM Inspect [online]. Copyright © 2018 GOM [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.gom-inspect.com/cz/>
- [25] Rozdíl mezi ABS, PLA a PETG. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filameny - Materialpro3d.cz [online]. Copyright © Materialpro3d.cz, všechna práva vyhrazena [cit. 23.05.2019]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>

- [26] Accessories. Bosch Motorsport Australia, New Zealand & South Africa [online]. Copyright © 2019 Bosch Motorsport Australia [cit. 23.05.2019]. Dostupné z: <https://www.bosch-motorsport-shop.com.au/accessories/>
- [27] Ecumaster EMU. Ecumaster [online]. Copyright © 2019 ECUMASTER. All Rights Reserved. [cit. 23.05.2019]. Dostupné z: <https://www.ecumaster.com/products/emu/>
- [28] S2525F8-GL-RTK EVB : RTK MODULE EVALUATION BOARD - NavSpark Store. NavSpark : Arduino Compatible Development Board with GPS / GNSS [online]. Copyright © 2019 NavSpark Store. [cit. 23.05.2019]. Dostupné z: <http://navspark.mybigcommerce.com/s2525f8-gl-rtk-evb-rtk-module-evaluation-board/>
- [29] FIA INTERCONTINENTAL DRIFTING CUP 2017: Sporting Regulations [online]. 2017, 6.5.2019, , 32 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.fia.com/events/fia-intercontinental-drifting-cup/season-2018/regulations-1>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CDS		Czech Drift Series
AČR		Autoklub České republiky
FIA		Mezinárodní automobilová federace
ALS		Anti Lag Systém
TMIC		Top Mount InterCooler
FMIC		Front Mount InterCooler
FVM		Finite Volume Method
DOHC		Double Over Head Camshaft
IR		Infračervené záření
η_V	[-]	Objemová účinnost
V_S	[m ⁻³]	Skutečný spotřebovaný objem vzduchu válce
V_t	[m ⁻³]	Teoretický spotřebovaný objem vzduchu válce
V_Z	[m ⁻³]	Zdvihový objem válce
M_V	[kg]	Hmotnostní náplň válce vzduchem
ρ_1	[kg · m ⁻³]	Hustota vzduchu v sacím traktu
p_1	[Pa]	Tlak vzduchu v sacím traktu
T_1	[K]	Termodynamická teplota vzduchu v sacím traktu
Φ	[kg · m ⁻³]	Absolutní vlhkost vzduchu
m_{vpa}	[kg]	Hmotnost vodních par
V_{VZ}	[m ³]	Objem vzduchu
φ	[%]	Relativní vlhkost vzduchu
Φ_{max}	[kg · m ⁻³]	Absolutní vlhkost vzduchu nasyceného

SEZNAM PŘÍLOH

Výrobní dokumentace:

DR-DIP-000001

DR-DIP-000002

DR-DIP-000003

DR-DIP-000004

DR-DIP-000005

DR-DIP-000006

DR-DIP-000007

DR-DIP-000008

DR-DIP-000009

DR-DIP-000010

Elektrické schéma:

DR-DIP-000101