



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ÚPRAVY MOTORU PRO ZÁVODNÍ POUŽITÍ

ENGINE MODIFICATION FOR RACING APPLICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ FRIED

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING.LUBOMÍR DRÁPAL

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Fried

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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 bakalářské práce:

Úpravy motoru pro závodní použití

v anglickém jazyce:

Engine modification for racing application

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce popisného charakteru zaměřená na úpravu sériových motorů pro mistrovství okruhových závodů.

Cíle bakalářské práce:

Stručně popište předpis FIA pro Středoevropské mistrovství okruhových závodů divise 4. Zpracujte přehled pohonných jednotek používaných ve třídě do 2000 cm³ v rámci této divise. Popište konstrukci vybraného motoru, jež tvoří základ pro pohonnou jednotku této třídy. Zmapujte úpravy na motoru provedené a porovnejte hlavní charakteristiky motoru před a po úpravách. V závěru vše zhodnoťte a nastiňte další možný vývoj v oblasti pohonných jednotek této třídy.

Seznam odborné literatury:

- [1] MACKERLE, J. Motory závodních automobilů. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1980. L13-B3-IV-31/22645.
- [2] TRZESNIEWSKI, M. Rennwagentechnik: Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, 2008. ISBN 978-3-8348-0484-6.
- [3] KOŽOUŠEK, J. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983, 488 s.
- [4] RAUSCHER, J. Spalovací motory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. Studijní opory VUT v Brně.
- [5] HEYWOOD, J. B. Internal combustion engine fundamentals. 1st edition. New York: McGraw-Hill, 1988. ISBN 0-07-028637-X.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Drápal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 27.10.2014

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá úpravami sériového motoru pro závodní účely. Práce stručně popisuje předpisy šampionátu FIA CEZ Divize 4 a konkurenční pohonné jednotky. Dále rozebírá sériovou podobu motoru a dvě varianty jeho úprav. Poslední kapitola nabízí další možné úpravy motoru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Motorsport, okruhové závody, Honda K20A2, zvyšování výkonu, zvyšování točivého momentu

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with modifying a stock engine for racing application. The thesis briefly describes the regulations of the championship FIA CEZ Division 4 and rival powertrains. Next, it analyses the stock engine and two variants of modifications. The last chapter offers further possible modifications to the engine.

KEYWORDS

Motorsport, circuit racing, Honda K20A2, increasing power, increasing torque



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FRIED, T. *Úpravy motoru pro závodní použití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 56 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Drápal.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 27. května 2015

.....

Tomáš Fried



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubomíru Drápalovi za cenné rady a připomínky, které mi během vypracovávání práce poskytl. Díky patří i Ing. Janu Ondráčkovi za jeho pomoc a ochotu. V neposlední řadě děkuji mé rodině za podporu při studiu.



OBSAH

Úvod	11
1 Soutěž a technické předpisy	12
1.1 Šampionát a pořadatelé	12
1.2 Divize 4.....	12
1.3 Skupina E2-SH	13
1.4 Lotus Exige GTR a S1	14
2 Přehled pohonných jednotek divize 4 do 2000cm ³	15
2.1 Chevrolet Cruze	15
2.2 Vauxhall Vectra STC	16
2.3 Renault Clio Cup RS.....	17
2.3.1 III. generace - Renault F4R RS	17
2.3.2 IV. generace – M5Mt.....	18
2.4 BMW 320i E46.....	19
2.5 Alfa Romeo 156 WTCC	20
3 Sériová podoba motoru Honda K20A2	21
3.1 Píst, ojnice, klikový hřídel	21
3.2 Blok motoru, válce, hlava válců a olejová vana a mazání	22
3.3 Ventilové rozvody.....	23
3.3.1 Technologie i-VTEC	24
3.4 Sání, dodávka paliva, zapalování a výfuk.....	27
3.5 Chlazení	29
3.6 Příslušenství motoru	30
4 Úpravy motorů a výsledky	31
4.1 První varianta úprav – slabší motor	31
4.1.1 Píst, ojnice, klikový hřídel	31
4.1.2 Válce, kliková skříň a mazání.....	33
4.1.3 Sání a zapalování	33
4.1.4 Výfuk.....	34
4.1.5 Chlazení	35
4.1.6 Elektronika a příslušenství motoru	36
4.1.7 Výsledek úprav a závodů.....	37
4.2 Druhá varianta úprav – silnější motor.....	37
4.2.1 Píst	37
4.2.2 Výfuk a sání.....	38
4.2.3 Ventilové rozvody, hlava válců.....	39



4.2.4	Mazání	40
4.2.5	Výsledky úprav a závodů	42
5	Budoucí vývoj	46
5.1	Bez-pružinové a bez-vačkové řízení ventilů	46
5.2	Proměnná délka sacího potrubí	48
5.3	Změna paliva za E85	49
5.4	Odlehčení pohyblivé hmoty motoru	50
	Závěr	52
	Seznam použitých zkratk a symbolů	55
	Seznam příloh	56



ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou úpravy sériově vyráběného motoru za účelem použití v mezinárodním šampionátu v automobilových závodech na okruzích.

Motorsport je bezesporu nedílnou součástí automobilního průmyslu. Pro velké výrobce automobilů slouží nejen jako velmi účinný marketingový prostředek, ale i jako důležitá platforma pro vývoj a zkoušení nových technologií. Takovéto trendy můžeme sledovat například v šíření hybridních pohonů v předních světových šampionátech.

V případě, že se člověk chce aktivně účastnit motoristických závodů, mívá dvě možnosti – zvolí tovární podporu nějakého koncernu, který mu poskytne potřebnou techniku a často i zázemí, nebo se může rozhodnout vyvíjet vlastní vůz. Jelikož bývá první možnost velmi nákladná, v Evropě je velké množství týmů, které staví a vyvíjí vlastní vozidla.

Často však tým nestaví kusově vlastní motory, ale v zájmu snížení nákladů upravuje nějakou továrně vyráběnou pohonnou jednotku. I takovýto vývoj bývá složitý a vyžaduje hodně práce, nicméně díky diversitě možností které týmy mají, přispívá ke zvyšování atraktivity závodů.

Návrh pohonné jednotky pro závody na okruzích začíná u volby šampionátu a určité třídy vozidel, ve kterých bude dané vozidlo závodit. Většinu divácky atraktivních závodů zaštiťuje Mezinárodní automobilová federace FIA, je tedy nutné nastudovat a pečlivě dodržovat technické řady a předpisy stanovené touto institucí.

V první fázi je potřeba zvážit konkurenci, které bude vyvíjený motor vystaven. To je jeden z určujících faktorů při výběru sériového motoru určeného k úpravě. Mezi další patří například dostupnost dílů potřebným úpravám a samozřejmě výkonový potenciál motoru. Po volbě motoru je důležitá rešerše parametrů pohonné jednotky a možnosti úprav. Po úpravě je motor testován a optimalizován pro nejvyšší možný výkon.

Cílem práce je popsat zmíněné kroky při úpravě motorů brněnského týmu KT Motorsport a na závěr navrhnout další možnosti vývoje již upravených a používaných motorů.



1 SOUTĚŽ A TECHNICKÉ PŘEDPISY

Oba motory, které tato práce popisuje, byly připraveny pro použití v závodech šampionátu FIA CEZ Divize 4 do 2000ccm. Jedná se o závody speciálně navržených a připravených vozidel na uzavřených okruzích ve střední Evropě.

Tato kategorie byla vybrána především kvůli velké konkurenci a kvůli menší nákladnosti na přípravu a údržbu vozidel. Jelikož se jedná o menší auta s menšími motory, bývá jejich provoz znatelně levnější při zachování divácké a sportovní atraktivity.

1.1 ŠAMPIONÁT A POŘADATELÉ

Jak vyplývá z názvu, šampionát se řídí pravidly a technickými předpisy Mezinárodní automobilové federace FIA a je oprávněn vítězům jednotlivých soutěží udělovat mistrovský titul.

Zkratka CEZ značí územní rozsah soutěží – Central European Zone, tedy Zóna střední Evropy. Členskými zeměmi soutěží, které se mohou závodů účastnit, jsou Rakousko, Bosna a Hercegovina, Chorvatsko, Česká republika, Maďarsko, Itálie, Makedonie, Černá Hora, Polsko, Srbsko, Slovinsko a Slovensko. Pořadatelem soutěže je rakouská asociace Oberste Nationale Sportkommision für den Motorsport, pořádání jednotlivých závodů je pak přiděleno určitým pořadatelům.

Jak FIA tak OSK zaštiťují mnoho motoristických disciplín, tato práce se však bude zabírat pouze okruhovými předpisy a řády.

Autoklub České Republiky (dále jen AČR) pořádá závody Mezinárodního mistrovství České republiky v závodech automobilů na okruhu dle kalendáře FIA CEZ. Zájemci se tak mohou účastnit obou šampionátů, jelikož národní řády jsou standardizované dle řádů FIA. Stačí pak tedy splnit formální požadavek - podat přihlášku.

Veškeré národní řády (všech zemí účastnících se CEZ šampionátu) přímo vycházejí z řádů FIA, tato práce tedy využívá jako zdroje právě do češtiny přeložené národní řády AČR. FIA rozděluje vozidla pro okruhové závody do jednotlivých divizí na základě jejich konstrukce¹ a tvoří tak přesně definované skupiny navzájem konkurenceschopných soutěžících.

1.2 DIVIZE 4

Závodní víkend divize 4 obvykle obsahuje dva sprinty a jeden vytrvalostní závod. Většina účastníků vytrvalostních závodů se pak během víkendu účastní i sprintových závodů, což klade větší nároky jak na výbavu vozidla (například osvětlení pro vytrvalostní závody) tak na jejich spolehlivost kvůli velké zátěži. Divizi 4 tvoří velké množství aut, například vozidla homologovaná pro určité šampionáty FIA jako jsou tovární speciály GT3, vozy značkových pohárů jako je Renault Clio Cup nebo vozy splňující dále definované předpisy AČR.

¹ Tímto rozdělením se zabývá kapitola H národních sportovních řádů (dostupná zde: <http://www.autoklub.cz/dokument/7191-kap-h-zavody-na-okruzich.html>).



Nezávisle na kategorii a skupině vozidla musí všechny vozy, které se účastní závodů divize 4, splňovat podmínku minimální hmotnosti dle tab. 1-1. Jde o minimální hmotnost vozu bez jezdce a jeho vybavení, která musí být dodržena v kterýkoli okamžik podniku.[1]

V této divizi jsou povoleny jakékoliv čtyřdobé motory (zážehové i vznětové), které mohou být přeplňovány kompresorem nebo turbodmychadlem. Motory typu Wankel jsou zakázány. Jestliže je motor přeplňovaný, je třeba zdvihový objem vynásobit koeficientem o hodnotě 1,7 v případě zážehových motorů, nebo 1,5 v případě vznětových motorů. Na základě této přepočítané hodnoty zdvihového objemu jsou potom zařazeny do daných tříd a jsou jim přiděleny minimální hmotnosti dle tab. 1-1.

Tab. 1-1 Třídy a váhové limity v divizi 4 [1]

Objem motoru (cm ³)	Objemová třída	Minimální hmotnost (kg)
do 1400	do 1600 ccm	700
přes 1400 do 1600	do 1600 ccm	750
přes 1600 do 2000	přes 1600 do 2000 ccm	800
přes 2000 do 2500	přes 2000 do 3500 ccm	850
přes 2500 do 3000	přes 2000 do 3500 ccm	900
přes 3000 do 3500	přes 2000 do 3500 ccm	960
přes 3500 do 4000	přes 3500 do 4000 ccm	1020
přes 4000 do 4500	přes 4000 ccm	1080
přes 4500 do 5000	přes 4000 ccm	1150
přes 5000 do 5500	přes 4000 ccm	1190
přes 5500 do 6000	přes 4000 ccm	1220
přes 6000 do 6500	přes 4000 ccm	1250
přes 6500 do 7000	Přes 4000 ccm	1310

1.3 SKUPINA E2-SH

Oba motory, které jsou předmětem této práce, jsou pohonnými jednotkami vozů, které spadají do kategorie E2-SH, také nazývané „volná formule“. Tyto vozy většinou nesplňují podmínky klasifikace jako produkční nebo cestovní vozy², ale vzhledově musí vycházet ze sériových vozů.

Jelikož jsou ovšem oba vozy velmi lehké a hmotnostní limity se v posledních letech měnily, je povoleno použití závaží pro dovážení vozu na minimální hmotnost.

I v této kategorii musí vozidlo splňovat přísné bezpečnostní předpisy (mít přesně definovaný rám, vícebodové pásy, hasicí zařízení apod.), nicméně vozidlo nemusí mít kromě tvaru nic

² Nemají například dostatečný počet míst pro pasažéry v sériové podobě.



společného se sériovou předlohou. Toto platí i pro motory těchto vozů, což poskytuje značnou volnost při konstrukci či úpravách pohonných jednotek pro tyto závody.

1.4 LOTUS EXIGE GTR A S1

Motory, o kterých pojednává tato práce, pohání vozy značky Lotus. Fakticky je ovšem jejich označení spíše formálního charakteru, kromě přibližného vzhledu nemají se sériově vyráběnou předlohou nic společného.

Na obr. 1 lze vidět vůz Lotus Exige S1. Vzhledově vychází ze sériově vyráběné první generace vozu Lotus Exige. Byť jde o starší ze dvojice vozů, je vybaven lepšími úpravami motoru (respektive jeho motor je vybaven úpravami, které ho činí výkonnějším z dvojice). Vůz byl postaven týmem KT Motorsport a poprvé vyjel do závodu v roce 2008.

Na obr. 2 lze vidět vůz Lotus Exige GTR. Vzhledově vychází ze sériově vyráběné druhé generace vozu Lotus Exige. Je vybaven modernějším a lepším podvozkem a má mnohem lepší aerodynamiku. Díky těmto faktorům může být vybaven slabší variantou motoru při zachování konkurenceschopnosti. Vůz byl postaven týmem KT Motorsport a poprvé vyjel do závodu v roce 2011.



Obr. 1 Lotus Exige S1



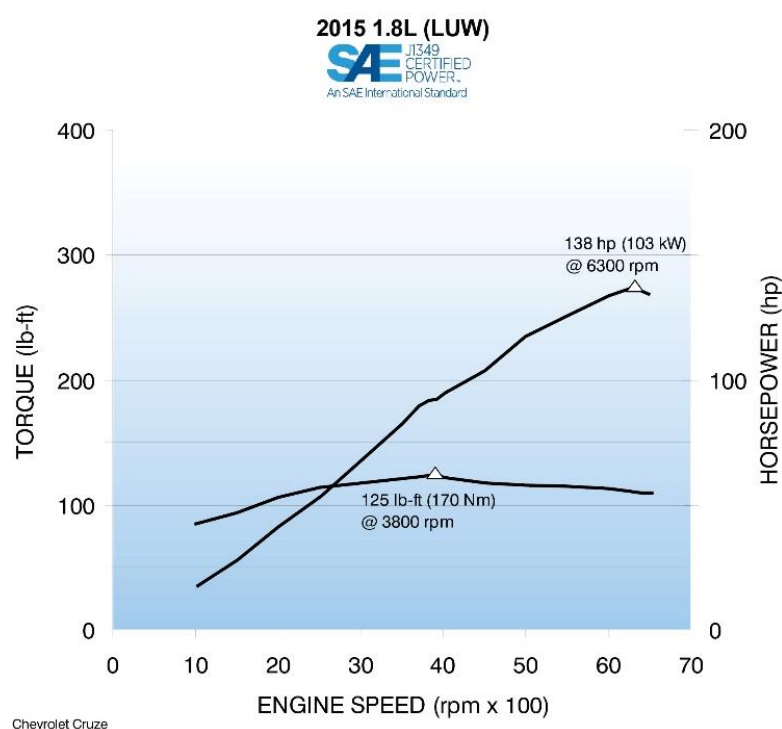
Obr. 2 Lotus Exige GTR



2 PŘEHLED POHONNÝCH JEDNOTEK DIVIZE 4 DO 2000CM³

2.1 CHEVROLET CRUZE

Vozy Chevrolet Cruze používané v této divizi jsou bezesporu nejpomalejšími účastníky, především protože využívají sériovou podobu motorů. Nejedná se totiž o vozy používané v seriálu WTCC³ ale o vozy ze seriálu ADAC Chevrolet Cup. Ten měl nabízet levné a dostupné závodění s minimálně upravovanými vozy. V rámci divize 4 potom mají tyto vozy svůj vlastní šampionát, účastníci tedy neaspírají na pódiové umístění v divizi 4 jako takové, ale závodí takřka výhradně mezi sebou.



Obr. 3 Otáčková charakteristika motoru U18XFR pro americký trh [2]

Jelikož se jedná o pohárové vozy, jsou všechny totožné. Vozy jsou fakticky upravené sériové vozy, odlehčené a vybavené bezpečnostními prvky. Motorové jsou ovšem totožné se sériově vyráběnými automobily, i převodovka je sériová – 5 stupňová.

Motor je čtyřdobý, zážehový, čtyřválcový a nepřepřlňovaný o zdvihovém objemu 1796 cm³ s rozvodem DOHC s celkem 16 ventilů. Motor využívá variabilního časování ventilů, sekvenčního vícebodového vstřikování a disponuje sacími svody s proměnnou délkou. Vrtání je 80,5 mm, zdvih 88,2 mm, jde tedy o takzvaně nad čtvercový motor. Blok motoru je vyroben z šedé litiny, hlava je vyrobena z hliníkové slitiny. Motor využívá kompresní poměr $\epsilon=10,5 : 1$ a verze používaná v těchto vozech nese název Z18XER nebo A18XER. [2]

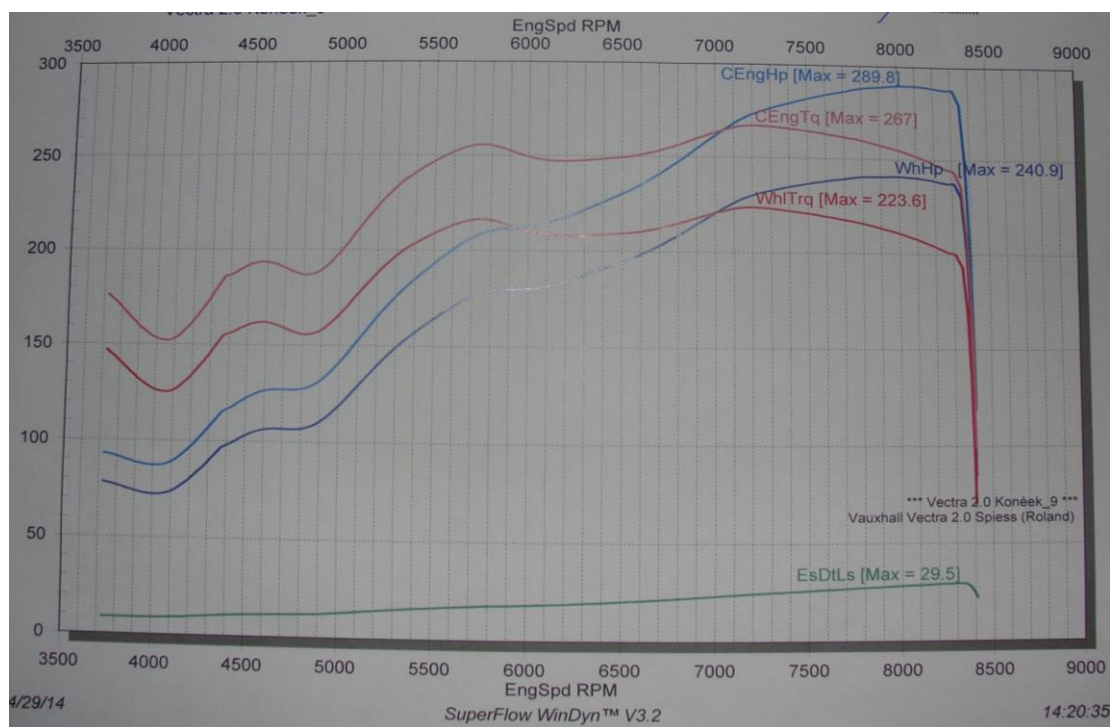
³ World Touring Car Championship – Mistrovství světa cestovních vozů



Jde o třetí generaci motoru typu ECOTEC firmy General Motors použitý jak ve vozech Chevrolet a Opel ale i Holden, Alfa Romeo a Fiat. Je důležité podotknout, že na rozdíl od konkurence v divizi 4 nevyužívá Cruze motor, který byl navrhován jako opravdu sportovní pohonná jednotka. Tomu odpovídají i hodnoty maximálního výkonu a točivého momentu, jak je zřejmé z obr. 3. Dalším důvodem proč jsou tyto motory nekonkurenceschopné je jejich zdvihový objem. Většina jiných motorů je totiž o takřka 200 cm³ větší.

2.2 VAUXHALL VECTRA STC

Vauxhall Vectra B postavený pro sezónu roku 1996 seriálu BTCC⁴ je nejstarším vozidlem v divizi 4 do 2000 cm³, postavené dle řádů FIA kategorie Super Touring. I přes svůj věk se ovšem jedná o jedno z nejrychlejších vozidel divize 4 do 2000 cm³ a to především protože se jedná o tovární vůz. Byl tedy vyvinut koncernem Opel speciálně pro závodní použití. Vozidlo jako takové má se sériovou podobou společný pouze vzhled.



Obr. 4 Otáčková charakteristika motoru VR040S

Blok motoru je od firmy Swindon Engines, jde o čtyřdobý, zážehový, čtyřválcový a nepřepřítňovaný motor o zdvihovém objemu 1988 cm³ s rozvodem DOHC o celkem 16 ventilech. Vrtání je 88mm a zdvih 85mm. Hlava motoru, vačkové hřídele a sání jsou původní od výrobce Siegfried Spiess Motorenbau, upraveny byly firmou Swindon Engines. Maximální výkon má motor 216 kW při 8025 min⁻¹, maximálního točivého momentu 267 Nm dosahuje v rozmezí 7100 až 7311 min⁻¹, omezovač otáček je dle standardů Super Touring nastaven na 8500 min⁻¹. Motor nese označení VR040S, převodovka je 6 stupňová sekvenční, označení Xtrac 206B.

⁴ British Touring Car Championship – Britské mistrovství cestovních vozů.

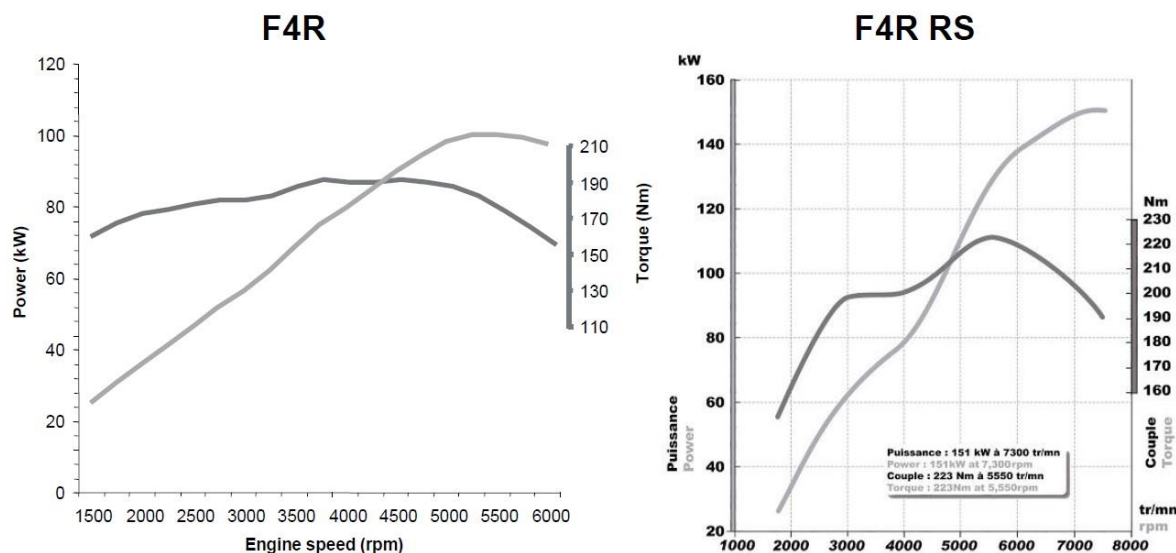


2.3 RENAULT CLIO CUP RS

2.3.1 III. GENERACE - RENAULT F4R RS

V roce 2000 začal Renault prodávat nové Clio Renaultsport 172 a společně s ním se objevil v nabídce i motor F4R. Ten byl vyvinut divizí Renaultsport za evidentním účelem vytvoření malého sportovního a cenově dostupného auta, často nazývané „hot hatch“. Označení 172 pak vychází z výkonu motoru – jeho první varianta měla právě tolik koní. Tato původní varianta motoru byla použita ve velkém množství modelů vozů Renault, od roku 2000 je pak základem motorů používaných ve formulových vozech Formula Renault 2.0 (motor F4R FRS) a od roku 2013 českých speciálů Praga R1 (motor F4R RS 832).

Poslední verze tohoto motoru byla v nabídce ve dvou variantách – F4R a F4R RS. F4R byla slabší verze, nabízená například v užitkových vozech a větších osobních vozech. F4R RS byla potom varianta laděná pro větší výkon, využitá ve sportovních verzích vozů Renault.



Obr. 5 Srovnání otáčkových charakteristik motorů F4R a F4R RS v sériové podobě [3]

Oba jsou čtyřdobé, zážehové, čtyřválcové, nepřepřínované motory o zdvihovém objemu 1998 cm³ s rozvodem DOHC, s celkem 16 ventilů. Na obou motorech jsou využity technologie sekvenčního vícebodového vstřikování paliva a variabilního časování sacích ventilů. Vrtání je 82,7 mm, zdvih 93,0 mm jde tedy o nad čtvercový motor. Blok motoru je vyroben z litiny, hlava válců a olejová vana jsou vyrobeny z hliníkové slitiny, motor váží 146 kg. [3]

Motor používaný pro pohárové závody Renault Clio Cup vychází ze sériové podoby sportovní verze motoru, tedy z F4R RS. Jelikož se jedná o pohárový vůz, motor je plombovaný, nelze ho upravovat a musí zůstat v tovární podobě, aby mohl být považován za pohárový vůz a použit při závodech divize 4. Srovnání výkonu a točivého momentu se sériovou podobou ukazuje tab. 2-1.



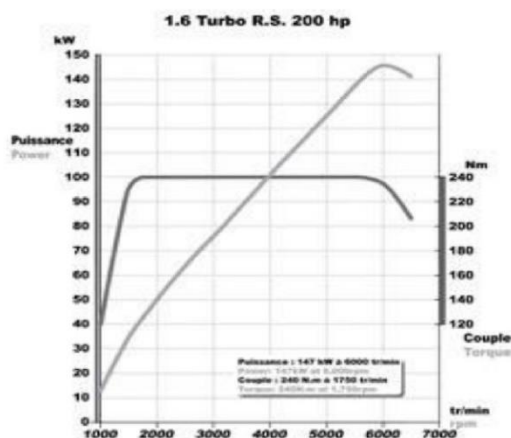
Tab. 2-1 Srovnání charakteristik poslední generace motorů F4R a variant F4R RS [3],[4]

	Maximální výkon (kW při min ⁻¹)	Maximální točivý moment (Nm při min ⁻¹)
F4R	103 při 5500	191 při 3750
Sériový F4R RS	148 při 7100	215 při 5400
Závodní F4R RS	151 při 7300	223 při 5550

2.3.2 IV. GENERACE – M5Mt

Roku 2012 představil Renault nové Clio 4. generace. Jelikož musí moderní vozy splňovat stále přísnější emisní normy, veškeré varianty stávající generace tohoto vozu mají turbodmychadla. Tato změna se nevyhnula ani sportovní variantě Clia.

Pohonná jednotka sériově vyráběného Renaultu Clio RS 200 EDC, z níž vychází i závodní motor používaný v nových pohárech Renault Clio Cup, byla vyvinuta Renaultem ve spolupráci s japonským Nissanem. Renault tento motor nazývá M5Mt, Nissan pak MR16DDT a používá ho ve svých vozech Juke, Tiida a Pulsar. Mimo jiné se stal také pohonnou jednotkou závodního prototypu Nissan Deltawing.



Obr. 6 Sériový motor M5Mt a jeho otáčková charakteristika [5]

M5Mt je čtyřdobý, zážehový, čtyřválcový, turbodmychadlem⁵ přeplňovaný motor o zdvihovém objemu 1618 cm³ s rozvodem DOHC, s celkem 16 ventily. Motor využívá přímé vstřikování, technologie variabilního časování ventilů je aplikovaná jak na sací, tak výfukové ventily. Vrtání je 79,7 mm, zdvih 81,1 mm, motor je nad čtvercový. Blok, hlava i olejová vana motoru jsou vyrobeny z hliníkové slitiny, motor váží 131 kg. [5]

Upravená závodní verze motoru má pak větší výkon i točivý moment, jak značí tab. 2-2. Dosahuje toho mimo jiné díky použití elektronického řízení motoru Cosworth SQ7 Di – XAP.

⁵ S obtokovým kanálem (wastegate) a mezichladičem.



Stejně jako u předchozí generace závodního Clia jsou i tyto motory zaplombovány k udržení vyrovnanosti a musí tak zůstat, aby mohly být použity v divizi 4.

Tab. 2-2 Srovnání charakteristik sériového a závodního motoru M5Mt [5],[6]

	Maximální výkon (kW při min ⁻¹)	Maximální točivý moment (Nm při min ⁻¹)
Sériový M5Mt	147 při 6000	240 při 1750
Závodní M5Mt	164 při 6000	270 při 2500–5500

Jak bylo řečeno v kapitole 1.2, u motorů přeplňovaných turbodmychadlem se musí zdvihový objem přepočítat vynásobením koeficientem 1,7. Po tomto přepočtu by byl zdvihový objem tohoto motoru 2750,6 cm³ a nespadal by tak do objemové třídy do 2000 cm³. Jelikož jsou ovšem tyto vozy pouze upravená sériově vyráběná osobní auta a jejich výkon není srovnatelný s ostatními speciály třídy, do které by měly být zařazeny, byla jim udělena výjimka a jsou dle kapitoly H národních sportovních řádů AČR zařazeny do této objemové třídy⁶.

2.4 BMW 320i E46

BMW 320i E46 používané v tomto šampionátu bylo v roce 2002 představeno pro Evropský šampionát cestovních vozů a v roce 2005 bylo využito i v obnoveném šampionátu WTCC.



Obr. 7 BMW 320i E46 ETCC na Masarykově okruhu

Motor nese označení M52TUB20. Sériový motor je čtyřdobý, zážehový, šestiválcový a nepřeplňovaný o zdvihovém objemu 1990 cm³ s rozvodem DOHC a celkem 24 ventily. Variabilní řízení ventilů je jak na sací tak výfukové straně, vstřík paliva je nepřímý, vícebodový. Vrtání válce je 80 mm, zdvih je 66 mm, kompresní poměr má hodnotu 11 : 1. Maximálního výkonu 110 kW dosahuje motor při 5900 min⁻¹, v závodní podobě dosahuje 187 kW při 8250 min⁻¹. Převodovka je manuální, 6 stupňová, sekvenční.[7]

⁶ I přes velký přepočítaný zdvihový objem patří k pomalejším vozidlům této třídy díky velké hmotnosti a malému výkonu.



2.5 ALFA ROMEO 156 WTCC

Alfa Romeo 156 vyráběná pro seriál WTCC a ostatní šampionáty cestovních vozů je dalším zástupcem továrně vyráběných speciálů pro motorsport. Byla představena v roce 1998 a stejně jako zmíněný Vauxhall Vectra závodila v řadě šampionátů díky společným předpisům.



Obr. 8 Alfa Romeo 156 WTCC při závodě divize 4

Co se motoru týče, existovaly tři varianty, všechny založené na sériovém motoru stejnojmenného vozidla. Sériový motor je čtyřdobý, zážehový, čtyřválcový a nepřepřlňovaný o zdvihovém objemu 1970cm³ s rozvodem DOHC, s celkem 16 ventilů a variabilním řízením rozvodů. Motor je také označován Twin-Spark – využívá tedy dvojici zapalovacích svíček, namísto konvenční jedné svíčky, na válec.

Poslední verze závodního motoru vozidla označovaného jako Alfa Romeo 156 Super 2000 má motor upravený na zdvihový objem 1998cm³ s vrtáním 86mm a zdvihem 86mm. Maximální výkon je dle předpisů S2000 205kW, u tohoto motoru při 8450min⁻¹. Převodovka je manuální, 6 stupňová, sekvenční od firmy Hewland.[8]



3 SÉRIOVÁ PODOBA MOTORU HONDA K20A2

V roce 2001 Honda představila novou sérii motorů, označenou jako série K. Motory existují ve třech variantách, dále rozdělených podle konkrétních úprav a vozidel, ve kterých byly používány: nepřepřlňované motory značené K20 o zdvihovém objemu 1998 cm³, nepřepřlňované motory značené K24 o zdvihovém objemu 2354 cm³ a turbodmychadlem přeplňované motory značené K23 o zdvihovém objemu 2300 cm³. Všechny jsou čtyřdobé, zážehové, čtyřválcové řadové motory.

Motory série K20 byly využity v několika modelech vozidel Hondy. Podle typu použitého systému i-VTEC a ladění motoru je lze rozdělit na motory konstruované pro výkon (použity například v modelech Civic Type-R a Integra Type-R) a motory konstruované pro nízkou spotřebu paliva (využity v modelech Civic, Accord a Stream). Nutno podotknout, že hodnoty maximálních výkonů a točivých momentů motorů označených JDM (vyrobené pro japonský domácí trh) se liší od motorů vyráběných pro americký, případně evropský trh⁷.

Motor, kterým se zabývá tato práce a který byl upravován pro závodní využití, je označen K20A2. Byl použit v sériovém voze Honda Civic Type-R druhé generace, vyrobeném pro evropský trh. Jde o čtyřdobý, zážehový čtyřválcový motor s DOHC rozvodem o zdvihovém objemu 1 998 cm³, s vrtáním 86 mm, zdvihem 86 mm a kompresním poměrem $\epsilon=11,0 : 1$.

Maximální výkon je pak 147 kW při 7400 min⁻¹, maximální točivý moment je 193 Nm při 5900 min⁻¹, omezovač otáček je nastavený na 8050 min⁻¹. I tato čísla jsou jedním z důvodů oblíbenosti tohoto motoru pro závodní a sportovní využití. Mezi další patří projev motoru díky technologii VTEC a jeho spolehlivost.

3.1 PÍST, OJNICE, KLIKOVÝ HŘÍDEL

Při vývoji motorů série K20 se Honda zaměřila na odlehčování součástek a snižování tření. Především snížení tření je předností pístní skupiny. Honda na písty motoru K20 využila úpravu, kterou nazývá „micro dimple processing“⁸ a aplikaci vrstvy molybdenu na pístní plášť. Tyto procesy snižují tření pístu o 2–2,6%.

Jeden píst má dva těsnící kroužky⁹ (drážky pro ně jsou velké 1,2 mm) a jeden stírací (drážka pro něj je velká 2 mm). Stírací kroužek je skládaný. Píst váží 334 g. Standardní vůle mezi pístem a válcem se pohybuje v rozmezí 0,02–0,04 mm. Pístní čep má průměr 21,96 mm, je povolena vůle ovšem i malý přesah v pístu¹⁰. V ojnici je pro čep povolena pouze vůle. Pístní čep je v pístu axiálně jištěn dvojicí kroužků.

Ojnice má profil I, obrysová délka je 199 mm a váží přibližně 610 g s oběma ložisky a šrouby. Oko pro pístní čep má průměr 24 mm, hlava ojnice má otvor o průměru 51 mm. V oku ojnice je mazací otvor. Standardní vůle mezi ojnicím ložiskem a ojnicím čepem klikového hřídele

⁷ Japonský Civic Type R má skoro o 20 koňských sil více, využívá totiž mimo jiné větší kompresní poměr $\epsilon=11,5 : 1$.

⁸ Tímto technologickým postupem se zabývá dokument R&D divize Hondy dostupný z: <https://www.hondarandd.jp/point.php?pid=714&lang=en>

⁹ První kroužek je široký 3,1 mm, tlustý 1,2 mm, druhý má šířku 3,4 mm a totožnou tloušťku s prvním.

¹⁰ Maximální dovolená vůle je 0,005 mm, maximální povolený přesah je 0,002 mm.



je 0,033–0,061 mm. Délka ojnice je 139 mm. Dělicí rovina ojnice je kolmá na její osu, poloha víka je zajištěna válcovou plochou vycházející z děr pro šrouby.

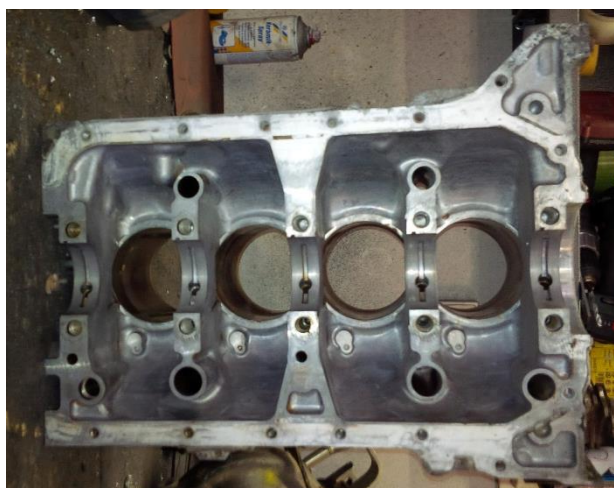


Obr. 9 Sériová ojnice, píst, pístní čep, ojniční šrouby a ložiska

Klíkový hřídel je v bloku motoru uložen v 5 hlavních ložiscích s vůlí v rozmezí 0,017-0,049 mm. Axiální vůle klikového hřídele v bloku je 0,10–0,35 mm, axiální vůle ojníc na klikovém hřídeli je 0,15–0,30 mm. Na obou koncích má klikový hřídel olejové těsnění.

3.2 BLOK MOTORU, VÁLCE, HLAVA VÁLCŮ A OLEJOVÁ VANA A MAZÁNÍ

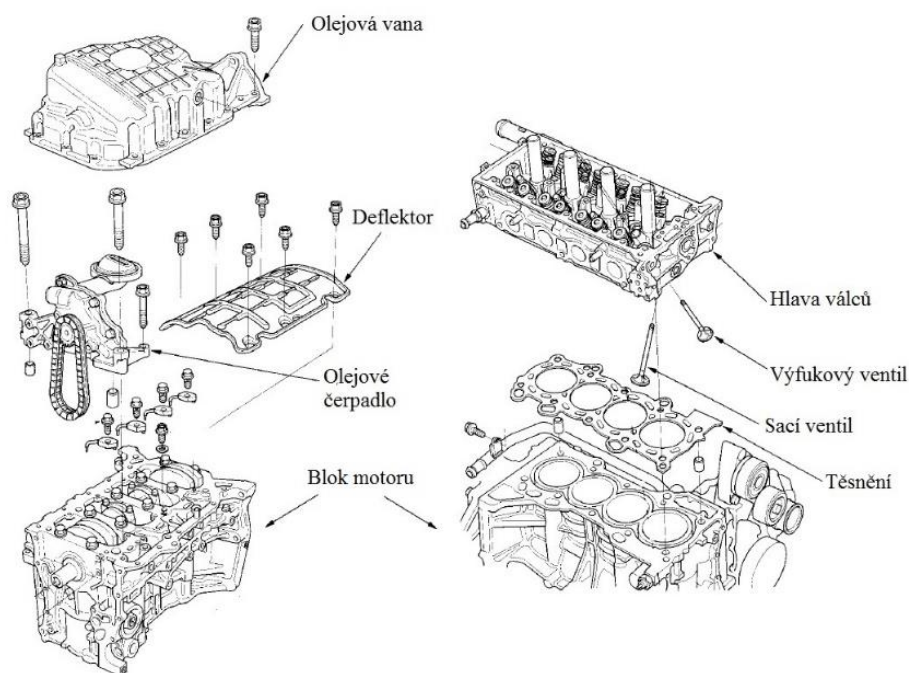
Honda referuje o svých motorech K20 jako o nástupci motoru F20B. Při jeho vývoji dokázali oproti předchůdci motor o 10 kg odlehčit a o 54 mm zkrátit. Blok je typu open deck, tedy s otevřenou dosedací plochou. Maximální dovolený průměr válců je 86,07 mm. Válce využívají litinová pouzdra, jsou křížově šrafovaním honovány s úhlem 60°. Rozteč válců je 94 mm, tloušťka litinových pouzder je 2 mm.



Obr. 10 Pohled na blok motoru zespodu



K horní části bloku je připojena hlava válců, ve které je umístěná soustava vahadel a rozvodů. Zespodu jsou k bloku motoru připojena ložisková víka v rámu. K rámu je přichyceno spodní víko motoru, ve kterém je i trochoidní olejové čerpadlo, poháněné řetězem od klikového hřídele. Mezi ložiskovými rámy a olejovou vanou je i deflektor a čtveřice olejových trysek, mířených na písty pro jejich chlazení. Blok motoru je vyroben ze slitiny hliníku s přídavkem křemíku, hořčíku a manganu.



Obr. 11 Naznačení sestavy bloku motoru, vany a hlavy motoru [9]

Mazání je cirkulační, s mokrou klikovou skříní. Je realizováno zmíněným trochoidním čerpadlem, využívá olejového filtru a regulátoru tlaku oleje. Specifikem mazací soustavy je přivádění oleje do systému i-VTEC. Celkem je v motoru 5,8 l oleje, doporučený olej má třídu 10W-40. Tlak oleje v zátěži přesahuje 0,3 MPa.

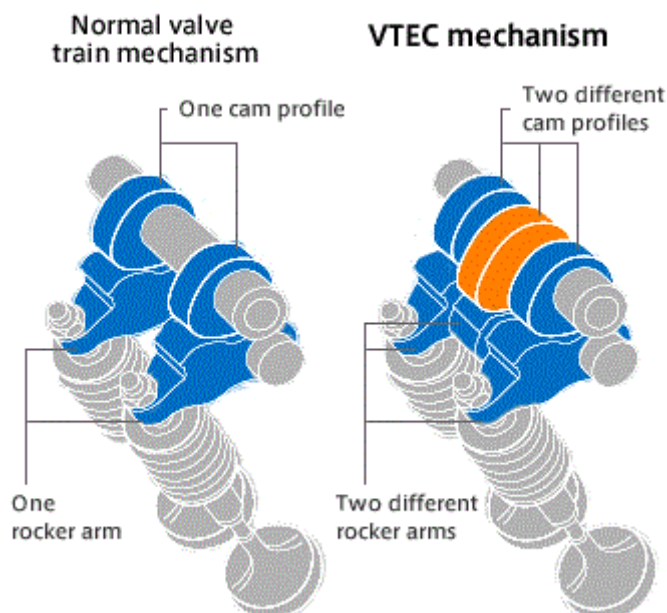
3.3 VENTILOVÉ ROZVODY

Ventilový rozvod je typu DOHC s celkem 16 ventily (2 sací a 2 výfukové na každý válec). Pohon rozvodu je zajištěn řetězem. Talířky sacích ventilů mají průměr 35 mm, výfukových 30 mm. Dříky ventilů mají průměr 5,5 mm. Každý vačkový hřídel je uložen v 5 kluzných ložiscích. Ventilové vůle jsou 0,21–0,25 mm pro sání, 0,25–0,29 mm pro výfuk. Seřizují se mechanicky, pomocí stavícího šroubu. V době představení měl motor unikátní koncepci a konstrukci jednotlivých součástí rozvodového systému díky prvnímu použití technologie i-VTEC.



3.3.1 TECHNOLOGIE I-VTEC

I-VTEC je způsob variabilního časování a zdvihu ventilů, který Honda představila v roce 2001 společně s motory série K. Jedná se o spojení již dříve využitě technologie VTEC s novou technologií VTC.



Obr. 12 Normální ventilový mechanismus (vlevo) ve srovnání s VTEC mechanismem (vpravo) [10]

Je nutné podotknout, že v době představení i-VTEC existovaly dvě varianty, ovšem označované stejně. Jedna je použita ve slabších motorech a je zaměřena na snížení spotřeby paliva. V této variantě VTEC přepíná mezi dvěma režimy – v jednom využívá pouze jeden sací ventil na válec¹¹ (motor je tedy efektivně 12 ventilový) v případě, že není potřeba vysoký výkon. Ve druhém režimu pak motor využívá všech 16 ventilů, právě v případě, že je potřeba vyšší výkon.

Druhá varianta je použita právě v rozebíraném motoru K20A2 a je zaměřena na dosažení většího výkonu motoru při zachování vysokého točivého momentu v nízkých otáčkách.

VTEC

VTEC je první část variabilního řízení ventilů. Jde o hydraulický systém s elektronickým řízením navržený pro využití dvou různých profilů vačkových hřídelí pro sací i výfukové ventily. VTEC tedy mění primárně zdvih ventilů, díky rozdílným profilům váček je však ovlivněno i časování.

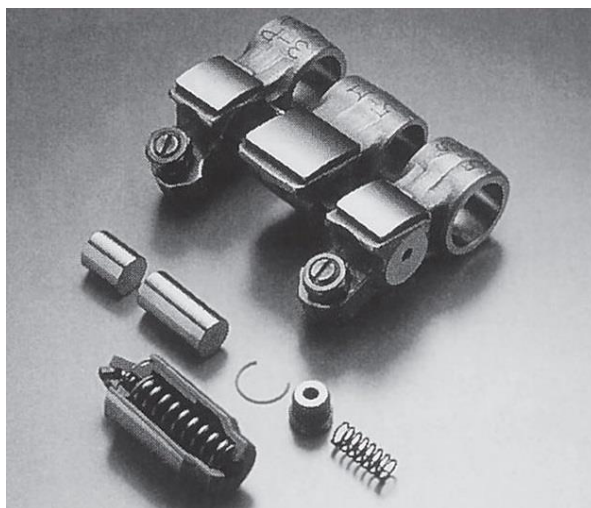
Každá dvojice ventilů připadající na jeden válec má k dispozici 3 vačky, jak je zřejmé na obr. 12. Dvě vnější vačky zbarvené modře mají nižší zdvih, oranžová vnitřní vačka má potom větší zdvih. Honda začala tento systém vyvíjet z několika důvodů. Bylo potřeba zvýšit účinnost

¹¹ Nebo jeho zdvih výrazně sníží, existují dvě verze tohoto systému.



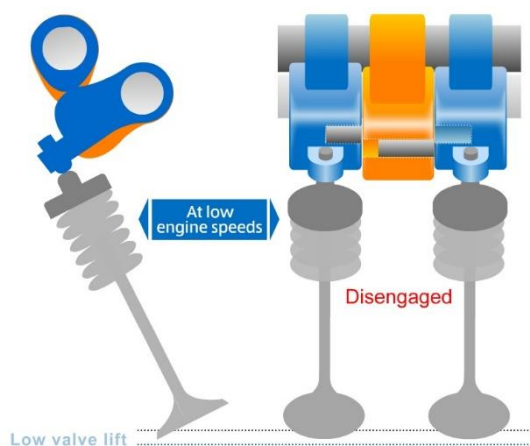
motoru v nízkých otáčkách, snížit spotřebu paliva a reagovat na stále přísnější emisní normy. V roce 1989 tedy představili VTEC, využitý na tehdy představeném voze Integra. [11]

Každá dvojice ventilů (sacích nebo výfukových), které náleží jednomu válci je ovládána vahadlem, které je rozděleno na tři části. Ventily jsou ovládány krajními vahadly, které jsou v kontaktu s malými vačkami. Prostřední vahadlo je zatíženo velkou vačkou. Skrz všechny tři části je veden olejový kanál tak, aby byl průchozí při stavu nezatíženém vačkami od jednoho konce vahadla na druhý. V tomto kanálu je dále dvojice synchronizačních čepů, jeden v krajní části a druhý v prostřední.

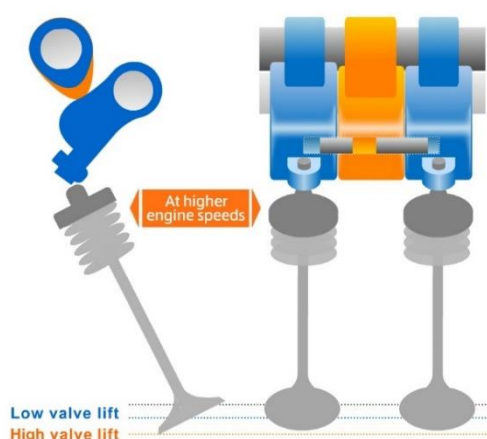


Obr. 13 Vahadlo a komponenty prvního vyráběného VTEC systému [11]

Vysokého točivého momentu v nízkých otáčkách, což byl původní cíl projektu, bylo dosaženo změnou časování uzavření sacích ventilů z tradičních 35° na 20° pro malou, respektive 30° pro velkou vačku po dolní úvrati klikového hřídele. Toto umožnilo brzké uzavření sacího ventilu a tak zlepšit plnicí účinnost motoru. [12]



Obr. 14 VTEC mechanismus při nízkých otáčkách [10]



Obr. 15 VTEC mechanismus při vysokých otáčkách [10]



Při nízkých otáčkách řídicí jednotka nechává tři díly vahadla rozpojeny, zdvih ventilů je řízen přímo krajními vačkami. Při otáčkách vyšších než je určitá hodnota (a splnění dalších podmínek jako je například teplota motoru) umožní řídicí jednotka pomocí solenoidu tok motorového oleje do kanálků ve vahadlech. Následný tlak oleje zatlačí čepy mezi díly vahadel a znemožní prostřední části se pohybovat nezávisle na krajních částech. V této chvíli je zdvih ventilů závislý na velké vačce, jak je zřejmé z obr. 14 a obr. 15.

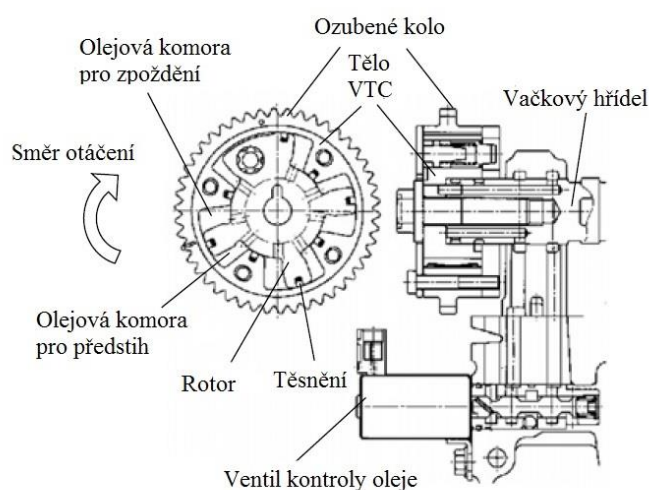
Profil vaček je znatelně odlišný, především maximálním zdvihem ventilů. Větší sací vačka má zdvih ventilu 13 mm, větší výfuková vačka má zdvih 12,5 mm. Jak menší vačky na straně sací, tak i výfukové mají zdvih 10,5 mm.

VTC

V době představení systému VTEC se jednalo o unikátní systém, jelikož ostatní automobilové koncerny využívaly pouze variabilního časování ventilů. V roce 2001 pak Honda tento systém vylepšila právě přidáním řízení časování ventilů technologií značenou VTC.

Stejně jako VTEC je VTC hydraulicky poháněný, elektronicky řízený systém. VTC využívá kontrolovaný tok motorového oleje ke změně natočení vačkového hřídele vzhledem k natočení klikového hřídele. Na rozdíl od VTEC však VTC funguje pouze u vačkového hřídele sacích ventilů.

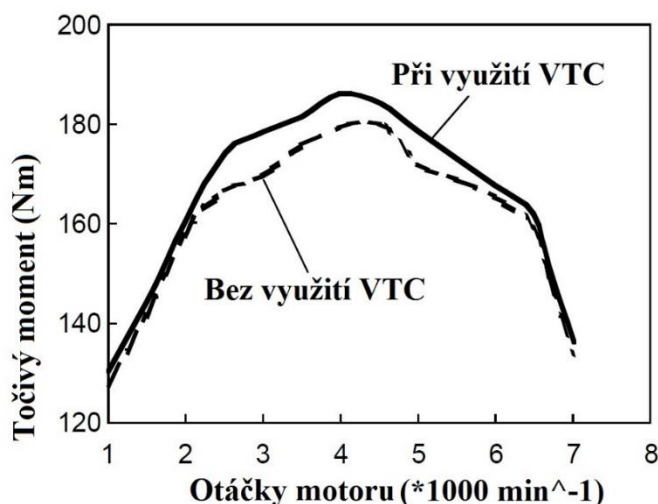
Ozubené kolo poháněné rozvodovým řetězem je pevně spojeno s tělem mechanismu VTC. To se tedy pohybuje vždy v závislosti na pohybu řetězu. Vačkový hřídel sání je připojen k rotoru VTC. Ten odděluje od stěn těla VTC dvě komory – na jedné straně je komora pro zpoždění, na druhé strana pro předstih. Do těchto komor je umožněn tok oleje ovládacím ventilem. Při změně tlaku v jedné z komor tedy dojde k natočení rotoru vůči tělu VTC a vačkový hřídel je tedy také natočen vůči ozubenému kolu.



Obr. 16 VTC mechanismus [13]

VTC mění úhel zavření sacích ventilů při velké zátěži pro dosažení nejvyšší možné tepelné účinnosti při dané konfiguraci vaček. Při nízké zátěži řídí velikosti překrytí otevření ventilů pro

docílení nízké spotřeby paliva a snížení emisí. VTC dále snižuje překrytí otevření ventilů k minimalizaci kolísání otáček při volnoběhu. [13] Účinnost VTC je pak zřejmá z obr. 17.

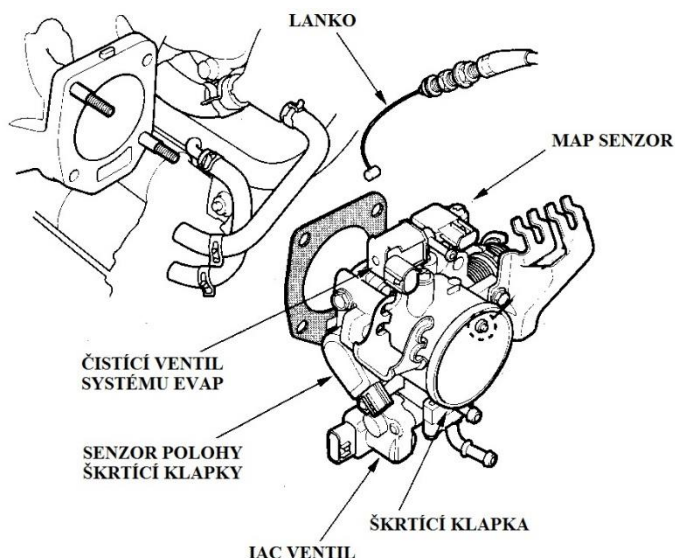


Obr. 17 Vliv přítomnosti a funkce VTC na otáčkovou charakteristiku motoru K20 [13]

Celkově umožňuje VTC plynulou změnu časování vaček v rozsahu 50° vzhledem k natočení klikového hřídele. Systém má také pojistku v podobě čepu, který při chybě VTC systém uzamkne v poloze maximálního zpoždění, tedy nejmenšího překrytí otevření ventilů. VTC je řízeno řídicí jednotkou motoru.

3.4 SÁNÍ, DODÁVKA PALIVA, ZAPALOVÁNÍ A VÝFUK

Sání motoru je řešeno krátkým rezonančním potrubím, které zároveň slouží jako nosič všech 4 vstřikovacích ventilů, jednou škrticí klapkou která odděluje sací potrubí od systému tlumení hluku a filtrace vzduchu. Škrticí klapka má průměr 62 mm a je ovládána mechanicky – tedy lankem přímo od pedálu uvnitř kabiny.

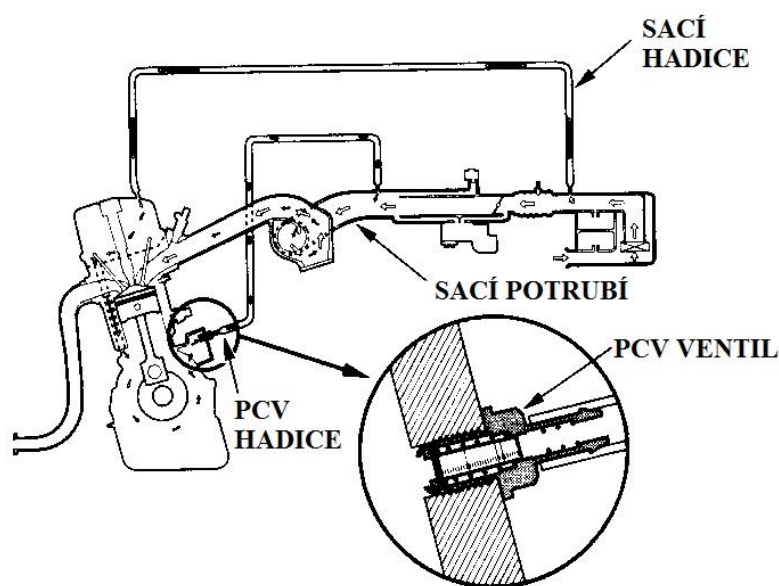


Obr. 18 Škrticí klapka motoru K20A2 [9]

Ke škrticí klapce je připojena dvojice senzorů. Jeden je snímač polohy škrticí klapky, druhý je tzv. MAP (Manifold Absolute Pressure) senzor, který měří absolutní tlak v sacím systému pro určení množství vzduchu, které je přivedeno do válců.

Součástí škrticí klapky je i IAC – systém řízení vzduchu při volnoběhu. Fakticky se jedná o obtokový ventil, který je využit a řízen pro přesné udržení daných otáček při volnoběhu (tedy když je plně uzavřená škrticí klapka). Poslední částí připojenou ke klapce je čistící ventil systému EVAP, který zadržuje benzínové páry z nádrže a po zahřátí chladicí kapaliny nad 65 °C se tento ventil otevře a nádržku s parami vyčistí uvolněním par do sání.

Součástí sání je i Positive Crankcase Ventilation (dále PCV), česky systém ventilace klikové skříně. Při spalovacím cyklu se díky nevyhnutelným vůlím mezi pístem (a jeho kroužky) a válcem dostává část zapalované směsi do klikové skříně. U benzínových motorů mnohé ze složek profuku aktivně působí na velký povrch olejových kapiček rozptýlených v klikové skříně, v důsledku čehož dochází ke tvorbě nežádoucích látek na dílech motoru, a proto je třeba zajistit odvětrávání klikové skříně motoru.[14] Díky přísnějším emisním normám přestalo být větrání přímo do atmosféry žádoucí a tehdy byl pro benzínové motory představen PCV systém. Funkce je nastíněna na obr. 19. Do prostoru hlavy válců je sací hadicí umístěnou za vzduchovým filtrem přiváděn čistý vzduch, kterému je pomocí kanálků v hlavě a bloku motoru umožněn přístup do klikové skříně, tam je díky rotaci klikového hřídele a kompresi při pohybu pístu dolů vzduch veden přes PCV ventil hadicí zpět do sacího potrubí, kde je smíšen se zbytkem vzduchu, který je sán motorem.



Obr. 19 Systém PCV [9]

Dodávka paliva je řešena palivovým čerpadlem v nádrži, regulátorem tlaku paliva a spojením se systémem EVAP. Vstřikování benzínu je vícebodové, na sacím potrubí je umístěn tlakový zásobník se čtveřicí vstřikovacích ventilů. Tlak paliva se pohybuje v rozmezí 0,32–0,37 MPa. Při plně uzavřené škrticí klapce a otáčkách vyšších jak 1100 min⁻¹ (brzdění motorem) je pak dodávka paliva pro zlepšení spotřeby přerušena. Palivová nádrž má objem 50 l.



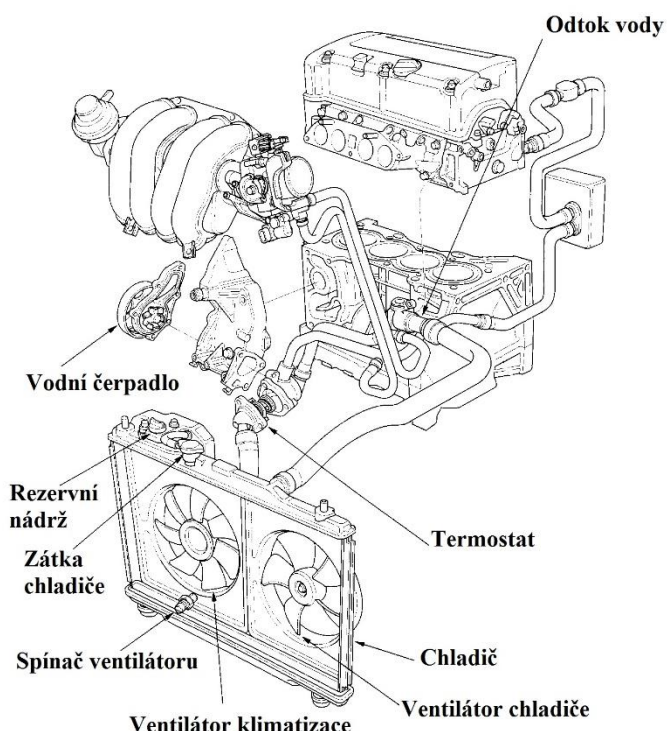
Motor nevyužívá rozdělovač pro zapalování, ale čtveřici zapalovacích cívek, jednu pro každou zapalovací svíčku. Zapalování je tak přesně ovládáno řídicí jednotkou. Motor v tovární podobě využívá svíčky NGK případně Denso¹², s elektrodami vzdálenými 1,1 mm.

Motor má výfukové svody typu 4 – 1, tedy všechny čtyři trubky výfuku vedoucí z hlavy válců motoru jsou vedeny a spojeny přímo do jedné trubky. Ta vede do tří-cestného katalyzátoru¹³, dále je výfuk veden pod autem až do tlumiče na jeho konci.

Funkce veškerých zmíněných systémů je dále podpořena a kontrolována množstvím senzorů. Snímač teploty vzduchu v sání, senzor klepání, snímač otáček, lambda sonda, ale i snímač teploty chladicí kapaliny dodávají informace do řídicí jednotky, která dále rozhoduje o chodu motoru.

3.5 CHLAZENÍ

Motor je chlazen nepřímo – kapalinou. Chlazení je řešeno uzavřeným systémem. Chladicí systém sestává z chladiče, ke kterému je připojena dvojice ventilátorů, jeden je kondenzační pro klimatizaci, druhý pro samotný chladič.



Obr. 20 Chladicí systém motoru K20A2 [9]

Oběh chladicí kapaliny je nucen vodním čerpadlem, které je poháněné klikovým hřídelem pomocí rozvodového ozubeného řemene. Součástí chladicího systému je i termostat,

¹² Katalogová označení NGK IFR7G-11K, DENSO SK22PR-M11.

¹³ U něj je dvojice senzorů množství kyslíku ve výfukových plynech – lambda sond. Jedna je před katalyzátorem, druhá je za ním.



umožňující rychlé zahřátí motoru na provozní teplotu před umožněním toku chladicího média do chladiče. Termostat je s pevnou náplní, začíná se otevírat v rozmezí 76–80 °C, plně otevřen je při 90 °C, zdvih má 8 mm. Celkem je v systému 6,4 l chladicí kapaliny.

Chladicí kapalina je přivedena čerpadlem do bloku motoru, dále kolem válců až do hlavy motoru. Z hlavy je umožněn tok kapaliny do výměníku topení kabiny. Voda je při otevřeném termostatu dále vedena do chladiče, jak je zřejmé z obr. 20.

3.6 PŘÍSLUŠENSTVÍ MOTORU

Mezi další mechanismy při motoru patří kompresor klimatizace, čerpadlo oleje posilovače řízení, baterie, startér a alternátor. Startér i alternátor bývají vyrobeny firmou Denso, startér má výkon 1,1 kW. Použitá baterie má napětí 12 V a kapacitu 36 Ah.



4 ÚPRAVY MOTORŮ A VÝSLEDKY

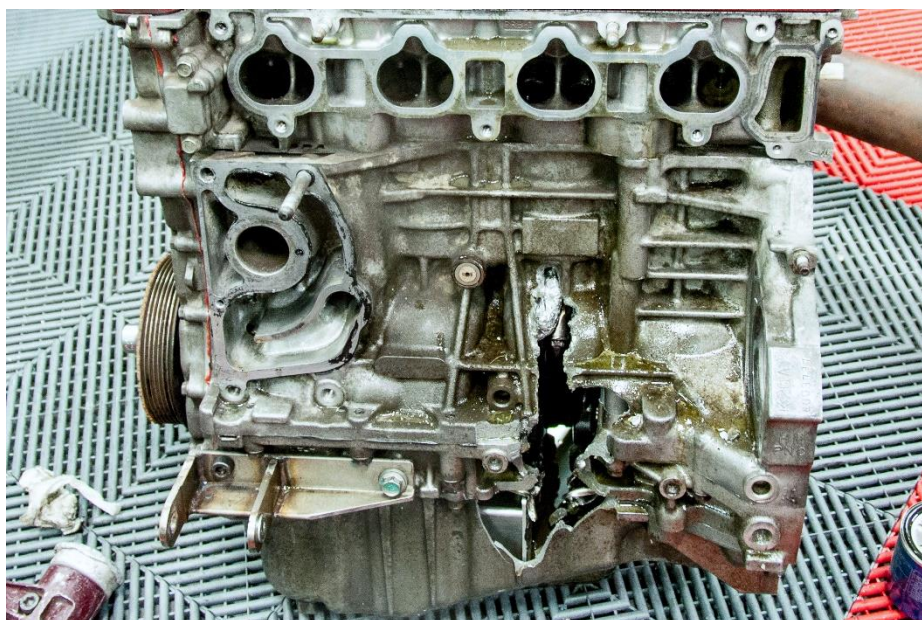
Jak bylo zmíněno, motor Honda K20A2 byl týmem KT Motorsport upraven ve dvou variantách. První varianta úprav byla navržena a zrealizována pro slabší motor Lotusu Exige GTR. Druhá a výkonnější varianta motoru je pohonnou jednotkou Lotusu Exige S1.

Cíl úprav je zřejmý, jelikož se jedná o přípravu motoru na použití při závodech, musí být motory co nejlehčí, co nejvýkonnější a zároveň spolehlivé. Některé úpravy, jak bude zřejmé v dalších kapitolách, jsou společné pro oba motory.

Prvním krokem všech úprav bylo odejmutí příslušenství, které není nutné pro chod motoru. Především z tohoto důvodu byl odebrán kompresor klimatizace, který je poháněn pomocí klínového řemenu motorem, a tedy odebírá značnou část výkonu motoru. Čerpadlo oleje posilovače řízení bylo odebráno ze stejného důvodu. Zachoval se pouze alternátor, který je k chodu motoru nutný a nebyl důvod ho měnit.

4.1 PRVNÍ VARIANTA ÚPRAV – SLABŠÍ MOTOR

Tato varianta měla za úkol připravit motor schopný startovat jak při sprintových, tak při vytrvalostních závodech. Velký nárok byl tedy kladen na spolehlivost vozu, protože vozidlo stráví při takovémto závodním víkendu takřka 4 hodiny v maximálním zatížení. Jelikož je motor použit v modernějším voze (co se aerodynamiky a podvozku týče) nebylo nutné z motoru dostat co největší výkon pro zachování konkurenceschopnosti v dané třídě.



Obr. 21 Poškozený blok motoru a kliková skříň po selhání ojnice

4.1.1 PÍST, OJNICE, KLIKOVÝ HŘÍDEL

Sériový píst byl nahrazen jiným sériovým pístem. Byl využit píst ze stejného motoru, ale ve verzi JDM. Tento píst pak zajišťuje kompresní poměr $\epsilon = 11,5 : 1$. Rozdíl mezi písty je pouze



ve tvarování dna a hmotnosti (japonský píst je o 2 g těžší a má přibližně o 1 mm větší kompresní výšku). Rozdíly jsou zřejmé z obr. 22.

Pro ideální Ottův cyklus by provedená změna kompresního poměru znamenala zlepšení tepelné účinnosti přibližně o 0,7%.



Obr. 22 Srovnání sériového pístu Honda pro evropský trh (vlevo) a sériového pístu Honda pro japonský trh (vpravo)

Výběr závodní ojnice ovlivňuje hlavně snaha odlehčit veškeré pohyblivé části motoru a zároveň zajistit spolehlivost proti poruše. Především druhý parametr je důležitý jelikož, jak bude nastíněno, pracuje závodní motor ve vyšších otáčkách než v sériové podobě.

Ojnice byla zvolena od firmy TODA RACING (číslo výrobku 13210-K20-000). Ojnice je vyrobena z chrom-molybdenové oceli, váží s oběma ložisky a šrouby přibližně 530 g (to znamená úsporu přibližně 80 g proti sériové ojnici). Jelikož požadujeme zachování zdvihového objemu, délka ojnice zůstává na 139 mm. Celkové rozměry se však liší – ojnice má obrysovou délku 193 mm (je tedy o 6 mm kratší než sériová ojnice) a dřík má šířku 16 mm (je tedy o 2 mm širší). V oku ojnice je dvojice mazacích otvorů (oproti jednomu v sériové ojnici).



Obr. 23 Srovnání sériové ojnice Honda (nahore) a závodní ojnice TODA (dole)

Klikový hřídel byl ponechán sériový, jelikož je dostatečně pevný, tuhý a odolný pro závodní použití.



4.1.2 VÁLCE, KLIKOVÁ SKŘÍŇ A MAZÁNÍ

Pro dosažení co nejlepší přesnosti a kvality povrchu válců, i protože upravený motor byl před úpravou používán v běžném provozu, byly válce motorů převrtány a byly do nich vsazeny nové suché vložky z perlitické šedé litiny dle ČSN 093131 s přídavkem niklu, chromu, molybdenu a mědi.

Sériové spodní víko motoru bylo upraveno firmou Hondata přepážkami, které udržují motorový olej dostupný pro olejové čerpadlo i při velkém silovém působení (například při průjezdu zatáčkami nebo brzdění by mohlo dojít k nasání vzduchu olejovým čerpadlem, čerpadlo by se díky tomu protočilo bez přítomnosti oleje, zahřálo a mohlo by dojít k jeho poškození, ale především by rychle klesl tlak oleje v motoru). Zajištění toku oleje je samozřejmě kritické pro bezproblémový chod komponent motoru. Dále byl přidán výměník voda/olej pro chlazení motorového oleje. Využívaný motorový olej je třídy 5W-50 a je použit výrobek Peak Life firmy Mobil 1. Použití oleje o vyšší kinematické viskozitě je motivováno snahou zabránit jeho úniku a zajištěním dostatečné viskozity a odolnosti proti degradaci při teplotách dosahujících až 140°C.

4.1.3 SÁNÍ A ZAPALOVÁNÍ

Sání motoru bylo silně pozměněno. V závodní podobě má motor čtveřici škrticích klapek, přímo montovanou na nové sací potrubí. Tento systém vyrobený firmou Jenvey Dynamics (označení CKHA07-60) je složen ze čtveřice škrticích klapek na rámu připevněném k sacímu potrubí, ovládacím mechanismem klapek (lanko přivedené z kabiny ovládá všechny čtyři klapky záraz, jelikož jsou vzájemně pevně spojeny) a tlakový zásobník pro vstřikovací ventily.



Obr. 24 Soustava airboxů - sání

Dále je systém složen z kónických karbonových svodů vzduchu¹⁴ do klapek a rámem k připevnění airboxu, což je alternativa tlumiče vzduchu držícího vzduchový filtr. Jelikož zde ale hluk není relevantní, slouží pouze k umožnění co nejlepšího toku vzduchu. K uchycení

¹⁴ Vnější průměr je 60mm, průměr na rozhraní svodů a klapek je 46 mm.



vzduchového filtru pak slouží horní airbox, viz obr. 24. Z důvodu odlehčení byly použity airboxy firmy ReVerie, typ Zolder 112d RH a LH vyrobené z uhlíkových vláken pro snížení hmotnosti soustavy. Výrobce uvádí celkový objem jednoho airboxu větší jak 5,7 l.

Využití čtveřice škrticích klapek a airboxu snižuje hmotnost sací soustavy a zároveň zlepšuje tok vzduchu do motoru. Při použití jedné škrticí klapky a sacího potrubí (byť relativně krátkého) závisí tok vzduchu do válce na tlaku v sacím potrubí. Díky větší vzdálenosti válce od škrticí klapky dochází při otevření škrticí klapky k prodlevě změny tlaku a tedy k prodlevě reakce motoru na otevření klapky. [16] Tento jev zároveň komplikuje výpočet správného množství paliva pro dané množství vzduchu, jelikož senzor monitorující tok vzduchu je u škrticí klapky, ale vstříkovací ventily paliva jsou u samého konce sacího potrubí.

Tyto problémy řeší právě velmi krátká soustava škrticích klapek a sacího potrubí. Sériový senzor natočení škrticí klapky byl nahrazen výrobkem firmy Magneti Marelli a MAP senzor není využit, motor využívá pouze senzor teploty vzduchu v sání. Výpočet daného množství paliva tedy fakticky neprobíhá, řídicí jednotka volí jeho množství jen na základě palivové mapy pro danou kombinaci natočení škrticí klapky a otáček motoru.

Sériové zapalovací svíčky byly nahrazeny svíčkami pro závodní použití. Byly použity svíčky Denso Iridium Racing (označení IK01-24). Vzdálenost elektrod těchto svíček je 0,7 mm (tedy o 0,4 mm menší, než u sériové svíčky). Horní elektroda má průměr 0,4 mm a iridiovou špičku, dolní elektroda má průměr 0,8 mm a platinovou špičku. Výrobce uvádí nárůst výkonu až o 7%¹⁵ ve srovnání s běžnými svíčkami, skutečný nárůst výkonu v tomto případě však vzhledem k množství a komplexnosti úprav tak velký zajisté nebude a volba kvalitních svíček je především podložena požadavkem na velkou odolnost proti samovolnému vznícení směsi příliš žhavou svíčkou při vysoké zátěži. Dle [14] by měl mít motor nejvyšší výkon při bohatší směsi paliva se vzduchem. Jelikož od motoru požadujeme co největší výkon bez ohledu na spotřebu paliva, používá tedy motor bohatší směs paliva se vzduchem než v sériové podobě¹⁶. V důsledku tohoto může docházet k zanášení svíček uhlíkovými deposity více než v sériové podobě a běžném zatížení, což vede ke snížení jejich účinnosti. I vůči tomuto jevu musí být svíčky odolné. [17]

Systém PCV musel být pochopitelně zachován, nicméně kvůli použití velice odlišného systému sání nebylo produktivní přivádět vzduch z klikové skříně do sání¹⁷. PCV tedy po úpravě ústí přes filtr do okolního prostředí, jinak zůstávají funkce i ventil zachovány.

4.1.4 VÝFUK

Na motoru byly využity výfukové svody typu 4 – 2 – 1, jejich provedení, včetně průměrů jednotlivých trubek, je zřejmé z obr. 25. Výrobce svodů je TODA RACING (označení výrobku 18100-DC5-00J), jsou vyrobeny z nerezové oceli pro zajištění spolehlivosti, odolnosti a nízké hmotnosti. K výfuku byl pak týmem KT Motorsport vyroben tlumič. Jelikož to není dle pravidel nutné, nevyužívá motor katalyzátor. Hluk je také takřka irelevantní¹⁸ a výfuk i tlumič

¹⁵ Při použití na voze Ford Mustang Bullit, dle jejich brožury.

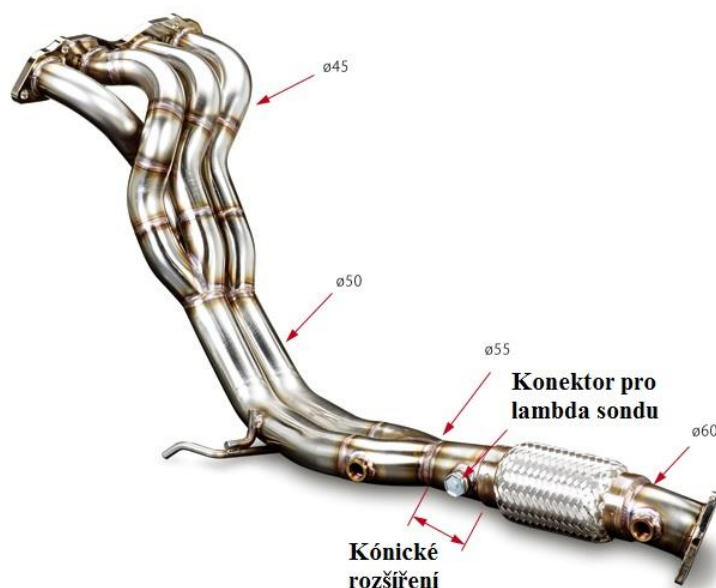
¹⁶ Vzdušný součinitel λ se po úpravě pohybuje v rozmezí hodnot 0,87 až 0,88.

¹⁷ Především kvůli malé velikosti celého systému nebylo možné vybrat vhodné místo pro vytvoření otvoru pro přívod vzduchu.

¹⁸ Limitní hodnota hluku výfuku je až 113 dB + 2 dB chyba měření, což je velmi vysoká hranice.



jsou tedy koncipovány pouze s cílem co nejlepšího proudění výfukových plynů potrubím. Lambda sonda je při závodě zapojena pouze pro záznam údajů. Řídící jednotka hodnoty z lambda sondy nijak nevyužívá. Je relevantní pouze při měření na motorové brzdě a při ladění motoru pro optimální výkon.



Obr. 25 Závodní výfukové svody od firmy TODA RACING [18]

4.1.5 CHLAZENÍ

Jelikož časový harmonogram závodů umožňuje čas na zahřátí motoru a provozních kapalin před závodem v libovolném časovém intervalu a zároveň při zátěži nehrozí, že by motor nedosáhl ideální provozní teploty, byl odebrán termostat systému chlazení. Výměník voda/vzduch který umožňuje vytápění kabiny, byl z určitých důvodů¹⁹ také odebrán. Sériové čerpadlo chladicí kapaliny bylo nahrazeno elektrickým, především ke snížení odběru výkonu motoru. Toto čerpadlo je pak v chodu vždy po startu motoru. Největší změnou v chlazení bylo přidání výměníku voda/olej pro chlazení motorového oleje mezi filtr oleje a blok motoru. Výměník byl vyroben firmou Mocal na základě patentu společnosti Laminova. Ze záznamu telemetrie je zřejmé, že využití výměníku vedlo k udržení teploty oleje i vody na přijatelných hodnotách²⁰.

Chladič byl zaměněn za výrobek od Eliseparts, výměník používá pouze jeden ventilátor. Čerpadlo chladicí kapaliny bylo nahrazeno elektrickým od firmy EWP, pro zmenšení odběru výkonu motoru. Chladič je umístěn v přední části vozu.

¹⁹ Teplota v kabině vozu je díky absenci klimatizace vždy vyšší než okolní teplota, navíc musí piloti mít nehořlavé kombinézy, které nezajišťují dostatečnou prodyšnost.

²⁰ Maximální teplota oleje při závodě byla 108°C na výstupu z motoru.



Obr. 26 Umístění chladiče a ventilátoru

4.1.6 ELEKTRONIKA A PŘÍSLUŠENSTVÍ MOTORU

Díky množství úprav a především požadavku na zvýšení výkonu nepřipadá použití sériové řídicí jednotky v úvahu. Byl proto využit výrobek Euro 1 od firmy EFI, který byl následně ještě dále upraven.

Řídicí jednotka přijímá od senzorů následující data:

- Teplota chladicí kapaliny
- Teplota nasávaného vzduchu
- Úhel natočení škrticích klapek
- Pozice sacího vačkového hřídele
- Otáčky motoru (na klikovém hřídeli)

Palivová mapa (ovládá délku vstřiku paliva) i zapalovací mapa (řídí časování zapálení směsi ve spalovacím prostoru) jsou pevně závislé na otáčkách motoru a úhlu natočení škrticí klapky. Řídicí jednotka umožňuje řízení pro 32 kroků každé proměnné.

Na výstupu pak řídicí jednotka ovládá:

- Solenoid VTEC
- Solenoid VTC
- 4 zapalovací cívky
- 4 vstřikovací ventily

Ovládání systémů VTEC i VTC funguje fakticky stejně jako v sériové podobě. Řídicí jednotka volí úhel natočení sacího vačkového hřídele pouze v závislosti na stávajících otáčkách motoru. Přepínání VTEC na větší vačku probíhá při překročení 6000 min^{-1} . Jelikož po odlehčení setrvačníku docházelo k problémům při startu motoru (přílišné kolísání startovacích otáček) musel být sériový startér nahrazen výkonnějším startérem od firmy Mitsubishi. Ve skutečnosti se jedná o jiný sériový startér, používaný u naftového motoru Honda o zdvihovém objemu 2,2 l.



Nakonec musel být motor samozřejmě profesionálně laděn na motorové brzdě. Jelikož ECU nevyužívá data ze senzoru klepání, je potřeba vytvořit palivovou a zapalovací mapu tak, aby ke klepání nedocházelo. Znamená to tedy volbu množství paliva pro udržení vzdušného koeficientu v daném intervalu a co největší zpoždění zapalování směsi, při kterém ještě nedojde ke klepání. Ladění VTC je pak experimentální – v závislosti na tom, která konfigurace vyhovuje nejvíce při daných otáčkách. Doba přepínání VTEC se určí naměřením točivého momentu při plně otevřených škrticích klapkách nejdříve při použití pouze malé, poté pouze velké vačky v plném rozsahu otáček. V místě, kde se pak grafy protnou, bude VTEC přepínat, aby se plně využilo obou profilů vaček.

4.1.7 VÝSLEDEK ÚPRAV A ZÁVODŮ

Sériový motor dosahuje 147 kW při 7400 min⁻¹, po úpravách v těchto otáčkách motor dosahuje výkonu 175 kW a maximální výkon 189 kW má při 8750 min⁻¹. To značí nárůst výkonu o 28,6%. Maximální točivý moment je 240 Nm při 6500 min⁻¹, byl tedy úpravami zvýšen o 24,4%. Otáčková charakteristika motoru po těchto úpravách je k dispozici, viz příloha 3.

Dále jsou v tab. 4-1 vidět výsledky vozu v sezóně 2014. Petr Mandelík s tímto vozem vyhrál titul šampiona střední Evropy jak ve sprintech, tak ve vytrvalostních závodech (společně s Petrem Levíčkem). I v letech 2012 a 2013 obsadil Petr Mandelík v tomto voze pódiová umístění v celkových hodnoceních šampionátů ve vytrvalosti i sprintu.

Tab. 4-1 Umístění vozu Lotus Exige GTR v závodech seriálu FIA CEZ ve třídě D4-2000 v roce 2014

	Hungaroring	Red Bull Ring	Most	Slovakiaring	Brno
Sprint 1	2	1	DNF	1	2
Sprint 2	2	1	1	1	2
Vytrvalost	DNF ²¹	1	DNF	1	2

4.2 DRUHÁ VARIANTA ÚPRAV – SILNĚJŠÍ MOTOR

Tyto úpravy už počítají pouze s využitím při sprintových závodech a motor tedy není tak zatížen jako jeho první varianta. Proto tato varianta motoru využívá všechny úpravy provedené na slabší variantě a dále je rozšiřuje pro další zvýšení výkonu. Uvedeny tak budou pouze odlišnosti silnějšího motoru od slabšího motoru.

4.2.1 Píst

Píst závodního motoru musí být lehký, aby nezhoršoval mechanickou účinnost při vysokých otáčkách a dovoľoval vysokou střední pístovou rychlost. Proto se dělá plášť pístu krátký. [14] Z toho důvodu, i z důvodu zvýšení kompresního poměru byly sériový píst nahrazen kovaným výrobkem japonské firmy TODA RACING (katalogové číslo 13010-K20-001). Výrobce uvádí

²¹ DNF = Did not finish – Vůz závod nedokončil, v těchto případech vždy kvůli technickým problémům.



kompresní poměr pístu při použití standardní hlavy válců $\varepsilon=13,6 : 1$. Píst má dva těsnící a jeden stírací kroužek. Bez kroužků váží přibližně 343 g. Píst využívá stejný rozměr pístního čepu jako v sériové podobě, tedy 22 mm. V čem se odlišuje od sériového pístu, je tvarování dna, díky kterému dosahuje mnohem vyššího kompresního poměru. Rozdíly mezi písty jsou zřejmé z tab. 4-2.

Tab. 4-2 Srovnání sériového a závodního pístu

	Hmotnost (g)	Celková výška pístu (mm)	Kompresní výška pístu (mm)	Kompresní poměr
Sériový píst Honda	334	56	34	11,0 : 1
Závodní píst TODA	343	57	38	13,6 : 1 ²²

Pro ideální Ottův cyklus by provedená změna kompresního poměru znamenala zlepšení tepelné účinnosti přibližně o 2,3%. Jelikož ovšem nemůže proběhnout takto velká změna kompresního motoru bez dalších úprav²³ pro zachování řádného chodu motoru, lze s jistotou říci pouze to, že touto úpravou zvýšíme výkon, nikoliv však o jakou hodnotu.



Obr. 27 Srovnání sériového pístu Honda (vlevo) se závodním pístem TODA (vpravo)

4.2.2 VÝFUK A SÁNÍ

Motor využívá zakázkově vyrobený výfuk typu 4 – 2 – 1, odlišný od výfuku TODA. Jeho vzhled a připevnění k rámu je viditelné z obr. 28. Alternativní výfuk byl nezbytný, jelikož na rozdíl od sériového vozu je motoru usazen v zadní části vozidla.

²² Při použití standardního těsnění pod hlavu motoru o tloušťce 0,6 mm. Výrobce uvádí, že při použití těsnění o poloviční tloušťce dosahuje kompresní poměr hodnotu 14,5 : 1, výrobce však tuto úpravu důrazně nedoporučuje.

²³ Použití paliva s vyšším oktanovým číslem, změna předstihu zapalování nebo zvýšení bohatosti zapalované směsi jsou jedny z úprav používaných pro zabránění detonačního spalování.



Obr. 28 Výfuk silnější varianty motoru

System sání je takřka totožný s předchozím motorem, využívá ovšem čtveřici škrticích klapek vyrobenou firmou TODA RACING (číslo výrobku 17100-K20-206). Celý systém obsahuje i sací potrubí, které je připevněno k hlavě válců a palivový zásobník. Na obr. 29 lze tento systém vidět, v airboxu je vlevo viditelný snímač teploty vzduchu, na levé straně klapky je vidět černý snímač natočení škrticí klapky.



Obr. 29 Škrticí klapky, sací potrubí a palivový zásobník TODA, airbox ReVerie

4.2.3 VENTILOVÉ ROZVODY, HLAVA VÁLCŮ

Na rozdíl od slabší varianty motoru využívá tato varianta silně upravené součásti rozvodů. Byl použit rozvodový řetěz od firmy TODA RACING, především kvůli zlepšení spolehlivosti. Dále byly použity vačkové hřídele a pružiny ventilů vyrobené stejnou firmou. Sací vačkový hřídel nese označení 14111-K20-00E, výfukový vačkový hřídel 14121-K20-00E. Oba mají podobu umožňující funkci VTEC – na každou dvojici ventilů tedy připadá trojice vaček. Obě malé vačky připadající na jeden válec mají pak stejný profil.



Maximální zdvih velké vačky zůstává totožný se sérií jak u výfukové tak sací vačky. Jejich profil je naznačen v tab. 4-3. Je zřejmé, že velká doba otevření ventilů v kombinaci s velkým zdvihem je důležitá pro dobré plnění válce čerstvou směsí.

Tab. 4-3 Parametry závodních vaček TODA

	Sací vačky		Výfukové vačky	
	Malá vačka	Velká vačka	Malá vačka	Velká vačka
Max. zdvih ventilu (mm)	10,5	13	10,5	12,5
Doba otevření ventilu (°)	250	310	250	305

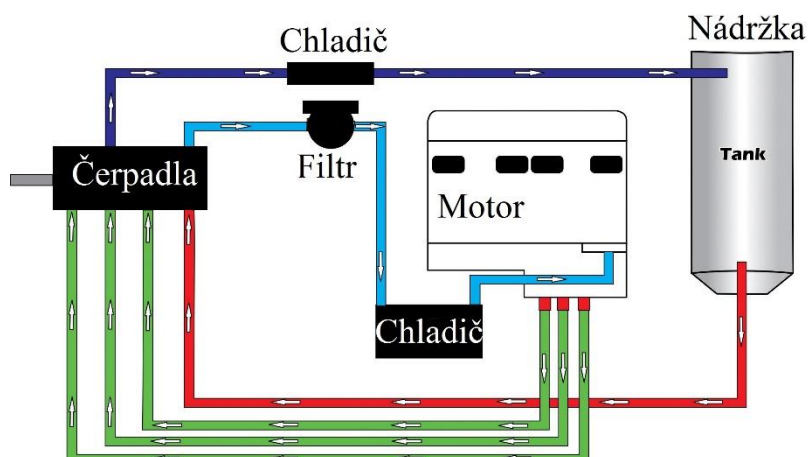
Hlava válců a ventily byly v Japonsku upraveny firmou TODA RACING pro optimalizaci spalovacích prostorů a sedel ventilů. Další změnou oproti sériové podobě bylo odejmutí a tedy nevyužití systému VTC (konstrukce vaček použití VTC neumožňuje).



Obr. 30 Upravená hlava válců a ventily motoru K20A firmou TODA RACING [19]

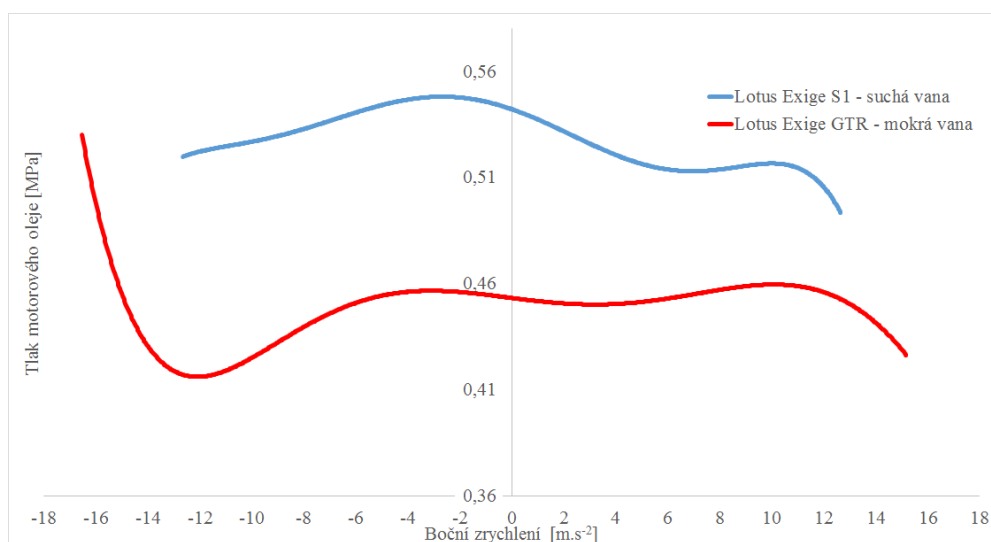
4.2.4 MAZÁNÍ

Jak bylo nastíněno u slabšího motoru, zajištění tlaku oleje při velkém zrychlení v zatáčkách a brzdění je u závodních motorů kritické. Proto byl pro silnější motor změněn systém mazání na mazání se suchou klikovou skříní od firmy ARE. Naznačení funkce je na obr. 31. Motor využívá jinou olejovou vanu s nižším profilem (toto umožňuje nižší umístění motoru, to přispívá ke snížení těžiště vozu, což je také žádoucí). Z této vany odebírají olej v našem případě dvě čerpadla, ne tři jako na obrázku a dopravují olej do nádržky přes chladič (totožný výměník olej/voda jako u slabšího motoru). Z nádržky o objemu přibližně 7,6 l je čerpadlem odsán olej a přes filtr (bez chladiče na obrázku) tlakem dopraven do bloku motoru.



Obr. 31 Mazání se suchou olejovou vanou [20]

Jako ověření výhodnosti použití suché klikové skříně vykreslíme závislost tlaku oleje na bočním zrychlení vozu v jednom kole závodu. Takový graf je však takřka nečitelný vzhledem k tomu, že jsou data zaznamenána desetkrát za sekundu. Proložíme tedy graf polynomem šestého stupně. Výsledek je zřejmý z obr. 32. Bylo zjištěno, že systém suché skříně je méně citlivý na boční zrychlení. To potvrzuje například výpočet rozptylu hodnot tlaku oleje, ten je při použití suché skříně takřka dvakrát menší, než při použití mokré skříně²⁴. Z grafu je také možné vyčíst provozní tlak oleje v maximální zátěži.



Obr. 32 Srovnání závislosti tlaku oleje na bočním zrychlení při použití suché a mokré vany

Jelikož došlo v minulosti k problémům se slabším motorem v důsledku nedokonalosti mazání a systém suché klikové skříně na motoru funguje bezproblémově, je v plánu tato úprava i pro slabší variantu motoru.

Motor byl samozřejmě profesionálně laděn na motorové brzdě po dokončení všech úprav.

²⁴ Počítáno v rozsahu zrychlení systému se suchou vanou, tedy pro menší rozsah.



4.2.5 VÝSLEDKY ÚPRAV A ZÁVODŮ

Motor po těchto úpravách dosahuje takřka 213 kW při 9000 min⁻¹. To představuje 44,9% nárůst výkonu proti sériovému motoru. Točivý moment dosahuje 225 Nm při 8450 min⁻¹. Proti sériovému motoru je tedy o 16,6% větší. Zvětšily se i maximální otáčky motoru o 18% při zachování spolehlivosti pro zachování funkce pohonné jednotky. Otáčková charakteristika motoru po těchto úpravách je k nahlédnutí na konci práce, viz. příloha 4.

Dále jsou v tab. 4-4 vidět výsledky vozu v sezóně 2014. Marek Fried s tímto vozem vyhrál titul vicemistra střední Evropy ve sprintech. V roce 2012 s tímto vozem získal titul mistra v tomto šampionátu, v sezóně 2013 pak obsadil třetí místo v celkovém hodnocení soutěže.

Tab. 4-4 Umístění vozu Lotus Exige S1 v závodech seriálu FIA CEZ ve třídě D4-2000 v roce 2014

	Hungaroring	Red Bull Ring	Most	Slovakiaring	Brno
Sprint 1	1	2	DNF	2	1
Sprint 2	3	DNF	DNF	7	1

Jako další metodu srovnání upravených vozidel Lotus Exige se zmíněnými konkurenty lze využít záznamy ze závodu na Slovakiaringu. Na tomto okruhu totiž všechny zmíněné vozy zajely alespoň jedno rychlé kolo a lze je tedy porovnat. Je ovšem nutné zmínit, že nejrychlejší čas a nejvyšší průměrná rychlost na kolo nezávisí pouze na motoru. Nicméně jelikož je Slovakiaring velmi rychlý okruh (z hlediska průměrné rychlosti na kolo je to nejrychlejší okruh seriálu), jistou vypovídající hodnotu následující porovnání zajisté má.

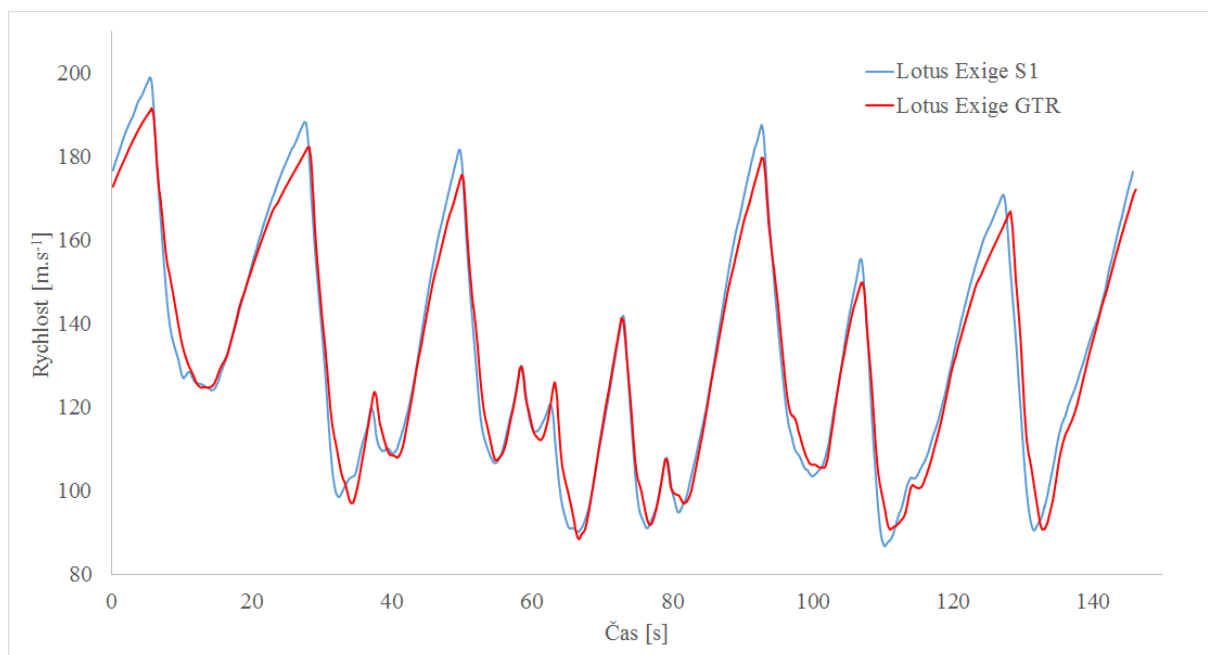
V tab. 4-5 je toto srovnání nastíněno. Je zřejmé, že silnější varianta motoru dosahuje mnohem lepších výsledků než jeho slabší verze. I ta je však úspěšnější než starší tovární vozy vyrobené pro světové šampionáty.



Tab. 4-5 Srovnání nerychlejších kol vozidel D4-2000

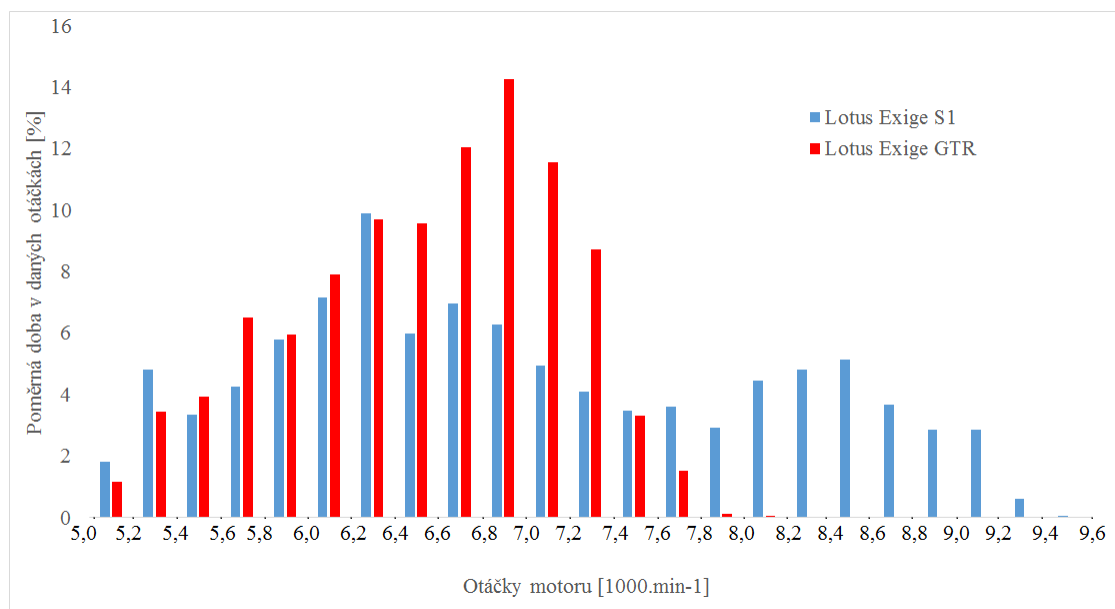
	Čas nejrychlejšího kola (min:s)	Průměrná rychlost v daném kole (km* hod^{-1})
Lotus Exige S1	2:17,734	154,8
Lotus Exige GTR	2:19,153	153,2
Alfa Romeo 156	2:20,022	152,3
BMW 320i E46	2:20,654	151,6
Vauxhall Vectra STC	2:20,739	151,5
Renault Clio Cup RS IV	2:25,339	146,7
Renault Clio Cup RS III	2:26,975	145,1
Chevrolet Cruze	2:47,632	127,2

Poslední srovnání je pak mezi samotnými motory, o kterých pojednává tato práce. Nejdříve jde o srovnání průběhu okamžitých rychlostí při jednom kole na Masarykově okruhu. Na obr. 33 je zřejmé, že díky většímu výkonu dosahuje silnější vozidlo mnohem lepších maximálních rychlostí. Po srovnání dat z telemetrie má Lotus Exige S1 průměrně o 1% vyšší rychlost v každém okamžiku závodu a to i přes větší vyspělost pomalejšího vozu co se podvozku týče.



Obr. 33 Srovnání okamžitých rychlostí vozů Lotus při jednom kole na Masarykově okruhu

Z hlediska zátěže a funkce motoru, i pro ladění jeho parametrů k získání optimálního výkonu, je však užitečné vědět, v jakých otáčkách motor pracuje při závodě. Jako příklad si vezmeme záznamy z telemetrie znovu z Masarykova okruhu, například nejrychlejší kolo obou aut. Čas strávený v procentech vzhledem k celkovému času kola v daném intervalu otáček je zřejmý z obr. 34. Byť se rychlejší vůz pohybuje ve větších maximálních otáčkách, více času má motor menší otáčky než 6400 min^{-1} . Naopak u slabšího motoru je evidentní, na které otáčky například ladit rezonanční sací potrubí a to pro interval $6200\text{--}7400 \text{ min}^{-1}$.



Obr. 34 Čas strávený v daném intervalu otáček obou vozů Lotus na Masarykově okruhu

Poslední tabulka je shrnutí hlavních atributů jednotlivých variant motoru před a po úpravách.



Tab. 4-6 Srovnání hlavních charakteristik jednotlivých variant motoru K20A2

	Sériový motor	Slabší varianta motoru	Silnější varianta motoru
Maximální výkon (kW při min⁻¹)	147 při 7400	189 při 8750	213 při 9000
Maximální točivý moment (Nm při min⁻¹)	193 při 5900	240 při 6500	225 při 8450
Maximální otáčky (min⁻¹)	8050	8750	9500
Kompresní poměr	11,0 : 1	11,5 : 1	13,6 : 1
VTEC	ANO	ANO – sériový	ANO – vačky TODA
VTC	ANO	ANO - sériový	NE
Mazání	Mokrý skříň, olej 10W-40	Mokrý skříň, olej 5W-50	Suchá skříň, olej 5W-50
Hmotnost pístu (g)	334	336	343
Hmotnost ojnice (g)	610	530	530
Hlava válců a ventily	-	Sériové	Sériové, upravené firmou TODA
Typ výfuku	4 – 1	4 – 2 – 1 (TODA)	4 – 2 – 1 (vlastní)
Škrťací klapky	1 (Honda)	4 (Jenvey)	4 (TODA)

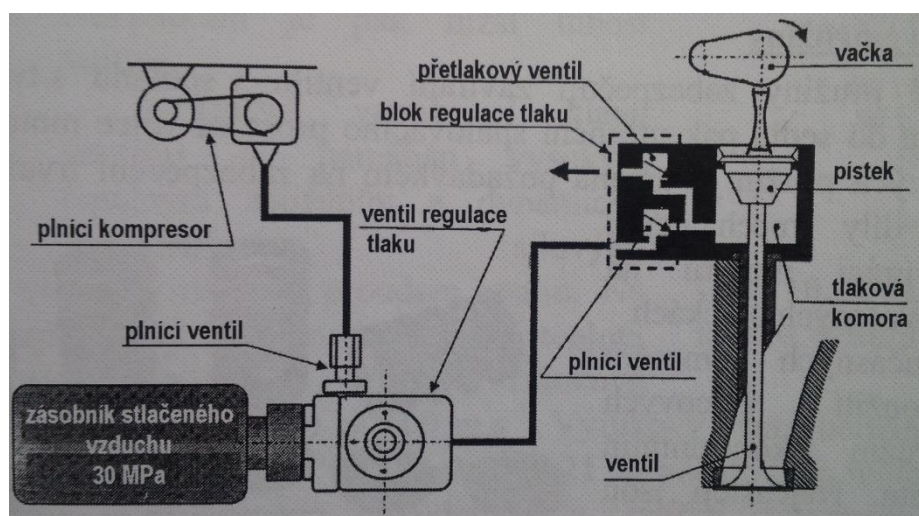
5 BUDOUCÍ VÝVOJ

Žádné z vozidel závodících v divizi 4 nepředstavuje vrchol vývoje spalovacích motorů pro závodní využití. Je tomu tak především protože se nejedná o celosvětový šampionát a týmy nemají tovární podporu při vývoji vozidel. Především vozidla třídy do 2000 cm³ nerepresentují nejmodernější techniku v závodech FIA CEZ, jelikož žádný světový nebo kontinentální šampionát nevyužívá nepřepřlňované motory o tomto zdvihovém objemu. I přesto je velmi těžké některé motory dále upravovat pro zvýšení výkonu, obzvláště ty továrně vyráběné pro starší světové šampionáty.

Trendem ve vývoji jak sériových tak závodních vozů je snižování zdvihového objemu, přepřlňování turbodmychadly a kompresory a využití technologií hybridního pohonu. Tyto změny jsou podřízeny nárokům na snižování emisí a spotřeby fosilních paliv. Jelikož k tomuto vývoji dochází postupně ve všech velkých šampionátech, lze předpokládat, že nevyhnutelně dospějí i do závodů divize 4. Nelze však odhadnout, kdy k těmto změnám dojde a proto se zabýváme možnými úpravami pro zvýšení výkonu a spolehlivosti při stávajících pravidlech a technických předpisech divize 4 do 2000 cm³. Další podkapitoly se zabývají teoretickými možnostmi dalších úprav. Je však nutné podotknout, že málokterá z úprav by byla realizovatelná za přijatelných nákladů ve stávající době.

5.1 BEZ-PRUŽINOVÉ A BEZ-VAČKOVÉ ŘÍZENÍ VENTILŮ

Byť je rozvod DOHC nejrozšířenější forma řízení ventilů u závodních motorů, nejde o nejdokonalejší systém. Především použití mechanických pružin omezuje maximální otáčky motoru setrvačnými hmotnostmi a nebezpečím vzniku rezonančních kmitů.[14] Při vysokých otáčkách může díky pružnosti rozvodu docházet k nepravidelnosti chodu ventilů a i k tzv. odskakování váček. Větší problém však hrozí v případě přetočení motoru, především při chybě řidiče. Tehdy může dojít ke kontaktu pístu a ventilu což vede k havárii motoru.



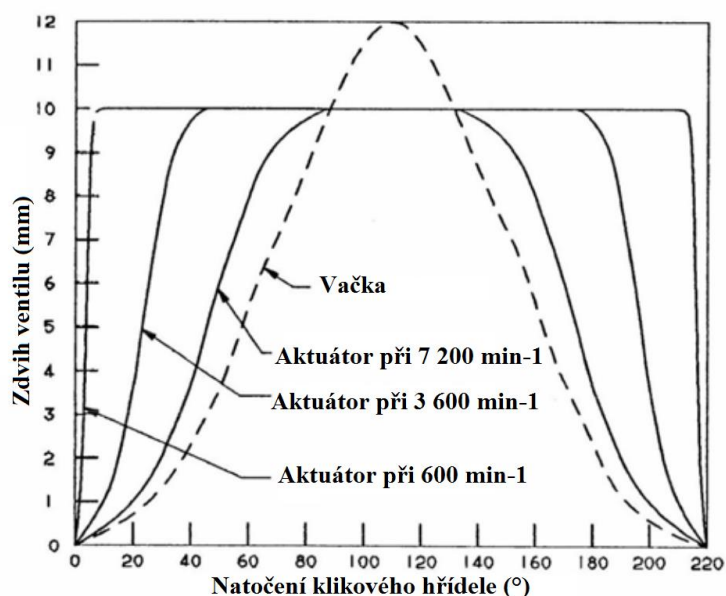
Obr. 35 Tlakový okruh vzduchové pružiny motoru F1 [14]

Tyto problémy museli řešit konstruktéři především u motorů vozů formule 1²⁵. Zde byl problém vyřešen vzduchovými pružinami, jak je naznačeno na obrázku obr. 35. Taková úprava by byla velice náročná jak finančně tak časově, jelikož by bylo zapotřebí navrhnout celou hlavu motoru a kompletně přepracovat rozvody.

Výsledkem takovéto úpravy by byla zvýšená spolehlivost a zajištění funkce rozvodů při vysokých otáčkách. Při dalším zvýšení otáček pro zvýšení maximálního výkonu motoru by však vyvstala otázka spolehlivosti ostatních komponent – především ojníc a klikového hřídele.

Bez-vačkové řešení rozvodů eliminuje jak problémy mechanických pružin, tak nedokonalý průběh otevírání ventilů při sání a výfuku. V současné době je technologie v podobě prototypů, avšak firma Koenigsegg pracuje na vozu, jehož motor bude mít právě bez-vačkové rozvody vyvíjené firmou FreeValve. Tato technologie je elektro-pneumatická – veškerý pohyb ventilu je zajištěn tlakem vzduchu z tlakové nádoby a řízení je pochopitelně realizováno elektricky, tedy z řídicí jednotky. Další možností jak ovládat ventily je elektro-hydraulicky (Lotus Active Valve Train) nebo elektro-magneticky.

Všechny systémy jsou principiálně velmi podobné. Aktuátor, který je buď magnetický, pneumatický nebo hydraulický na základě přijatého elektrického signálu ovládá zdvih ventilu. Takovéto rozvody mají mnoho výhod. Umožňují libovolnou změnu časování, individuální řízení všech ventilů, ale především má průběh zdvihu ventilu podobu zřejmou z obr. 36.



Obr. 36 Srovnání průběhu zdvihu ventilu při použití vačky a pneumatického aktuátoru [21]

Takováto křivka zdvihu ventilu je velmi příznivá, umožňuje velmi dobrou plnicí účinnost. V sériovém voze by pomáhala především zlepšit spotřebu paliva, v závodním voze pak značně

²⁵ V roce 2008 byly motory F1 omezeny maximálními otáčkami 19 000 min⁻¹, ve stávající době jsou omezeny na 15 000 min⁻¹.

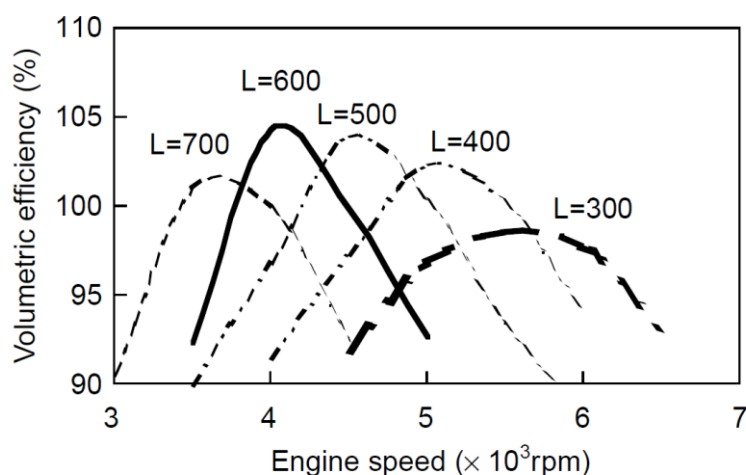
zvyšuje výkon i točivý moment. Při 600 min^{-1} má křivka takřka čtvercový tvar, i při vyšších otáčkách má tvar nedosažitelný s pomocí vačky.

5.2 PROMĚNNÁ DÉLKA SACÍHO POTRUBÍ

U všech zážehových motorů současných automobilů jsou pro zlepšení průběhu točivého momentu a maximálního výkonu motoru využívána rezonanční sací potrubí. [14] U modernějších vozidel se objevují víceúrovňová rezonanční potrubí, která využívají přetlakových vln v sacím potrubí ke zlepšení výkonu a točivého momentu motoru ve dvou oblastech určitých otáček.

Sériový motor takové potrubí využívá, nicméně je laděno pro zlepšení točivého momentu při velmi nízkých otáčkách z hlediska závodní zátěže a omezuje tok vzduchu, i proto bylo účinnější použití čtyř škrticích klapek a airboxů. Takovéto nastavení s velmi krátkým potrubím je však výhodné pouze ve vysokých otáčkách motoru. Pro zajištění maximálního možného využití rezonančních parametrů sání v celém rozsahu otáček je zapotřebí potrubí s kontinuálně proměnnou délkou.

Většina takovýchto sériově vyráběných potrubí však využívá pouze dvou nebo tří stupňové sací potrubí. Bylo by tedy třeba navrhnout mechanismus ovládaný řídicí jednotkou, který by v závislosti na otáčkách motoru měnil délku potrubí pro dosažení co nejlepší efektivity spalovacího cyklu.



Obr. 37 Vliv délky sacího potrubí na plnicí účinnost motoru [13]

Jednou takovou možností je oddělení kónických svodů saného vzduchu, které jsou použité na obou zmíněných čtveřicích škrticích klapek, jedna z nichž je vidět na obr. 38. Po oddělení by byly například pomocí elektromagnetického aktuátoru posouvány v přírubě škrticích klapek a tím by se efektivně prodloužilo sací potrubí a zároveň zvětšil jeho objem. Pro nižší otáčky by bylo potrubí delší pro dosažení vysokého točivého momentu při akceleraci. Při vyšších otáčkách, kdy je požadován především vysoký výkon motoru by naopak potrubí bylo zkráceno. Takovéto změny by požadovaly úpravu škrticích klapek i airboxu ale především úpravy zapalovacích a palivových map řídicí jednotky pro maximální využití proměnných délek potrubí a tvorbu programu v ECU, který by řídil polohu svodů vzduchu.



Obr. 38 Kónické sací potrubí firmy TODA RACING

Jak bylo naznačeno na obr. 34 záleží na okruhu, v jakých otáčkách se motor pohybuje nejběžněji. Jelikož by svody s proměnnou délkou, které by bylo možné ladit na celý rozsah otáček, který má motor k dispozici byly značně rozměrné, bylo by účelné délku svodů měnit pouze pro určitý interval otáček. Na rychlém okruhu jako je Masarykův okruh nebo Slovakiaring by byly užitečné kratší svody pro interval velmi vysokých otáček kvůli velkému výkonu. Naopak na techničtějším, pomalém okruhu s velkým množstvím zatáček a častou akcelerací by byly vhodné svody pro nižší otáčky (relativně k maximálním) pro docílení vysokého točivého momentu při akceleraci ze zatáček.

5.3 ZMĚNA PALIVA ZA E85

Jelikož řady povolují jakékoliv běžně dostupné palivo splňující určité parametry, jedna z možností zvýšení výkonu je použití paliva E85 – tedy směsi ethanolu (85 %) a benzínu (15 %). E85 poskytuje mnoho výhod ve srovnání s běžným benzínem, v dnešní době nejčastěji diskutovanou výhodou je snížení emisí.

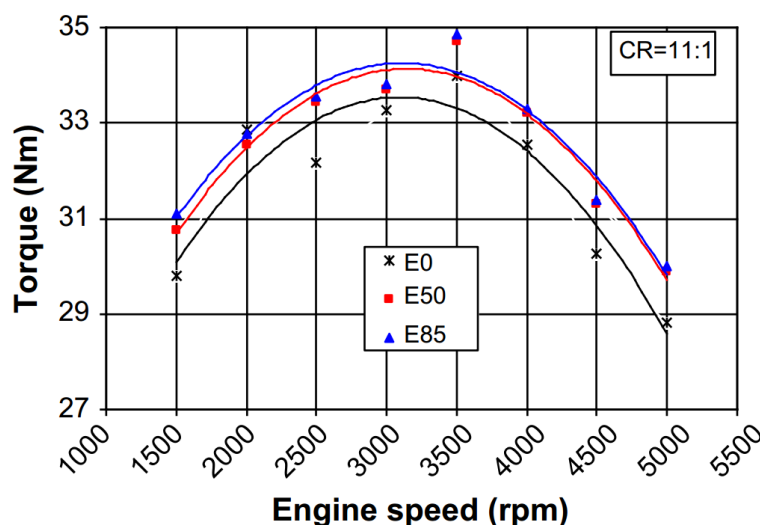
Pro závodní aplikaci však disponuje takovéto palivo řadou jiných výhod. I přes menší výhřevnost než jakou má benzín, vykazuje ethanol větší tepelnou účinnost a větší střední efektivní tlak při stejném kompresním poměru. To je pochopitelně velmi příznivé pro výkon motoru. I [22] například pozoruje zvýšení točivého momentu o 2,8 % při použití E85 ve srovnání se standardním benzínem.

Další výhodou je vysoké oktanové číslo paliva, tedy velká odolnost proti klepání. Právě zpoždění zapalování má velký vliv na výkon motoru, lze tedy předpokládat zvýšení výkonu i díky odolnosti proti detonačnímu hoření paliva. V neposlední řadě díky velkému vnitřnímu výparnému teplu E85 velmi dobře chladí prostory sacího kanálu a válce motoru a umožňuje lepší objemové plnění spalovací komory díky sání chladnějšího a tedy hustějšího vzduchu.

Toto palivo však má i určité nevýhody. Fakt, že má mnohem menší hmotnostní směšovací poměr se vzduchem než benzín je sice příznivý pro emise sériového vozu²⁶, ale velmi nepříznivý pro spotřebu paliva. Ta jako taková není problém z hlediska ekonomiky provozu, je

²⁶ Díky menší teplotě hoření paliva a možnosti použít chudší směs paliva se vzduchem při zachování výkonu.

však problém kvůli použití vstřikovacích ventilů. Ty by musely být nahrazeny za takové, které by umožnily větší průtok paliva²⁷.



Obr. 39 Vliv množství ethanolu v benzínu na točivý moment motoru při kompresním poměru $\epsilon=11:1$ [22]

Druhým následkem velké spotřeby by bylo nezbytné zvětšení nádrže, možná i výměna palivového čerpadla. To by bylo nepříznivé i kvůli zvýšení hmotnosti vozu. Také by byla potřeba zkontrolovat veškeré prvky palivového systému, některé materiály používané v benzínových motorech mohou být náchylné na opotřebení při použití paliva o velkém obsahu ethanolu a při použití s E85 by mohlo dojít k jejich selhání.

5.4 ODLEHČENÍ POHYBLIVÉ HMOTY MOTORU

Odlehčování dílů motoru, které se pohybují (ať už rotačně nebo posuvně) je velmi důležité, jak z hlediska snížení setrvačných a posuvných sil, tak pro snížení tření v ložiscích. Snížení hmotnosti pístů, pístních čepů a ojníc má dramatický efekt na zvýšení maximálních otáček motoru a na jeho otáčkovou charakteristiku. To je však velmi komplikované kvůli požadavkům na pevnost a tuhost.

Závodní písty a ojnice firmy TODA jsou velmi kvalitní výrobky o nízké hmotnosti, nicméně je bezpochyby lze vylepšit. Nejatraktivnějším materiálem pro pístní čepy a ojnice jsou slitiny titanu a hliníku²⁸. Takové slitiny poskytují dostatečnou tuhost a pevnost, díky menší hustotě však umožňují odlehčení komponent při využití stejného množství materiálu. Výhodnost takových slitin potvrzuje jejich využití ve Formuli 1. Evidentním problémem těchto materiálů je však jejich nákladnost, velká vrubová citlivost a fakt, že je nikdo nepoužívá v hromadné výrobě. Veškerá výroba by tedy byla zakázková, ještě více zvyšující finanční náklady. Existují

²⁷ Vysoký kompresní poměr závodního motoru by působil příznivě na spotřebu paliva, i tak však [22] pozoruje navýšení spotřeby o 36,4% při $\epsilon=11:1$.

²⁸ Vývojem takového materiálu pro pístní čep se zabývá článek R&D divize Hondy, dostupný zde: <https://www.hondarandd.jp/point.php?pid=663&lang=en>



však i ocelové ojnice, které by poskytly hmotnostní úsporu, například firma Brian Crower vyrábí kované ojnice, které mají vážit 415 g bez šroubů a ložisek (katalogové číslo BC6051).

Klikový hřídel použitý v obou motorech je sériový, na něm by pravděpodobně šlo snížit nejvíc hmotnosti. Kvůli složitosti a nákladnosti výroby je však jeho úprava/nahrazení nejméně výhodná ze všech uvedených možností odlehčování.

Pravděpodobně nejsnazšího odlehčení lze dosáhnout použitím lehčích ojničních šroubů. Sama o sobě by však taková úprava nebyla dostatečně účinná, aby se vyplatila.



ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo nastínit dílčí části procesu úpravy motoru pro závodní použití. Byly naznačeny předpisy, kterými se konstruktér musí při stavbě motoru řídit a byla přiblížena konkurence v dané třídě závodů. Dále byla zpracována sériová podoba motoru, jeho úpravy a výsledky těchto úprav.

Divize 4 do 2000 cm³ měla vždy sloužit jako levné, dostupné závodění. Především měla sloužit k „výchově“ mladých jezdců a poskytnutí možnosti ukázat své dovednosti. Díky malým vozidlům a motorům je i dnes velmi levná ve srovnání s vyššími kategoriemi, nicméně i tak je motorsport velmi drahý. Způsobilo to určitou rozpolcenost této třídy. Půlka vozidel jsou menší, málo upravovaná sériová auta, která jsou skutečně dostupná a nabízí atraktivní závody za malé investice. Druhá půlka startovního roštu jsou však továrně a týmově vyvíjená auta. Cílem týmu KT Motorsport bylo vždy vyhrávat ve třídě a to znamenalo vyvíjet motory, které musí být srovnatelné s továrně vyvíjenými auty pro světové šampionáty. A i přes stáří těchto vozidel, je takovýto úkol vzhledem k finanční nákladnosti velmi těžký.

Je zřejmé, že už volba sériového motoru je stěžejní pro úspěšné vytvoření závodní pohonné jednotky. Honda vždy vyvíjela vysoko-otáčkové motory s malým zdvihovým objemem a není překvapivé, že díky velkému výkonu získal motor K20A2 velkou popularitu. A ta je při úpravě velmi důležitá, u silnějšího, ale nepopulárního motoru by nebylo možné získat závodní díly motoru bez zakázkové (a tedy velmi drahé) výroby. Jednou z alternativ sériového motoru do této třídy k úpravě by mohl být například motor Toyota 3SGE, nicméně jeho stáří a absence variabilního časování ventilů z něj nečiní ideálnější volbu, než je K20A2.

Z úprav je zřejmé, že zvýšení maximálních otáček motoru, kompresního poměru a možnost a použití programovatelné ECU jsou klíčové kroky ke zvýšení výkonu motoru. Už jen zvýšení bohatosti směsi umožňuje snadný nárůst výkonu. Úpravy sání a výfuku jsou srovnatelně důležité. Závodní vačkové hřídele pak zvyšují výkon ještě znatelněji, ovšem i výrobce tvrdí, že je nutné použít programovatelnou ECU při jejich využití. Společně se závodními vačkovými hřídeli je nutnou závodní úpravou zvýšení kompresního poměru. To je zřejmé ze srovnání silnějšího a slabšího motoru. Nezbytné je ovšem i profesionální ladění motoru. To není možné bez kvalifikovaných inženýrů a motorové brzdy, a po většině úprav by bez tohoto kroku motor v lepším případě neměl dostatečný výkon. Nelze opomenout úpravy nutné k zajištění spolehlivosti, ať už jde o závodní rozvodový řetěz nebo o systém mazání se suchou klikovou skříní, především s ohledem na plánovanou zátěž.

Proces úprav motoru pro závodní účely je tedy velmi složitý, časově a finančně náročný, ale především je realizovatelný velkou řadou cest. Taková rozmanitost je zřejmá při návštěvě těchto závodů. A v budoucích letech bezesporu čeká konstruktéry i diváky velká řada změn, ať už díky růstu popularity hybridních pohonů, tak zlepšování spalovacích motorů obecně.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] E. Technické předpisy. In: *Národní sportovní řády - Autoklub České republiky* [online]. 16.1.2015 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.autoklub.cz/dokument/7188-kap-e-technicke-predpisy.html>
- [2] Powertrain Products. *Powertrain Overview*. [online]. 2014 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.gmpowertrain.com/VehicleEngines/PowertrainProducts.aspx>
- [3] F4R 2.0 16v - Gasoline Euro5. In: *Powertrain units of our range : 2.0 16v/F4R - 2.0 16v RS/F4R RS* [online]. 2014 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.powertrain.renault.com/application/storage/upload/filemanager/brochure/brochure_engine_new/Brochure_2000_16v_MAJ_2014.pdf
- [4] Renault UK Clio Cup. *Renault UK Clio Cup - Technical Information* [online]. 2014 [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.renaultsport.co.uk/championships/cliocupseries/technical>
- [5] M5Mt - R.S. 200 1.6 Turbo GDI - Gasoline Euro5. In: *Powertrain units of our range : 1.6 GDI/M5Mt* [online]. 2014 [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: http://www.powertrain.renault.com/application/storage/upload/filemanager/brochure/brochure_engine_new/1.6_Turbo_GDIGasoline_Euro5_MAJ_2014.pdf
- [6] Clio Cup Renault UK. In: *Contact & Download Info for Renault UK Clio Cup | Renaultsport UK*. [online] 2015 [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: <http://www.renaultsport.co.uk/championships/cliocup/technical>
- [7] Ultimatecarpage.com - Powered by knowledge, driven by passion. *2002 BMW E46 320i ETCC Specifications - Ultimatecarpage.com*. [online]. 2004 [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.ultimatecarpage.com/spec/1348/BMW-E46-320i-ETCC.html>
- [8] Team Unicorse. *CARS | Team Unicorse*. [online]. 2015 [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: http://unicorse.hu/cars?lang=en#go_page_now
- [9] HONDA MOTOR CO., LTD. 2002. *Acura RSX Service manual 02-03*. U.S.A.
- [10] Honda Worldwide | Technology Picture Book | VTEC. *Honda Worldwide : Honda Motor Co.,Ltd.* [online]. 2015 [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: <http://world.honda.com/automobile-technology/VTEC/#n3>
- [11] Honda Worldwide | History | The VTEC Engine / 1989. *Honda Worldwide : Honda Motor Co.,Ltd.* [online]. 2015 [cit. 2015-02-02]. <http://world.honda.com/history/challenge/1989vtecengine/index.html>
- [12] Honda Worldwide | History | The VTEC Engine / 1989. *Honda Worldwide : Honda Motor Co.,Ltd.* [online]. 2015 [cit. 2015-02-02]. <http://world.honda.com/history/challenge/1989vtecengine/page05.html>



- [13] NIIZATO, Tomonori a Aruto HAYASHI. Development of New 2.0L Lean-burn Engine. *HONDA R&D Technical Review* [online]. 2000, Vol. 12 No. 2 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <https://www.hondarandd.jp/point.php?pid=708&lang=en>
- [14] RAUSCHER, J. *Spalovací motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. Studijní opory VUT v Brně.
- [15] MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1980. L13-B3-IV-31/22645.
- [16] HEYWOOD, John B. *Internal combustion engine fundamentals*. 1st edition. New York: McGraw-Hill, 1988. ISBN 0-07-028637-X.
- [17] ATKINS, Richard D. *An introduction to engine testing and development*. Warrendale, Pa.: SAE International, 2009. ISBN 07-680-2099-9.
- [18] Exhaust Manifold - TODA RACING. *TODA RACING*. [online]. 2015 [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: http://www.toda-racing.co.jp/en/product/ex_man/k20a.html
- [19] Tuning – TODA RACING. *TODA RACING*. [online]. 2015 [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: <http://www.toda-racing.co.jp/en/product/tune/cylinder-head-work.html>
- [20] LS Plumbing Schematics. *Armstrong Race Engine Systems - Cast Aluminum And Magnesium Components For Professional Racing*. [online]. 2014 [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: <http://www.drysump.com/LS%20Plumbing%20Schematics.htm>
- [21] GOULD, Larrie A., William E. RICHESON, a Frederick L. ERICSON. *Performance Evaluation of a Camless Engine Using Valve Actuators with Programmable Timing*. SAE Technical Paper 910450. [online]. 1991 [cit. 2015-05-04]. DOI:10.4271/910450. Dostupné z: <http://papers.sae.org/910450/>
- [22] KOÇ, Mustafa, Yakup SEKMEN, Tolga TOPGÜL a Hüseyin Serdar YÜCESU. *The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine*. *Renewable Energy*. [online]. 2009, vol. 34, issue 10, s. 2101-2106 [cit. 2015-05-04]. DOI: 10.1016/j.renene.2009.01.018. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148109000585>
- [23] Throttle Body Kits : Honda K20 EP3 SFD60 kit - Jenvey Dynamics. *Fuel Injection Throttle Bodies and Induction Systems from Jenvey Dynamics - Jenvey Dynamics*. [online]. 2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.jenvey.co.uk/images/stories/virtuemart/product/mh07-2_d.pdf4ce3f045cec172.pdf
- [24] Technical Drawings :: Reverie. *Carbon fibre manufacturer, Carbon Fibre Parts and Accesories, Carbon Fibre Sheet :: Reverie*. [online]. 2015 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.reverie.ltd.uk/tech_drawings.php



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AČR	-	Autoklub České republiky
BTCC	British Touring Car Championship	Britské mistrovství cestovních vozů
CEZ	Central European Zone	Zóna střední Evropy
DNF	Did Not Finish	Vůz závod nedokončil
DOHC	Double Overhead Camshaft	Ventilový rozvod s dvojicí vaček v hlavě motoru
E85	-	Palivová směs 85% ethanol, 15% benzin
ECU	Engine Control Unit	Řídící jednotka motoru
EVAP	Evaporative Emission Control System	Systém zadržující a vypouštějící palivové páry
FIA	Federation Internationale de l'Automobile	Mezinárodní automobilová federace
IAC	Idle Air Control	Ventil řízení volnoběžných otáček
JDM	Japanese Domestic Market	Pro japonský trh
MAP	Manifold Absolute Pressure	Absolutní tlak v sacím potrubí
PCV	Positive Crankcase Ventilation	Ventilace klikové skříně
VTC	Variable Timing Control	Variabilní časování ventilového rozvodu
VTEC	Variable Valve Timing & Lift Electronic Control System	Variabilní časování ventilového rozvodu
WTCC	World Touring Car Championship	Mistrovství světa cestovních vozů



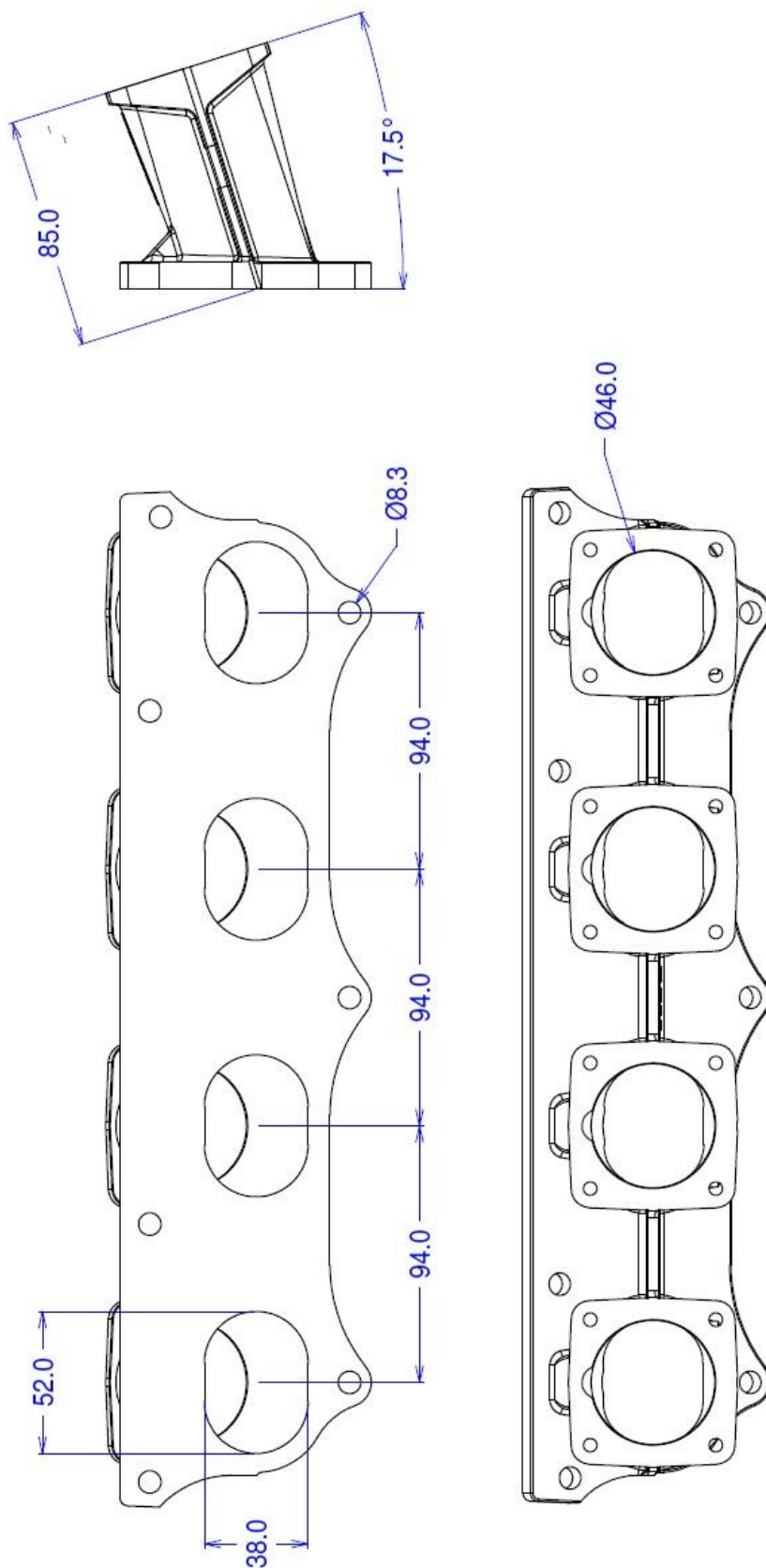
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Sací potrubí ke čtveřici škrticích klapek Jenvey
Příloha 2	Airbox ReVerie
Příloha 3	Otáčková charakteristika slabšího motoru po úpravách
Příloha 4	Otáčková charakteristika silnějšího motoru po úpravách

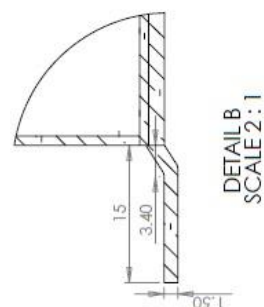


MH07 - Honda K20 manifold for individual throttle bodies

© Jenvey Dynamics Ltd 2000-2010
Issue 2
www.jenvey.co.uk

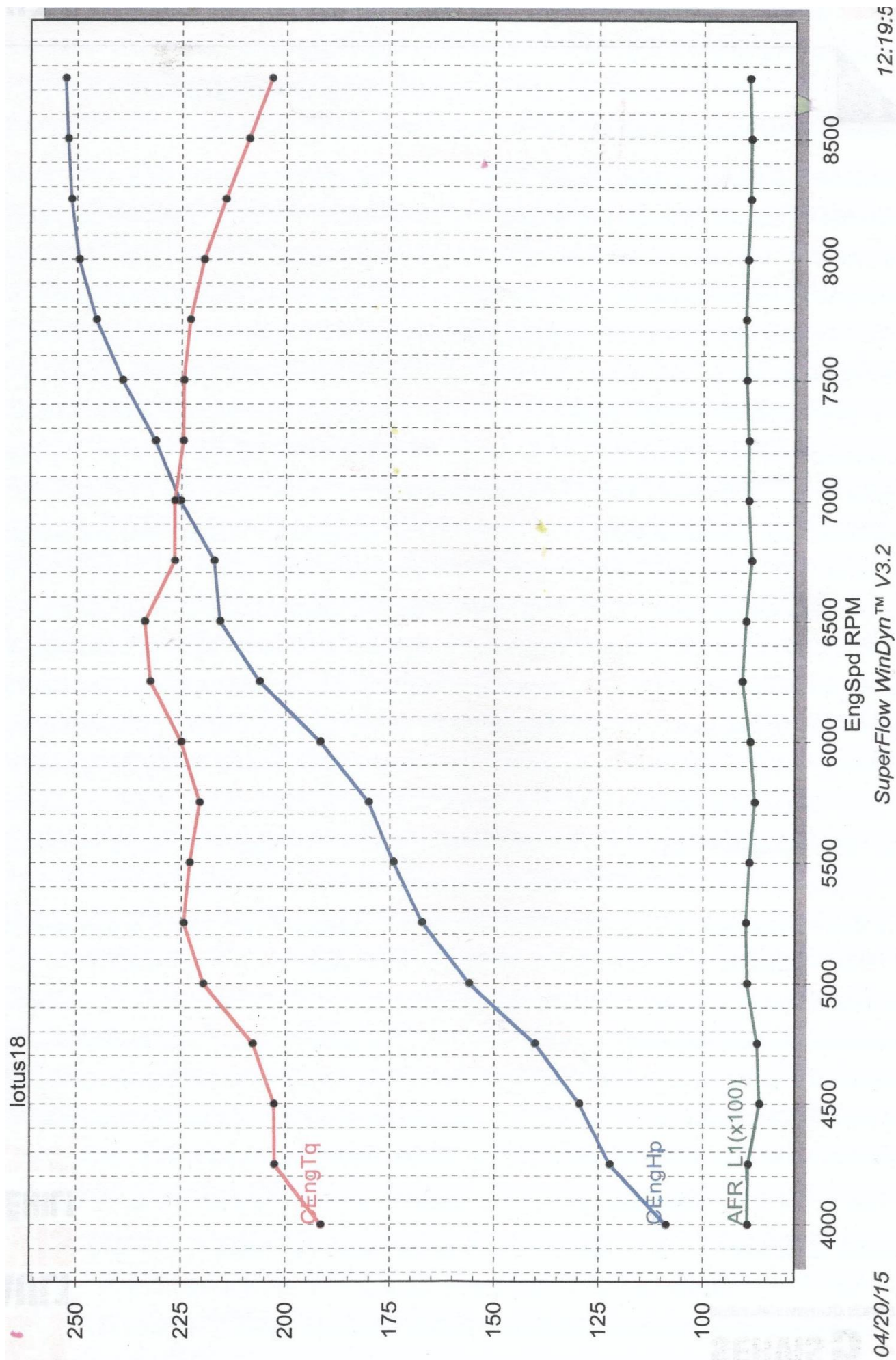


May be ported out to 52mm at body flange and proportionally at head flange.
Undrilled bosses on top side for injector ports, vacuum tappings etc.
Undrilled bosses on underside for vacuum tappings.

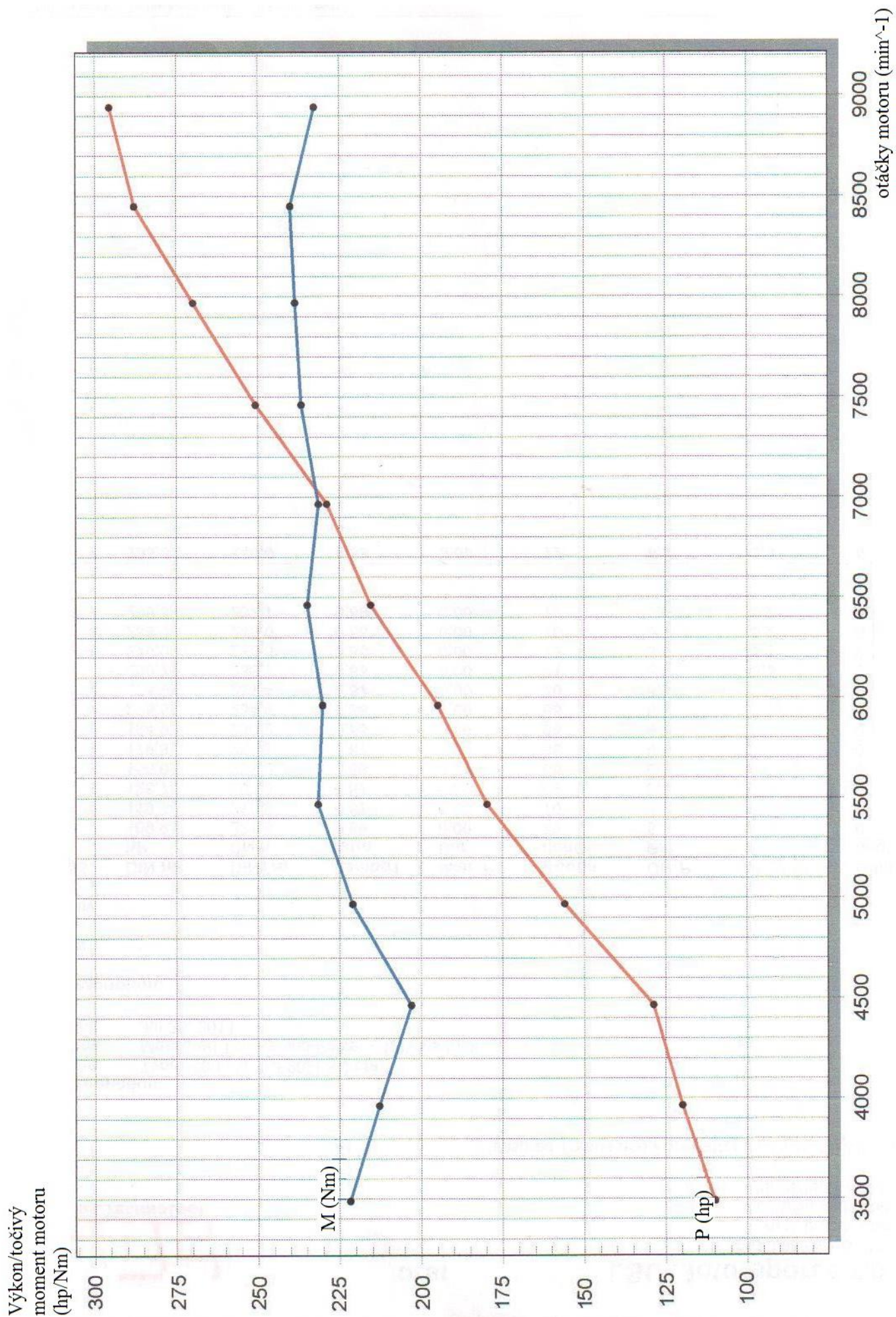


BOM			
	Part Number	Description	Quantity
1	R01SW6323	BLACK NYLON RETAINER FOR RETAINING STUDS ON ZOLDER RANGE OF BACKPLATES.	3
4	R01SW6324	PANEX 1.4 TURN WING HEAD MALE STUD FOR ZOLDER RANGE OF BACKPLATES. 120MM STUD LENGTH.	3

 REVERIE www.reverie.ltd.uk	Reverie Limited Unit 2 Chandlers Row Colchester		DRAWN CA	TITLE R01SE0460 Zolder 112 RH with 100mm Snorkel
	DATE 05/05/2011		APP 	
	BY Polished		MATERIAL Carbon Fibre	
	SCALE not to scale		MOUNTING CODE 	
	WEIGHT 		DRG. NO. R01SE0460	



Príloha 3 Otáčková charakteristika slabšieho motoru po úpravách



Příloha 4 Otáčková charakteristika silnějšího motoru po úpravách