

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Bakalářská práce

Analýza konstrukčních řešení motoru Toyota 1ZZ-FE

Kramskoj Vladislav

© 2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vladislav Kramskoj

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza konstrukčních řešení motoru Toyota 1ZZ-FE

Název anglicky

Analysis of Toyota 1ZZ-FE engine design solutions

Cíle práce

Cílem práce je provést analýzu konstrukčního řešení vybraného motoru, s ohledem na následné opravy a údržbu.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Vlastní zpracování
6. Výsledky a diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50 stran včetně obrázků a tabulek

Klíčová slova

vozidlo, oprava, demontáž

Doporučené zdroje informací

FERGUSON, C. Internal Combustion Engines. John Wiley & Sons Inc, 2015, ISBN10 1118533313

Hromádko J. et al.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0

Toyota, J. Kabushiki, K. Toyota 1ZZ-FE, 3ZZ-FE Engine Repair Manual, Toyota Motor Corporation, 2001

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2022

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 02. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Analýza konstrukčních řešení motoru Toyota 1ZZ-FE " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.3.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jakubu Maříkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, trpělivost, ochotu a cenné rady, které mi pomohli tuto práci dokončit včas.

Analýza konstrukčních řešení motoru Toyota 1ZZ-FE

Abstrakt

Toyota dlouhou dobu používala starou koncepci v konstrukci motoru, což znamená litinový blok zavřeného typu a hliníková hlava motoru. Motor 1ZZ-FE, který patří do rodiny motoru ZZ je první z rodiny nově vyvíjených motoru nové generace. Rodina motoru ZZ se stala prvními motory, kde Toyota použila novou koncepci konstrukce motoru, kde využívá hliníkovou hlavu motoru a hliníkový blok otevřeného typu.

Motor 1ZZ-FE ovšem z celé té rodiny je nejproblémovější a zároveň se dával z celé rodiny motoru do největší škály vozidel od sportovních kupé a roadstery po obyčejné rodinné sedany. První motor 1ZZ-FE vyjel z výrobní linky Toyota v roce 1998 ve vozidle určeným výhradně pro japonský trh, a to je Toyota Vista

Klíčová slova: vozidlo, oprava, demontáž, Toyota, historie, vývoj

Analisis of Toyota 1ZZ-FE engine design solutions

Abstract

Toyota has long used the old concept in engine design, which means a closed-type cast iron block and an aluminum engine head. The 1ZZ-FE engine, which belongs to the ZZ engine family, is the first of a new generation of engines being developed. The ZZ engine family has become the first engines where Toyota has applied a new engine design concept, using an open-type aluminum engine head and an aluminum block.

The 1ZZ-FE engine, however, was the most troublesome of the entire engine family, and was also put into the largest range of vehicles from sports coupes and roadsters to ordinary family sedans. The first 1ZZ-FE engine rolled off the Toyota production line in 1998 in a vehicle designed exclusively for the Japanese market, the Toyota Vista

Keywords: vehicle, repair, disassembly, Toyota, history, development

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce a metodika	2
3 Teoretická východiska	3
3.1 Definice spalovacího motoru.	3
3.2 Historie vzniku spalovacího motoru.	3
3.3 Pístní skupina	4
3.3.1 Píst	4
3.3.2 Pístní kroužky	5
3.3.3 Pístní čep.....	6
3.4 Kliková skupina	6
3.4.1 Ojnice čtyřdobých motorů	7
3.4.2 Klikový hřídel čtyřdobých motorů	8
3.4.3 Ložiska klikového hřídele čtyřdobých motorů	9
3.5 Kliková skříň a blok válců čtyřdobých motorů.....	10
3.6 Hlava válců čtyřdobých motorů	10
3.7 Historie automobilky Toyota	11
4 Vývoj motoru Toyota 1ZZ-FE	14
4.1 Úvod.....	14
4.2 Koncepce návrhu a cíl	15
4.2.1 Vyšší výkon:	16
4.2.2 Nižší hmotnost	17
4.2.3 Kompaktnější	17
4.2.4 Dodržování emisních předpisů	17
4.2.5 Vibrace a hluk.....	18
4.2.6 Snížení počtu dílů	18
4.3 Specifikace	18
4.4 Vysoký výkon a úspora paliva	20
4.4.1 Vrtání a zdvih.....	21
4.4.2 Snížení frikci.....	22
4.4.3 Laserem plátované sedlo ventilu.....	23
4.4.4 Kuželová spalovací komora.....	24
4.4.5 Chladicí systém.....	25
4.4.6 Zapalovací systém.....	25
4.4.7 Sací systém	26
4.5 Nízká hmotnost a kompaktnost.....	26
4.5.1 Blok válců	27

4.5.2	System pohonů řetězu	28
4.5.3	Rozložení příslušenství	29
4.5.4	Další technologie	29
4.6	Zlepšení emisí	30
4.6.1	Řízení motoru	31
5	Výsledky a diskuse	32
6	Závěr.....	33
7	Seznam použitých zdrojů	34

Seznam obrázků

Obrázek 1: Konstrukce pístu.....	4 [1]
Obrázek 2: Konstrukce pístního kroužku	5 [1]
Obrázek 3: Pístní čep	6 [1]
Obrázek 4: Konstrukce ojnice čtyřdobého motorů	7 [2]
Obrázek 5: Konstrukce klikové hřídele	8 [2]
Obrázek 6: Konstrukce ložiska klikového hřídele.....	9 [2]
Obrázek 7: Blok otevřeného typu	10 [1]
Obrázek 8: Blok zavřeného typu	10 [1]
Obrázek 9: Motor typu A.....	11 [3]
Obrázek 10: Sakiči Tojoda	11 [4]
Obrázek 11: Toyopet AA.....	11 [5]
Obrázek 12: Toyota Crown.....	12 [6]
Obrázek 13: Motor 7A-FE.....	14 [7]
Obrázek 14: Srovnání maximálního výkonu	16 [8]
Obrázek 15: Srovnání maximálního točivého momentu	16 [8]
Obrázek 16: Srovnání hmotnosti	17 [8]
Obrázek 17: 1ZZ-FE Vzhled a porovnání rozměrů	19 [8]
Obrázek 18: Průřezy motoru 1ZZ-FE.....	19 [8]
Obrázek 19: Výkonové křivky motoru	20 [8]
Obrázek 20: Vztah zdvihu k poměru zlepšení spotřeby paliva	21 [8]
Obrázek 21: Vliv laserem plátovaného sedla ventilu	23 [8]

Obrázek 22: Přijetí laserem plátovaného sedla ventilu.....	23 [8]
Obrázek 23: Kuželová spalovací komora	24 [8]
Obrázek 24: Srovnání průtokových charakteristik	24 [8]
Obrázek 25: Srovnání vzoru spalování	24 [8]
Obrázek 26: Srovnání rychlosti proudění v oblasti Squish (simulace CFD).....	24 [8]
Obrázek 27: Chladicí systém	25 [8]
Obrázek 28: Sací potrubí	26 [8]
Obrázek 29: Srovnání hmotnosti motoru.....	26 [8]
Obrázek 30: Blok válců	27 [8]
Obrázek 31: Srovnání systému pohonu vačkového hřídele.....	28 [8]
Obrázek 32: Zahřívací výkon katalyzátoru.....	30 [8]
Obrázek 33: Motor a systém řízení emisí	31 [8]

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá jednak obecnými pojmy spalovacích motorů, kde je stručně vysvětlen princip konstrukce spalovacího motoru, tak historií vzniku jedné z největších automobilek na světě, která je zároveň světově největším producentem motorových vozidel. Dále se práce zabývá vývojem a konstrukcí jednoho z prvních hliníkových čtyřválcových motorů od společnosti Toyota.

Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je popsat historii vzniku motoru, obecnou konstrukci motoru se základní pojmy v konstrukci motoru a stručný popis účelu užití jednotlivých součástí motoru. Následně práce mapuje historii největší automobilky na světě. Tato automobilka přinesla do světa automobilového průmyslu spoustu inovací, a proto je v práci věnována historii tohoto výrobce pozornost. Následně bude provedena analýza vytvoření renovačního bloku vytvořeného z hliníku, který má nahradit éru starých litinových bloku. Jako metodika bude zvolena výrobní SAE dokumentace, s následnou analýzou plánu a cílů, který si stanovil tento výrobce.

2 Teoretická východiska

2.1 Definice spalovacího motoru.

Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako energie potenciální (tlak spalin) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu spalin) u spalovacích turbín. [1]

2.2 Historie vzniku spalovacího motoru.

První zmínka o spalovacím motoru je nám známa, již v roce 1767 kdy o patent na spalovací motor požádal francouzský vynálezce Philippe Lebon narozený v roce 1769. Philippe experimentoval s plyny které získával pomocí procesu zvaného koksování dříví. Ovšem není nikde záznam o tom, že by tento motor existoval.

Issac de Rivaz, který je bývalý vojenský vysloužilce získává patent v roce 1807 na svoje první sestrojené vozidlo, poháněné výbušným motorem. Po získání patentu ve své výzkumné činnosti, avšak nepokračoval.

Opravdu ale úspěšný motor byl sestrojen vynálezcem původem z Belgie Jan Joseph Etienne Lenoir, kterého lze dnes považovat za opravdového tvůrce výbušného motoru, protože dovedl tento motor do takové fáze, že se dal prakticky využít. V roce 1859 získává patent na motor poháněný pomocí svítiplynu. V roce 1860 začíná stavět svůj první vůz poháněný plynem. V roce 1863 tento vůz poprvé vyjíždí z Paříže do jeho předměstí a zpět. Ovšem s plynovými motory začíná také německý vynálezce Nicolaus August Otto, který spolu s inženýrem Eugenem Langenem zakládá první továrnu na výbušné motory s názvem N.A. Otto & Cie. Tato továrna byla jedinou továrnou na motory ve světě. Tehdejší společnost Gasmotorenfabrik Deutz dnešní DEUTZ AG. Začínají rozvíjet koncepci čtyř taktního motoru, se kterou přišel Otto.

V roce 1867 probíhá výstava v Paříži kde Gasmotorenfabrik Deutz představili svoji první verzi jednoválcového spalovacího motoru. Motor oproti jiným byl hlučnější a méně spolehlivý oproti jiným ale měl výhodu a tou byla třetinová spotřeba plynu oproti jiným. Nakonec této motor je oceněn Zlatou medailí výstavy následně od roku 1872 tento motor je vyráběn sériově. O deset let později tj. v roce 1876 Otto vyrobil čtyř taktní motor se zvýšeným kompresním poměrem a v květnu o rok později si ho nechal patentovat. Tento typ motoru se stal později základem pro stavbu spalovacích motoru, a proto je zážehový motor tohoto typu označován za „Ottův motor“.

2.3 Pístní skupina

Pístní skupina je tvořena těsníci a stíracími kroužky, pístem, pístním čepem a pojistkami. Pro pístní skupinu jsou kladeny základní požadavky a to jsou:

1. přenosu síly od tlaku plynů na ojnici,
2. zachycení boční síly vyvolané klikovým mechanismem a její přenos na stěnu válce,
3. utěsnění spalovacího prostoru tak, aby byl omezen únik spalín do klikové skříně motoru a průnik motorového oleje do spalovacího prostoru,
4. zabezpečení odvodu tepla ze dna pístu do chlazených stěn spalovacího prostoru,
5. u dvoudobých motorů řídí rozvodové orgány pro výměnu náplně. [1]

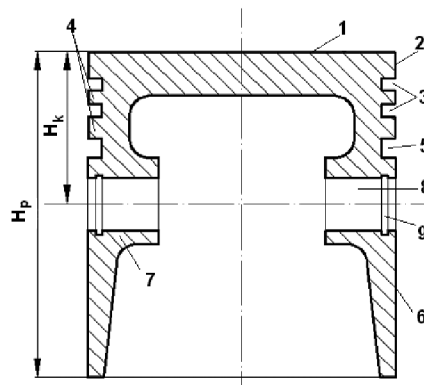
2.3.1 Píst

Píst motoru je důležitou součástí spalovacího motoru. Pohybuje se nahoru a dolů, výjimku tvoří boxery a ploché motory kde píst se pohybuje zleva doprava, ve válci motoru a přenáší sílu spalování paliva na mechanickou energii, která pohání vozidlo. Písty se obvykle vyrábějí z hliníkové slitiny, nebo z nízkouhlíkové oceli mají různé velikosti.

Je namáhán mechanicky i teplotně. Mechanicky je píst namáhán silami tlaku od plynu a setrvačnými silami od vratného pohybu. Teplotně je zatěžován vysokou teplotou spalín ve spalovacím prostoru.

Píst ve válci musí mít určitou vůli kvůli teplotní roztažnosti pístu. Vůle musí být co nejmenší vzhledem k tomu, aby se zabránilo průchodu spalín do klikového prostoru a bylo možné ji vymezit pomocí pístního kroužku.

- 1 – dno pístu
- 2 – horní můstek
- 3 – drážky pro těsnící pístní kroužky
- 4 – můstky mezi drážkami pro kroužky
- 5 – drážka pro stírací pístní kroužek
- 6 – plášť pístu
- 7 – nálipek pro pístní čep
- 8 – uložení pístního čepu
- 9 – drážka pojistky pístního čepu
- H_p – celková výška pístu
- H_k – kompresní výška pístu



Obrázek 1: Konstrukce pístu

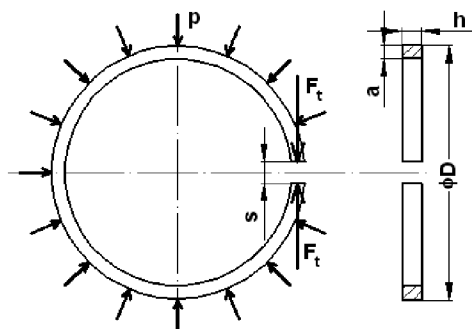
2.3.2 Pístní kroužky

Pístní kroužky motoru jsou malé kruhové součásti, které se nasazují na píst motoru. Základní funkci pístního kroužku je odvod tepla z pístu do stěn válce, utěsnění spalovacího prostoru a také korekce mazací vrstvy mezi válcem a stěnou válce.

Pístní kroužky jsou obvykle vyrobeny z oceli a jsou navrženy tak, aby byly odolné a měly dlouhou životnost, protože jsou během provozu motoru vystaveny značnému opotřebení.

Pístní kroužky se dělí na dva základní typy, a to jsou pístní kroužky těsnící a stírací. Pístní kroužky těsnící mají na starosti utěsnění spalovacího prostoru, aby nedocházelo úniku spalin do klikového prostoru.

- h – tloušťka kroužku
- a – šířka kroužku
- s – vůle v zámku volného kroužku,
- p – měrný tlak vyvolaný zamontováním kroužku do válce,
- F_t – tangenciální síla.



Obrázek 2: Konstrukce pístního kroužku

2.3.3 Pístní čep

Pístní čep motoru. Je malá součástka, která spojuje píst s ojnicí. Umožňuje pístu se otáčet a pohybovat se ve válci a zároveň udržovat jeho souosost s ojnicí. Pístní čepy jsou obvykle vyrobeny z vysokopevnostní oceli a jsou vystaveny vysokému únavovému namáhání a teple.



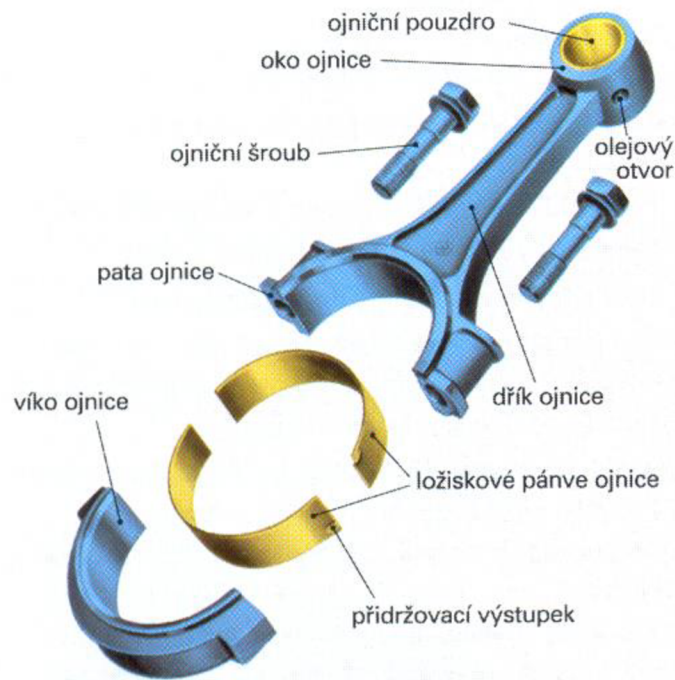
Obrázek 3: Pístní čep

2.4 Kliková skupina

Klikovou skupinu tvoří ojnice, klikový hřídel, ložiska klikového hřídele a další prvky jako těsnění klikového hřídele, setrvačnick, tlumič torzních kmitů atd. [1]

2.4.1 Ojnice čtyřdobých motorů

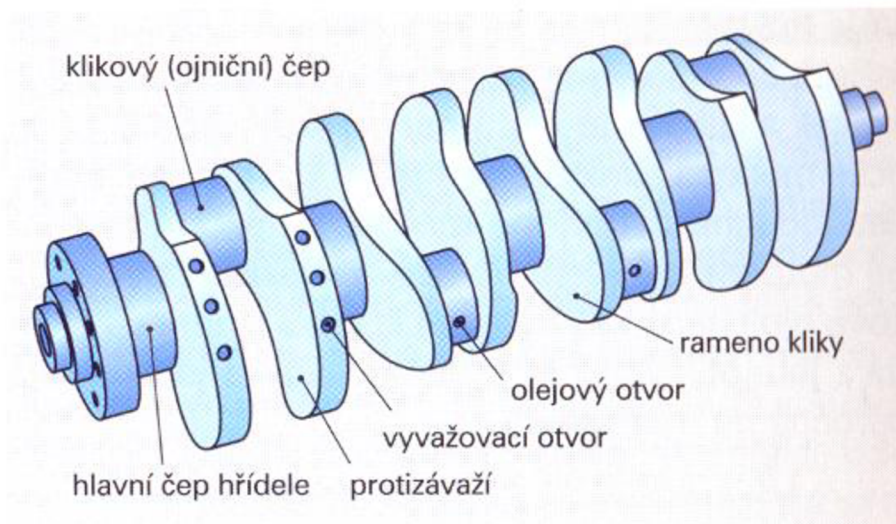
Ojnice je důležitou součástí spalovacího motoru, která spojuje píst s klikovým hřídelem. Je zodpovědná za převod lineárního pohybu pístu na rotační pohyb klikového hřídele. Konstrukce a materiál ojnice jsou zásadními faktory pro spolehlivost, životnost a výkon motoru, protože u čtyřdobých motorů je namáhána proměnnou silou na tah – tlak.



Obrázek 4: Konstrukce ojnice čtyřdobého motorů

2.4.2 Klikový hřídel čtyřdobých motorů

Klikový hřídel je mechanická součást spalovacího motoru, která přeměňuje přímočarý vratný pohyb na pohyb rotační. Konstrukce klikového hřídele zabezpečuje i částečné vyvážení setrvačných sil a momentů posuvných a rotujících hmot pomocí protizávaží. [1] Obvykle je vyroben z kalené oceli. Klikový hřídel je zodpovědný za přenos výkonu generovaného motorem na převodovku.

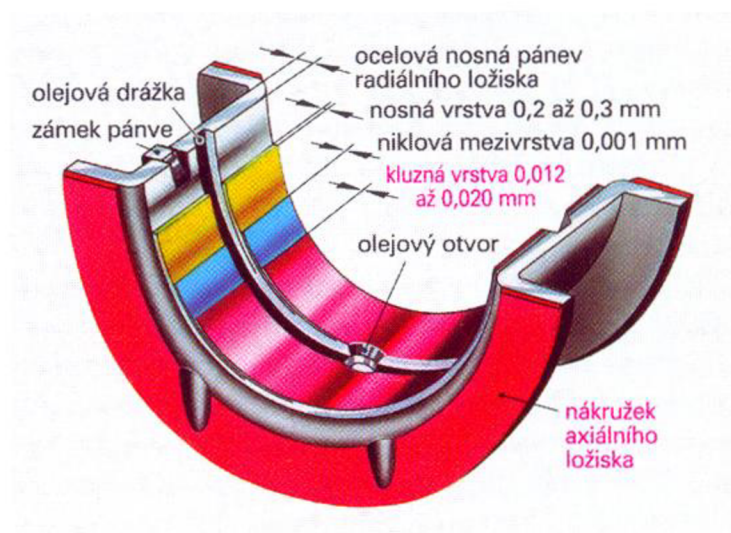


Obrázek 5: Konstrukce klikové hřídele

2.4.3 Ložiska klikového hřídele čtyřdobých motorů

Ložiska klikového hřídele jsou součásti, které podpírají klikový hřídel a umožňují jeho volné otáčení. Obvykle jsou vyrobeny z odolného materiálu a jsou navržena tak, aby odolávala vysokému namáhání a teplotám při provozu motoru. Správné mazání ložisek klikového hřídele má zásadní význam pro prevenci poškození a zajištění dlouhé životnosti motoru.

V čtyřdobých motorech se ve většině případu používají ložiska kluzná. Použití těchto ložisek je umožněno díky tlakovému cirkulačnímu mazání motoru vyvábí hydrodynamicky klín.



Obrázek 6: Konstrukce ložiska klikového hřídele

2.5 Kliková skříň a blok válců čtyřdobých motorů

Blok motoru je hlavní konstrukční součástí spalovacího motoru. Jsou v něm uloženy klikový hřídel a další důležité součásti motoru. Materiál a konstrukce bloku motoru jsou důležitými faktory ovlivňujícími životnost, výkon a hmotnost motoru. Bloky motoru mohou být vyrobeny z materiálů, jako je litina, hliníková slitina nebo dokonce hořčíková slitina. U čtyřdobých spalovacích motoru se rozlišují dva základní typy bloku motoru dle konstrukce, a to je blok otevřeným chladícím prostorem a blok uzavřeným chladícím prostorem.



Obrázek 7: Blok otevřeného typu



Obrázek 8: Blok uzavřeného typu

2.6 Hlava válců čtyřdobých motorů

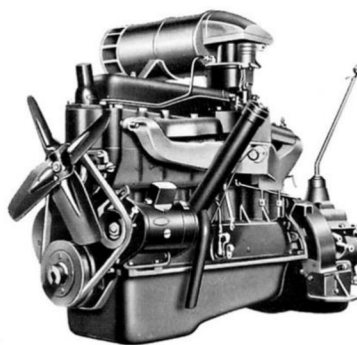
Hlava motoru, známá také jako hlava válců, je důležitou součástí spalovacího motoru. Je umístěna na horní části bloku motoru a obsahuje spalovací komory, sací a výfukové ventily a další součásti. Konstrukce a materiál hlavy motoru jsou zásadními faktory ovlivňujícími výkon, účinnost a emise motoru.

2.7 Historie automobilky Toyota

V roce 1924 Sakiči Tojoda obr. 10 vynalezl automatický tkalcovský stroj Toyoda Model G. Princip dzidoka, který znamená, že se stroj při výskytu problému sám zastaví, se později stal součástí výrobního systému Toyoty. Tkalcovské stroje se montovaly na malé výrobní lince. V roce 1929 byl patent na automatický tkalcovský stroj prodán britské společnosti, zisk od prodeje patentu poskytl počáteční kapitál pro výrobu automobilů. V roce 1929 Kiichiro Toyoda, syn Sakichi Toyody, odcestoval, aby nastudoval automobilový průmysl Evropy a Spojených států, a po návratu v roce 1930 začal vyvíjet automobily s benzinovým motorem. V roce 1933 založila společnost Toyoda Automatic Loom Works novou divizi specializovanou na výrobu automobilů. Vedoucím nové divize byl Kiichiro Toyoda. Japonská vláda podporovala vším čím mohla společnost Toyoda Automatic Loom Works. V roce 1934 společnost vyrobila svůj první motor typu A obr. 9, který byl v květnu 1935 použit v prvním modelu automobilu A1 a v srpnu 1935 v nákladním automobilu G1. V roce 1936 byla zahájena výroba modelu osobního automobilu AA obr. 11. První modely se velice silně podobaly již existujícím modelům Dodge a Chevrolet.



Obrázek 10: Sakiči Tojoda



Obrázek 9: Motor typu A



Obrázek 11: Toyopet AA

Společnost Toyota Motor Co., Ltd. byla založena jako samostatná společnost v roce 1937. Ačkoli příjmení zakladatelů společnosti zní Toyoda, pro zjednodušení výslovnosti a jako symbol oddělení podnikatelských aktivit od rodinného života bylo rozhodnuto dát společnosti název "Toyota". V Japonsku je název Toyota (トヨタ) považován za lepší než Toyoda (豊田), protože 8 je považováno za šťastné číslo a slovo "Toyota" zapsané v katakaně je tvořeno právě 8 znaky.

Během druhé světové války společnost vyráběla prakticky pouze nákladní automobily pro japonskou císařskou armádu. Vzhledem k omezeným zdrojům a akutnímu nedostatku surovin pro výrobu dílů vojenské techniky se v té době v Japonsku vyráběly vojenské nákladní automobily v co nejjednodušších verzích, například s jedním světlometem. Někteří výzkumníci se domnívají, že válka pro Japonsko skončila rychle kvůli americkému bombardování továren Toyota v Aiči.

Po válce byla v roce 1947 zahájena výroba užitkových osobních automobilů modelu SA. V roce 1950 byla vytvořena samostatná prodejní společnost Toyota Motor Sales Co. Tato společnost existovala do července 1982. V dubnu 1956 byla založena dealerská síť Toyopet. V roce 1957 se Toyota Crown obr.12 stala prvním japonským automobilem, který byl exportován do Ameriky nejen do USA, ale také i do Brazílie. Dne 1. ledna 1959 bylo město Koromo, kde se nacházejí továrny a sídlo společnosti, bylo přejmenováno na Toyota.



Obrázek 12: Toyota Crown

Toyota začala rychle expandovat v 60. letech 20. století. První vůz Toyota vyrobený mimo Japonsko sjel z výrobní linky v dubnu 1963 v australském Melbourne.

V samotném Japonsku byly vozy tohoto výrobce nejprodávanější. V roce 1992 tak Toyota představovala 40 % automobilů vlastněných obyvatelstvem japonská.

Toyota Motor byla v letech 2007-2009 největším výrobcem automobilů na světě a tento titul si drží od roku 2012.

V prvním čtvrtletí roku 2007 Toyota poprvé vyrobila a prodala více automobilů než General Motors (GM). Společnost GM držela titul "největšího výrobce automobilů na světě" 76 let. V posledních letech se však GM, stejně jako ostatní americké automobilky, ocitl v krizi a byli nuceny omezit výrobu – uvolněné místo na trhu obsadili konkurenti, především Toyota. Japonská společnost 24. dubna roku 2007 informovala, že v prvním čtvrtletí vyrobila 2,37 milionu vozů a prodala 2,35 milionu. Poprvé tak předstihla GM, který vyrobil 2,34 a prodal 2,26 milionu vozů.

3 Vývoj motoru Toyota 1ZZ-FE

3.1 Úvod

Tento motor by měl nahradit již zastaralý motor 7A-FE obr. 13 a stát se novou náhradou dostupného čtyřválcového motoru pro velkou škálu vozidel.

Motor 1ZZ-FE je nově vyvinutý řadový čtyřválcový motor s objemem 1,8 litru a čtyřventilovým rozvodem DOHC, který se montuje do nové Corolly. Nový motor, který oplývá novými technologiemi včetně laserem plátovaných ventilových sedel, vysokotlakého hliníkového bloku válců a řetězového pohonu DOHC s malým rozsahem, je ve spojení se zásadně revidovanými základními specifikacemi kompaktní a lehký a nabízí vysoký výkon a dobrou spotřebu paliva. V očekávání ještě přísnějších emisních předpisů v budoucnu bylo kromě revize bloku motoru vylepšeno uspořádání výfukového systému, aby se zvýšil zahřívací výkon katalyzátoru. [8]



Obrázek 13: Motor 7A-FE

3.2 Koncepce návrhu a cíl

Při navrhování konstrukce tohoto motoru byli uvažovaný nejmodernější požadavky a vize do budoucna. Tak aby tento motor dokázal být ve výrobě tak dlouho jak to bude jen možné.

Z hlediska globálního skleníkového efektu je jedním z nejdůležitějších úkolů automobilového motoru snížení emisí oxidu uhličitého zlepšením spotřeby paliva. Toyota již uvedla na trh benzínový motory s přímým vstřikováním a další úsporné motory. Ale přestože tyto motory vyžadují speciální zařízení, je stále důležitější zlepšovat spotřebu paliva optimalizací základních specifických vlastností a zaváděním nových technologií do jednotlivých komponent. Navíc, aby bylo možné vyhovět požadavkům celosvětového trhu a splnit emisní předpisy různých zemí, byl vývoj tohoto nového motoru nezbytný.

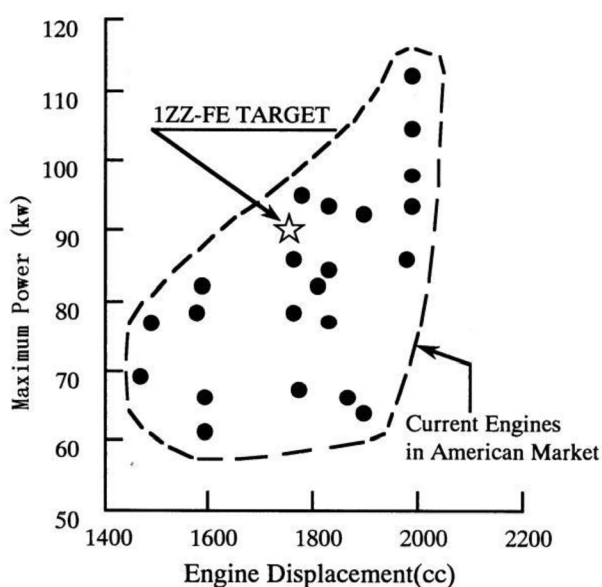
Motor 1ZZ-FE byl vyvinut na základě následujících koncepcí s následujícími cíli:

Optimalizací základních specifikací zvýšit potenciál pro čistší emise výfukových Plynů a lepší spotřebu paliva.

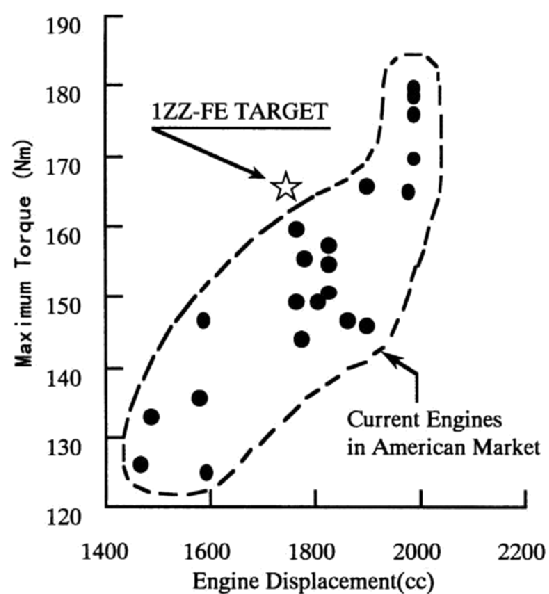
Zlepšit výkon motoru, udělat motor ještě více kompaktní a odlehčit jeho blok tím, že se znovu prověří jednotlivé součásti motoru. [8]

3.2.1 Vyšší výkon:

Při navrhování tohoto motoru byl kladen důraz převážně pro požití na americkém trhu, proto základní požadavky na tento motor jsou dle americký poptávky na návrh motoru. A proto tento motor musí mít jednoduchou smontovatelnost, mít maximální výkon a točivý moment tak aby byl na špičce své třídy obr. 14 a 15 a zároveň aby dosáhl plochých charakteristik točivého momentu [8]



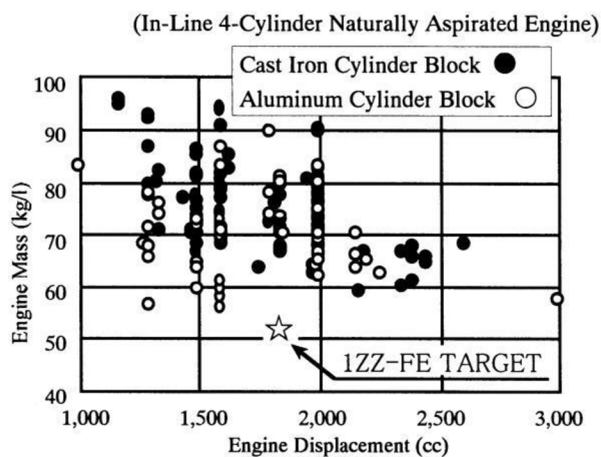
Obrázek 14: Srovnání maximálního výkonu



Obrázek 15: Srovnání maximálního točivého momentu

3.2.2 Nižší hmotnost

Jedním z hlavních požadavků na nově konstruovaný motor byla nízká hmotnost, aby se snížila celková váha a tím se snížila i spotřeba proto bylo důležité sestrojít nejlehčí motor mezi těmi, které používají hliníkové bloky motoru obr. 16. [8]



Obrázek 16: Srovnání hmotnosti

3.2.3 Kompaktnější

Toyota současně přichází na trh s novým sportovním roadstrem Toyota MR-2 třetí generace, který je oproti předchůdci o dost kompaktnější proto Toyota se snaží udělat tento motor kompaktnější, aby bylo možné ho použít i u vozidel s motorem uprostřed zároveň Toyota díky zmenšení rozměru dokáže snížit hmotnost a tím i spotřebu.

Zkrácení celkové délky pohonné jednotky, pro snazší instalaci do vozidel s motorem vpředu a pohonem předních kol, a současně snížení celkové výšky a šířky. [8]

3.2.4 Dodržování emisních předpisů

Vytvořit levný a jednoduchý pro sestavení a následnou montáž motor a zároveň zajistit soulad s emisními předpisy. [8]

3.2.5 Vibrace a hluk

Zlepšit výkon a zároveň dosáhnout nebo překonat úroveň předchůdce tohoto motoru, který měl na trhu dobrou pověst. [8]

3.2.6 Snížení počtu dílů

Výrazně snížit počet použitých dílů, čímž se sníží celková hmotnost a náklady na výrobní proces a zároveň se zjednoduší se proces montáže. [8]

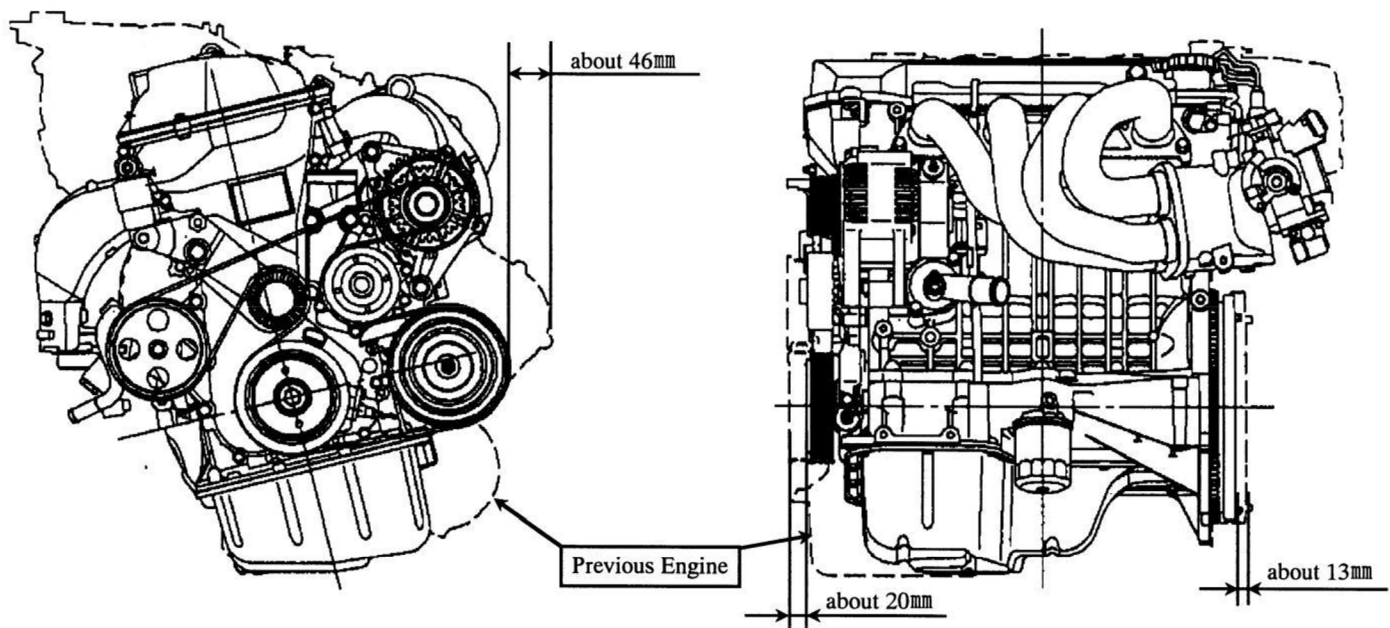
3.3 Specifikace

V tabulce 1 jsou uvedeny základní technické údaje motoru 1ZZ-FE. Na obr.18 jsou znázorněny průřezy motoru a na obr. 17 vzhled motoru a srovnání rozměrů s předchozím motorem. [8]

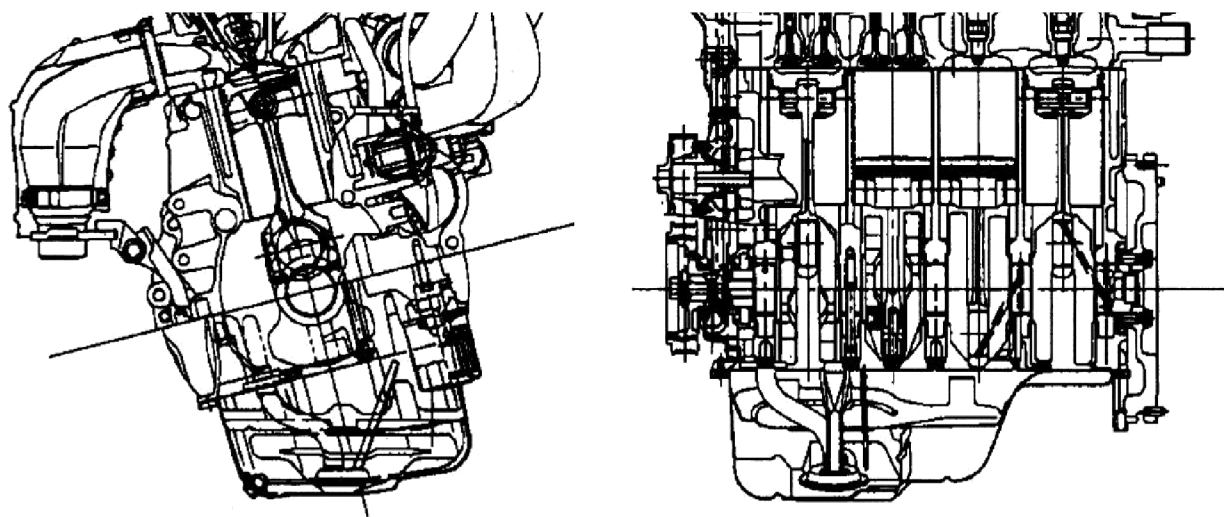
Specifikace tohoto motoru jsou podobné jeho předchůdci, a to motoru 7A-FE v tabulce 1 jsou rozměry a parametry obou motoru.

Tabulka 1: Porovnání motoru [9] [8] [10] [11]

Název	1ZZ-FE	7A-FE
Typ	Vodou chlazený, benzínový, čtyřtákní motor	Vodou chlazený, benzínový, čtyřtákní motor
Objem(cc)	1794	1762
Uspořádání a počet válců	Řadový čtyřválec	Řadový čtyřválec
Mechanismus ventilu	4-ventilový rozvod DOHC, řetězový pohon	4-ventilový rozvod DOHC, řetězový pohon
Palivový systém	Vícebodové vstřikování	Vícebodové vstřikování
Vrtání x Zdvih(mm)	79.0 x 915	81 x 85,5
Kompresní poměr	10.0:1	9,5:1
Maximální výkon (Kw/ot./min)	89/5600	82/5600
Maximální točivý moment (Nm/ot./min)	165/4400	115/2800



Obrázek 17: 1ZZ-FE Vzhled a porovnání rozměrů



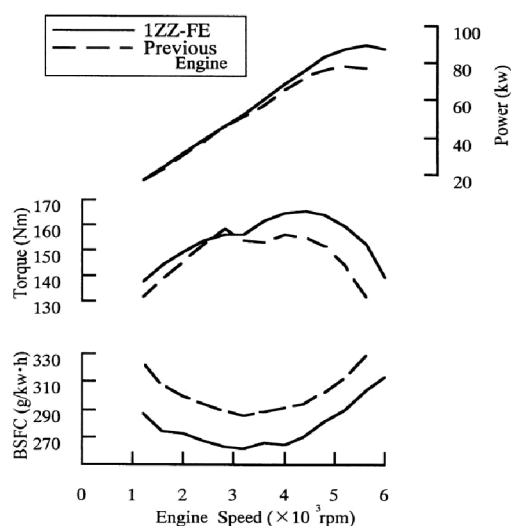
Obrázek 18: Průřezy motoru 1ZZ-FE

3.4 Vysoký výkon a úspora paliva

Obr. 19 se ukazuje výkonová křivka motoru 1ZZ-FE. V porovnání s předchůdcem tohoto motorů se měrná spotřeba paliva výrazně zlepšila v celém rozsahu. Kromě toho se zlepšil maximální výkon a točivý moment motoru a současně bylo dosaženo mírné zploštění křivky točivého momentu a eliminací poklesů točivého momentu v oblasti nízkých a středních otáček pro snadno ovladatelnou výkonovou charakteristiku.

Co se týče spotřeby paliva, Corolla se čtyřstupňovou automatickou převodovkou dosáhla 36,8 mpg (6,53l/100 km) v režimu kombinovaného testu spotřeby paliva LA#4 v USA (FTP a HFET). To představuje přibližně 5% pokles spotřeby oproti předchozímu motoru, který již využíval různé technologie ke zlepšení spotřeby paliva. [8]

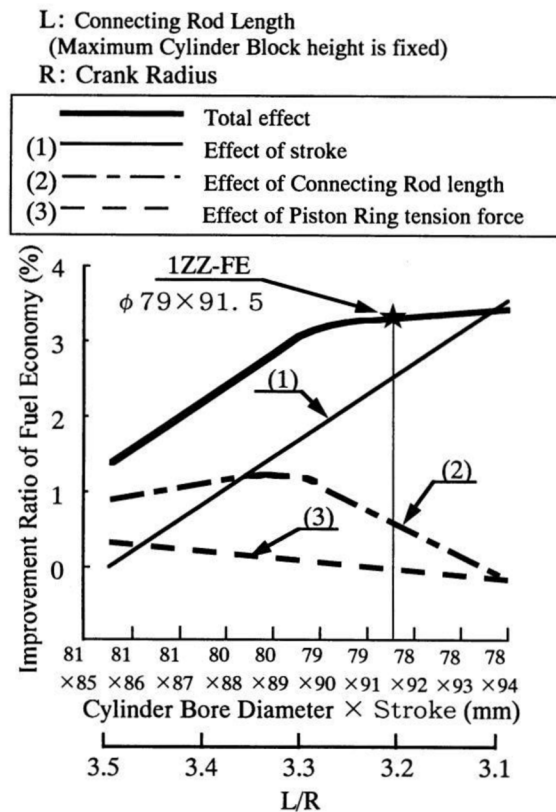
Tyto změny vedli k velkému zlepšení spotřeby, Toyota udává 5 %. Dle mých osobních zkušeností, je rozdíl větší, než uvádí Toyota. Spotřebu paliva jsem měřil na 2 autech, a to Toyota MR-2 s motorem 1ZZ – FE a na Toyota Celica T18 s motorem 7A-FE obě Toyoty byly s manuální 5stupňovou převodovkou Toyota MR-2 dosáhla spotřeby okolo 6l/100km když to Toyota Celica dosáhla nejmenší spotřeby 8,5l/100km.



Obrázek 19: Výkonové křivky motoru

3.4.1 Vrtání a zdvih

Vrtání a zdvih motoru 1ZZ-FE byly optimalizovány pro vyšší úsporu paliva a jsou uvedeny na obr. 20. Řádek (1) na obr. 20 ukazuje poměr zlepšení spotřeby paliva oproti předchozímu motoru při změně hodnot vrtání a zdvihu u nového motoru. Jedná se o odhad založený na vztahu mezi poměrem vrtání a zdvihu a specifickou spotřebou paliva deseti různých modelů motorů Toyota. V odhadu je pevně stanoven kompresní poměr, poměr L/R (poměr délky ojnice k poloměru kľiky) a vliv napětí pístních kroužků. Uvažuje se, že čím delší je zdvih, tím kompaktnější je spalovací komora, což vede k lepší tepelné účinnosti, a tedy ke snížení spotřeby paliva. Řádek (2) na obr. 20 ukazuje odhad měrné spotřeby paliva u předchozího motoru při změně poměru L/R u nového motoru. Vhodná délka ojnice je zde zvolena stanovením maximální výšky bloku válců, aby se omezila celková výška motoru. [8]



Obrázek 20: Vztah zdvihu k poměru zlepšení spotřeby paliva

Tento odhad vychází ze skutečné měrné spotřeby paliva, která byla změřena změnou poměru L/R (l=3,0, 3,3 a 3,6) předchozího motoru. Pokud je tento poměr větší, než je nutné, nelze měrnou spotřebu paliva dále zlepšit. Je to proto, že zvýšení hmotnosti ojnice způsobuje zvýšení tření. Když se prodlouží zdvih, zvýší se rychlost pístu, což má nepříznivý vliv na spotřebu oleje.

Proto je nutné zvýšit tenzi pístních kroužků. Řádek (3) na obr. 20 představuje odhad vlivu tohoto zvýšeného napětí pístních kroužků na měrnou spotřebu paliva. Tlustá plná čára na obr. 20 je kombinací vlivů (1) až (3). Po důkladné diskusi byl pro motor 1ZZ-FE zvolen dlouhý zdvih (79 ' 91,5) s poměrem L/R 3,205. Na základě těchto výsledků se stanoví, že motor 1ZZ-FE má dlouhý zdvih.

Ačkoli je palivem motoru 1ZZ-FE běžný benzin, vysokého kompresního poměru (10,0:1) bylo dosaženo díky kompaktní spalovací komoře a vylepšené ochraně proti klepání, o níž bude pojednáno později. Úspora paliva je proto v souladu s vysokým výkonem na vysoké úrovni. [8] Změna vrtání, zdvihu a komprese vedla opravdu k výraznému zlepšení ve spotřebě paliva.

3.4.2 Snížení frikci

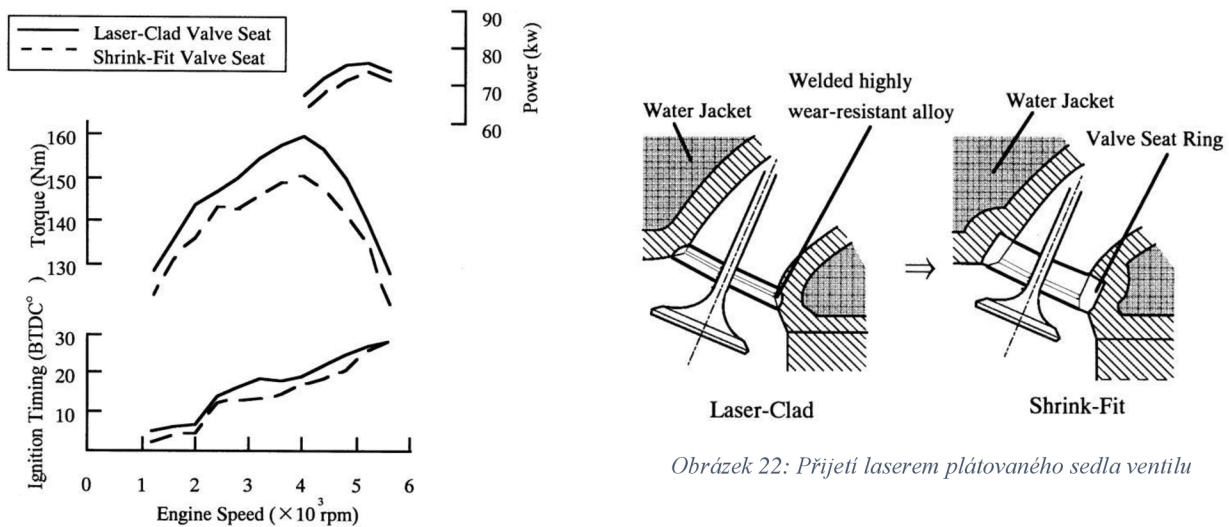
Pro blok válců byl za účelem zlepšení kruhovitosti a přímosti otvoru válce během skutečného provozu vyvinut nový chladič systém (který je vysvětlen později). To následně umožnilo snížit napětí pístních kroužků. Ve stěně bloku válců jsou také průchozí otvory umístěné nad otvorem ložiska klikového hřídele. V důsledku toho vzduch na dně válce proudí plynuleji a čerpací ztráty (protitlak na dně pístu vznikající při jeho vratném pohybu) se snižují, čímž se zlepšuje výkon motoru. U klikového mechanismu byla kromě zmenšení průměru čepů, délky čepů a délky oka ojnice zlepšena přesnost a drsnost povrchu čepů. Kromě toho se u ložisek klikového hřídele použilo jednobřité soustružení, aby se dále snížilo tření. V případě pístu byl zkrácen plášť pístu, aby se zmenšila kluzná plocha. U vačkového hřídele byla zlepšena drsnost povrchu čepů a vačkových laloků a šířka vačkových laloků byla zmenšena, aby se minimalizovalo tření. [8]

Snížení napětí na pístních kroužcích byl dobrý krok, ovšem výrobce při konstrukci pístu se dopustil chyby, která u ranních typu motoru vedla k rychlému konci motoru. Zároveň Toyota Vyrobila zmetkové pístní kroužky, které byli později na svolávací akci měněny. Ranní typy pístu měli špatně vypočítaný odtok oleje ze stíracích pístních kroužku, co vedlo k zaléhání pístních kroužku a následnému probroušení bloku motoru a změně geometrie bloku a jeho ovalitě.

3.4.3 Laserem plátované sedlo ventilu

Na obr. 22 jsou pro srovnání zobrazeny průřezy laserem plátovaného sedla ventilu a konvenčního ventilu. Laserem plátované sedlo ventilu je vrstva vysoce odolné slitiny proti opotřebení vytvořená přímo v hlavě válce pomocí laseru. Laserem plátované sedlo ventilu odstraňuje potřebu prostoru v hlavě válce, do kterého se umisťují samostatné sedlové kroužky. Tím se zvětšil průměr sedla ventilu pro sání i výfuk o 1 mm, čímž se zlepšil účinnost indukce oproti běžnému typu smršťovacích kroužků. Obr.21 porovnává výkon laserem plátovaného sedla ventilu. Eliminace prostoru pro smršťovací kroužek umožnila umístit vodní plášť blíže k sedlu ventilu, což pomohlo snížit teplotu stěny spalovacího prostoru, a tím zlepšit kvalitu ochrany proti klepání. Celkově se podařilo dosáhnout většího průměru ventilů než u předchozího motoru, a to navzdory kompaktnější spalovací komoře a menšímu otvoru, díky laserem plátovanému ventilovému sedlu a zvětšenému úhlu ventilů. [8]

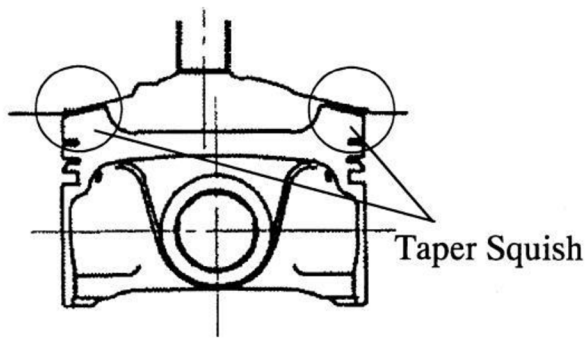
Laserem plátované sedlo zlepšilo efektivitu nasávání vzduchu a vypouštění výfukových zplodin což umožnilo zvýšení výkonu a celkové odezvy na požadavky výkonu.



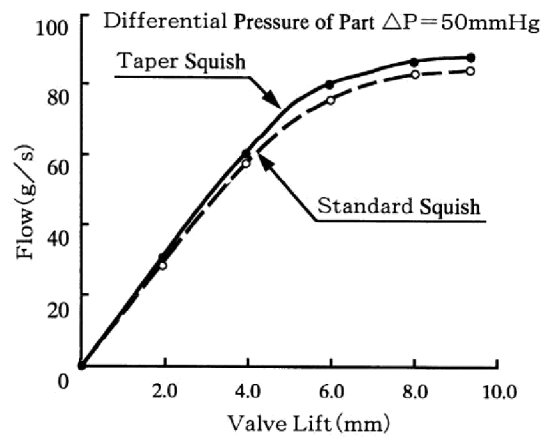
Obrázek 21: Vliv laserem plátovaného sedla ventilu

3.4.4 Kuželová spalovací komora

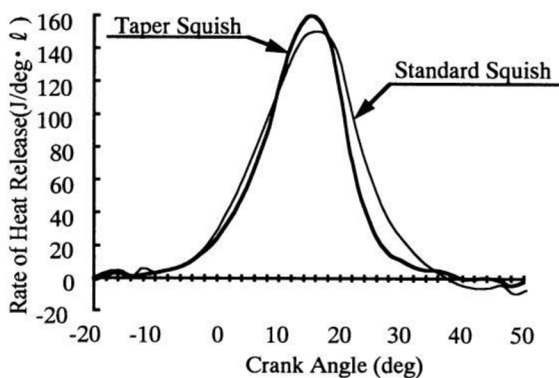
Oblast squish tvořená horním povrchem pístu a spodním povrchem hlavy válců byla zúžena sklonem podél stěny spalovací komory hlavy válců obr. 23. Tento kuželovitý tvar zmenšuje část kolem sacího ventilu při jeho otevření, čímž se zvyšuje objem nasávaného vzduchu obr. 24. Navíc v počáteční fázi spalování pomáhá toto kuželové zúžení postupně zvyšovat tlak ve spalovacím prostoru a v pozdější fázi spalování zvyšuje rychlost hoření obr. 25, čímž zvyšuje odolnost proti klepání. Z toho vyplývá, že zvýšení rychlosti proudění do oblasti squish podporuje šíření plamene na konec oblasti squish při klesání pístu obr. 26. [8]



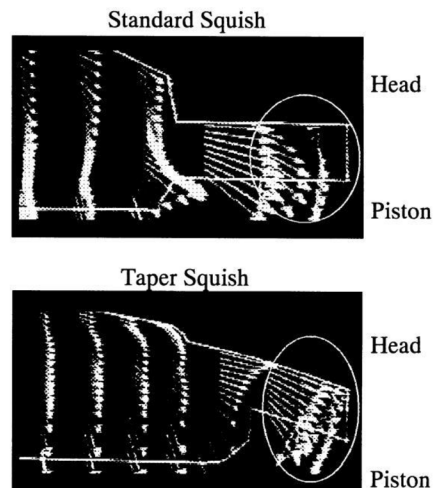
Obrázek 23: Kuželová spalovací komora



Obrázek 24: Srovnání průtokových charakteristik



Obrázek 25: Srovnání vzoru spalování

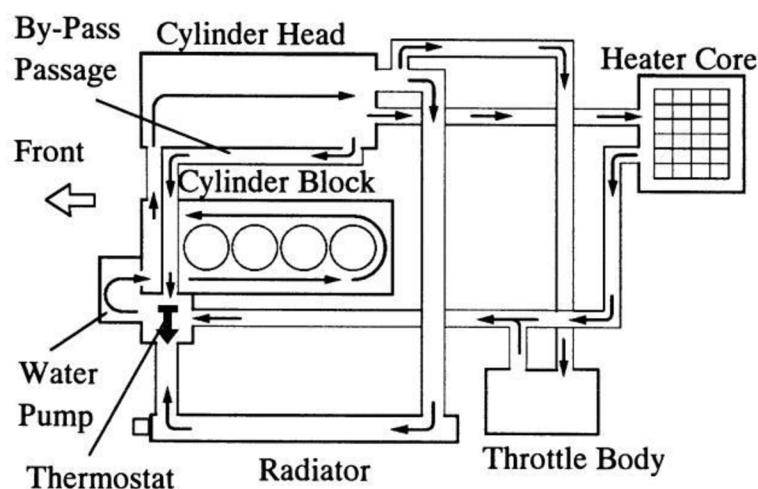


Obrázek 26: Srovnání rychlosti proudění v oblasti Squish (simulace CFD)

3.4.5 Chladicí systém

Proud chladicí kapaliny motoru se v bloku válců otáčí do písmene U, aby nedocházelo ke stagnaci, čímž je zajištěna rovnoměrná teplota stěn válců. Celá hmota chladicí kapaliny proudí z bloku válců nahoru k přední části hlavy válců a pak dopředu dozadu obr. 27. Tím se zvyšuje rychlost proudění v hlavě válců, což napomáhá snižovat teplotu stěn spalovacího prostoru. [8]

Toto konstrukční řešení pomohlo k zabránění silného přehřívání motoru a následné jeho použití v koncepci motoru uprostřed.



Obrázek 27: Chladicí systém

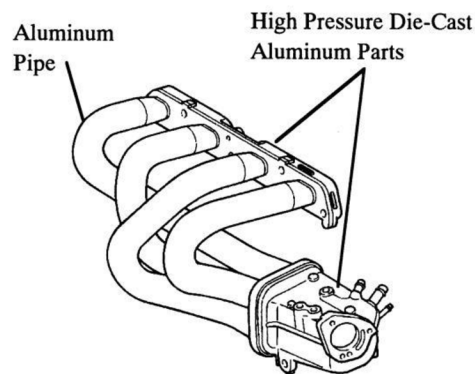
3.4.6 Zapalovací systém

V motoru 1ZZ-FE byl použit systém DIS (Direct Ignition System), který odstraňuje rozdělovač, aby se zlepšila přesnost časování, zapalování při vysokém kompresním poměru a zvýšila celková spolehlivost zapalovacího systému. Tento systém se skládá ze snímače polohy klikového hřídele, který přímo zjišťuje polohu kliky ze snímací desky připevněné na předním konci klikového hřídele, fázového snímače, který zjišťuje číslo válce pomocí šroubu na zadním konci vačkového hřídele sání, a dvou sad zapalovacích cívek. [8]

3.4.7 Sací systém

Jako sací potrubí se používá hliníková trubka, která je ohýbána a tvarována do trojrozměrného tvaru, což umožnilo použít lehké a kompaktní sací potrubí s velkým průměrem a dlouhým otvorem (41×413) pro zlepšení točivého momentu při nízkých a středních otáčkách. Úseky od škrticí klapky přes jednotlivé otvory byly spojeny v jedno, aby se zabránilo poklesu účinnosti sání při vysokých otáčkách v důsledku turbulencí obr. 28. [8]

Použitím skoro stejně dlouhých trubek se docílilo rovnoměrného nasycení válců vzduchem, což pomáhá zvýšit výkon a odezvu na požadavek výkonu.

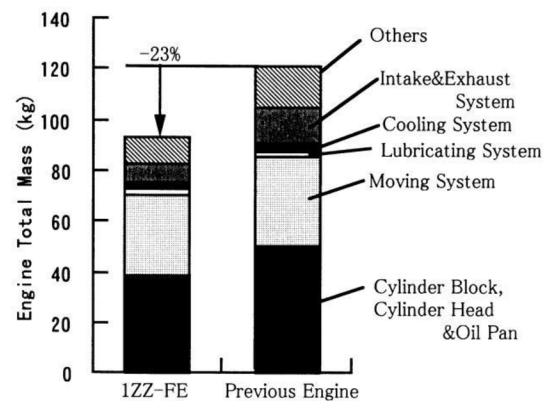


Obrázek 28: Sací potrubí

3.5 Nízká hmotnost a kompaktnost

Díky následujícím inovativním technologiím je nový motor o 23 % lehčí obr. 29 a kompaktnější o 15 mm na celkovou délku, 27 mm na šířku a 19 mm na výšku ve srovnání s předchozím motorem. Délka od konce klikové řemenice k setrvačníku byla rovněž zkrácena o 33 mm, čímž se celková délka motoru zkrátila. Tím zvýšila snadnost montáže do vozidel s motorem vpředu a pohonem přední nápravy [8]

Díky snížení hmotnosti a zjednodušení montáže se zlevnil proces výroby automobilu. Zároveň snížení váhy v přední části vozu napomáhá k více intuitivnímu řízení a zabraňuje nedotáčivosti vozidla.

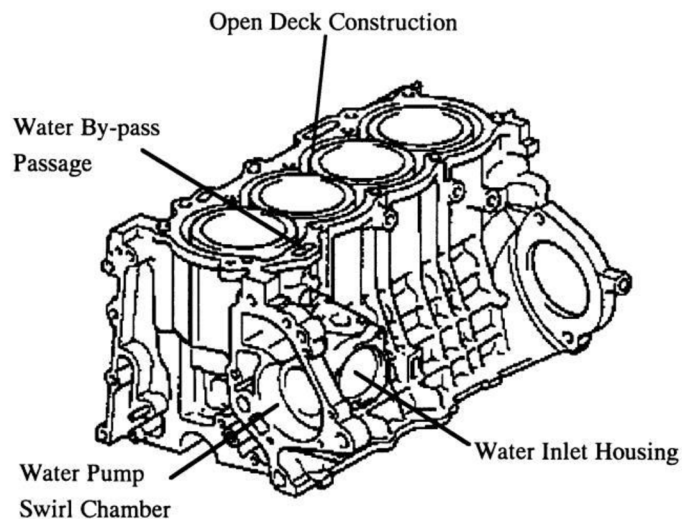


Obrázek 29: Srovnání hmotnosti motoru

3.5.1 Blok válců

Blok válců je vysoce odolný hliníkový odlitek s otevřenou konstrukcí a tenkými litinovými vložkami. Je o 32 % lehčí než předchozí litinový blok a nabízí vyšší efektivitu výroby. Vířivá komora vodního čerpadla, sací skříň a vedení obtokového kanálu jsou integrovány do bloku válců z vysokotlakého hliníkového tlakového odlitku, což přispívá ke kompaktnímu rozměru bloku. Aby se zabránilo vzniku dutin v odlitcích, které se mohou vyskytnout v silných částech stěn vzniklých integrací tělesa a na hlavních čepch klikového hřídele, používá se při výrobě kolík, který tyto silnější části stlačuje obr. 30. [8]

Blok válce je oproti předchůdci celohliníkový a zároveň otevřeného typu. Jeho předchůdce ovšem je ocelolitinový a zároveň zavřeného typu. Sice se tedy snížila hmotnost, ale zase z hlediska praxe se snížila i spolehlivost bloku. Na motorech 7A-FE nedocházelo tak často k ovalitě válce jak u motoru 1ZZ-FE

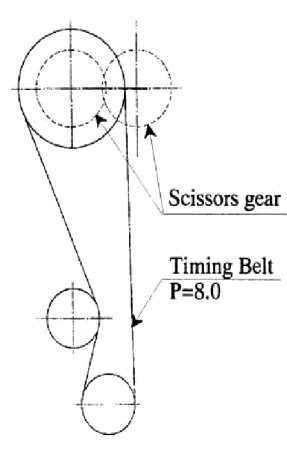
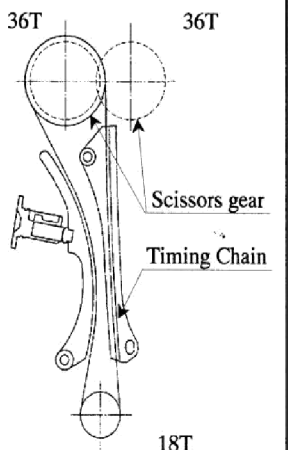
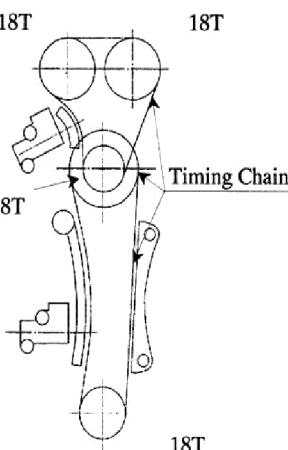
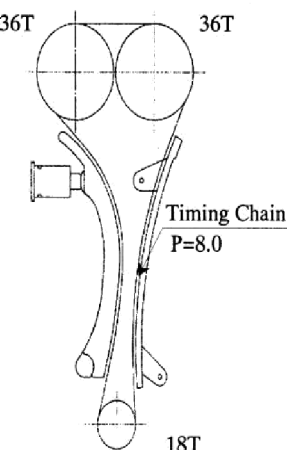


Obrázek 30: Blok válců

3.5.2 Systém pohonů řetězu

Pro stanovení základních specifikací byly zvažovány čtyři různé systémy řetězového pohonu znázorněné na obr. 31. Rozvodový řemen v č. 1 je nejlehčí. Systém č. 4, který používá jediný řetěz k přímému pohonu sacího i výfukového vačkového hřídele od klikového hřídele, byl shledán neoptimálnější. Používá řetěz s malou roztečí (8 mm), aby byl systém cenově dostupný z hlediska celkové délky, počtu použitých dílů a nákladů. V systému pohonu č. 4 je nutné zajistit větší rozteč mezi vačkovými hřídeli než v systému pohonu č. 1, ale díky zmenšení vzdálenost vačkových kol a použitím řetězu s malou roztečí se povedlo splnit rozměrové požadavky původně plánované pro 1ZZ-FE, a proto byl přijat systém č. 4. Kryt řetězu obecně zabírá velké procento systému řetězového pohonu z hlediska hmotnosti a nákladů u motoru 1ZZ-FE byl kryt řetězu integrován s krytem vírové komory vodního čerpadla a držákem příslušenství, čímž se dosáhlo ještě lehčího, kompaktnějšího a nákladově efektivnějšího systému, než je ten, který je zkoumán na obr. 31 jako č. 2 a č.3. [8]

Oproti předchůdci, kde je použit řemen toto řešení sice využívá více komponentu na pohon rozvodu, ovšem zde dochází k zvýšení i spolehlivosti oproti rozvodovému řemenu a zároveň k větší uživatelské vstřícnosti díky zmenšení nákladu na údržbu.

	No.1	No.2	No.3	No.4
				
Mass Comparison(%)	100	126	121	110
Min. Camshaft Pitch(mm)	75	75	75	96
Reduction of Engine overall length(mm)	0	-8.8	-8.8	-8.8
Number of parts Comparison(%)	10	109	100	88

Obrázek 31: Srovnání systému pohonu vačkového hřídele

3.5.3 Rozložení příslušenství

Pro pohon příslušenství byl použit systém pohonu řemenem, který používá jeden klínový řemen typu V-belt. Protože vyžaduje pouze jeden stupeň na klikové řemenice, byla celková délka zkrácena. Dále bylo z důvodu snížení hmotnosti odstraněno použití držáku, který slouží výhradně k montáži každého příslušenství na bloku motoru. Současně lze bez použití držáku namontovat každé příslušenství blíže k motoru, což přispívá k celkovému zmenšení příčného rozměru. [8]

Tento systém přinesl velké zjednodušení v údržbě oproti předchůdci.

3.5.4 Další technologie

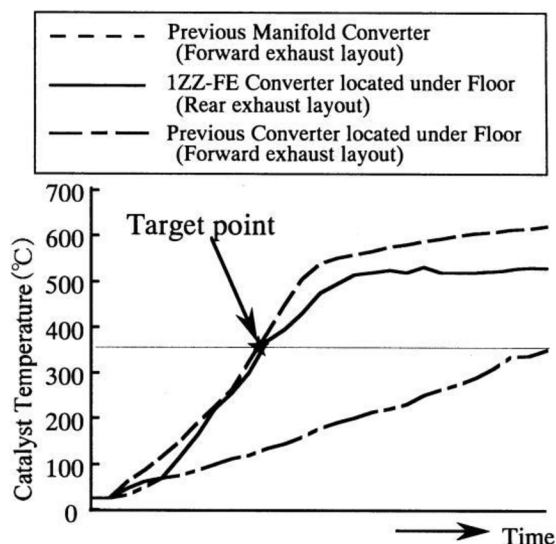
Tloušťka montážní příruby setrvačnicku na klikovém hřídeli byla snížena, aby se zkrátila celková délka motoru. Celková výška motoru byla snížena změnou tvaru a uspořádání sacího potrubí. Tvar víka hlavy válců byl změněn tak, aby se minimalizovalo zvýšení celkové výšky přijetím delšího zdvihu. Sací a výfukové potrubí je nově děláno z nerezové oceli, aby se drasticky snížila hmotnost sacího a výfukového systému. Zároveň se tyto trubky mohou lehce deformovat při čelním nárazu, čímž se prodlouží zóna tlumení nárazů v přední části vozidla. [8]

Sací potrubí ocelové je jen u prvních modelu motoru. Následně je sací potrubí nahrazeno plastem, který absorbuje náraz lépe a tím se zvyšuje aktivní bezpečnost vozidla.

3.6 Zlepšení emisí

Sací a výfukový systém je v porovnání s tradičním uspořádáním uspořádán opačně, takže výfukové potrubí je u vozidla s motorem vpředu a pohonem přední nápravy umístěno v zadní části motoru, tj. u firewall. Tím se zkrátila vzdálenost mezi motorem a katalyzátorem a tím se zlepšil výkon zahřívání katalyzátoru. Díky tomuto uspořádání výfukové soustavy má katalyzátor stejný zahřívací výkon jako u motoru s rozdělovačem, u kterého výfukové potrubí je umístěno na přední straně obr. 32. Místo běžných dvou otvorových vstřikovačů je nový motor vybaven čtyř otvorovými vstřikovači, které jsou schopny rozprašovat palivo na ještě jemnější částice. Vstřikovač je umístěn v hlavě válců, čímž se zmenšuje vzdálenost mezi ním a spalovacím prostorem. Díky tomu nedochází k ulpívání paliva na povrchu stěn sacího otvoru, což snižuje emise HC a zlepšuje spotřebu paliva. Toto uspořádání umožnilo splnit emisní předpis USA TLEV bez použití katalyzátoru na svodech nebo startovacího katalyzátoru a bylo také umožněno eliminovat systém EGR. Zároveň nám této úpravy umožnily vyrovnat se s budoucími emisními předpisy, které budou ještě přísnější. [8]

Ovšem v pozdějších verzích je katalyzátor umístěn i na svodech tak aby plnil lépe emisní limity.

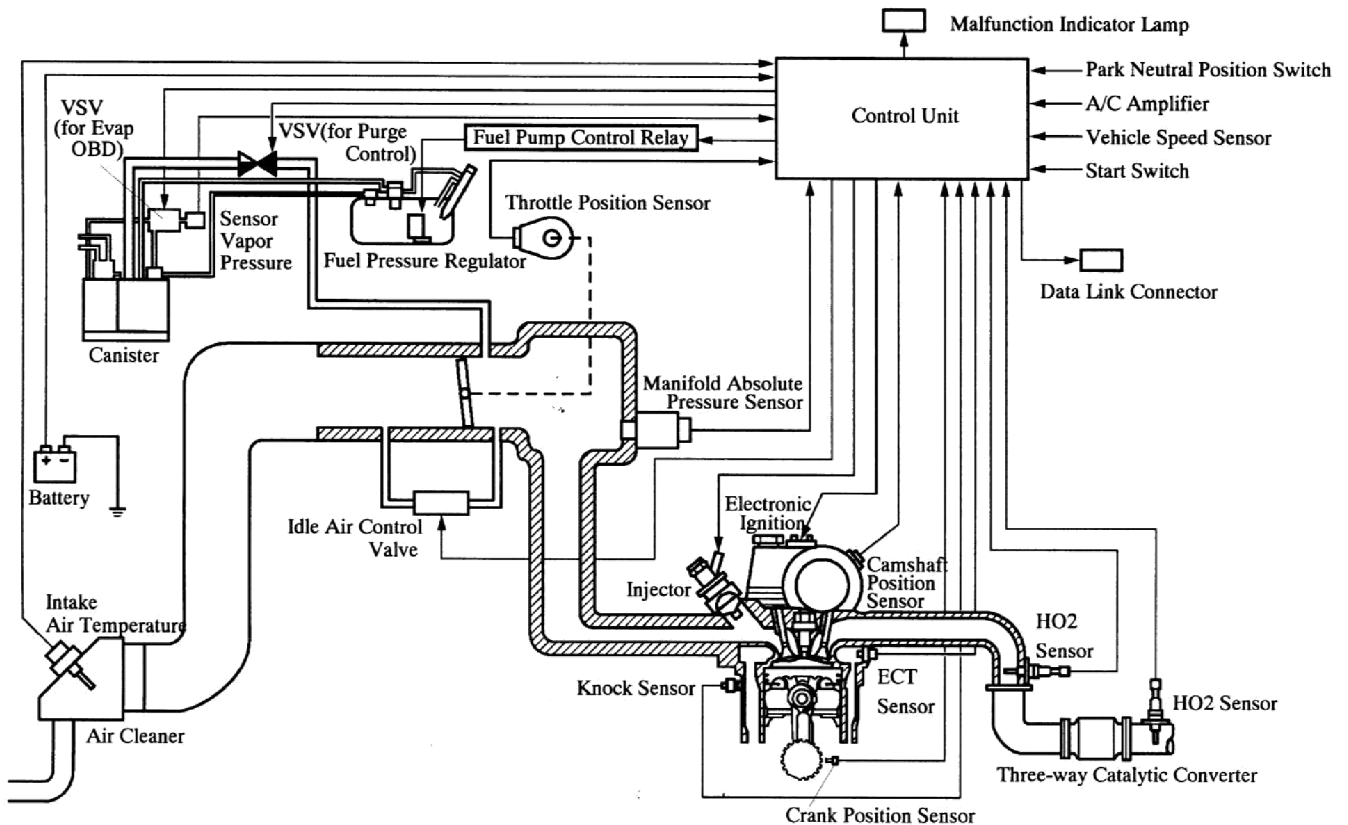


Obrázek 32: Zahřívací výkon katalyzátoru

3.6.1 Řízení motoru

Pro další zlepšení jízdních vlastností a regulace emisí byly použity následující technologie.

1. Individuální vstřikovací systém se čtyř otvorovým vstřikovačem.
2. Systém dvojitého snímače O₂
3. Systém snímače klepání [8]



Obrázek 33: Motor a systém řízení emisí

4 Výsledky a diskuse

Motor 1ZZ-FE splnil očekávání na trhu. Pro automobilku Toyota byl klíčový a zásadní v tom, že je to první hliníkový čtyřválec jeho předchůdce, a to motor 7 A-FE byl v mnoha ohledech horší. Jediné, v čem předchůdce byl lepší, tak byla spolehlivost. Během celé životnosti motoru 1ZZ-FE procházel mnohými revizemi. Některé motoru prospěly, jako například změna vrtání odtokových kanálu na pístu motoru jiné zase neprospěly například jako přidání katalyzátoru na výfukové parohy. Jak ukázala praxe, tyto motory měly zásadní vadu a tou byla nadměrná spotřeba oleje, protože pístní kroužky nedokázali stírat olej kvůli špatnému vrtání odtoku.

To vedlo k ucpání katalyzátoru a ty zase nedokázali odvézt výfukové plyny správně. Dále byli hliníkové sací parohy nahrazeny plastovými sacími parohy to vedlo k odlehčení motoru což bylo za mě zbytečné, protože ten motor i tak byl lehčí oproti konkurenci. Tento motor jsem měl ve vozidle Toyota MR-S a byl jsem s ním nad míru spokojen.

5 Závěr

Motor 1ZZ-FE zlepšil spotřebu paliva bez jakéhokoli speciálního zařízení díky optimalizaci základních parametrů a použití nových technologií u jednotlivých komponent. Díky všem novým technologiím vysvětleným v této bakalářské práci motor 1ZZ-FE uspokojivě dosáhl dříve uvedených cílů a dosáhl vysoké úrovně rovnováhy mezi výkonem, hospodárností, hmotností, kompaktností a emisemi výfukových plynů. Díky tomu bude možné splnit požadavky trhu po celém světě.

6 Seznam použitých zdrojů

1. Jan Hromádko, Jiří Hromádko, Vladimír Hönig, Petr Miler. Spalovací motory. Praha : Grada Publishing, a.s., 2011. 978-80-247-3475-0.
2. Gscheidle, R. a kol. Příručka pro automechanika. Praha : SOBOTÁLES, 2001. 978-3-8085-2163-2.
3. Toyota Global Sakichi Toyoda. Toyota-Global. [Online] Toyota Motor Corporation, 2012. [Citace: 12. 3 2023.] https://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/text/taking_on_the_automotive_business/chapter1/section1/item1.html.
4. Toyota Global Type A engine. Toyota-Global. [Online] Toyota Motor Company, 2012. [Citace: 12. 3 2023.] https://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/text/taking_on_the_automotive_business/chapter2/section2/item3.html.
5. Toyota Global Toyota Model AA. Toyota-Global. [Online] Toyota Motor Corporation, 2012. [Citace: 12. 3 2023.] https://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/vehicle_lineage/car/id60011174/index.html.
6. global.toyota. Toyota Crown Turns 60. [Online] Toyota Motor Corporation, 8. 1 2015. [Citace: 13. 3 2023.] <https://global.toyota/en/detail/4886147>.
7. toyota-camry-corolla.ru. toyota-camry-corolla.ru. [Online] toyota-camry-corolla.ru, 2023. [Citace: 16. 3 2023.] <https://toyota-camry-corolla.ru/dvigateli/7a-fe-chetyrehtsilindrovyyj-benzinovyj-dvigatel-1-8-toyota/>.
8. Shoji Adachi, Kimihide Horio, Yoshikatsu Nakamura, Kazuo Nakano and Akihito Tanke. Development of Toyota 1ZZ-FE Engine. Detroit, Michigan : SAE International, 1998.
9. LLC., Zatz. Toyota Land. Toyota Land. [Online] 2000. [Citace: 14. 3 2023.] <https://www.toyoland.com/engines/4A-F.html>.
10. Antonín, Kubát. Automobilové motory. Praha : František Borový, 1929.
11. Šalamoun, Čestmír. Motorová vozidla III. Praha : ČVUT, 1980.
12. Jan, Macek. Spalovací motory. Praha : ČVUT, 2012. 978-80-01-05015-6.
13. Kožoušek, Josef. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II. Praha : SNTL, 1983.
14. Urlaub, Alfred. Verbrennungsmotoren Grundlagen, Verfahrenstheorie, Konstruktion. Berlín : Springer Berlin, 1995. 9783540581949.
15. Kirkpatrick, Colin R. Ferguson and Allan T. Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences. místo neznámé : John Wiley & Sons Inc, 2015. 1118533313.

16. Kaisha, Toyota Jidōsha Kabushiki. Toyota 1ZZ-FE, 3ZZ-FE engine repair manual. Tokyo : Toyota Motor Corp., 2001.
17. Heywood, John B. Internal Combustion Engine Fundamentals 2E 2nd Edition. místo neznámé : McGraw-Hill Education, 2018. 1260116107.
18. Ing. Jaroslav Rauscher, CSc. Vozidlové Motory studijní opory.
19. авторов, Коллектив. Toyota. Двигатели 1ZZ-FE, 2ZZ-GE, 3ZZ-FE, 4ZZ-FE. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию. Moskva : Легион-Автодата, 2014. 979-5-88850-250-0.
20. —. БЕНЗИНОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ 4А-F, 4А-FE, 4А-GE, 5А-F, 5А-FE, 7А-FE, ЭЛЕКТРОСХЕМЫ. РУКОВОДСТВО ПО РЕМОНТУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ. ПРОФЕССИОНАЛ. Moskva : Легион-Автодата, 2016. 5-88850-116-6.
21. Autospeed.com. Autospeed. [Online] 21. 7 2006. [Citace: 20. 3 2023.] https://www.autospeed.com/cms/a_2984/article.