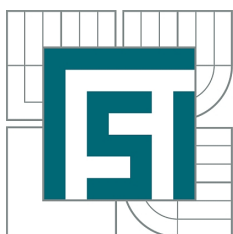


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DVANÁCTIVÁLCOVÉ MOTORY BMW BMW TWELVE-CYLINDER ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LIBOR MACEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUBOMÍR DRÁPAL

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Libor Macek

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Dvanáctiválcové motory BMW

v anglickém jazyce:

BMW Twelve-cylinder Engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled vývoje použité techniky, provedení a hlavních parametrů zážehových vidlicových dvanáctiválcových motorů BMW v kontextu doby a v porovnání se soudobou konkurencí.

Cíle bakalářské práce:

Přehledně zmapujte vývoj zážehových vidlicových dvanáctiválcových motorů BMW pro osobní automobily. Pojednejte o jejich parametrech, použitých technických řešeních a materiálech také s ohledem na požadavky soudobé legislativy. U vybraných pohonných jednotek proveďte srovnání s konkurenčními motory dané doby.

Seznam odborné literatury:

[1] LANGE, K. BMW Dimensions: The History of Engines – Engines that Made History. 1st edition. Munich: BMW Mobile Tradition, 1999. ISBN 3-932169-05-0.

[2] MTZ Motorentechnische Zeitschrift Ausgabe. Wiesbaden: Springer Wieweg|Springer Fachmedien Weisbaden GmbH.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Drápal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 18.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská diplomová práce se zabývá zmapováním výroby dvanáctiválcových motorů automobilky BMW, v souladu s platnou soudobou legislativou. V práci je rozpracována problematika konstrukce jednotlivých motorů a materiály s ohledem na současné požadavky.

Začátek bakalářské diplomové práce se věnuje historii značky, tzn. založení značky, zakladatelům, prvním vyrobeným kusům, vývoji značky a v neposlední řadě také kultovním vozům. Automobilka v roce 2012 oslavila výročí 25 let dvanáctiválcových motorů. Třetí kapitola se věnuje označení motorů. Jelikož je to komplikované pro pochopení, tak jsem princip označení automobilů rozepsal. Další kapitola je nejobsáhlejší, protože obsahuje výpis motorů, včetně jejich popisu a srovnání s konkurencí. Kromě osobních automobilů je práce krátce zaměřena na motory sportovních automobilů a na prototypy, které nikdy nebyly sériově vyráběny. Poslední kapitola se věnuje použité technice, především variabilnímu časování ventilů a variabilnímu zdvihu ventilů. Kromě toho se zaměřuje na High Precision Injection, Elektronické ovládání škrticích klapek, CAN-Bus a okrajově také na TwinPower Turbo. V závěru bakalářské práce je uveden seznam literatury, seznam tabulek a seznamu obrázků všech motorů nebo vysvětlující obrázky použité techniky.

Všechny motory, které se používali do normálních osobních automobilů, jsou srovnány se soudobou konkurencí. Kromě BMW dvanáctiválcové motory totiž používali také Mercedes-Benz, Jaguar a Audi.

Summary

Bachelor's thesis deals with mapping manufacture of BMW twelve-cylinder engines in accordance with current legislation. Thesis described the issue of engine construction and materials with respect to current requirements.

Beginning of bachelor's thesis is dedicated to the history of the BMW brand, especially to founders, first made vehicles and iconic vehicles. Carmaker has celebrated 25 years anniversary of V12 engines in 2012. Third chapter is dedicated to engine marking, because engine marking is difficult to understand. The next chapter is the most comprehensive because it contains a list of engines, including their description and comparison with the competition. In addition to passenger vehicles is thesis briefly focused on sport cars engines and prototypes that were never been mass-produced. The last chapter is devoted to the used technique, primarily to variable valve timing and variable valve lift. Furthermore, it aims to High Precision Injection, Electronic throttle control valves, CAN-Bus and marginally also TwinPower Turbo. In conclusion of the thesis is list of sources, tables and pictures of all engines and pictures explaining used techniques.

Klíčová slova

BMW, dvanáctiválcový motor, automobil, vidlicový motor, víceválcový motor, technika, sedmá řada, luxusní automobily

Keywords

BMW, twelve-cylinder engine, vehicle, vee-type engine, multiple cylinder engine, technics, seventh class, luxury vehicles

MACEK, L. *Dvanáctiválcové motory BMW*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Drápal.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Dvanáctiválcové motory BMW vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

29. května 2014

Libor Macek

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Lubomíru Drápalovi, za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům a prarodičům, za finanční podporu během studia a vedení k vysokým cílům.

Libor Macek

Obsah

1	Úvod	13
2	Historie značky	14
2.1	Předválečná historie	14
2.2	Poválečná historie	15
3	Označení motorů	19
4	Dvanáctiválcové motory	21
4.1	M33* – 1972	21
4.2	M66* – 1977	22
4.3	M70 – 1987	24
4.4	M72 – 1989	31
4.5	S70 – 1992	32
4.6	M73 – 1994	33
4.7	S70/2 – 1994	39
4.8	S70/3 – 1995	40
4.9	P74-P75 – 1998	40
4.10	N73 – 2001	41
4.11	Hydrogen 7 – 2007	47
4.12	N74 – 2009	50
4.13	Formule 1 – 1986	56
5	Použitá technika	58
5.1	Variabilní časování ventilů	58
5.2	Variabilní zdvih ventilů	60
5.3	High Precision Injection	62
5.4	TwinPower Turbo	63
5.5	Elektronické ovládání škrtících klapek (EML)	65
5.6	CAN-Bus	66
6	Závěr	67
	Literatura	68
	Seznam obrázků	70
	Seznam tabulek	71

1 Úvod

Téma „Dvanáctiválcové motory BMW“ jsem si zvolil především proto, že jsem velký fanoušek této značky, dokonce sám automobil této značky vlastním. Dalším důvodem bylo, že dvanáctiválcové motory pro mě do této chvíle byly neznámou kapitolou. Proto jsem se chtěl přiučit, jak vlastně tyto motory fungují.

Ačkoliv je BMW momentálně na předních příčkách trhu, svým obratem, kvalitou i technologiemi, jsou tyto skvostné motory v poslední době kvůli dnešnímu trendu „down-sizingu“ a také kvůli emisním normám potlačovány.

Cílem této práce je zmapování a vývoj zážehových vidlicových motorů BMW pro osobní automobily. Budu pojednávat o konstrukčním řešení a materiálech s ohledem na současné požadavky. Na začátku práce se zaměřím na historii této značky, kdy, kde a jak vznikla a jak se vyvíjela. Zde bych rád napsal důležité technologické milníky a vývoj kultovních vozů. V další části zmapuji vývoj konstrukčního řešení jednotlivých motorů. Zaměřím se nejenom na sériové motory, ale také na prototypy, které nikdy nebyly sériově vyráběny. Kromě sériových motorů zmapuji také motory pro sportovní použití. V další kapitole rozeberu použitou techniku těchto motorů.

V závěru každého motoru bych rád motor srovnal se soudobou konkurencí, především výkonově. Rád bych také vytvořil statistiku prodeje vozů jednotlivých značek v českých zemích.

Ve své práci bych rád čerpal převážně z technického časopisu, zabývajícím se technologií motoru – MTZ Motortechnische Zeitschrift, který jako měsíčník pravidelně vychází v Německu. Jako další zdroj bych rád použil knihu předního vývojáře Dr. Ing. Karlheinz Langeho, s názvem BMW Dimensions The History of Engines – Engines that Made History. Obrázky budu čerpat buď z předchozích dvou již zmíněných zdrojů nebo z volně z internetu. Všechny zdroje, ze kterých budu čerpat jak informace, tak obrázky, budou uvedeny na konci práce v Seznamu literatury. Pro názornou ukázkou v jednotlivých kapitolách budou vloženy obrázky.

2 Historie značky

2.1 Předválečná historie

Společnost BMW původně vyráběla letecké motory. V říjnu roku 1913 **Karl Friedrich Rapp** založil společnost **Rapp-Motorenwerke**, v bývalé továrně na jízdní kola nedaleko Mnichova. Začal s výrobou jeho vlastního leteckého motoru, ale tento motor trpěl problémy s vibracemi.

V roce 1916 **Rapp-Motorenwerke** podepsala kontrakt s Pruskem a Rakousko-Uherskem na výrobu 25 dvanáctiválcových leteckých motorů. Motory však měly problémy se spolehlivostí, proto začali nakupovat vodou chlazené čtyřválcové motory od nedaleko sídlící, sousední společnosti **Gustav Flugmaschinefabrik**, patřící **Gustavu Ottovi**, synu vynálezce zážehového čtyřdobého motoru. O měsíc později byla Ottova továrna spojena s Rappovou a vytvořili tak **Bayerische Flugzeug-Werke**. **Franz-Josef Popp**, rakouský inženýr, který v té době řídil **BFW** a zajišťoval všechny důležité vojenské kontrakty, společnost 7. března 1916 transformoval na **Bayerische Motoren Werke GmbH**. Tento termín je také označován jako oficiální datum vzniku BMW. Krátce po sjednocení Popp zjistil, že se společnost rozrostla moc rychle a bude potřebovat finanční pomoc, proto se obrátil na vídeňského finančníka **Camilla Castiglioniho**, který byl ve vedení **Wiener Bankverein** a společně rekapitalizovali společnost.

V roce 1917 byl Rapp donucen z BMW odejít. Rovněž byl uveden do výroby vodou chlazený šestiválcový letecký motor, vybavený unikátním karburátorem pro vysoké nadmořské výšky, sestrojený vedoucím inženýrem **Maxem Frizem**. V roce 1918 dosáhl dvojplášník osazený tímto motorem nadmořské výšky 5 000 metrů nad mořem za pouhých 29 minut, což bylo působivou ukázkou výkonu a vedlo k vysoké poptávce po motorech **BMW**. Po vyhlášení příměří po válce bylo Německu zakázáno vyrábění leteckých motorů, proto se BMW zaměřilo na výrobu lodních motorů a motorů pro nákladní automobily. Mezitím Popp a Friz tajně pokračovali v práci na leteckých motorech. Tím se zrodil nástupce **IIIa** nazvaný jednoduše **Typ IV**, se kterým testovací pilot **Franz Zeno Diemer** nastolil rekord v nadmořské výšce 9 760 metrů nad mořem.

Kvůli těžké poválečné situaci byl nucen v roce 1920 **Castiglioni** prodat svůj podíl za 28 milionů říšských marek, a to výkonné radě **Knorr Bremsen AG**. BMW se kvůli nízké poptávce po motorech potýkalo s potížemi a bylo nuceno začít vyrábět brzdové systémy pro železniční vagóny a kancelářský nábytek.

V této situaci nebyla pro BMW budoucnost, proto vedení muselo vymyslet nový směr, kterým se stala výroba motocyklových motorů. V roce 1920 **Martin Stolle** a Max Friz navrhli motor **M2B15** pro Norimberskou společnost **Victoria**. Tento motor byl vyráběn do roku 1922.

Mezitím BMW sestrojilo jejich vlastní motorové kolo nazvané **Flink**, sestrojeno roku 1921 a můžeme jej označit jako počátek výroby motocyklů BMW. O rok později BMW postavilo svoji první továrnu na ulici *Neulerchenfeldstrasse* místo Ottovy staré továrny.

První motocykly neměly moc dobře vyřešené odpružení, proto měly problémy s prodejem. To měl změnit nový model R32 představený v roce 1923. Motocykl udělal na veřejnost velký dojem a do roku 1926 bylo prodáno 3100 kusů. Byl vybaven motorem boxer o objemu 494 cm³, a tím pádem i základem koncepce, jaká se u BMW vyrábí dodnes.

V roce 1924 byl uskutečněn první mezikontinentální let právě s motorem BMW. Ale to nebylo jediné prvenství. V roce 1927 bylo z celkových 87 světových rekordů v letectví uskutečněno 29 právě s motory BMW.

Rok 1928 je velkým milníkem v historii BMW. Společnost koupila továrnu na automobily v Eisenachu, a s licencí na výrobu automobilu **Austin 7** začala vyrábět **BMW Dixi 3/15**. Tento model byl následně vylepšen celokovovou karosérií a brzdami pro všechna 4 kola. Celkově se jej prodalo 18 976 kusů. První automobil vyvinutý čistě v Mnichovském BMW, byl ale vyroben až roku 1932.

Roku 1940 byla zahájena výroba velmi pokrokového radiálního motoru, určeného pro armádní letadla, který měl mechanický počítač, jenž zajišťoval automatické řízení motoru. Tohoto motoru se do konce války vyrobilo 20 000 kusů. Odvětví civilní výroby však takové úspěchy neslavilo, kvůli válce byla produkce automobilů pozastavena a všechno vybavení a dokumentace pro výrobu motocyklů byly přestěhovány do Eisenachu. A začalo se s výrobou armádního motocyklu **R75** pro Wehrmacht, legendou mezi terénními motocykly.

V roce 1943 BMW pracovalo současně na prvním sériovém proudovém motoru **109-003**, a zároveň na svém největším leteckém pístovém motoru, 28 válcovém radiálním motoru s objemem 85,5 litru **BMW 803** pro bombardér *Junkers 88*.

Kvůli leteckým náletům a postupu spojeneckých vojsk byly továrny BMW v Mnichově, Eisenachu, Dürerhofu, **Basdorfu** a **Zühsdorfu** zničeny, jediná, která byla prakticky netknutá, byla v Allachu. Ale kvůli výrobě motorů pro Wehrmacht dostalo BMW tříletý zákaz činnosti.

Na konci války byly továrny BMW spojenci rozebrány a přestěhovány do celého světa jako válečné reparace, například motocykl R75 je v Rusku s několika úpravami vyráběn dodnes značkami Ural a Dněpr. Svůj podíl na rozebrání továren BMW měly hlavně pokrokové proudové motory, které neměly konkurenci. [1] [2]

2.2 Poválečná historie

Po válce se společnosti nevedlo vůbec dobře, byla pod ruskou a americkou nadvládou, a vyráběla součástky pro zemědělské stroje a jízdní kola. V té době spatřil světlo světa první bicykl s rámem z lehkých slitin.

V roce 1949 je BMW zpět na scéně a v New Yorku předvádí první poválečný motocykl **R24**. Ten byl o rok později vylepšen motorem koncepce boxer o objemu 500 cm³ a těšil se velké poptávce.

Zatímco se v Eisenachu kompletovaly automobily pro Sovětský svaz, v Mnichově byl zkonstruován první poválečný automobil, luxusní sedan s motorem V8 **BMW 501**. Avšak nízká poptávka kvůli poválečné situaci nenaplnila očekávání. Model byl nazýván „Barokní anděl“, kvůli jeho rozměrům a plynulým liniím. Mezitím byla v roce 1952 továrna v Eisenachu zproštěna Sovětské nadvládou, byla znárodněna, a pod jménem **Eisenacher Motorenwerke (EMW)** začala vyrábět roku 1955 Wartburgy.

Do roku 1953 BMW vyrobilo celkem 100 000 motocyklů.

V roce 1954 šel do výroby světově první celohliníkový motor V8, s nímž mohlo legendární **BMW 507** později jet až 220 km/h.

Rok 1955 se zdál velice úspěšný. Po velikém úspěchu u veřejnosti s novým modelem **Isetta**, ze kterého se stalo nejlépe prodávané BMW desetiletí, přišla úspěšná změna

2.2 POVÁLEČNÁ HISTORIE

zavěšení na motocyklech, jež přinesla lepší trakci a stabilitu. Avšak tento úspěch byl přeceněn a motocyklová výroba zažila velký propad - z prodeje 30 000 motocyklů v roce 1954 na pouhých 5 400 v roce 1957. O rok později byl představen legendární model BMW 507, malý supersportovní kabriolet vyvinutý pro americký trh, osazený vidlicovým osmiválcem 3,2 litru a výkonem 118 kW. Jeho nadčasový design, kvalita zpracování a silný motor je dodnes velmi ceněn.

Investor **Herbert Quandt** (nevlastní syn Magdy Gobbelsové), vlastníci velké množství akcií, se snažil o reorganizaci společnosti a její nezávislost. Jako majoritní investor a člen dozorčí rady se zasadil o velký růst BMW do úrovně celosvětového exportéra, avšak po neúspěchu v sektoru velkých limuzín rada zvažovala spojení s velkým konkurentem **Daimler-Benz**. avšak předseda rady společně se zaměstnanci přesvědčili Quandta, že má BMW budoucnost. Ten na poslední chvíli odmítl nabídku Daimleru, a BMW zůstalo samostatné. V tomto roce byl také představen model **BMW 700**, jímž se BMW dostalo zpět do prodeje, první lidové auto s jednotnou karosérií, jejíž prvky byly k sobě přivařeny. Model měl motocyklový motor z **R67**, umístěný vzadu a karosérii 2+2 kupé nebo 2 dveřový sedan.

V roce 1961 se představil nový model **BMW 1500**, první model „Nové řady“ (německy Neue Classe). Tato řada znamenala pro automobilku bod zlomu – modely se začínají podobat dnešním modelům.

V roce 1966 BMW kupuje krizí zplundrované závody společnosti **Hans Glas GmbH** v **Dingolfingu** a **Landshutu**. Obě byly přestavěny a Dingolfing je dnes největším závodem BMW. Téhož roku byl na oslavu 50. výročí automobilky představen model **2000 TI** s 16 ventilovým 2 litrovým motorem, produkujícím 191 kW. Tentýž motor, avšak poněkud upravený, byl použit v sérii závodů Formule 2 a získal několik rekordů. O dva roky později BMW představilo rozšíření Neue Classe o velké šestiválcové sedany 2500, 2800 a kupé 2.5CS a 2800CS, a z důvodu nedostatku místa v Mnichovském závodu byla kompletní motocyklová produkce přestěhována do Spandau v Berlíně.

V roce 1970 byla zahájena stavba moderního ústředí BMW v Mnichově ve tvaru 4 válců, jak je známo dnes. O rok později byla stavba dokončena a rovněž bylo představeno **BMW 3.0 CSL** s výkonem až 151 kW, které budilo rozruch jak na závodních tratích, tak v ulicích měst. O dva roky později byl představen první model 5. řady, řídicí se podle nového značení, **E12**, který byl určený spíše pro americký trh. Téhož roku byla také založena odnož **BMW Motorsport GmbH**, která se doposud stará o vývoj sportovně laděných M modelů. Jejím prvním počinem byla úprava závodního 3.0 CSL, které o rok později vyhrálo 24 hodinový závod na Nürburgringu. Roku 1973 se na Autosalonu ve Frankfurtu představilo **BMW 2002 Turbo**.

Na začátku roku 1975 byl představen první model 3. řady **E21**, nástupce BMW 2002, který svou koncepcí lidového auta a širokou nabídkou motorizací sliboval masové prodeje. O rok později však BMW přišlo s moderním luxusním kupé řady 6, které mělo pomocné systémy, jako například „Check control“, který pomocí senzorů kontroloval funkci systémů ve voze. Téhož roku BMW představilo motocykl **R100RS**, který jako první motocykl od BMW, měl aerodynamickou celokapotáž. O rok později, roku 1977 představilo BMW první model nové 7. řady **E23**, nástupce modelu 2500.

V roce 1980 BMW vyhrálo nejtěžší závod světa Rallye Paříž-Dakar. Jako výsledek jejich zkušeností bylo představení motocyklu **R80G/S**, prvního motocyklu s jednostrannou zadní kyvnou vidlicí „monolever“. Tentýž rok znamenal začátek vývoje motorů pro Formuli 1. O rok později BMW expandovalo na Japonský trh. Roku 1982 byl představen

nástupce modelu E21, legendární **E30**, model stvořený pro širokou veřejnost. Tento model měl jako první BMW možnost být vybaven pohonem na všechny 4 kola.

Roku 1984 byla založena dceřiná společnost **BMW Technik GmbH**, která zajišťovala modernizaci provozu. Počítače a průmyslové roboty značně zefektivnily výrobu. V tomto roce se taktéž na automobilech objevil první katalyzátor. O rok později byla představena první **E28 M5**, sportovní sedan, který vypadal jako rodinný sedan, avšak byl konfigurován jako sportovní automobil. Model měl podvozek z vrcholné verze 535i a motor z modelu M1. Jeho maximální výkon 210 kW z něj činil nejrychlejší sedan světa.

V roce 1986 byl model 3.řady E30 upraven společností BMW Motorsport na sportovní **M3**, který se svými jízdními vlastnostmi stal ikonou motorsportu tehdejších časů. Tentýž rok byla představena řada 7 modelem **E32** osazená šestiválcovými a později i osmiválcovými nebo dvanáctiválcovými motory.

Roku 1988 vyšel model 5.řady **E34**, nástupce modelu E28, který nabízel perfektní rozložení hmotnosti a sametový chod motorů v široké paletě od 518i po 540i, přičemž vrchol nabídky byl sportovně upravený model M5 s výkonem 232 kW. V tomtéž roce BMW jako první motocyklový výrobce nabídlo elektrohydraulický protiblokovací brzdový systém (ABS) pro motocykly. O rok později BMW nabídlo zákazníkům luxusní sportovní kupé s dvanáctiválcovým motorem *E31 850i* a současně prolomilo hranici půl milionu prodaných automobilů.

V roce 1990 přichází BMW s nástupcem úspěšné E30, modelem **E36**. O rok později je do modelů E36 a E34 montován nový vznětový agregát **M51**, který ve verzi s mezichladičem stlačeného vzduchu poskytuje výkon až 105 kW.

V roce 1992 slaví úspěchy divize M, na pařížském autosalonu představuje model E36 M3 s šestiválcovým motorem o výkonu 210 kW a model M5 s nově zvýšeným objemem motoru na 3,8 litru a poskytuje výkon 250 kW. Taktéž model E34 je rozšířen o variantu Touring a variantu pohonu všech kol „ix“. O rok později z tovární linky sjela modifikace 8.řady E31, model **850CSi**, měl silnější dvanáctiválcový motor, produkující 280 kW a hlavně manuální převodovku. Roku 1994 byla představena nástupkyně 7.řady **E38**, jež byla se svým dvanáctiválcovým motorem vlajkovou lodí automobilky. Tentýž rok si automobilka osvojila skupinu **Rover**, čímž získala právo na automobily Rover, Mini, Land Rover, Austin, Morris, Riley, Triumph a Wolseley. Taktéž BMW dostavěla továrnu ve **Spartanburgu** v Jižní Karolině ve Spojených státech. Roku 1995 byla nahrazena 5.řada E34 novou, modernější **E39**, která byla díky novému zavěšení nápravy komfortnější a lépe zvládala přenos sil na vozovku. Téhož roku byl představen sportovní dvoumístný kariolet **Z3**, který byl prvním modelem vyráběným v novém závodu ve Spartanburgu. V roce 1998 vyšel nástupce 3.řady E36, dobře prodávaná **E46** s kompletně novým interiérem i exteriérem. A také byla představena sportovní verze modelu E39 M5, která sice nebyla ručně montovaná v divizi M, jako její předchůdkyně, nýbrž byla montována na stejné lince jako ostatní E39, ale byla prvním vozem divize M s osmiválcovým motorem. Její jednotka produkovala 294 kW a umožnila tak automobilu stát se nejrychlejším sedanem světa. Téhož roku BMW soupeřilo s Volkswagenem o koupi značky **Rolls Royce**. Volkswagen aukci vyhrál a koupil Rolls Royce za 430 milionů liber, ale BMW získalo práva na název Rolls Royce. Začalo tedy plánovat vývoj nových modelů a novou továrnu v Goodwoodu v Západním Sussexu. Po 12 letech se BMW vrací do závodu Paříž-Dakar s motocyklem **F650GS**. V roce 1999 se na veřejnosti poprvé ukázal model **X5**, pro BMW premiéra ve třídě **SAV** (Sports activity vehicle) a model **Z8**, remake slavného kabrioletu 507. Z8 byla vyráběna jako limitovaná edice, a měla 294 kW

2.2 POVÁLEČNÁ HISTORIE

motor z M5. V tomtéž roce vyhrává závod 24hodin Le Mans vůz **McLaren** s dvanáctiválcovým motorem BMW. Rovněž se BMW vrátilo do Formule 1 do spojení s týmem **Williams F1**.

V roce 2000 byl představen první automobil, spalující benzín a vodík, aby podpořilo budoucnost alternativních paliv. Od doby koupě Roveru se zvedla hodnota britské libry, proto již nebylo výhodné jej dále držet. Byl prodán za symbolickou cenu 10 liber společně s MG, jediná značka, kterou si BMW nechalo, bylo tedy Mini. O rok později byla otevřena nová továrna na motory nedaleko anglického **Birminghamu** s kapacitou pro výrobu 400 000 čtyřválcových motorů ročně. [1] [2]

3 Označení motorů

V roce 1963 BMW představilo systém číslování, kdy všechny nové modely vozů budou mít označení „E“ a příslušné číslo podle pořadí, začínající číslem 01. Shodný systém byl zaveden i pro motory, akorát s písmenem „M“. Pro oddělení starého a nového číslování byly motory podle starého číslování opatřeny hvězdičkou „M33*“. Avšak v roce 1980 byla již všechna čísla do 100 vybrána, což kolidovalo se systémem do roku 1963. Vedení BMW se tedy rozhodlo představit kompletně nový systém, u kterého nebylo hlavní myšlenkou pořadí, v němž byl motor představen, ale počet válců. Stejně jako interní označení modelů vozů, i motory BMW jsou tedy identifikovány alfa-numerickým kódem. Ten je využíván inženýry a technickým personálem pro identifikaci motorů. Toto označení se nachází na štítku bloku motoru. Pro rozlišení motorů pro veřejnost se používají první 3 znaky. Systém číslování podle nové normy:

- 1.znak: písmeno - globální rozdělení
 - A - motocyklový motor
 - M - motory staré generace
 - S - motory pro řadu M (BMW M GmbH je samostatné oddělení BMW)
 - N - motory nové generace (opatřeny technologií Valvetronic)
 - P - motory pro Motorsport
 - W - motory od jiného dodavatele
- 2.znak: číslice - počet válců:
 - 1,4 - řadové čtyřválc
 - 2,3,5 - řadové šestiválc
 - 6 - vidlicové osmiválc
 - 8 - vidlicové desetiválc
 - 7 - vidlicové dvanáctiválc
- 3.znak: číslice - inovace motoru
 - 0 - základní koncepce
 - 1-9 - další inovace
- 4.znak: písmeno - spalované palivo
 - B - zážehový motor
 - D - vznětový motor
 - H - vodíkový motor
 - E - elektrický pohon
 - M - motor spalující methanol
 - X - hybridní pohon - elektrický + dieselový motor
 - Y - hybridní pohon - elektrický + benzínový motor
- 5.znak: číslice - objem válců v celých litrech

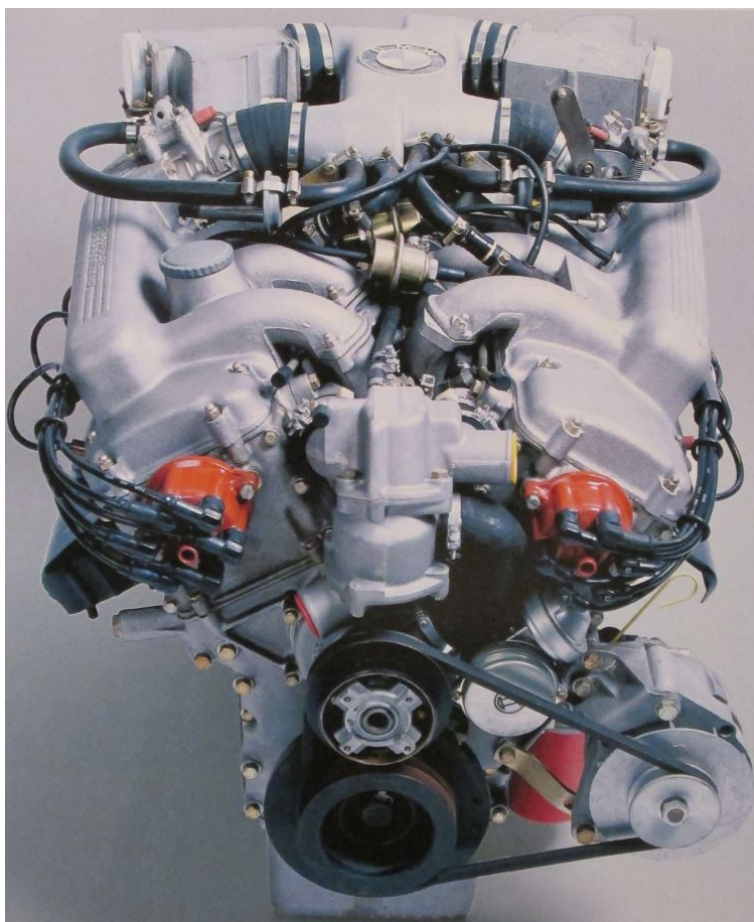
- 6.znak: číslice - objem válců v desetinách litrů
- 7.znak: písmeno - výkonnostní třída
 - S - třída Super performance
 - T - třída Top performance
 - O - třída Upper performance
 - M - třída Intermediate performance
 - U - třída Lower one performance
 - K - třída Smallest one performance
 - V - plnění karburátorem (Vergasser)
- 8.znak: číslice - vydání příslušné informace
 - 0 - nový vývoj
 - 1-9 - revize (například technická aktualizace)

Například motor s označením M30B25V je řadový šestiválcový motor staré generace o objemu 2,5 litru, plněný karburátorem. [3] [4]

4 Dvanáctiválcové motory

4.1 M33* – 1972

Již v druhé polovině 60. let se konstrukční oddělení BMW připravovalo na budoucí poptávku zákazníků po výkonných motorech, které by byly ještě silnější než stávající šestiválce, odpovědí byl tedy dvanáctiválec. Nový dvanáctiválcový motor nazvaný M33* byl vytvořen složením dvou šestiválců s roztečí válců 100 mm, s výsledným objemem 5 litrů. Otcem této myšlenky, sloučení 2 malých čtyřválcových nebo šestiválcových motorů do jednoho V8 nebo V12 byl Hans Glas, který již dříve postavil motor V8 o objemu 2.6 litru ze dvou 1.3 litrových čtyřválců. Vyrobil jen vlastní blok a klikový hřídel a ostatní díly použil z původních motorů, čímž došlo k velké úspoře nákladů.

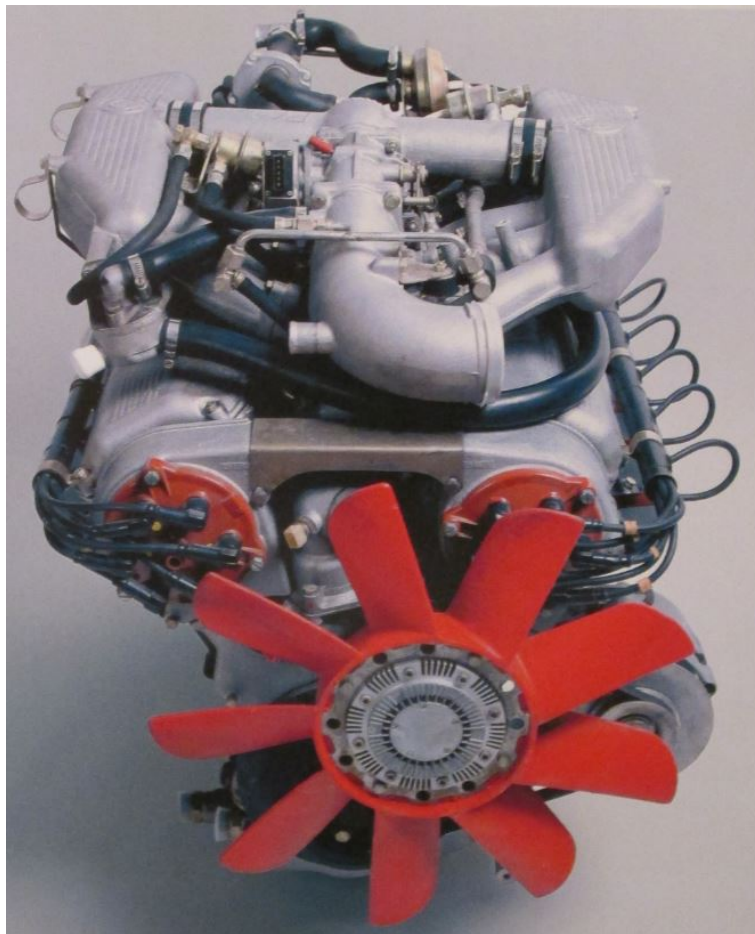


Obrázek 4.1: Motor M33* [3]

První prototyp byl připraven roku 1974. Byl osazen vstřikováním paliva a každá řada válců měla svůj měřič množství nasávaného vzduchu, škrtící klapku a rozdělovač. Na testovací stolici produkoval výkon 300 koní. Bohužel byl tento motor i přes poměrně ostrý úhel sevření řad válců (60°) byl příliš široký a kvůli tehdejším litinovým blokům moc těžký (315 kg) na zástavbu do tehdejší 7. řady. Projekt tohoto motoru byl v polovině roku 1974 zastaven. [3] [5] [6]

4.2 M66* – 1977

Po ukončení projektu motoru M33* bylo potřeba začít od začátku a myšlenka složení dvou šestiválcových motorů byla stále v kurzu. Klíčovými parametry byla cena vývoje, náklady na výrobu a ekonomické hledisko provozu zahrnující spotřebu a údržbu. Uvažovalo se o variantě, že V12 by mohl být postaven na základě sloučení dvou velkých šestiválců M30. Předpokládaný objem byl 6.0 – 7.0 litrů, avšak tato cesta byla záhy zamítnuta kvůli velké váze, přílišnému objemu a odhadované vysoké spotřebě.



Obrázek 4.2: Motor M66* [3]

V této době byl k dispozici nový šestiválec M60*.

Tým pod vedením Dr. Ing. Karlheinz Langeho postavil prototyp, motor M66* o objemu 4,5 litru spojením dvou malých šestiválcových M20 (M20B23) v úhlu 60°. Motor byl umístěn pro testovací účely do karosérie tehdejší 7. řady E23. Hmotnost jednotky M66 byla 275 kg, což bylo o pouhých 60 kg více, než velký šestiválcový M90*. Dvouřadý vidlicový motor M66* byl ve srovnání s jednou řadou M60* jen o trochu delší, ale znatelně širší. Přesto se vešel do motorového prostoru sedmé řady E23, šesté řady E24 a s trochou úprav i do M1 E26.

Avšak musely být vyřešeny další technické detaily. Mazání motoru bylo založeno na suché klikové skříni. První pumpa čerpala olej ze spodního krytu motoru do nádrže, ze které druhá pumpa rozváděla olej do celého motoru. Tímto krokem se zajistilo lepší chlazení

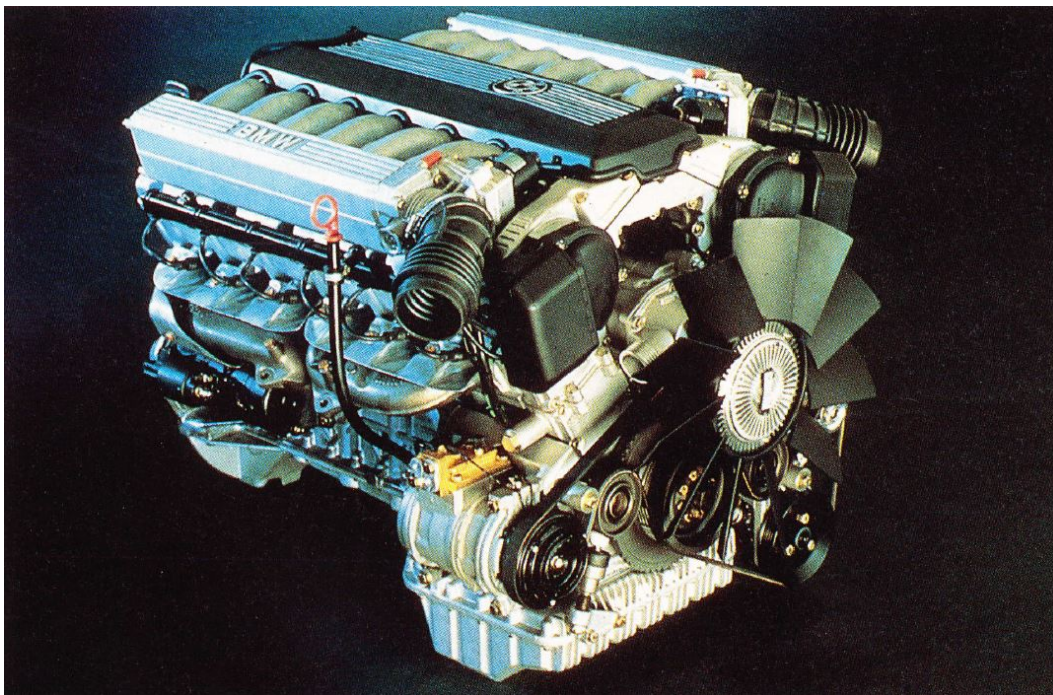
oleje a stálý tlak oleje i při vysokém zatížení a při manévrech, kdy hrozí odlití oleje od savky čerpadla. Kvůli použití pístů a ojníc z motoru M60* bylo nutné snížit zdvih pístu z 76.8 mm na 74 mm oproti motoru M20B23. Na svou dobu pokrokový systém vstřikování L-Jetronic byl spojen s jedním centrálním měřičem množství nasávaného vzduchu. Centrální byla také jedna škrťací klapka, na kterou navazovalo 12 stejně dlouhých sacích trubic, které byly vyvedeny nad opačnou hlavu, pro zajištění stejně dlouhých trajektorií nasávaného vzduchu. Každá řada válců měla svůj rozdělovač a cívku.

Kvůli litinovému bloku byl motor stále příliš těžký, a proto jej v realizaci nahradil turbodmychadlem přepínaný šestiválec.[3] [5]

4.3 M70 – 1987

Navzdory rozhodnutí o odložení výzkumu bylo téma dvanáctiválcových motorů stále zajímavé. Na konci roku 1982 tedy započal vývoj motoru, který ve své podstatě vycházel z šestiválcového motoru M20.

Bylo nutné dodržet nejen tradiční kritéria motorů BMW, jako vysoký výkon a sameťový chod, ale také nízkou spotřebu a splnění tehdejší emisní normy, což nebylo pro takto velké a výkonné vozidlo jednoduché.



Obrázek 4.3: Motor M70 [7]

Kliková skříň

Z důvodu exkluzivity pro 7. řadu byl pevně zadán požadovaný výkon, který by měl překročit 200 kW, proto byl objem válců vypočítán na 5 litrů. Jako koncept byly navrženy dvě varianty – vidlicový osmiválec nebo vidlicový dvanáctiválec. Nakonec byl vybrán dvanáctiválcový motor s úhlem sevření řad válců 60° z důvodu vyššího počtu válců, a tím i menších setrvačných sil pístů, kratších intervalů mezi zápaly a díky kratším cestám plamene i možnost vyššího kompresního poměru. Všechny tyto výhody přispívaly ke klidnému chodu motoru. Také vrozená kompenzace oscilačních a rotačních setrvačných sil u motorů s násobkem 3 válců, s čímž mělo BMW již zkušenost ze svých 6 válcových motorů, byl pro dvanáctiválec jeden z rozhodujících faktorů. Motor musel být také dostatečně lehký, aby nezhoršil sportovní chování velkých limuzín, proto byl na rozdíl od předešlých prototypů vyroben z lehkých slitin.

Nová koncepce hlavy válců umožňuje vysoký výkon a díky hydraulickému vymezování vůle ventilů má motor nízké náklady na údržbu. Obě řady válců jsou řízeny jako dvě samostatné jednotky, což má za následek lepší rozlišení hmotnosti nasávaného vzduchu, a tím optimální spotřebu paliva v částečném zatížení. Množství nasávaného vzduchu

je regulováno dvěma škrtícími klapkami ovládanými elektronicky servomotorem. Motor je také vybaven vlastní diagnostikou, pro mapování funkce velkého počtu elektroniky.

S novým motorem BMW naplnilo nejen nároky tehdejší doby, ale také pozvedlo úroveň pro další generace a konkurenci. Těchto jednotek bylo celkově vyrobeno 70 000 kusů.

Kliková skříň byla odvozena od architektury malých dvanáctiválců M20 s roztečí válců 91 mm, vrtáním 84 mm a zdvihem 75 mm. Řady válců spolu svírají úhel 60°. Jako materiál byla na klikovou skříň použita nadeutektická slitina hliníku AlSi17Cu4Mg. Stěny spalovacího prostoru jsou zpevněny křemíkovými krystaly a leptány.

Skříň je odlita tlakovým litím bez použití jádra, což vede ke konstrukci s otevřeným chladícím prostorem *open-deck*. Tento způsob výroby je jednodušší, ale v konstrukčním procesu vykazuje nižší ohybovou tuhost jednotlivých válců. Hmotnost klikové skříně je přibližně 39 kg, což je o 25 kg méně než u litinového bloku tehdejšího 3,5 litrového motoru BMW.

Klikový hřídel

Torzní a ohybová pevnost má velký vliv na konečné vibrace a hluk motoru. Klikový hřídel je kovaný z materiálu C45E, má 12 protizávaží a je uchycen v 7 ložiscích. Čepy klikového hřídele jsou povrchově upravené, díky čemuž je zajištěna vysoká kvalita povrchu a je možné zmenšit toleranci výroby. Tyto přesnější čepy zajišťují menší hluk při provozu a menší opotřebování. Čepy leží v ložiscích o průměru 75 mm a šířce 22,6 mm. Ojniční ložiska mají průměr 45 mm a šířku 16 mm.

Píst

Písty v novém dvanáctiválcovém motoru jsou z lehkých slitin a pro vyšší výdrž jsou ze strany spalovacího prostoru pokoveny železem. Kvůli umístění zapalovací svíčky mají excentricky tvarované hlavy. Každý píst má 3 pístní kroužky, které jsou pružné.

Ojnice

Ojnice jsou převzaty z 2,5 litrového malého šestiválce M20, akorát s drobnými úpravami pro potřeby vidlicového motoru.

Hlava válců

Klíčovými vlastnostmi nové hlavy válců jsou „stojící“ ventily svírající spolu úhel pouhých 14°. Toto uspořádání tvoří spolu s miskově tvarovanou hlavou pístu velice kompaktní tvar spalovací komory. Průměr sacích ventilů činí 42 mm a průměr výfukových ventilů 35 mm.

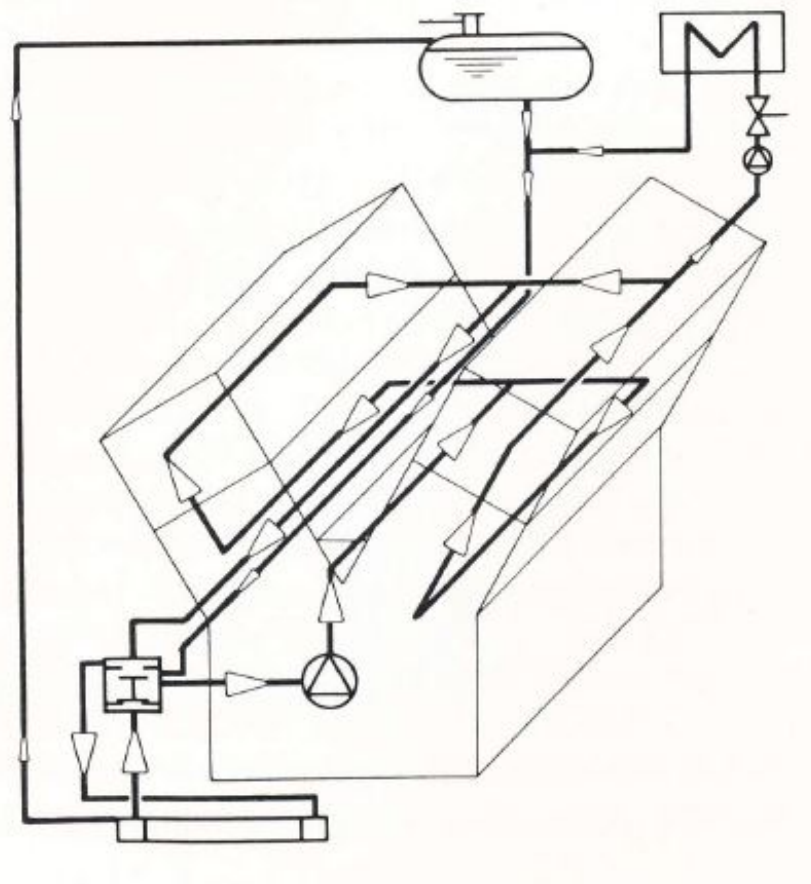
Vahadla jsou vyrobeny z kalené litiny a jejich vůle ve styku s ventilem je vymezována hydraulickým členem. Celý ventilový rozvod je konstruován jako velice tuhý, což je potřeba pro rychlé otevírání a zavírání takto velkých ventilů. Otevření sacího ventilu trvá 248° otočení vačkového hřídele a jeho maximální zdvih činí 10,6 mm. Jak pro sací, tak pro výfukové ventily je použita dvojité pružiny. Vačkový hřídel je uložen v 7 ložiscích a je mazán rozstříkem.

Kryt ventilů je vyroben ze sendvičového deskového materiálu, který kladně působí na šíření hluku a vibrací.

Dva vačkové hřídele jsou poháněny jedním válečkovým řetězem s automatickým napínáním. Pro tlumení vibrací jsou vodící členy vyrobeny z vrstveného materiálu.

Chladicí kapalina

Chladicí kapalina putuje místem v rozvětvení bloku do zadní části, kde se rozvětjuje, blokem putuje zpět a vniká do hlavy válců. Hlavou putuje dozadu a pak zpět do termostatu. Tato cesta s paralelním chlazením zajišťuje symetrické rozložení teploty v motoru a vliv odběru tepla vytápěním vozidla je minimální.



Obrázek 4.4: Schéma chladicího systému [7]

Mazání

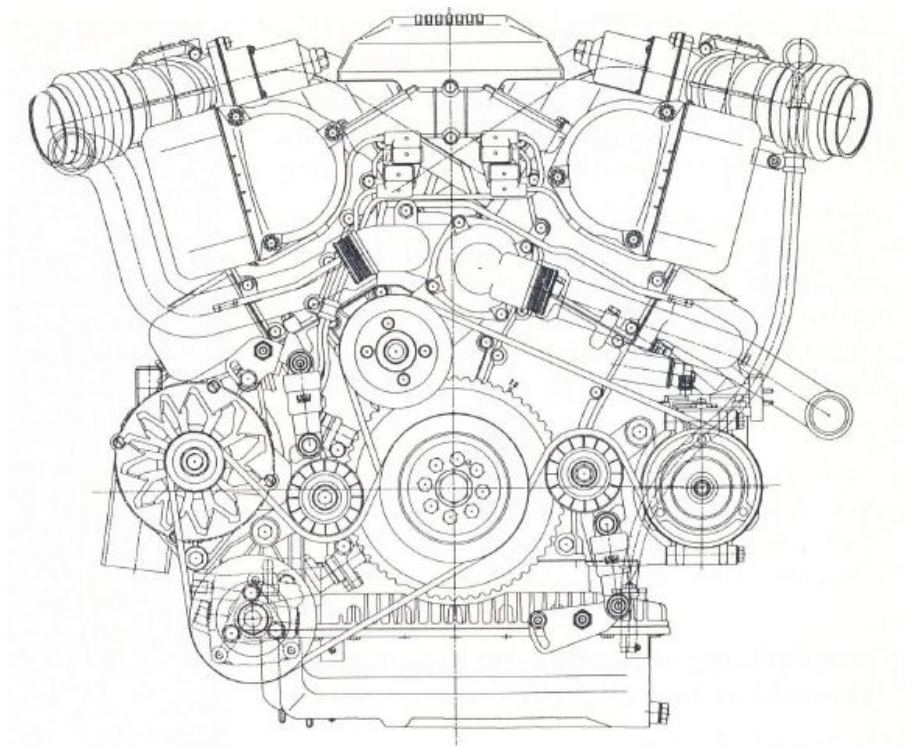
Olej je čerpán čerpadlem s vnitřním ozubením, které stačí pro správný tlak ve všech mazacích bodech. Díky tvarování spodního víka motoru a čerpání oleje ze zadní strany je zaručeno správné čerpání bez vzduchových bublin i za extrémních jízdních podmínek, což je důležité hlavně pro systém vymezování ventilové vůle.

Z důvodu hlukových emisí bylo použito vnitřní olejové čerpadlo na místo vnějšího a spodní víko motoru bylo též vyrobeno z vrstveného materiálu.

Olejový filtr je připevněn zvenku na motoru a je přístupný shora.

Periferie

Příslušenství pohánějí dva klínové řemeny od řemenice na klikovém hřídeli. První pohání vodní čerpadlo s ventilátorem a kompresor klimatizace. Druhý alternátor a čerpadlo hydraulického posilovače řízení. Oba řemeny jsou napínány válečky s hydraulickým tlumením, což znamená, že pohon nepotřebuje žádnou údržbu. Na hřídeli vodního čerpadla je umístěn ventilátor, který je v závislosti na teplotě řízen viskózní spojkou.



Obrázek 4.5: Motor M70 [7]

Palivový systém

Přívod paliva je řešen pro každou řadu válců zvlášť a jednotkou ovládané vstřikovače vstříkují přesně dávkované palivo před sací ventil. Hluk pulsování dvanácti vstřikovačů je utlumen krytem motoru.

Řízení motoru

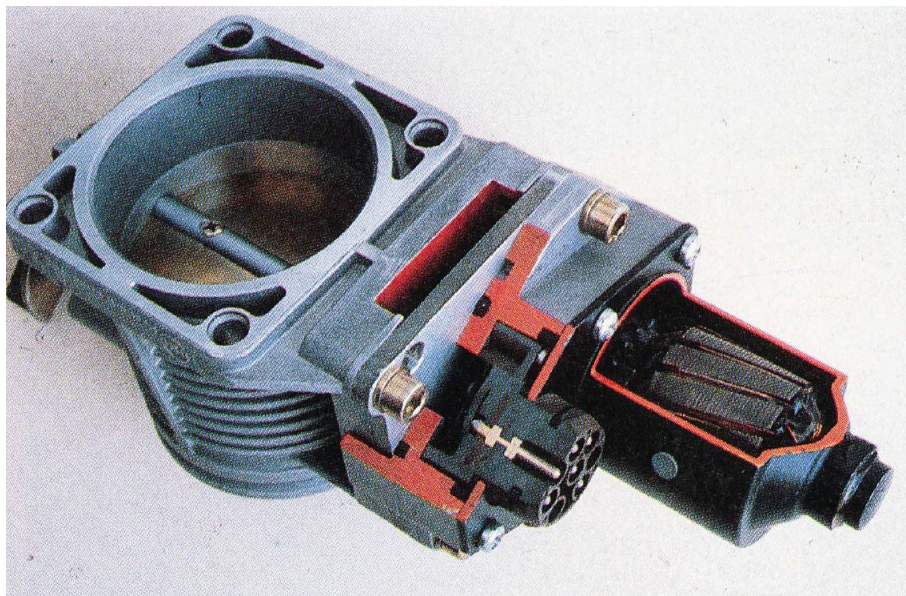
Motor používal dvě řídicí jednotky Bosch DME. Každá z těchto dvou jednotek byla odpovědná za vstřikování a zapalování jedné řady válců. Rozdělovače jsou také dva, každý na příslušné straně na konci vačkového hřídele.

Sací potrubí

Sací potrubí je kvůli akustice pro obě řady oddělené a obě větve jsou řízeny samostatně. Vzduchový filtr a sací potrubí jsou optimalizovány jak akusticky, tak pro minimalizaci

průtokových ztrát. Měřiče množství nasávaného vzduchu jsou realizovány systémem horkého drátu, jehož princip činnosti je takový, že drát je žhaven na konstantní rozdíl teploty mezi ním a nasávaným vzduchem, přičemž velikost vyhřívacího proudu je úměrná množství nasávaného vzduchu. Tyto měřiče mají, na rozdíl od klapkových, výhodu nízkých průtokových ztrát. Aby drát kvůli olejové mlze a kondenzaci netrpěl, je odsávání oleje z klikové skříně zavedeno až v kolektoru sání. Pro eliminaci usazenin jsou měřicí dráty po každém vypnutí vypáleny.

Škrticí klapky jsou ovládány elektronicky servomotory systému EML.



Obrázek 4.6: Škrticí klapka [7]

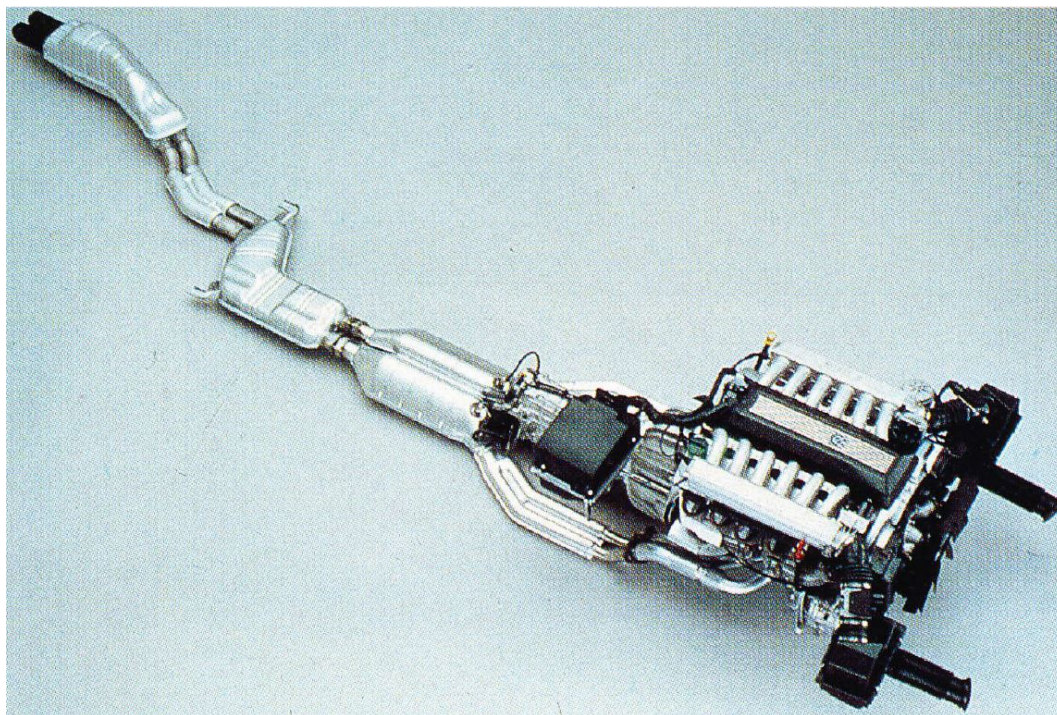
Sběrač sacího potrubí jsou umístěny každý nad protější hlavou válců, jednotlivá potrubí jsou všechna stejně dlouhá a jsou optimalizována pro vysoký točivý moment. Potrubí je připevněno přes silentbloky, aby nedocházelo k přenosu vibrací.

Výfukový systém

Motory s katalyzátorem mají speciální nároky při návrhu výfukového potrubí. Na jedné straně má Lambda sonda vyšší nároky na těsnost systému a na druhé straně proudový odpor a geometrie potrubí má značný vliv na výkon a točivý moment. Tvar povrchu katalyzátoru má značný vliv na hluk výfukového potrubí, proto BMW pro nový dvanáctiválec zkonstruovala nový katalyzátor. K dispozici jsou dva katalyzátory s velkým průřezem a specifickým tvarem pro vhodnou zástavbu do vozidla.

Akustika

BMW je pověstné plynulým chodem svých motorů. Zásadní význam má koncepce základního motoru už díky počtu válců. Tento základní design je doplněn o již zmíněné tiché olejové čerpadlo s vnitřním ozubením, kryt ventilů a spodní víko motoru ze sendvičového materiálu, kryt vstřikovačů mezi řadami válců a elasticky oddělené sací potrubí.



Obrázek 4.7: Kompletní výfukový systém [7]

Synchronizace dvou řad válců je upravována prostřednictvím řídicí jednotky motoru (EML). Průměrná hladina hluku je navzdory mnohem vyššímu výkonu nižší než u šesti-válcového motoru.

Výkony

Motor produkuje 220 kW výkonu při 5200 1/min a maximální točivý moment 450 Nm při 4100 1/min, což znamená 44,1 kW litrového výkonu. Tyto hodnoty platí pro provoz na bezolovnatý benzín Natural 91.

Graf výkonové charakteristiky motoru je k dispozici na straně 38 v porovnání s motorem M73. [3] [7]

4.3 M70 – 1987

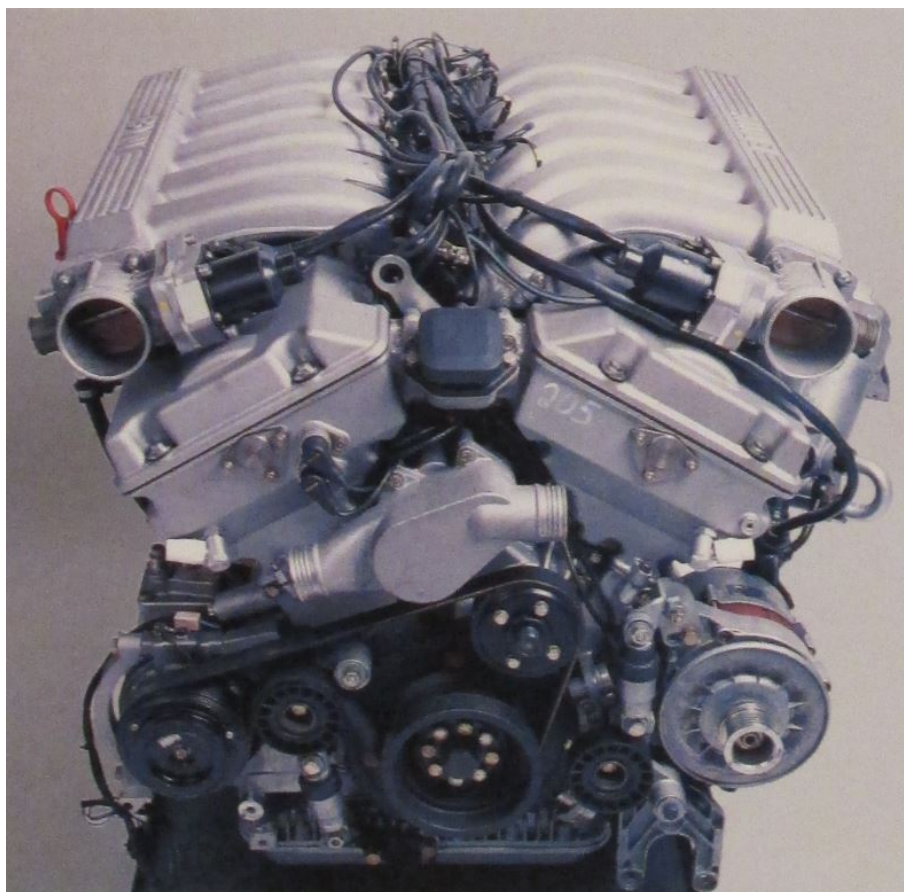
Model	BMW 750i	Jaguar XJ-S	Ferrari Testarossa	Lamborghini Countach
Motor	M70B50	5,3 H.E	Boxer 12	
Ventilová technologie	SOHC	SOHC	DOHC	DOHC
Vstřikování	Nepřímé	Nepřímé	Nepřímé	Nepřímé
Kompresní poměr	8,8:1	8:1	9,2:1	9,5:1
Objem [cm ³]	4988	5343	4943	5167
Vrtání [mm]	84	90	82	85,5
Zdvih [mm]	75	70	78	75
Výkon [hp/rpm]	300/5200	244/5250	368/6000	420/7000
Litrový výkon [hp]	60,1	45,7	74,4	81,3
Toč.moment [Nm/rpm]	450/4100	365/4500	451/4600	462/5000
Litrový moment [Nm]	90,2	68,3	91,2	89,4
Max. rychlost [km/h]	250*	244	287	295
Zrychlení 0-100 [s]	7,4	6,5	5,6	4,7
Prům. spotřeba [l/100km]	13,3	18,5	17,2	18,8

Tabulka 4.1: Porovnání soudobé konkurence M70 [8]

* Maximální rychlost je elektronicky omezena

4.4 M72 – 1989

Tento motor byl roku 1989 připraven jako nástupce zdařilého motoru M70, měl zdokonalený ventilový rozvod a čtyřventilovou technologii. Jelikož měl ale údajně horší komfort chodu, nikdy se do sériové výroby nedostal.[3]

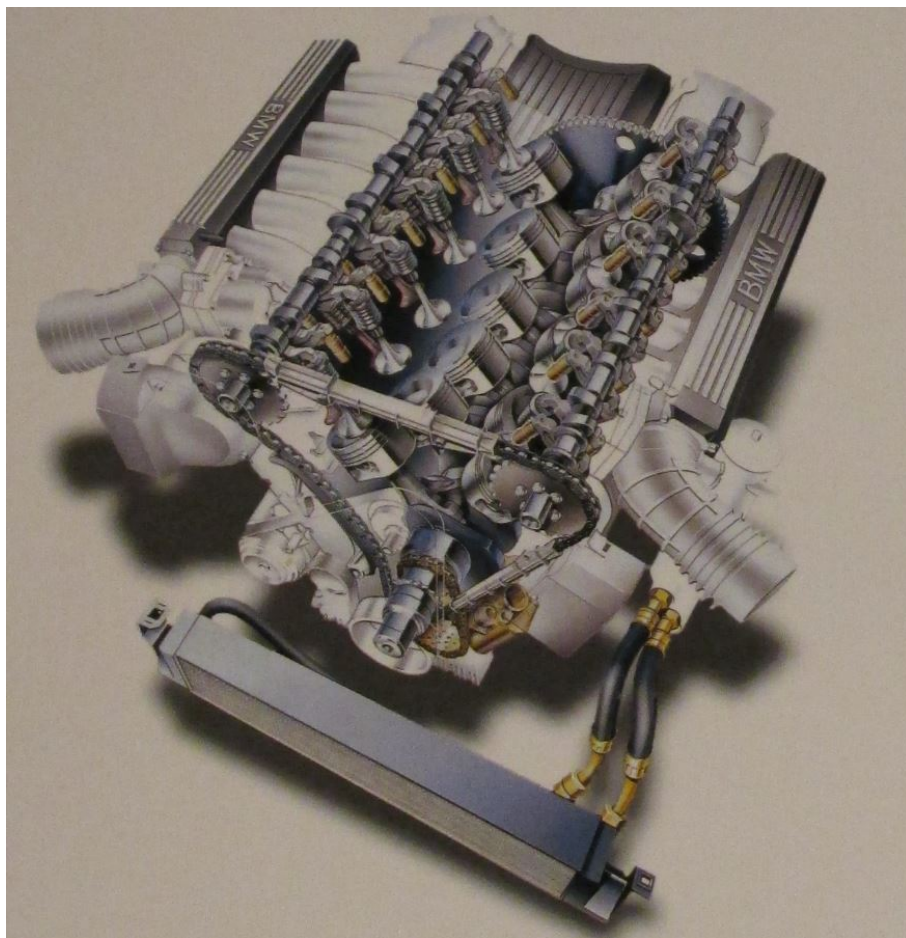


Obrázek 4.8: 48 ventilový motor M72 [3]

4.5 S70 – 1992

Tento motor byl vyvinut na základě motoru M70, pro potřeby sportovních automobilů. Byl použit ve sportovní verzi BMW 8. řady 850CSi v letech 1992 až 1997.

Jeho sportovní úprava spočívala v převrtání objemu válců na 5,6 litru, zvýšení kompresního poměru na 9.8:1 a dalšího nastavení na úkor komfortu. Dále bylo upraveno výfukové potrubí a katalyzátory, aby kladly menší odpor. Výkon této jednotky byl zvýšen na 280 kW. [3]



Obrázek 4.9: Sportovně laděný motor S70 [3]

4.6 M73 – 1994

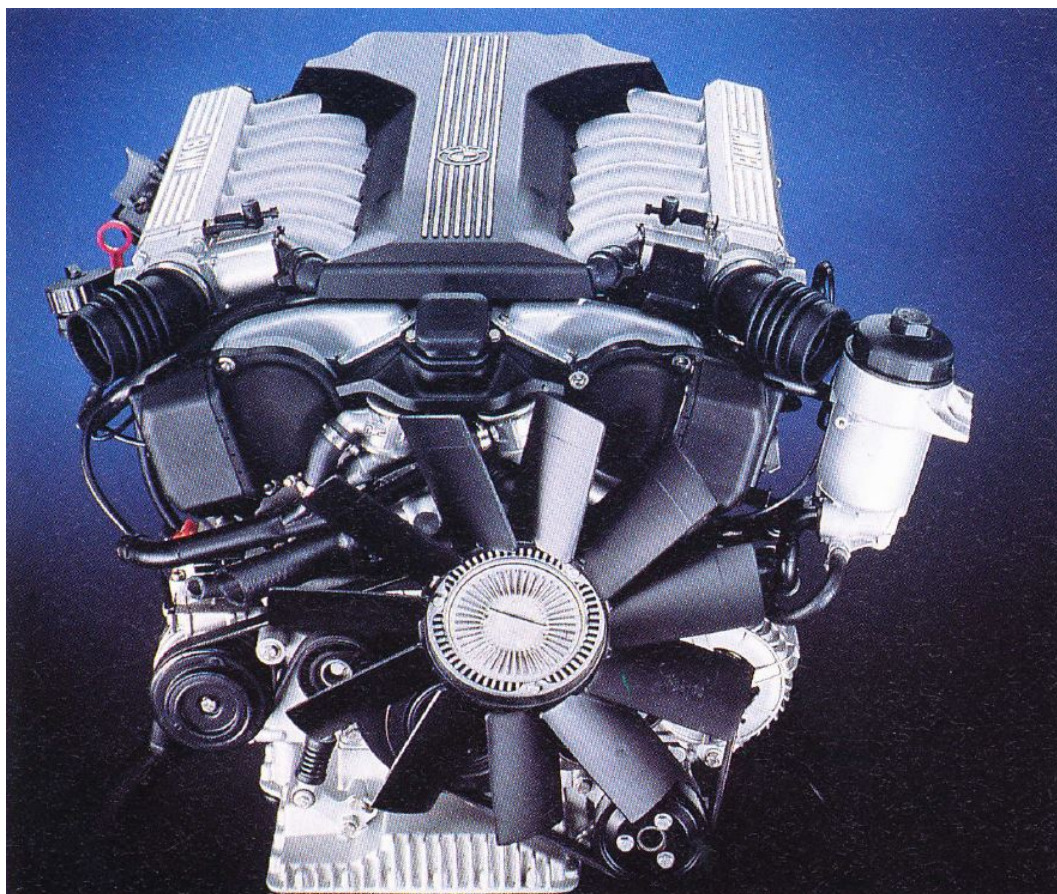
Tato jednotka byla nástupcem motoru M70, který byl již roky prověřený.

Díky zvyšujícím se požadavkům zákazníků, přísnějším legislativním požadavkům a soutěživosti byl tento motor kompletně přepracován.

Mezi hlavní technické cíle patřilo:

- zlepšit vliv na životní prostředí, zejména snížení spotřeby paliva a výfukových plynů
- zvýšení komfortu a snížení hluku
- zvýšení výkonu a zejména točivého momentu v nízkých otáčkách.

Zásadní otázkou při sestavování technických opatření bylo dosažení cíle, aby i v tomto motoru byla čtyřventilová technologie, která svým dokonalejším plněním poskytovala vyšší výkon ve vysokých otáčkách. Avšak po zkušenosti s motorem M72, který neměl tak dobrý komfort chodu, bylo od této varianty upuštěno.



Obrázek 4.10: Motor M73 [3]

Místo fundamentální revize byl objem motoru zvýšen a byly částečně realizovány některá opatření, která jsou popsána níže.

Kliková skříň

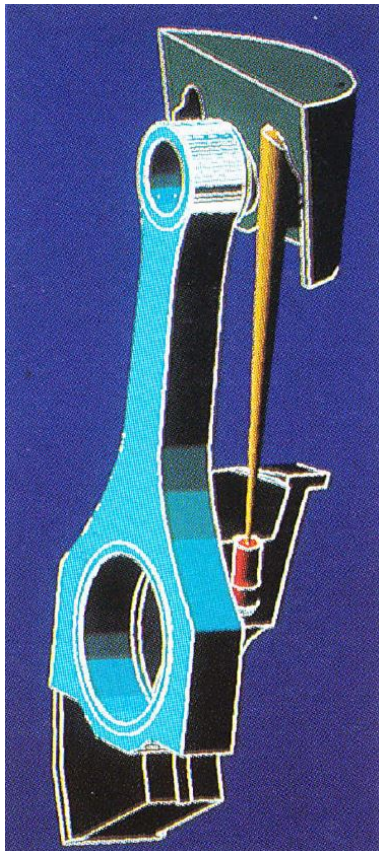
Kliková skříň, prověřená několika lety výroby zůstala ve své podstatě nezměněná. Tvar i použitý nadeutektický materiál zůstal nezměněn. Motor byl převrtán z původních 84 mm na 85 mm. Úpravou vrtání a zdvihu se objem válců zvětšil z 5 na 5,4 litru.

Kliková hřídel

Klikový hřídel byl přepracován pro vyšší zdvih, který nyní činil 79 mm místo 75 mm. I přes tento zásah stále vykazoval perfektní ohybovou a torzní tuhost, což dokazovalo perfektní zpracování již v roce 1983, kdy byl hřídel navrhován. V době stavby již byl nejvíce rozšířeným benzínem Natural 95, proto byl kompresní poměr nastaven na hodnotu 10:1 místo původní 8,8:1.

Píst

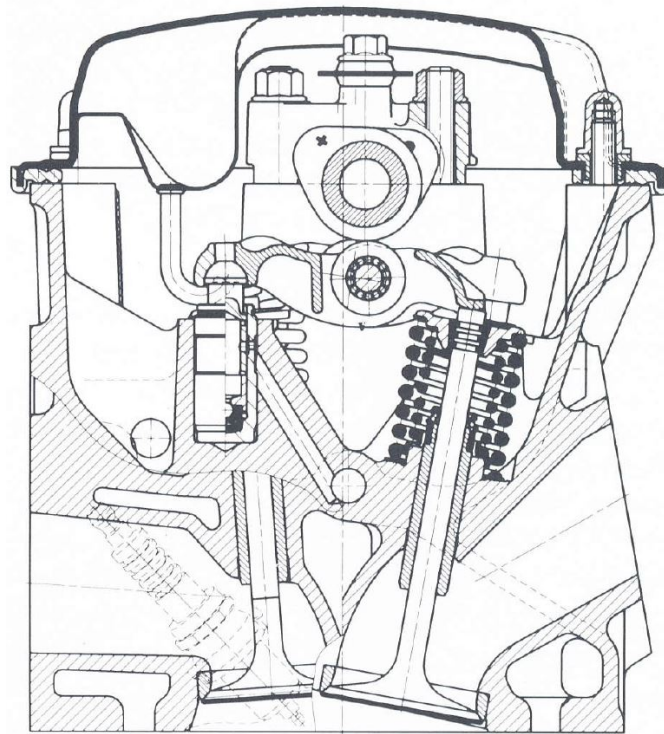
Písty jsou zhotoveny z lehkých slitin a pokoveny. Díky přesnosti zhotovení pístních kroužků je omezen efekt profuku směsi a je dosaženo velmi nízké spotřeby oleje. Dokonce po dlouhodobém extrémním testování motoru zůstaly hodnoty pod limitem. Písty jsou ze spodní strany chlazeny rozstříkem oleje pomocí speciální trysky, čímž je zabráněno přehřívání i při extrémním zatížení. Ojnice jsou stejně jako u předchůdce totožné s 2,5 litrovým šestiválcovým motorem.



Obrázek 4.11: Vizualizace chlazení pístu [3]

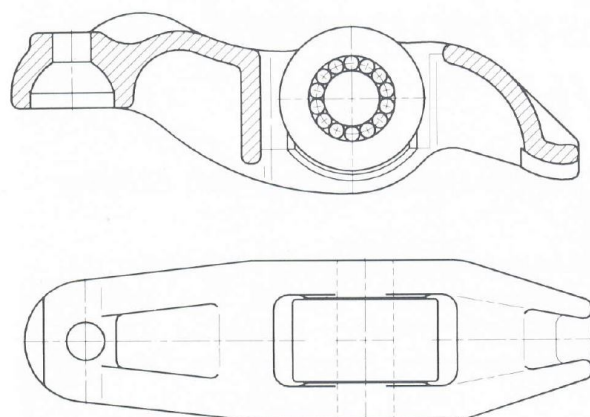
Hlava motoru

Hlava motoru byla upravena minimálně, byla pouze přizpůsobena pro širší vrtání a dostala mezi 1 a 2, a 5 a 6 sací kanál nové senzory klepání, díky nimž mohla řídicí jednotka lépe využívat potenciál paliva. Pro minimalizaci třecích ztrát na ventilovém rozvodu byly vahadla opatřeny jehličkovým ložiskem místo ložiska kluzného. I přes nutnou přesnost součástky mohly být vynechány kroky třískového obrábění a díky tomu se i přes složitější výrobu náklady nijak nezvedly.



Obrázek 4.12: Řez hlavou válců M73 [9]

Váčkový hřídel je nově vyroben jako dutá trubka, čímž bylo dosaženo snížení hmotnosti 1,5 kg na celé motorové jednotce. Ventilový rozvod řetězem zůstal prakticky nezměněn.



Obrázek 4.13: Jehličkové ložisko vahadla [9]

Chladicí kapalina

Cesta kapaliny motorem zůstala prakticky totožná, ale termostat se přesunul k vodní pumpě, kde spolu tvoří montážní celek. Pro další optimalizaci spotřeby paliva se provozní teplota, ovládaná termostatem, zvedla na 95°C.

Periferie

Pohon pomocných přístrojů zůstal nezměněn, avšak alternátor byl kvůli svému výkonu, a s tím spojenému zahřívání, přestavován na kapalinou chlazený.

Palivový systém

Palivový systém byl z důvodu jednoduchosti přestavován z dvouokruhového na jednookruhový s palivovým čerpadlem v nádrži a regulátorem tlaku přímo u motoru.

Řízení motoru

Od zavedení prvního dvanáctiválce roku 1987 byly pro řízení motoru použity dvě digitální řídicí jednotky (DME) a elektronické ovládání škrtících klapek (EML), které byly nyní kompletně přestavovány. Jednotky nově komunikují přes rozhraní CAN-Bus. CAN síť nyní sdružuje všech pět jednotek ke společné kooperaci.

- DME vlevo a vpravo
- EML IHS
- AGS (Jednotka automatické převodovky)
- ASC + T nebo DSC2 (systém regulace prokluzu kol a dynamická kontrola trakce)

Jednotky řízení motoru DME M5.2

Motor byl vybaven tehdy nejmodernějšími jednotkami Bosch DME M5.2. Každá z těchto dvou jednotek je odpovědná za vstřikování a zapalování jedné řady válců. Informace nezbytné pro synchronizovaný chod obou řad válců jsou vyměňovány přes CAN směrnicí. Rozdělovače jsou řešeny stejně jako na předchůdci. Pro ochranu katalyzátoru je motor vybaven systémem na detekci selhání zapalování. Dále je jednotka vybavena systémem pro ochranu startéru, který je v záběru jen nezbytnou dobu a potom se automaticky vypíná. Pro export do Kalifornie je jednotka vybavena pokročilou palubní diagnostikou (OBD II).

Sací potrubí

Sací potrubí je stejně jako v předchozím modelu pro obě řady válců oddělené a sběrné potrubí s filtry vzduchu jsou akusticky optimalizovány. Měřič množství nasávaného vzduchu je realizován metodou žhavého drátu. Sací trubice jsou všechny stejně dlouhé, aby zajistily správného plnění všech válců. Pro pohodlí posádky (z hlediska hluku) byly zvětšeny boxy filtrů vzduchu o 40% a byly výrazně prodlouženy vzduchovody. Tato úprava zajistila menší vznik turbulencí při vysokých otáčkách motoru.

Výfukový systém

Pro snížení emisí bylo použito tepelně izolované výfukové potrubí se vzduchovou kapsou, které podporovalo ohřev katalyzátoru. Pro rychlejší ohřev katalyzátoru měl výfukový systém vzduchový kompresor, který sloužil ke vhánění sekundárního vzduchu.

Optimalizace emisí byla vyvolána kvůli zpřísnění limitu vypouštěných uhlovodíků v Kalifornii na 0,25 g/míle. Tento limit vyžadoval zahřátí katalyzátoru na provozní teplotu, jak rychle je to jen možné. Pomocí vzácných kovů v katalyzátoru (palladia, platiny a rhodia) se zlepšila účinnost katalyzátoru a byla snížena provozní teplota katalyzátoru z 280 na 170 °C. Díky vyšší účinnosti mohl být zmenšen objem katalyzátoru o 10%, a to vedlo k dosažení provozní teploty o přibližně 30 sekund dříve než u předchůdce.

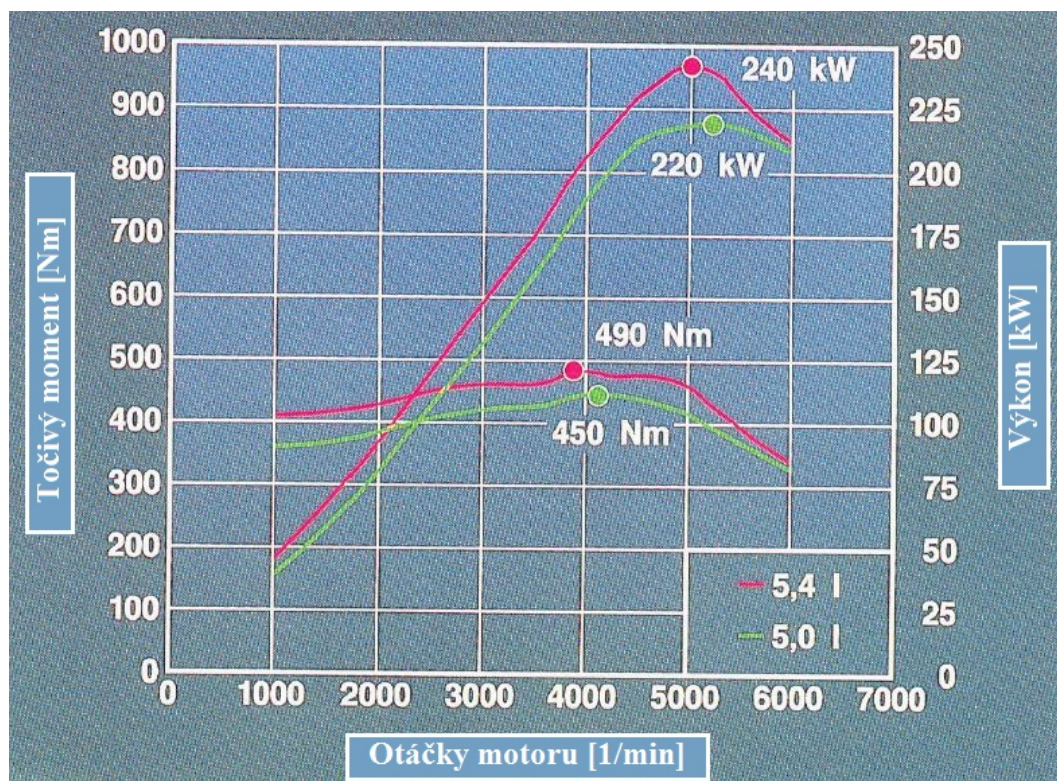
Výkon a spotřeba

Hlavním cílem nového motoru bylo snížit spotřebu, proto byla zavedena tato opatření:

- snížení třecích ztrát vahadel ventilového rozvodu
- zvýšení kompresního poměru z 8.8 na 10
- snížení volnoběžných otáček z 700 1/min na 600 1/min
- zvýšení provozní teploty motoru na 95 °C
- optimalizace časování ventilů

Vyšší točivý moment umožňuje snížení převodového stupně o 28 % a následné snížení průměrné spotřeby o 12 % na 11,9 l/100 km, což odpovídá předchozí limuzíně 735i s šesti-
válcovým motorem.

Zvýšení objemu motoru již samo o sobě naznačovalo zvýšení výkonu a točivého momentu motoru, ale dopomohla k tomu i další optimalizace. Pro navrhované palivo Natural 95 byly naměřená maxima 240 kW výkonu při 5000 1/min a 490 Nm točivého momentu při 3900 1/min. Předchozí motor dosahoval maxima 450 Nm, avšak tato hodnota je u nového motoru dosahována už v rozmezí od 2400 1/min do 5000 1/min.[3] [9]



Obrázek 4.14: Výkonová a momentová charakteristika M70 a M73 [3]

Model	BMW 750i	Jaguar XJ12	MB W140	Audi A8 D2	Lamborghini Diablo
Motor	M73B54	6,0 H.E	M120 E60	W12	
Ventilová technologie	SOHC	SOHC	DOHC	DOHC	DOHC
Vstřikování	Nepřímé	Nepřímé	Nepřímé	Nepřímé	Nepřímé
Kompresní poměr	10:1	11:1	10:1	10,75:1	10:1
Objem [cm ³]	5379	5994	5987	5998	5707
Vrtání [mm]	85	90	89	84	87
Zdvih [mm]	79	78,5	80,2	90,2	80
Výkon [hp/rpm]	326/5200	320/5000	394/5200	414/6000	485/7000
Litrový výkon [hp]	60,6	53,4	65,8	69	85
Toč.moment [Nm/rpm]	490/4100	475/2850	570/3800	550/3500	580/5200
Litrový moment [Nm]	90,8	80,9	95,2	91,7	101,6
Max. rychlost [km/h]	250*	250	250*	250*	325
Zrychlení 0-100 [s]	6,7	6,8	6,2	5,7	4,2
Prům. spotřeba [l/100km]	11,9	15	14,2	14,6	16,5

Tabulka 4.2: Porovnání soudobé konkurence M73 [8]

* Maximální rychlost je elektronicky omezena

4.7 S70/2 – 1994

V roce 1993 byl vyvinut kompletně nový dvanáctiválcový motor, určený pro tajně připravovaný prototyp BMW M8. Jednotka měla rozteč válců shodnou s motorem M70, avšak její objem činil 6,1 litru.



Obrázek 4.15: Motor S70/2 pro McLaren F1 [10]

Hlava válců byla vyrobena na základě úspěšného sportovního šestiválcového motoru S50, který již měl čtyřventilovou technologii. Motor byl v roce 1994 technologickým zázrakem - pro každý válec byla namontována samostatná škrtkovací klapka, variabilní časování sacích ventilů (VANOS 1. generace), dva vstřikovače paliva na válec, hliníkový setrvačnick, titanový sekundární tlumič výfuku a 4 sběrná čerpadla, která přiváděla olej ze suché klikové skříně do nádržky pro tlakové olejové čerpadlo.

Jednotka dosahovala výkonu 440 kW a vážila pouhých 274 kg. Avšak projekt M8 nebyl zrealizován a tak byl v roce 1998 tento motor montován do supersportovního automobilu McLaren F1, který se na dlouhou dobu zapsal do dějin jako nejlepší sportovní automobil světa. [3]

4.8 S70/3 – 1995

Tento motor byl úpravou motoru S70/2, pro potřeby motorsport. Proto byl také převrtán na objem 6.0 litrů, aby vyhovoval tehdejším pravidlům a prodělal redukci hmotnosti. V první sezóně roku 1995 měly motory krátká sací potrubí bez filtru vzduchu se škrtkami klapkami zvlášť pro každý válec. Později bylo nainstalováno sběrné sací potrubí s filtrem přiváděného vzduchu, to však s sebou přineslo celkové zvýšení výšky motoru. Aby motor vyhovoval rozměrovým potřebám vozu, ve kterém měl být osazen, musel prodělat redukci výšky. Ta spočívala v přepracování spodního víka motoru. S touto jednotkou v sezóně 1995 vybojoval tento motor celkovou výhru seriálu 24 hodin Le Mans. [3]

4.9 P74-P75 – 1998

V roce 1998 byl dříve vyrobený motor S70/3 přepracován a nesl označení P74. Pro další sezónu byl motor znovu lehce upraven a byl přejmenován na P75. Pro účely vytrvalostních závodů série 24 hodin Le Mans byl restriktor upraven na průměry podle norem závodů. Výkon motoru byl přímo závislý na průměru restriktoru. V roce 1995 byl průměr restriktoru 39,4 mm a produkovaný výkon 468 kW, o dva roky později s průměrem restriktoru 32,9 mm podle normy, to už bylo pouhých 404 kW. Jednotka byla montována do monopostu BMW V12 LMR a v roce 1999 vyhrála vytrvalostní závody 24 hodin Le Mans a 24 hodin v Sebringu. [3]



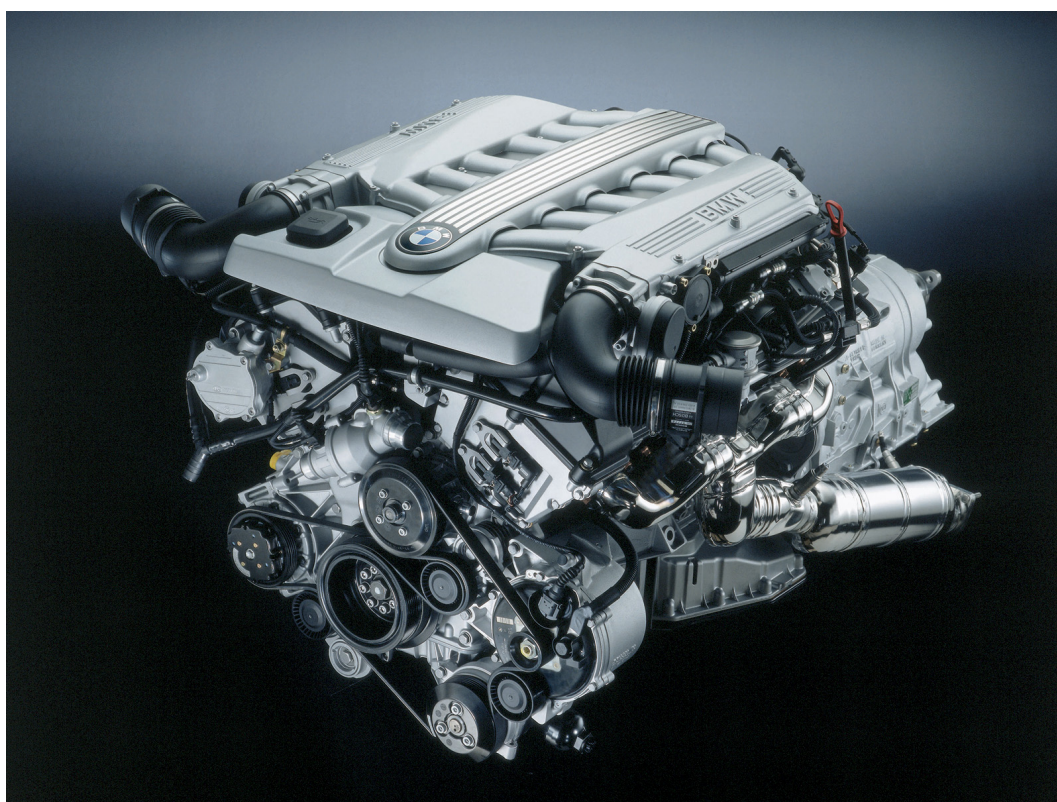
Obrázek 4.16: BMW V12 LMR [11]

4.10 N73 – 2001

Od roku 1987 do roku 2001 bylo vyrobeno okolo 96 tisíc dvanáctiválcových jednotek. Což znamená, že BMW vyrobilo největší počet dvanáctiválcových vozů na světě.

Sériová produkce modelu 760i s novým dvanáctiválcovým motorem N73 začala v lednu roku 2003. Na motor byly kladeny následující požadavky:

- vysoký komfort a jízdní vlastnosti
- krátká odezva a naladění pro dálniční provoz
- nízká spotřeba paliva
- splnění požadavků světových emisních norem



Obrázek 4.17: Motor N73 [12]

Kliková skříň

Kliková skříň pro tuto jednotku byla nově zkonstruována a vykazuje klasické uspořádání vidlicového motoru se dvěma řadami po 6 válcích a vzájemnému úhlu 60° . Odsazení řad válců je 18 mm. S ohledem na budoucí vývoj byl motor dimenzován na celkový objem 6 litrů. S vrtáním 98 mm je motor identický s tehdejší novým osmiválcovým motorem. Byly mu pouze přidány další 2 válce v každé řadě. Tento nápad začalo BMW prosazovat kvůli zjednodušení a zlevnění výroby.

Skříň je konstruovaná s otevřeným chladicí prostorem *open-deck*, proto může být odlévána nízkotlakým litím bez použití jader. Materiál k odlévání byla nadeutektická slitina hliníku. Pouzdra válců byla vytvrzena křemíkovými krystaly.

Klíkový hřídel

Klíkový hřídel je kován z oceli, je vyvážen 12 protizávažími a veden v 7 ložiscích.

Píst

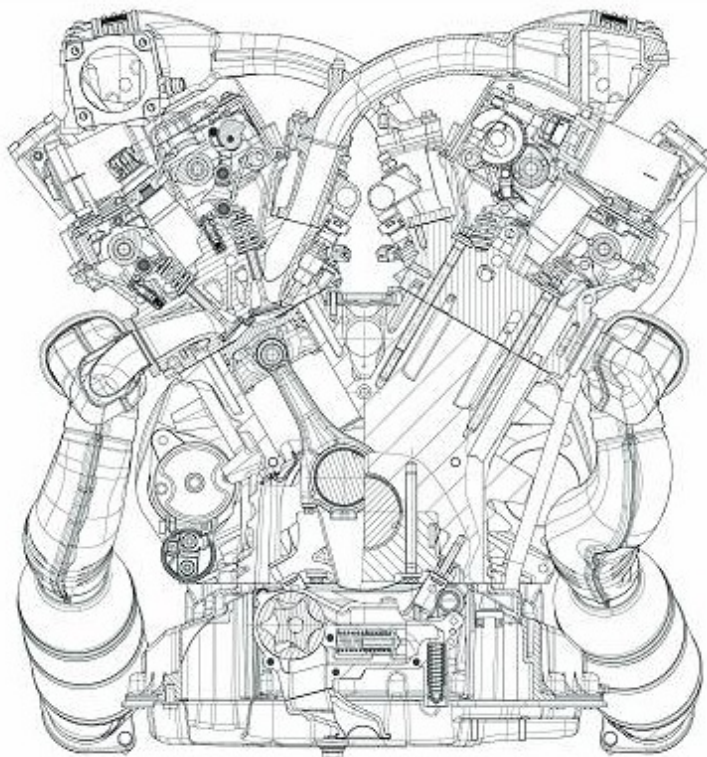
Písty jsou odlity ze žáruvzdorné hliníkové slitiny a jsou stejně jako u předchůdce chlazeny olejovým rozstříkem.

Ojnice

Kované ojnice jsou děleny pod úhlem 30° , což umožňuje možnost vyjmutí ojnice s pístní skupinou vývrtem válce bez demontáže klikového hřídele a zároveň paušalizuje použití pro všechny vidlicové motory s roztečí válců 140 mm.

Hlava válců

Hlava válců je zhotovena tlakovým litím nově obsahuje čtyřventilovou technologii. Ventily s průměrem dříku 6 mm jsou vzájemně nakloněny o $30,5^\circ$, čímž tvoří velmi výhodný poměr povrchu a objemu spalovacího prostoru. Celý povrch spalovacího prostoru je třískově obráběn. Kompresní poměr je 11,3:1.



Obrázek 4.18: Řez motorem N73 [13]

Piezelektrický vstřikovač přímého vstřikování paliva je umístěn pod sacím kanálem pod úhlem 30° . Dvě vysokotlaké pumpy jsou situovány nad výfukovým vačkovým hřídelem a jsou jím též poháněny, trojitými vačkami mezi 4. a 5. a ve druhé řadě mezi

10. a 11. válcem. Dva vačkové hřídele, zhotovené z kalené litiny, na každou řadu válců je poháněn řetězem s automatickým hydraulickým napínačem. Vačkový hřídel výfukových ventilů v první řadě válců pohání mechanickou podtlakovou pumpu pro posilovač brzd, která je namontována na zádi motoru.

Podstatnou součástí motoru je systém Valvetronic (viz str.60), který zefektivňuje chod motoru při částečné zátěži a systém VANOS (viz str. 58), který reguluje okamžik otevření ventilů v závislosti na otáčkách motoru. Dále již dříve použité hydraulické vymezovače vůle ventilů. Tyto systémy jsou téměř identické i v ostatních motorech automobilky, čímž se zlevňují. Pouze elektromotor, který ovládá systém Valvetronic byl přesunut ze strany sacích na stranu výfukových ventilů z důvodu místa.

Chladicí kapalina

Vodní pumpa vhání chladicí kapalinu skrz blok do zadní části motoru, tam se rozvětjuje a je vedena zpět hlavami válců, kde je vedena křížovým tokem, aby se prodloužila její trajektorie a tím pádem i přenos tepla. Dále pokračuje do elektronicky řízeného termostatu, který je řízen řídicí jednotkou. Díky složitým kanálům v hlavách válců se podařilo odbourat tlakové ztráty a snížit teploty v kritických místech. Řízený termostat integrovaný do šasi vodní pumpy ctí strategii zaměnitelnosti náhradních dílů a je tedy stejný i pro osmi-válcové motory.

Mazání

Pouzdro olejové pumpy z hliníkové slitiny nově obsahuje dva rotory, pracující odděleně, kontrolní ventil a přetlakový ventil. Olejový filtr, který je součástí pumpy je dostupný skrz poklop ve spodním víku motoru, která kvůli jeho výměně nemusí být demontována.

Jednotka olejové pumpy je přišroubena ke spodní části ložiskového pouzdra ve kterém je uchycen klikový hřídel. Spodní víko motoru je vyrobeno z dvouplošného kovu a je zde taktéž situován nový senzor kvality oleje, který podle vstupních parametrů, jako je výše hladiny, teplota a zátěž motoru dokáže poskytnout individuální termín výměny oleje. Pro zákazníka to znamená výměny po ujetí okolo 30 000 km.

Periferie

Další pomocné komponenty jako vodní pumpa, pumpa hydraulického posilovače řízení, kompresor klimatizace a kapalinou chlazený alternátor jsou poháněny od klikového hřídele ozubeným řemenem.

Přímé vstřikování paliva

Nový dvanáctiválcový motor je prvním motorem BMW s přímým vstřikováním benzínu. Systém byl vyvinut ve spolupráci se společností Bosch. Všechny komponenty, které přijdou do styku s palivem jsou vyrobeny z nerezové oceli a snášejí i působení ethanolu. Což umožňuje použití nejen pro Evropu, ale celosvětově bez obav z ovlivnění povrchu alkoholem. Vysokotlaké pumpy jsou poháněny výfukovými vačkovými hřídeli a každá dodává 250 mm³ paliva za jednu otáčku klikového hřídele. Když není ke vstřiku do spalovacího prostoru využita celá dodávka paliva, vrátí se zbytek přetlakovým ventilem zpět. Palivo

je stlačováno z tlaku 0,6 MPa podávacího čerpadla na tlak 12 MPa v podávacím potrubí. Jedno-tryskové vysokotlaké vstřikovače jsou situovány na straně hlavy válce pod sacím kanálem. Při výběru jejich umístění byl kladen důraz na geometrii vstřiku pro spalování bez sazí.

Spalovací proces

Požadavky na spotřebu paliva a emise byly zpočátku velice ambiciózní. Například pro splnění světové legislativy, musela být spotřeba snížena o 10 % oproti konvenčním čtyřventilovým motorům. Tyto cíle mohly být dosaženy jedině za pomoci technologie Valve-tronic, která se osvědčila zejména u vysokoobjemových motorů. Musel být tedy vyvinut spalovací proces, který kombinoval systém Valvetronic a přímé vstřikování benzínu. Požadavky na spalovací proces byly následující:

- geometrie spalovacího prostoru pro plnou zátěž
- vysoký kompresní poměr a rychlé spalování
- nízké škodlivé emise
- stabilní spalovací proces pro ohřívání katalyzátoru
- zabránění smývání olejového filmu na stěně válce špatně vypařeným palivem

Vývoj byl tedy zaměřen na hloubkové porozumění tvorbě směsi při rozprašku v interakci s velmi rychlým proudem vzduchu, vytvořeným částečným zdvihem ventilu při nízkém zatížení. Modelování rozprašení vstřiku paliva bylo analyzováno a simulováno 3D programy, jejichž výsledkem je mapa vstřikovače v závislosti na teplotě a tlaku. Po vstřiku narazí masa paliva do pístu, ze kterého se poté odpaří, což eliminuje smáčení stěn a tím i špatných emisí a úbytek olejové náplně. V okamžik zážehu je již směs promíchána a může dobře prohořet. Díky umístění vstřikovače je zabráněno smáčení hlavy válce, tím pádem nedochází k lokální snížení hodnoty součinitele přebytku vzduchu a emise jsou bez sazí až do plného zatížení.

Sací potrubí

Dispozice dvanáctiválcového motoru a zástavbové prostory vyžadují ploché sací potrubí. Hlavním požadavkem byl vysoký točivý moment ve středních otáčkách a dostačující výkon ve vyšších rychlostech. Sběrná potrubí jsou umístěny nad protější hlavou válců a sací trubice jsou vzájemně propleteny. Sací potrubí je zhotoveno z několika skořepin, které jsou k sobě šroubovány a těsněny lepidly.

Kvůli osazení vysokotlakými vstřikovači musely být sací trubice a sběrné potrubí rozděleno. Sací potrubí je k motoru připevněno přes silentbloky, pro izolaci vibrací. Sací potrubí bylo počítačově modelováno pro zajištění perfektního plnění každého válce.

Výfukové potrubí

Výfukové svody jsou nově dvouplošné se vzduchovou komorou, vyráběné tvářením metodou Hydroforming, zajišťující lepší hlukovou izolaci a dřívější zahřátí katalyzátoru. Od ka-

ždé řady válců vedou 2 svody, které se sbíhají do dvou trubic tvaru D, které se dále potkávají v místě lambda sondy. V tomto místě již musí být smíchány výfukové plyny všech válců. Toto provedení výfukového potrubí v porovnání s předchůdcem znatelně snížilo tepelnou setrvačnost a umístění katalyzátoru blízko za motorem umožňuje jeho brzké zahřátí na provozní teplotu. Pro jednoduchou montáž na lince je sběrné potrubí uzpůsobeno pro montáž robotem, který šrouby utáhne přesně požadovaným momentem. Pro servisní účely mohou být svody s katalyzátorem, stejně jako lambda sondy, bez problému demontovány, bez nutnosti vytahování motoru z vozidla.

Akustika

Pro snížení vibrací byla na všech komponentech provedena modální analýza pro kontrolu rezonance a například u nosné části motoru byla vlastní frekvence zvýšena z 420 Hz na 800 Hz. Kontrola těchto frekvencí a jejich vysoká hodnota je důležitá pro komfort posádky a hlavně únavovou pevnost součástí. Další částí, která byla dopodrobna laděna byl výfukový systém a sací potrubí. Tyto části byly laděny ve dvou ohledech, aby na jednu stranu poskytovaly příjemnou a klidnou atmosféru, ale při plném využití potenciálu motoru zvýraznily zvuk dvanáctiválce. Pro tuto skutečnost je výfukový systém opatřen dvěma paralelními tlumiči výfuků, ve kterých jsou integrovány řízené klapky, které se v závislosti na zatížení a režimu jízdy otevírají či zavírají. Při zavřené klapce se tlumič chová jako Helmholtzův rezonátor a při otevřené klapce se chová jako zpětný tlumič.

Centrální plastový kryt instalovaný na motoru izoluje okolí od hluku vstřikovačů. Mezi chladičem a motorem se dále nachází další izolační kryt, ve kterém je integrován plnicí otvor pro olej.

Emise

O 10 % nižší spotřeba než u konvenčních čtyřventilových motorů byla předvedena podle evropské normy, a při porovnání s předchůdcem byla spotřeba o 4 % nižší i přes větší a těžší automobil, a znatelně zvýšený objem a výkon. Nový dvanáctiválcový motor předčil všechny stanovené emisní normy.

Výkony a spotřeba

Ve fázi konceptu bylo přímé vstřikování paliva zvoleno pro vidinu zvýšení výkonu. Díky němu je zabráněno nasávání plynné složky v nasávaném vzduchu, ale nasávaný vzduch je čistý a palivo je do něj vstříknuto až ve spalovací komoře, což zlepšuje míru naplnění válce. Přímé vstřikování podle předpokladu mohlo zvýšit výkon o 3 % a točivý moment o 5 %. Komponenty důležité pro plnicí proces jsou mimoto geometricky optimalizovány s důrazem na tok vzduchu a na akustiku. Všechny tyto optimalizace ještě vylepšily motor těchto kvalit a objemu, který disponuje litrovým výkonem 55 kW/l a litrovým točivým momentem 100 Nm/l. V porovnání s předchůdcem výkon vzrostl o 36 % na 444 koňských sil a točivý moment o 22 % na 600 Nm, přičemž objem byl zvýšen o pouhých 11 %.

Ve spojení k šestistupňovou automatickou převodovkou je tento motor se spotřebou a výkony na špičce své kategorie. V porovnání se svým předchůdcem se zrychlení 0-100 km/h zlepšilo o 1,3 s na 5,5 s, přičemž spotřeba klesla o 0,5 l/100 km. Rychlost je elektronicky omezena na 250 km/h.

4.10 N73 – 2001

Graf výkonové charakteristiky motoru je uveden na straně 54 v porovnání s motorem N74. [14]

Model	BMW 760i	MB S63 AMG	Audi A8 D3	Lamborghini Murcielago
Motor	N73B60	M137 E63	VW W12	
Ventilová technologie	DOHC	SOHC	DOHC	DOHC
Vstřikování	Přímé	Nepřímé	Nepřímé	Nepřímé
Kompresní poměr	10:1	10:1	10,75:1	10,7:1
Objem [cm ³]	5972	6258	5998	6192
Vrtání [mm]	89	84,5	84	87
Zdvih [mm]	80	93	90,2	86,8
Výkon [hp/rpm]	445/6000	438/5500	444/6200	579/7500
Litrový výkon [hp]	74,5	70	74	93,5
Toč.moment [Nm/rpm]	600/3950	620/4400	580/4000	650/5400
Litrový moment [Nm]	100,5	99,1	96,9	105,3
Max. rychlost [km/h]	250*	250*	250*	330
Zrychlení 0-100 [s]	5,1	5,4	5,1	3,9
Prům. spotřeba [l/100km]	13,4	14,1	14,7	21,8

Tabulka 4.3: Porovnání soudobé konkurence N73 [8]

* Maximální rychlost je elektronicky omezena

4.11 Hydrogen 7 – 2007

Vodík je obnovitelný a bezuhlíkový zdroj energie, což mu poskytuje přední místa na budoucím trhu s energiemi. Tento vůz a jeho motor byly vytvořeny v sérii 100 kusů, aby ukázaly světu svůj potenciál a nastínily potřebu infrastruktury pro jejich provoz. Kvůli malému rozšíření čerpacích stanic, které by nabízely vodík, se BMW rozhodlo ve prospěch dvoupalivového motoru.



Obrázek 4.19: Motor pro BMW Hydrogen 7 [15]

Základ motoru

Motor byl odvozen od stávajícího dvanáctiválcového motoru N73, který oplýval pokrokovými systémy, čímž tvořil dobrý základ. Z důvodu jiného chování paliva (samozápal) byl snížen kompresní poměr na $\varepsilon=9.5$, což vyžadovalo zkrácení ojnic o 1,5 mm a upravení geometrie hlav pístů. Kvůli vyšším teplotám bylo vyvinuto nové čtyřvrstvé kovové těsnění pod hlavou válců. A kvůli vyšší rychlosti hoření a vyšší předávce tepla byly písty a pístní kroužky vystavovány mnohem vyšším zátěžím, jak tepelným, tak mechanickým. Proto byly navrženy pro odolávání vyšším tlakům (až do 17 MPa) a pístní kroužky byly posíleny, aby odolaly obtékání vodíku a nepříznivým vlivům na blok motoru. Plyny, které přesto pronikly do prostoru bloku, jsou sacím potrubím odsávány pro zabránění zápalu v klikové skříni. Také olej musel být změněn pro potřeby vodíku. Při podmínkách blízko klepání motoru, muselo být opožděno zapalování, což však vedlo k vysokým teplotám výfukových plynů a velkému namáhání výfukových ventilů, které musely být vyrobeny

ze speciální žáruvzdorné slitiny niklu. Oba ventily, jak sací, tak výfukové, prodělaly další zpevnění pro minimalizaci opotřebení.

Pomocné systémy vodíku a tvorba směsi

Na rozdíl od benzínového motoru, ve vodíkovém není potřeba podávací palivové pumpy, protože vodík v palivové nádrži vlivem vypařování tvoří přetlak o velikosti 1 baru. Teplo, dodávané nádrži pro zajištění vypařování je odebíráno z chladicího systému a regulováno elektrickým čerpadlem. Plyný vodík tak sám dorazí k palivové liště, odkud je vstřikovacími ventily vstříknut do nasávaného vzduchu. Tlak v liště je regulován v závislosti na teplotě. Kvůli velikosti molekul vodíku musí být palivové potrubí perfektně těsné, a všechny spoje realizované O-kroužky jsou dvouplášťové. Pro zvýšení bezpečnosti je systém v případě úniku potrubí navíc opatřen senzorem, který kontroluje únik vodíku. Hliníkové sací potrubí je odléváno v pískové formě. Vysoké požadavky na těsnost vyžadují perfektní kvalitu odlití.

Celý vodíkový systém je zkonstruován tak, aby v případě dopravní nehody nebyl poškozen.

Zapalování

Zapalování bylo kompletně odvozeno od původního motoru, avšak konvenční svíčky by mohly svými elektrodami generovat samozápaly, proto jsou použity svíčky závodní.

Plné zatížení

Maximální točivý moment a výkon jsou u vodíkového motoru dosaženy při velmi nízké hodnotě emisí a vysoké účinnosti. Charakteristickým problémem vstřikování plynného vodíku do sacího potrubí je, že podíl vodíku ve směsi je okolo 30 %, navíc kvůli nižší hmotnosti a vyšší rychlosti zvuku ve vodíku se stupeň plnění motoru dále zhoršuje. Nicméně to může být do jisté míry kompenzováno jistými optimalizacemi, a v případě dvanáctiválcového motoru byl mezi benzínem a vodíkem nalezen kompromis.

Přepínání paliva

Při automatickém přepínání mezi palivy je kladen důraz na plynulý přechod, aby řidič nic nepoznal. Před přepnutím systém Valvetronic přenastaví zdvih sacích ventilů a v okamžik přepnutí je změněno palivo. Pro překrytí propadu točivého momentu, způsobeného pomalým přenastavením zdvihu sacích ventilů, systém na moment přenastaví časování zapalování a jakmile zdvih ventilů docílí požadované hodnoty, vrátí se zapalování zpět. Přepínání probíhá buď na povel řidiče nebo automaticky, když systém detekuje jednu z nádrží prázdnou a nebo jako záložní variantu, když systém detekuje problém s vodíkovou soustavou.

Katalyzátor

Kvůli vysokým teplotám musela být zavedena ochrana katalyzátoru, tzn. že při překročení určité hodnoty jsou válce cyklicky přepínány na chudší směs, v pořadí zapalování. Když je potřeba větší chlazení, jsou cyklicky přepnuty dva válce.

Emise

Při spalování vodíku primárně nedochází k emisím CO_2 , CO nebo HC. Minimální obsah HC ve spalínách je způsoben nežádoucím spalováním oleje, ten však oxiduje v třícestném katalyzátoru. Jediným prvkem, který je při spalování produkován je NO_x , který je výsledkem velmi vysokých teplot při stechiometrickém spalování. Avšak vodík má široký rozsah zápalnosti ve směsi se vzduchem (4 %-76 % ve vzduchu), takže mohou být emise NO_x zásadně omezeny. Když motor pracuje s velmi chudou směsí ($\lambda > 1,8$), dochází k těmto emisím minimálně. V bodě nejvyššího výkonu se směsí bohatší než je stechiometrický poměr, je NO_x redukováno v katalyzátoru za použití přebytku vodíku (přibližně 1 %). Při hodnotě $\lambda = 0,97$ je koncentrace vodíku za katalyzátorem menší než 0,1 %. V hodnotách $\lambda = 1 - 1,8$ je katalyzátor neúčinný kvůli nedostatku přídavného vodíku. Z důvodu vysokému objemu NO_x nejsou účinné ani akumulární katalyzátory.

I přesto motor splňuje nejtvrďší emisní normu *SULEV*.

Výkony a spotřeba paliva

Vodíkové motory mají značný potenciál pro snížení nákladů spojených s provozem automobilu. Vozidlo spotřebuje přibližně 3,6 kg vodíku na 100 km, což se dá energeticky přirovnat k 13 litrům benzínu. Spotřeba je tedy v porovnání s benzínovým chodem nižší (13,9 l/100 km), což je způsobeno termodynamickými výhodami. Díky sekvenčnímu vstřikování vodíku a technologii Valvetronic jednotka poskytuje točivý moment o hodnotě 390 Nm a výkon 191 kW, přičemž současně ctí všechny světové emisní normy. [16]

4.12 N74 – 2009

Cílem inovace motoru byly:

- znatelné zlepšení výkonu
- důraz na velikost rozmezí maximálního točivého momentu
- perfektní spolehlivost, jednoduchost a jemnost chodu
- znatelné snížení spotřeby paliva
- použitelnost po celém světě
- přesvědčivý dvanáctiválcový zvuk
- splnění všech emisních norem nebo ještě lépe splnění budoucí plánované normy

Po zvážení všech možných variant BMW dospělo k rozhodnutí – zkonstruovat dvanáctiválcový motor přepínaný dvěma turbodmychadly a úhlem sevření válců 60°.



Obrázek 4.20: Motor N74 [17]

Kliková skříň

Kliková skříň byla nově navržena s uzavřeným chladicím prostorem *closed-deck* pro vyšší tuhost. Kovaný a krutem tvarovaný klikový hřídel má indukčně kalené plochy pro ložiska.

Hlava válců

Hlava válců byla po vzoru osmiválcového motoru přepracována tak, aby vysokotlaký vstřikovač paliva a svíčka byly umístěny s ose spalovacího prostoru. Vysoké tuhosti, únavové pevnosti a perfektnímu předání tepla chladicí kapalině bylo docíleno počítačovou simulací ještě ve fázi vývoje. Hlava je odlita klasicky gravitačně a víka ventilů tlakovým litím.

Ventilový rozvod

Ventilový rozvod je vybaven technologiemi Valvetronic (viz str. 60) a VANOS druhé generace (viz str. 58). Ventilový rozvod je realizován řetězem s automatickými hydraulickými napínači.



Obrázek 4.21: Ventilový rozvod N74 [18]

Chladicí kapalina

Integrací všech chladicích cest do bloku motoru se znatelně snížil objem kapaliny v krátkém okruhu a tím i doba, potřebná k ohřátí motoru na provozní teplotu. Chladicí kapalina proudí podél kolektoru oleje proti jeho proudu, čímž ho lépe chladí. Do hlavního chladicího okruhu je zahrnuto i chlazení ložisek turbodmychadel.

Chlazení stlačeného vzduchu

Omezené místo v motorovém prostoru nedovolovalo přímé chlazení stlačeného vzduchu, proto bylo rozhodnuto o montáži nepřímého chlazení s vlastní elektrickou pumpou, pohánějící chladicí kapalinu. Tento okruh taktéž zajišťuje chlazení řídicích jednotek motoru.

Mazání

Rozvod oleje po motoru je realizován 6 komorovou olejovou pumpou, jejíž průtok je kontrolován tak, aby se do motoru dostalo jen tolik oleje, kolik je zrovna potřeba. Spodní víko motoru je zhotoveno tlakovým litím a bylo testováno v ohledu tuhosti a akustických vlastností.

Palivový systém

High Precision Injection druhé generace je vysokotlaké vstřikování paliva (viz str. 62), s piezovstřikovači a zapalovacími svíčkami umístěnými ve středu kupole spalovacího prostoru. Díky propracované přípravě směsi, tento systém utváří základ motoru pro dosažení vysokého výkonu a spontánní odezvy turbodmychadla za velmi nízké spotřeby, čímž vlastně přímou cestou ovlivňuje účinnost motoru. Rozvodný systém paliva byl konstruován s důrazem na snížení ztrát délkou potrubí a perfektní plynutěností. Je vyroben kompletně z nerezové oceli a odolává vysokým tlakům.

Spalovací proces

Spalovací systém je založen na systému High Precision Injection (viz str.62), převzatého z šesti a osmiválcového motoru, kde je zapalovací svíčka a elektrický piezovstřikovač umístěný v ose válce, zajišťuje správné promíchání směsi. Sací a výfukové kanály byly optimalizovány CFD simulacemi pro zdokonalení toku vzduchu. Variabilita vícenásobné vstřiku zajišťuje, že palivo nesmývá ze stěn válce olejový film, čímž minimalizuje obsah uhlovodíků ve výfukových plynech.

Řízení motoru

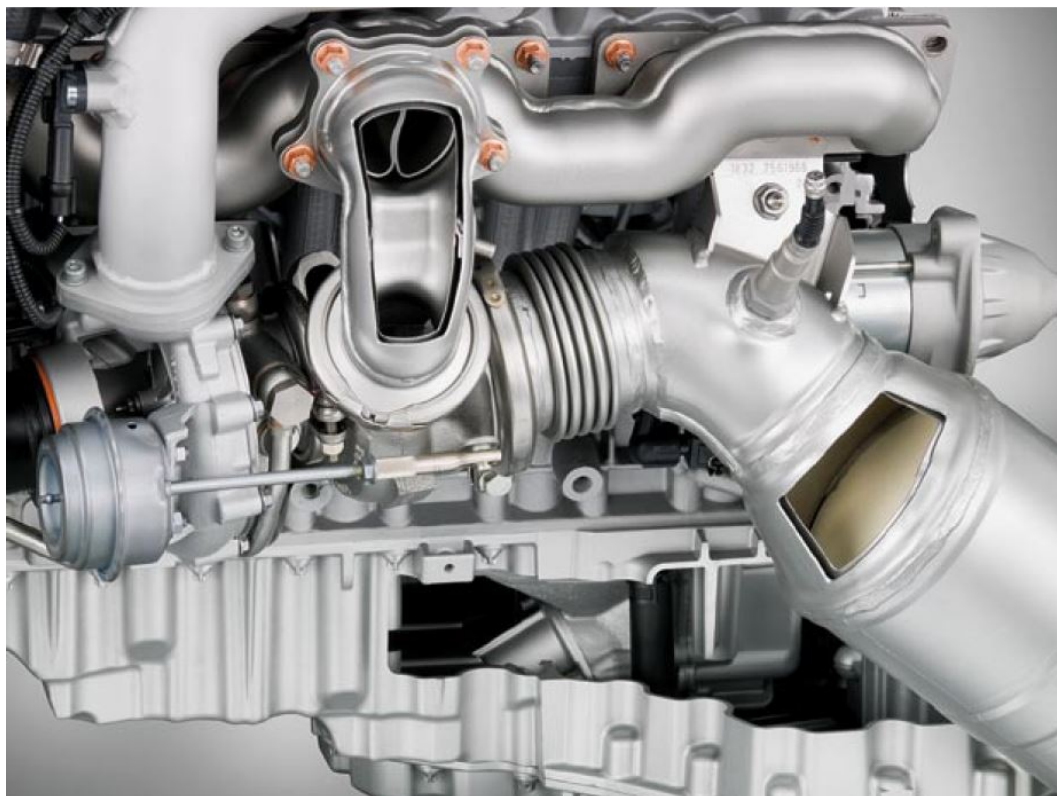
Dvě vodou chlazené řídicí jednotky MSD87-12 jsou rozděleny na řídicí a pomocnou. Řídicí jednotka je zodpovědná za komunikaci s vozidlem a definici výchozích hodnot pro funkce motoru. Elektronika ve vozidle nově komunikuje přes sběrnici FlexRay standardu BN2020.

Sací potrubí

Pro optimalizaci výměny náplně válce bylo použito dvoucestné sací potrubí. Odvětrávání klikové skříně bylo vyřešeno stejně jako u prvního modelu, akorát procházelo navíc cyklonovým filtrem a ústilo do kolektoru. Kvůli ceně a spolehlivosti byly váhy vzduchu na principu žhavého drátu nahrazeny tlakovým snímačem zatížení.

Výfukové potrubí a turbodmychadla

Postranní umístění dvou turbodmychadel je prostorově velmi výhodné, obzvlášť pro tuto koncepci motoru. Aerodynamicky navrhované sběrné výfukové potrubí je optimalizováno podle pořadí zápalu jednotlivých válců, přináší plynulý tok spalin k turbíně. Společně s turbodmychadly tvoří základ pro excelentní odezvu a vysoké výkony. Konvenční turbodmychadlo mono-scroll, které se vyznačuje vysokou účinností, vypadalo jako nejvýhodnější varianta pro tento typ motoru. Turbína a kompresor turbodmychadla jsou svými úhly optimalizována právě pro tento motor. Systém je charakteristický minimálními tlakovými ztrátami a krátkým vedením stlačeného vzduchu.



Obrázek 4.22: Řez výfukovým systémem [19]

Katalyzátor

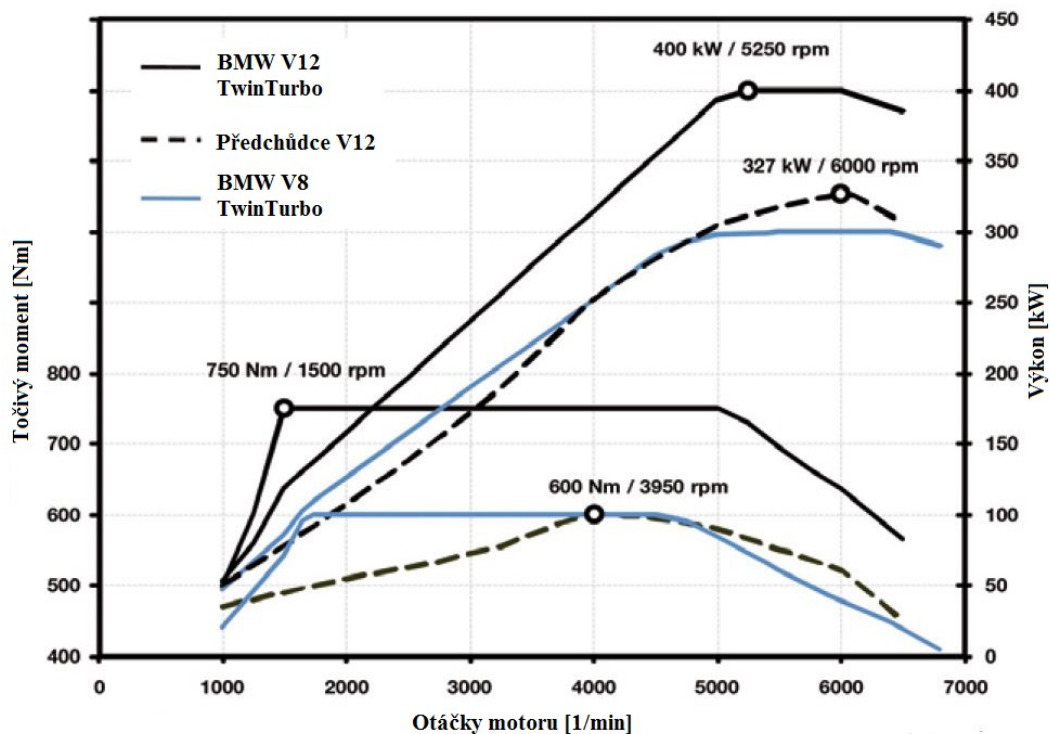
Katalyzátory tvoří keramické monolity, umístěné hned za turbodmychadly, aby byly co nejdříve po startu motoru zahřáty na provozní teplotu. Mezi turbodmychadlem a katalyzátorem je umístěna lambda sonda. Potrubí je stejně jako u předchůdců dvouplášťové, izolované vzduchovou kapsou pro minimalizaci tepelných ztrát při ohřevu katalyzátorů.

Akustika

Výfukové potrubí bylo laděno pro potřeby luxusní limuzíny. Při klidné jízdě musí vyniknout ticho a klidný chod dvanáctiválcového motoru, kdežto při plném zatížení se musí projevit jeho charakteristický zvuk. Tento efekt ještě znásobují elektronicky řízené klapky na zadních výfukových tlumičích.

Výkon a emise

Emisní hodnoty splňují normy EU5 a ULEVII, a dokonce je o 50 % předčily. Oproti předchozímu modelu má N74 o 22 % vyšší výkon a o 25 % vyšší točivý moment. Turbo-dmychadlo se odráží také v průběhu točivého momentu, který se v 1500 otáčkách ustálí na hodnotě 750 Nm a drží zde až do 5000 otáček. Nejvyšší výkon motor poskytuje v 5250 otáčkách a jeho hodnota je 400 kW. Díky těmto hodnotám se podařilo snížit průměrnou spotřebu jednotky o 0,7 litru na 12,9 l/100 km. [19]



Obrázek 4.23: Výkonová a momentová charakteristika N73 a N74 [19]

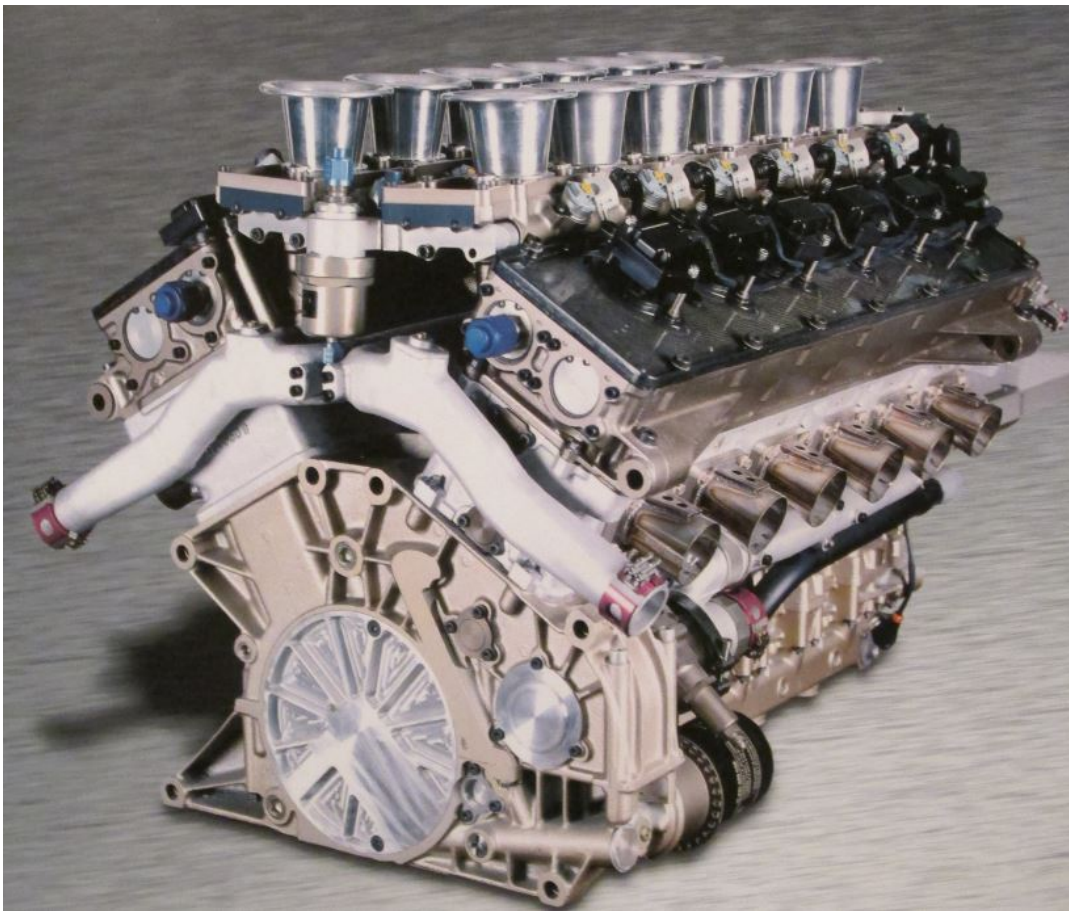
Model	BMW 760i	Maybach 62	Audi A8 D4	Aston Martin Rapide
Motor	N74B60	MB M275E55	VW W12	
Ventilová technologie	DOHC	SOHC	DOHC	DOHC
Vstřikování	Přímé	Nepřímé	Přímé	Nepřímé
Kompresní poměr	10:1	9:1	11,8:1	10,9:1
Objem [cm ³]	5972	5513	6299	5935
Vrtání [mm]	89	82	86	89
Zdvih [mm]	80	87	90,4	79,5
Výkon [hp/rpm]	536/5250	543/5250	493/6200	469/6000
Litrový výkon [hp]	89,8	98,5	78,3	79
Toč.moment [Nm/rpm]	750/1500-5000	900/2200-3000	625/4750	600/5000
Litrový moment [Nm]	125,6	163,3	99,2	101,1
Max. rychlost [km/h]	250*	250*	250*	296
Zrychlení 0-100 [s]	4,6	5,3	4,7	5,2
Prům. spotřeba [l/100km]	12,9	15	11,2	14,9
Doplnění	2x turbo	2x turbo		

Tabulka 4.4: Porovnání soudobé konkurence N74 [8]

* Maximální rychlost je elektronicky omezena

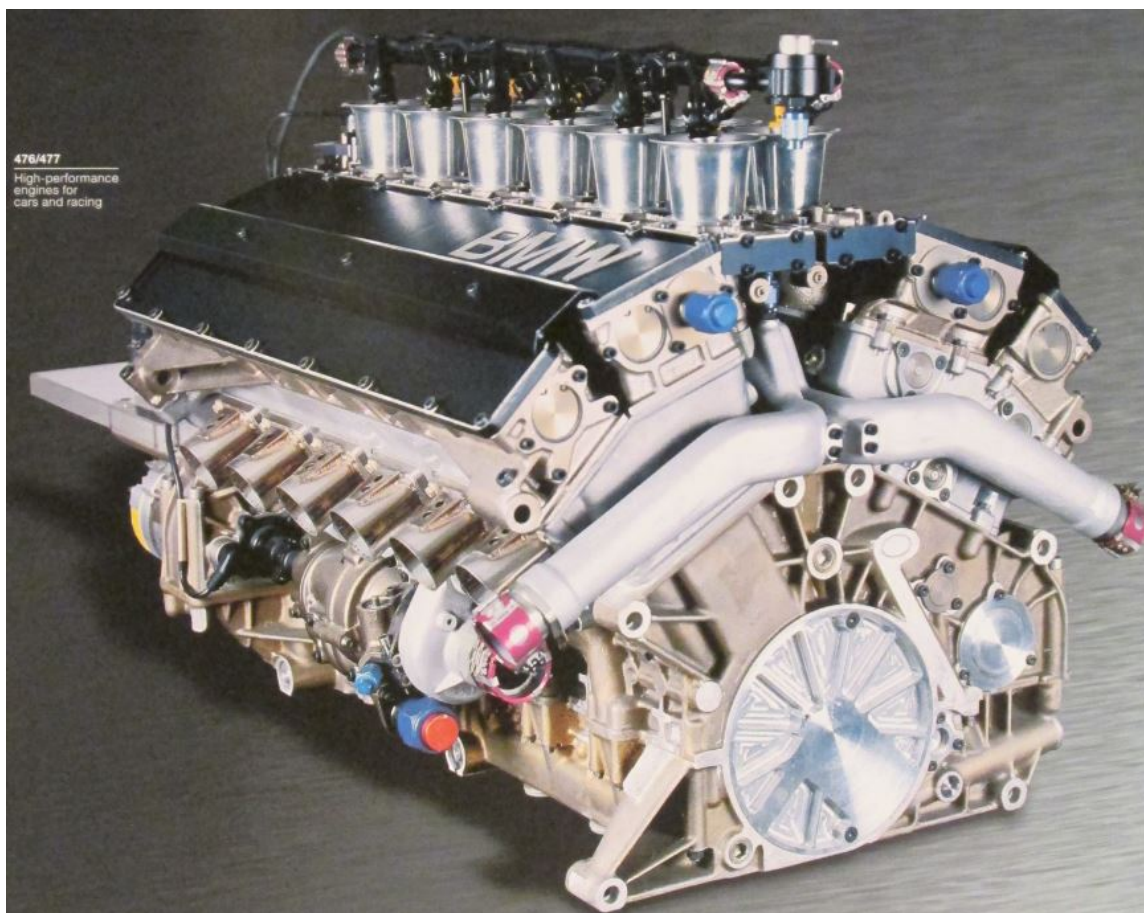
4.13 Formule 1 – 1986

Když bylo v roce 1986 pro další sezónu ustanoveno zvýšení objemu pro atmosféricky plněné motory, vyvstala otázka, jak se k tomuto faktu BMW postaví. Výsledkem byly dva prototypy dvanáctiválcových 3,5 litrových motorů. Jeden s čtyřventilovou a druhý s pětiventilovou technologií. Oba motory byly schváleny a na testovací stoličce prokázaly výkon 529 kW koní při 14 500 otáčkách za minutu. Z těchto dvou motorů byl pro svoje větší kvality nakonec vybrán prototyp se čtyřventilovou technologií.



Obrázek 4.24: Motor pro Formuli 1 se čtyřventilovou technologií [3]

Motor díky bloku z vlákny vyztužené hořčíkové slitiny vážil pouhých 150 kg. Každá řada válců měla vlastní rozvodový mechanismus, díky tomu byl motor dlouhý jen 650 mm. Motor byl extrémě krátkozdvihový, měl zdvih pouhých 51.3 mm, vrtání 85 mm a rozteč válců 96 mm. Avšak motor se do závodu nikdy nedostal. [3]



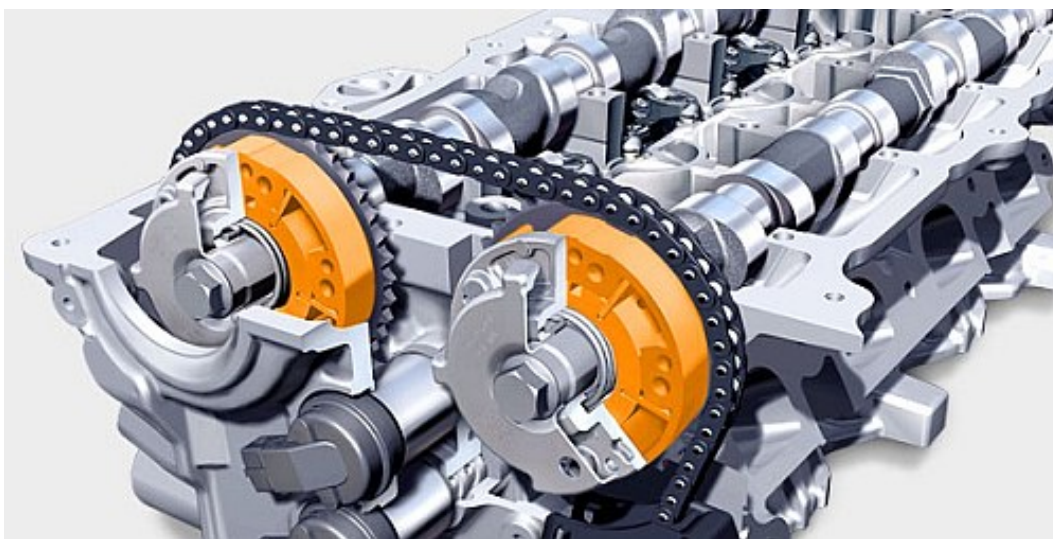
Obrázek 4.25: Motor pro Formuli 1 s pětiventilovou technologií [3]

5 Použitá technika

5.1 Variabilní časování ventilů

VANOS (německy Variable Nockenwellen Steuerung) je zkratka označující technologii proměnného časování ventilů automobilky BMW. Rozvody s variabilním časováním se používají pro zlepšení výměny náplně válce pístového spalovacího motoru. Variabilní časování zvyšuje nejen výkon a točivý moment, ale hlavně vyrovnává průběh točivého momentu, takže jeho výši můžeme využít ve větším rozsahu otáček.

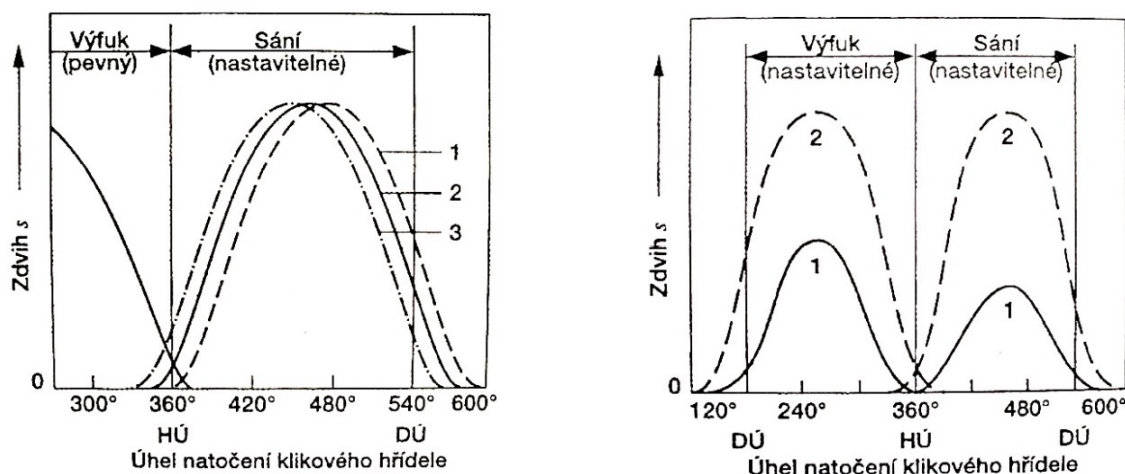
Klasické rozvodové mechanismy s neměnným časováním ventilů, kdy pohyb ventilů je striktně spjat s pohybem pístu, jsou vždy nějakým kompromisem, vyhovujícím pouze v určitém malém rozmezí otáček. Toto rozmezí je naladěno výrobcem pro splnění kritérií, které se od motoru očekávají. Spalovací motor však pracuje s poměrně širokým rozsahem provozních otáček.



Obrázek 5.1: Vizualizace systému Double VANOS [20]

Princip funkce

Okamžik, kdy se uzavře sací ventil výrazně ovlivňuje kvalitu naplnění válce v závislosti na otáčkách motoru. Sací ventil je uzavřen až za dolní úvratí pístu po sacím zdvihu, protože díky setrvačnosti sloupce směsi se dosáhne přídatného plnění válce. Přídatné naplnění je tím výraznější, čím rychleji směs proudí. Je tedy přímo závislé na otáčkách motoru. Naopak při nízkých otáčkách motoru je výhodné brzké uzavření ventilu, aby se směs netlačila zpět do sacího potrubí. Pro sladění těchto dvou protichůdných požadavků je nutno zavést variabilní časování ventilů, měnící se podle aktuálních podmínek chodu motoru. Nejčastějším způsobem je natáčení vačkového hřídele sacích ventilů vůči klikovému hřídeli. Změnou natočení vačkového hřídele vůči klikovému hřídeli můžeme posouvat fáze sání, přičemž zdvih a doba otevření ventilů zůstává neměnná. Vačkový hřídel výfukových ventilů zůstává se stejné poloze (Single VANOS).



Obrázek 5.2: Graf překrytí sání a výfuku [21]

Pootáčení vačkového hřídele se mění podle předem definovaných vztahů závislých na otevření škrtící klapky a otáček motoru. Při volnoběhu a vysokých otáčkách nedochází k překrývání s výfukovými ventily (střih ventilů), což napomáhá stabilnímu chodu motoru ve volnoběžných otáčkách a dobrému využití výkonu při vysokých otáčkách. Při středních otáčkách je nastaveno mírné překrytí ventilů, čímž se dosahuje většího naplnění válce a zlepšení točivého momentu.

Generace VANOS

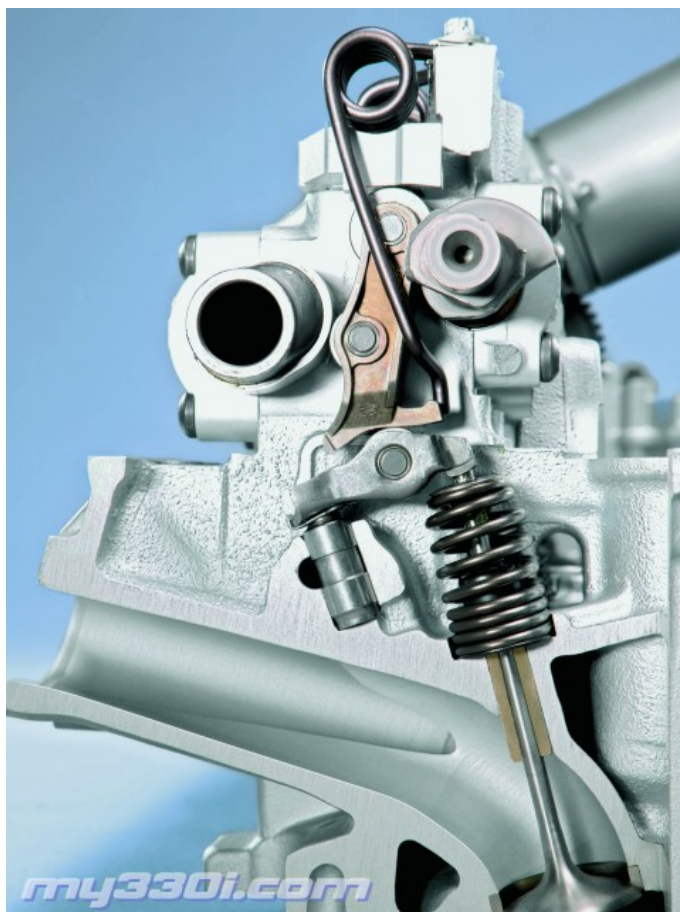
První generace, zvaná Single VANOS, byla představena roku 1992 u šestiválcového motoru M50, kde byl vačkový hřídel sacích ventilů natáčen skokově o 60°. Při volnoběhu jsou sací ventily opožděny, při zvýšení otáček dá řídicí jednotka signál a solenoid umožní tlaku oleje natočit vačkový hřídel o 60° proti jeho pohybu rotace, poté okolo 5000 otáček za minutu dá jednotka opět signál a vačkový hřídel se otočí zpět na výchozí pozici.

Druhá generace, zvaná Double VANOS, byla představena roku 1996 u šestiválcového motoru divize M GmbH s označením S50B32 v tehdejší modernizované M3 (E36). Vačkový hřídel sacích ventilů zde byl natáčen plynule v celém spektru otáček o 60° a hřídel výfukových ventilů o 38°. Systém Double VANOS potřebuje velmi vysoký tlak oleje z důvodu neustálého rychlého a přesného přenastavování natočení vačkového hřídele. Pro různé jízdní režimy řídicí jednotka používá různé mapy chování systému, například při studeném motoru pomáhá katalyzátoru dostat se na provozní teplotu. Díky natáčení vačkového hřídele výfukových ventilů je zdokonalena recirkulace výfukových zplodin. Při volnoběžných otáčkách je recirkulace nastavena na minimum, aby byl volnoběh co možná nejhladší. Při středních otáčkách a nízké zátěži je recirkulace přenastavena na nejvyšší možnou úroveň pro velkou úsporu paliva a při plné zátěži systém přenastaví vačkový hřídel zpět na nejnižší úroveň recirkulace pro co možná nejlepší naplnění spalovacího prostoru kyslíkem. [22] [21] [20]

5.2 Variabilní zdvih ventilů

U starších zážehových motorů je nasávaný vzduch regulován škrtkicí klapkou. Ta však svojí klapkou narušuje plynulé proudění vzduchu a tvoří nežádoucí turbulence, čímž vznikají při sání určité ztráty. Jejich minimalizaci umožňuje plně variabilní zdvih sacích ventilů, který ve spolupráci s plynulou změnou časování Double VANOS (viz str. 58) reguluje množství vzduchu přiváděného do válců. Škrtkicí klapka tedy může zůstat neustále zcela otevřená. Byla by tedy zbytečná, avšak je v motorech zachována pro nouzový režim, kdy dokáže systém Valvetronic plně nahradit.

Nahrazením škrtkicí klapky se tak podařilo zmenšit negativní plochy v p-V diagramu motoru a snížit turbulentní proudění za škrtkicí klapkou, čímž je podle BMW možno uspořit až 14 % paliva.



Obrázek 5.3: Funkční členy variabilního zdvihu ventilů [23]

Valvetronic tedy mění v závislosti na poloze plynového pedálu plynule zdvih sacích ventilů od minimálního zdvihu (0,3 mm) až po maximální zdvih (9,7 mm). Změna nastavení mezi minimálním a maximálním zdvihem trvá pouhých 300 milisekund. Za stejnou dobu se přenastaví i Double VANOS.

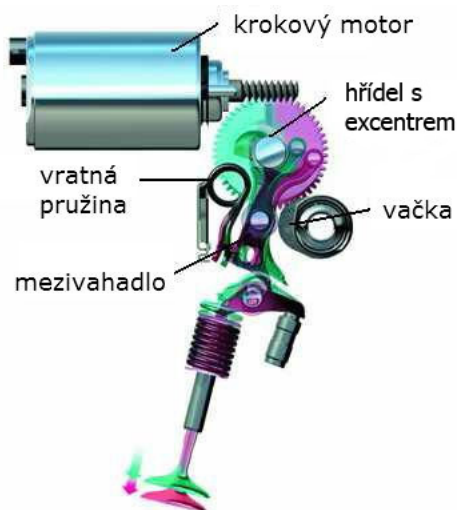
Poprvé byl tento systém představen v roce 2001 u modelu BMW 316 Compact s čtyřválcovým šestnáctiventilovým zážehovým motorem o objemu 1,8 litru a výkonu 85 kW. Automobilka BMW postupně vybavila tímto systémem většinu svých motorů, důvodem je nižší spotřeba, vyšší výkon a lepší odezva motoru.

Princip funkce

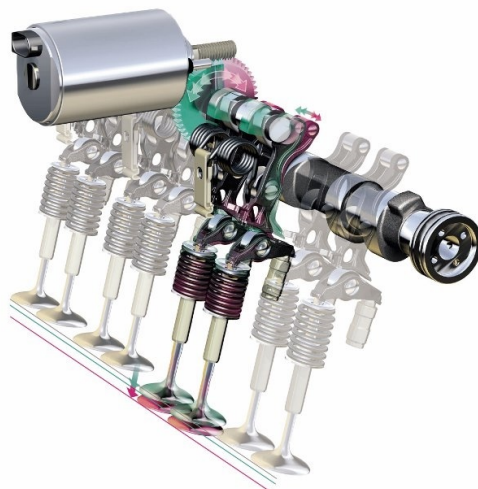
V mechanismu sacích ventilů je mezi vačkou a ventilem umístěno další mezivahadlo, které zajišťuje variabilitu ventilu. Mezivahadlo je ovlivňováno excentrickým hřídelem, který je ovládán přes šnekový převod, krokovým elektromotorem.

Tento způsob variabilizace ventilového rozvodu je velice náročný na přesnost výroby. Díly rozvodu jsou vyráběny s velkou přesností (např. tolerance mezivahadla je pouze 0,008 mm). Odchylka otevření zdvihu ventilu smí činit pouze $\pm 10\%$, protože jakákoliv odchylka má dopad na plnění válce. Proto jsou mezivahadlo a vahadlo rozděleny do 4 klasifikačních tříd. Toto označení je na dílech vypáleno laserem. Minimální zdvih (0,3 mm), je ve výrobě měřen a v případě odchylky je dvojice nahrazena jinou klasifikační třídou.

Vačkový hřídel a excentrický hřídel jsou vedeny ve speciálním lůžku, na kterém je zachycen i elektromotor zajišťující nastavování excentrického hřídele. Toto lůžko je párováno s hlavou motoru a z důvodu zachování přesnosti nesmí být jednotlivě měněno. [24] [25] [26] [23]



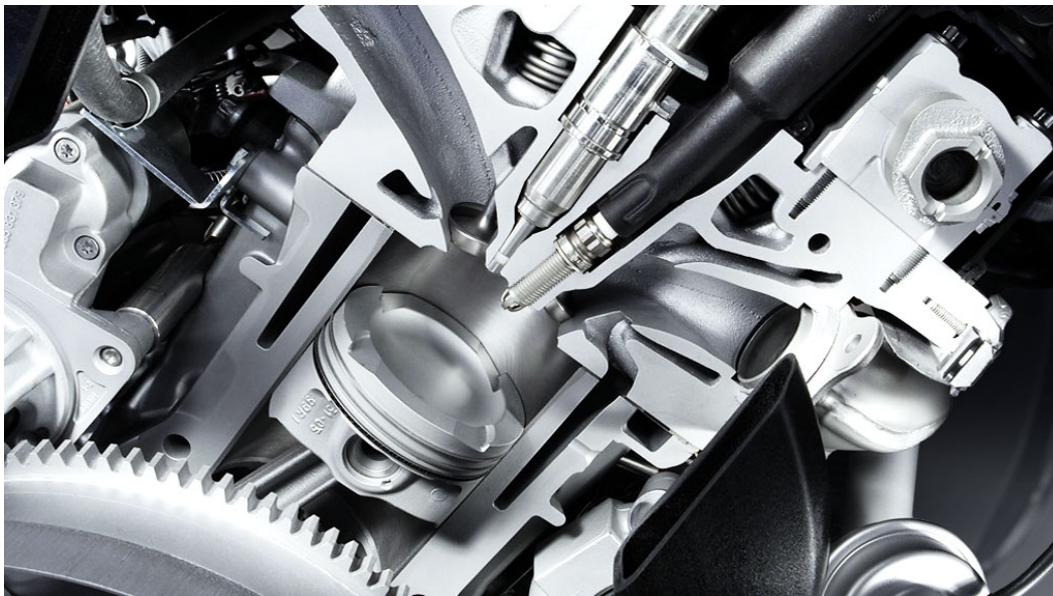
Obrázek 5.4: Funkční členy [25]



Obrázek 5.5: Schéma systému [25]

5.3 High Precision Injection

Nejdůležitější inovací motorů s technologií Twin turbo je přímé vstřikování paliva. Hlavním komponentem je piezoelektrický vstřikovač paliva, který je vhodnější, pro zefektivnění spalovacího procesu než ostatní systémy přímého vstřikování. Charakteristickým atributem je umístění vstřikovače do osy spalovacího prostoru hned vedle zážehové svíčky, což v kombinaci se symetrickým kónickým rozstříkem zajišťuje dobré smíchání směsi s minimálními srážkami kapek paliva se stěnou válce nebo hlavou pístu. Dále tato konfigurace umožňuje pracovat s chudou vrstvenou směsí.



Obrázek 5.6: Řez válcem s High Precision Injection technologií [27]

Vstřikovací systém pracuje s tlakem paliva 20MPa až 3 krát za cyklus. Tlak a počet cyklů jsou automaticky řízeny podle režimu motoru. Při malém zatížení, a tím pádem malém množství vstříknutého paliva, je aplikován jeden vstřík za cyklus. Při poloviční zátěži vstřikovače vstříkují dvakrát za cyklus a při plné zátěži třikrát. Menšími a četnějšími vstříky se zamezí smývání olejového filmu ze stěn válce nevypařeným palivem, a tím pádem zajistí čistší emise a menší spotřebu olejové náplně.

Motory s turbodmychadlem mají z důvodu odebrání tepla turbodmychadlem větší problém se zahřátím katalyzátoru, proto řídicí jednotka přepne motor do módu vysoké zátěže, čímž je produkováno více spalin, které vyhřejí katalyzátor. Toto zvýšené proudění spalin nadměrně roztáčí lopatky turbodmychadla, jež produkuje nadměrný kroutící moment, který je v této fázi nežádoucí. Tento problém je vyřešen opožděním zápalu směsi. Při takto pozdním zápalu musí být pro plynulost chodu vstřík rozdělen na první brzký vstřík a druhý vstřík, až těsně před zážehem. Takto konfigurované spalování produkuje dostatečné množství entalpie výfukových plynů a zároveň nízký podíl uhlovodíku ve výfukových plynech. [27] [28]

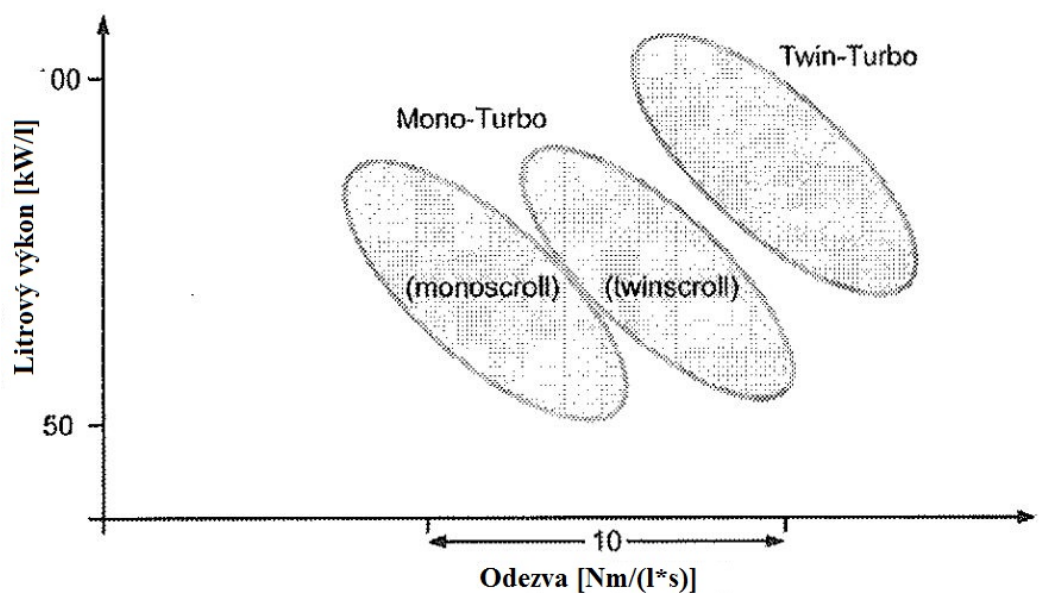
5.4 TwinPower Turbo

Tento pojem byl zaveden s příchodem modelů X5M a X6M, sdružuje systémy zdvojeného přeplňování pod jeden výraz. Způsoby jak zdvojeně přeplňovat jsou 3.

Prvním způsobem je stupňovité přeplňování, používané hlavně u vznětových motorů, kde je motor přeplňován dvojicí sériově umístěných, různě velkých turbodmychadel, malým v nízkých otáčkách a velkým ve vysokých otáčkách.

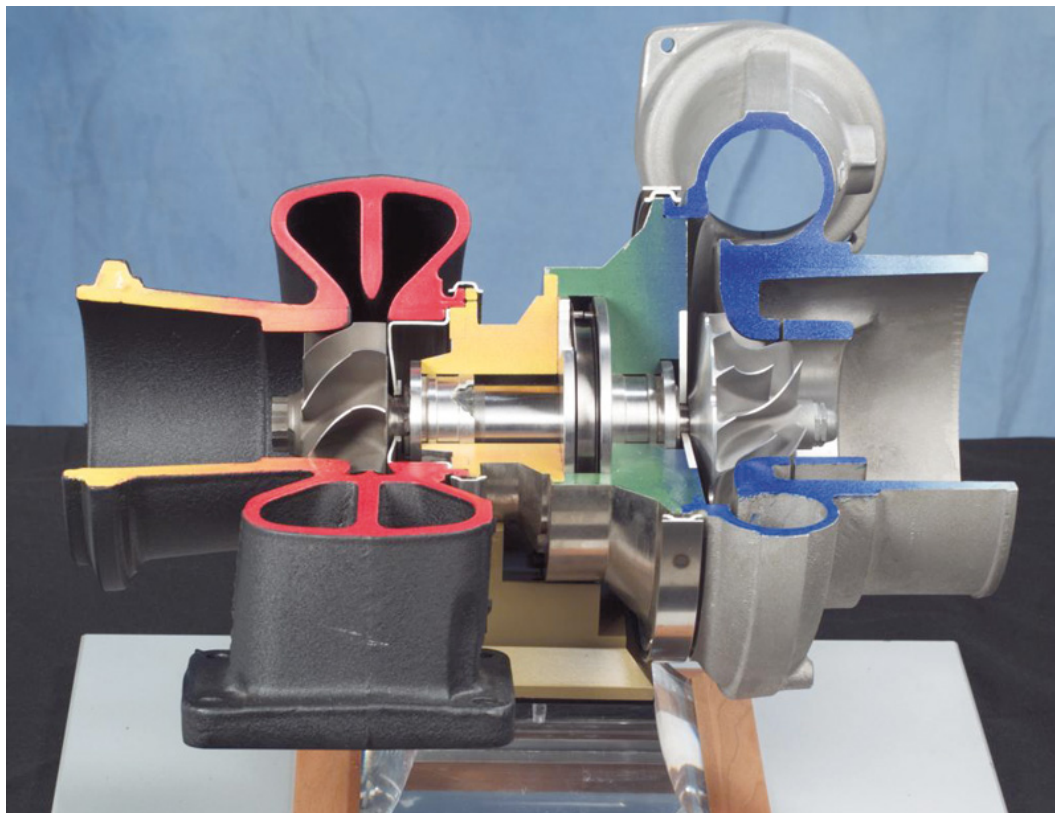
Druhý způsob je přeplňování dvoukomorovým turbodmychadlem TwinScroll, které se vyznačuje oddělenými výfukovými svody, které se spojují až těsně před turbínou. Tím dochází k menším turbulencím výfukových plynů. Turbodmychadlo obsahuje dvě komory, jednu ostřeji řezanou pro rychlou odezvu a druhou velkou plynulejší pro plnění v maximálních otáčkách.

Poslední způsob je přeplňování dvojicí stejně velkých paralelně umístěných turbodmychadel (bi-turbo). Tento způsob se používá převážně u vidlicových motorů, kde každé turbodmychadlo má na starost přeplňování jedné řady válců.



Obrázek 5.7: Graf účinnosti turbodmychadel [28]

5.4 TWINPOWER TURBO

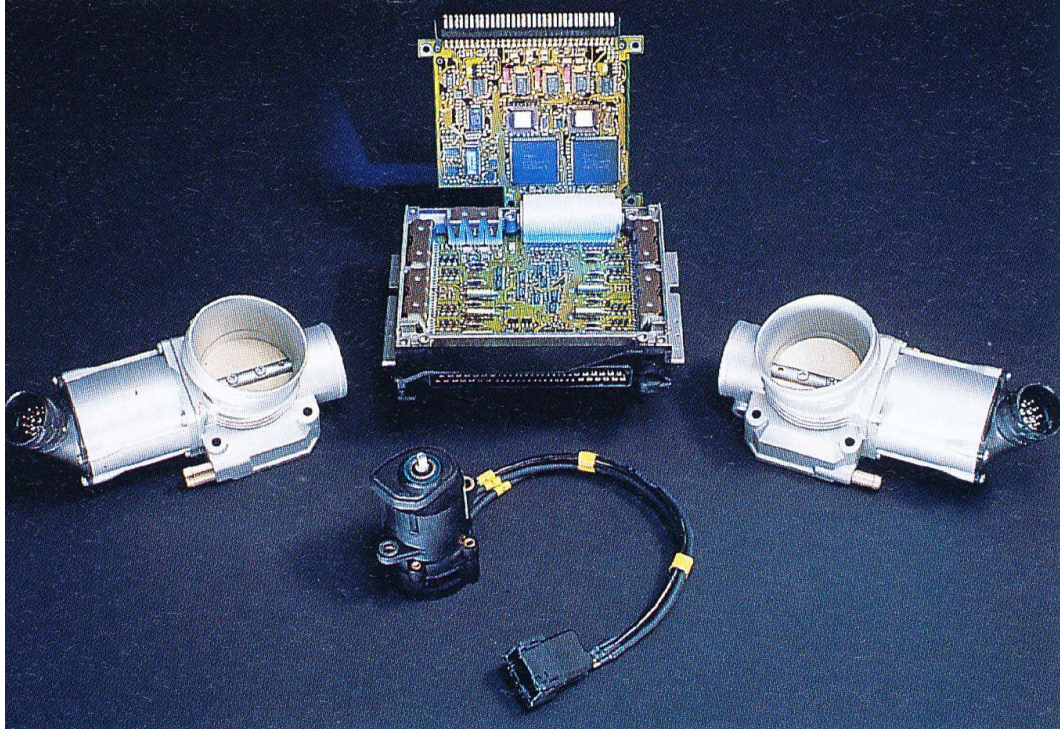


Obrázek 5.8: Řez turbodmychadlem [29]

Přeplňování dvojicí turbodmychadel může být také kombinováno s Twin-scroll turbodmychadly pro lepší využití kinetické energie výfukových plynů. Toto řešení je použito v motorech označených jako *Performance* v modelech BMW X5M a X6M. [28] [30] [6]

5.5 Elektronické ovládání škrtících klapek (EML)

EML je zkratka pro systém ovládající škrtící klapky a podporující různé bezpečnostní či komfortní systémy v automobilu. Systém zajišťuje například funkci regulaci otáček pro tempomat, omezení maximálních otáček motoru nebo například regulaci prokluzu kol. Systém vyhodnocuje signál z plynového pedálu, který dále šíří, pokud není v rozporu s nějakou z předdefinovaných podmínek - například když prokluzují kola. [9]



Obrázek 5.9: Řídící jednotka a škrtící klapky [9]

5.6 CAN-Bus

Can (Controller area network) sběrnice je systém pro vzájemnou komunikaci palubních systémů ve vozidle, vyvinuta společností Bosch. Maximální přenosová rychlost přenosu na sběrnici je 500 ,kBit/s.

Díky rychlosti CAN sběrnice je jednotka motoru (DME) mnohem častěji informována senzory, než u předchůdce a může rychleji přizpůsobovat mapování motoru vnějším vlivům. Datové cesty tvoří dvoulinkový stíněný vodič. Jejím rychlejším nástupcem je sběrnice FlexRay, která má teoretickou rychlosti komunikace až 10 MBit/s. [9] [32] [31]

6 Závěr

Cíl této práce byl splněn. Zmapoval jsem vývoj zážehových vidlicových motorů BMW pro osobní automobily. V úvodní kapitole jsem se věnoval historii značky, která má za sebou již dlouhou historii a jistě ji také ještě dlouhá historie čeká. Jelikož označení automobilů i jejich motorů je pro běžného člověka „velkou neznámou“, další kapitolu jsem věnoval právě této problematice. V další kapitole jsem se věnoval konstrukčnímu řešení a materiálům s ohledem na současné požadavky, ve které jsem zároveň rozepsal jednotlivé motory a porovnával jejich výkony s konkurencí. Poslední kapitola se zabývá použitou technikou motorů, tzn. například variabilním časováním ventilů nebo přeplňováním.

V této práci jsem také chtěl vytvořit statistiku prodeje dvanáctiválcových automobilů, v porovnání s konkurencí. Toto se mi ale nepodařilo, jelikož jsem narazil na nezáměr ze strany oslovených autosalonů. Dokonce jeden z oslovených zástupců, značky Jaguar byl toho názoru, že mám kontaktovat Mercedes nebo Audi, kde „se ještě najdou obdivovatelé těchto nesmyslných motorizací“.

Informace jsem chtěl čerpat z časopisu MTZ a knihy BMW Dimensions The History of Engines – Engines that Made History. Bohužel jsem zjistil, že kniha, ačkoliv je moc pěkně napsaná, je určena spíše pro laiky, proto jsem musel vyhledat i jiné zdroje.

Nakonec jsem velmi rád, že jsem si toto téma zvolil, protože jsem se dozvěděl, jak tyto motory fungují, jak byly vyráběny, a v neposlední řadě jsem zjistil, jak se tyto sobě podobné motory značně liší, zejména pomocnými systémy, ačkoliv jsou všechny vidlicovými dvanáctiválci. Na druhou stranu mě mrzí, že nebyla práce zaměřena také na letecké motory, které BMW vyrábělo již před válkou a které během 2. světové války měly pro Luftwaffe hojně využití.

Literatura

- [1] BMW A.G. . *Introduction* [online]. 2012 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.bmw.com/com/en/insights/history/bmwhistory/introduction.html>
- [2] BMW Drives. *BMW History* [online]. 2012 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.bmwdrives.com/bmw-history.php>
- [3] LANGE, Karlheinz. *The history of engines - engines that made history*. München: BMW Mobile Tradition, 1999. ISBN 39-321-6905-0.
- [4] BMW University. *Introduction to BMW* [online]. 2008, 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://prodcds.bmwuniversity.com/courses/Technical/V0050/M1_Intro2BMW.pdf
- [5] BMW tuning. *Dvanáctiválce: Pradědečci M33 a M66* [online]. 2010 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.bmw-tuning.cz/clanek/dvanactivalce-pradedecci-m33-a-m66>
- [6] *BMW revue*. Praha: TOPSTAR agency a.s., 2012, roč. 2012, č. 4. ISSN 1213 - 2497.
- [7] FISCHER, Adolf, Georg GAEDE a Burkhard GÖSCHEL. Der Neue BMW-12-Zylinder-Motor mit 5 l Hubraum. *MTZ Motortechnische Zeitschrift*. 1987, roč. 1987, č. 9, s. 315-323.
- [8] *Automobile Catalog* [online]. 2010 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.automobile-catalog.com/>
- [9] BAUER, Rainer, Adolf FISCHER, Reinhard HOFMAN a Jan STÄDTER. BMW V12-Motor - Innovationen für Umwelt, Verbrauch und Komfort. *MTZ Motortechnische Zeitschrift*. 1994, roč. 1994, č. 9, s. 476-486.
- [10] Speed.com. In: *MclarenF1* [online]. 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.speed.com//GUI/Upload/4131f122-a5e5-4157-be0c-00b1cd6288d7.jpg>
- [11] BMW blog. *BMW V12 LMR* [online]. 2009 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/wp-content/uploads/BMW-V12-LMR.jpg>
- [12] BMW Clinic. *N73 760i* [online]. 2005 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://www.bmwclinic.cz/images/Wiki/autowp.ru_bmw_n73_b60_1.jpg
- [13] BMW Club. *N73 tech* [online]. 2005 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://www.bmwclub.fi/images/engines/n73/n73_tech_02.jpg
- [14] FISCHER, Hubert, Klaus FRÖHLICH a Ernst JÄGERBAUER. The New BMW 12-Cylinder Engine. *MTZ Worldwide*. 2003, roč. 2003, 7-8, s. 2-9.
- [15] Wikipedia. In: *Motor Hydrogen 7* [online]. 2008 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Motor_Hydrogen_7.JPG
- [16] ENKE, Wolfram, Manfred GRUBER a Ludwig HECHT. The Bi-fuel V12 Engine of the New BMW Hydrogen 7. *MTZ Worldwide*. 2007, roč. 2007, č. 6, s. 6-9.

- [17] BMW People. *BMW 760* [online]. 2009 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://www.bmwpeople.ru/S325iX/7_er/760_f1/bmw_760_39.jpg
- [18] Bimmer today. *BMW V12* [online]. 2009 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.bimmertoday.de/wp-content/uploads/bmw-v12-14.jpg>
- [19] BRAUN, Hans-Stefan, Thomas BRÜNER, Klaus HIRSCHFELDER. The New BMW V12 Gasoline Engine. *MTZ Worldwide*. 2009, roč. 2009, č. 11, s. 22-28.
- [20] E39 M5. *E39 M5 Vanos* [online]. 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.e39m5.net/e39-m5-vanos>
- [21] Autolexikon. *Variabilní časování ventilů* [online]. 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/variabilni-casovani-ventilu/>
- [22] USautoparts. *Vanos* [online]. 2007 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.usautoparts.net/bmw/technology/vanos.htm>
- [23] Variable Valve Timing Web Site. *Valvetronic* [online]. 2010 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://vvt.page.tl/Valvetronic.htm>
- [24] Autorevue. *Plynulá změna zdvihu - hluboké dýchání* [online]. 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/plynula-zmena-zdvihu-ventilu-hlubokey-dychani_1
- [25] Autolexikon. *Valvetronic* [online]. 2010 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/valvetronic/>
- [26] USautoparts. *Valvetronic* [online]. 2008 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.usautoparts.net/bmw/technology/valvetronic.htm>
- [27] BMW A.G. In: *High Precision Injection* [online]. 2010 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/mm_high_precision_injection.html
- [28] LUTTERMANN, Christoph a Werner MÄHRLE. *SAE technical paper series*. Warrendale: SAE Permissions, 2007, s. 1-8. ISBN 0148-7191.
- [29] BMWRevue. *BMW Twinpower Turbo* [online]. 2009 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.bmwrevue.cz/clanek.php?id=218>
- [30] FamousBMW. *Technologie motorů ve vozech BMW pro rok 2010* [online]. 2010 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.famousbmw.cz/technologie-motoru-ve-vozech-bmw-pro-rok-2010/>
- [31] Wikipedia. *CAN Bus* [online]. 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/CAN_bus
- [32] Wikipedia. *FlexRay* [online]. 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/FlexRay>

Seznam obrázků

4.1	Motor M33* [3]	21
4.2	Motor M66* [3]	22
4.3	Motor M70 [7]	24
4.4	Schéma chladícího systému [7]	26
4.5	Motor M70 [7]	27
4.6	Škrtková klapka [7]	28
4.7	Kompletní výfukový systém [7]	29
4.8	48 ventilový motor M72 [3]	31
4.9	Sportovně laděný motor S70 [3]	32
4.10	Motor M73 [3]	33
4.11	Vizualizace chlazení pístu [3]	34
4.12	Řez hlavou válců M73 [9]	35
4.13	Jehličkové ložisko vahadla [9]	35
4.14	Výkonová a momentová charakteristika M70 a M73 [3]	38
4.15	Motor S70/2 pro McLaren F1 [10]	39
4.16	BMW V12 LMR [11]	40
4.17	Motor N73 [12]	41
4.18	Řez motorem N73 [13]	42
4.19	Motor pro BMW Hydrogen 7 [15]	47
4.20	Motor N74 [17]	50
4.21	Ventilový rozvod N74 [18]	51
4.22	Řez výfukovým systémem [19]	53
4.23	Výkonová a momentová charakteristika N73 a N74 [19]	54
4.24	Motor pro Formuli 1 se čtyřventilovou technologií [3]	56
4.25	Motor pro Formuli 1 s pětiventilovou technologií [3]	57
5.1	Vizualizace systému Double VANOS [20]	58
5.2	Graf překrytí sání a výfuku [21]	59
5.3	Funkční členy variabilního zdvihu ventilů [23]	60
5.4	Funkční členy [25]	61
5.5	Schéma systému [25]	61
5.6	Řez válcem s High Precision Injection technologií [27]	62
5.7	Graf účinnosti turbodmychadel [28]	63
5.8	Řez turbodmychadlem [29]	64
5.9	Řídící jednotka a škrtkové klapky [9]	65

Seznam tabulek

4.1	Porovnání soudobé konkurence M70 [8]	30
4.2	Porovnání soudobé konkurence M73 [8]	38
4.3	Porovnání soudobé konkurence N73 [8]	46
4.4	Porovnání soudobé konkurence N74 [8]	55